

**SIFAT-SIFAT KONKRIT BERKEKUATAN TINGGI YANG MENGANDUNGI  
ABU SEKAM PADI**

Oleh

**HANNAN RIDZUAN BIN RAMLI**

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

Mei 2006

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia dan rahmat-Nya dapat saya menyiapkan laporan projek tahun akhir bertajuk “**Sifat-Sifat Konkrit Berkekuatan Tinggi yang Mengandungi Abu Sekam Padi**” ini dengan jayanya dalam masa yang ditetapkan. Berkat usaha dan ketekunan, dapatlah saya menyiapkan laporan projek tahun akhir ini yang perlu dikemukakan kepada Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam di mana ia merupakan syarat wajib kepada semua pelajar yang mengambil kursus projek tahun akhir ini.

Dikesempatan ini saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada penyelia saya, Dr. Megat Azmi bin Megat Johari kerana telah banyak memberi idea, cadangan dan panduan untuk saya menyiapkan projek ini. Jutaan terima kasih juga diucapkan kepada juruteknik-juruteknik di makmal konkrit khasnya En. Alim Ezaimi Abd. Rashid yang telah banyak memberi kerjasama dengan baik sepanjang saya menjalankan projek ini. Tidak dilupakan juga kepada ayah dan ibu saya yang banyak memberi sokongan dan nasihat.

Akhir sekali, saya ingin mengucapkan berbilang terima kasih kepada rakan-rakan terutamanya En. Mohd Fadzil Arshad dan En. Ahmad Tarmizi Mohamad yang telah banyak membantu saya semasa proses merekabentuk dan ujian-ujian yang dijalankan dan turut membantu dalam meringankan tugas saya dalam menyiapkan projek ini hingga ke peringkat akhir. Sesungguhnya tanpa pertolongan mereka saya tidak akan dapat menyiapkan projek ini dengan jayanya. Terima kasih juga saya ucapkan kepada mereka yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam menyiapkan projek tahun akhir saya ini. Sekian, terima kasih.

## ABSTRAK

Campuran Konkrit Berkekuatan Tinggi (HSC) dihasilkan menggunakan abu sekam padi (RHA) sebagai bahan ganti simen pada tahap penggantian daripada 5%, 10%, 15% dan 20%. Tahap penggantian RHA memberi kesan kepada kebolehtelapan, kekuatan mampatan dan pembentukan kekuatan HSC yang dikaji. RHA mengandungi 95% kandungan silika. Ianya dihasilkan dengan membakar sekam padi pada suhu 600°C selama 4 jam. Sebanyak 150 sampel konkrit telah disediakan dan diuji pada usia 1, 3, 7, 28, 56 dan 84 hari. Untuk mengkaji kesan penggunaan RHA ke atas sifat-sifat konkrit, Ujian Penurunan, Meja Aliran, Kekuatan Mampatan, Kebolehtelapan, Keliangan dan Halaju Denyut Ultrasonik sampel dijalankan. Keputusan daripada ujikaji menunjukkan penambahan RHA cenderung untuk mengurangkan aliran walaupun nilai penurunan tidak dipengaruhi. Kekuatan mampatan konkrit pada usia awal berkurangan tetapi kekuatan untuk jangka panjang akan meningkat. Konkrit yang mengandungi 10% RHA menunjukkan kekuatan yang paling tinggi pada usia 84 hari. Bagi keliangan dan kebolehtelapan konkrit yang mengandungi RHA pula berkurang berbanding dengan sampel kawalan dari umur 3 hingga 84 hari. Kesan penggunaan RHA juga telah meningkatkan nilai halaju denyut ultrasonik (UPV) untuk konkrit berbanding dengan sampel kawalan. Oleh itu, RHA yang dihasilkan berpotensi digunakan sebagai bahan tambah mineral untuk meningkatkan ciri-ciri dan prestasi konkrit.

# **PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE CONTAINING RICE HUSK ASH**

## **ABSTRACT**

High Strength Concrete (HSC) mixes were produced using Rice Husk Ash (RHA) as a partial cement replacement material at replacement levels from 5%, 10%, 15% and 20%. The effects of RHA addition on workability, compressive strength and strength development of HSC have been studied. RHA has about 95% silica content. It was produced by burning (calcinations) rice husk at temperature of 600 °C for 4 hours. A total of 150 test specimens were prepared and tested at the ages of 1, 3, 7, 28, 56 and 84 days. In order to study the effects of RHA inclusion, Slump, Flow Table, Compressive Strength, Permeability, Porosity and Ultrasonic Pulse Velocity tests have been performed. Test results indicate that the inclusion of RHA tends to reduce the flow, although the slump values were not affected. Early age compressive strength was reduced, but long term strength was increased. The concrete containing 10% RHA exhibited the highest 84 days strength. In addition, the porosity and permeability of concrete containing RHA is lower than the control from the age of 3 to 84 days. The effect of RHA seems to increase the UPV of concrete compared to the control. Therefore, the RHA produced could be potentially used as a mineral admixture, to improve the properties and performance of concrete.

## KANDUNGAN

### MUKA SURAT

PENGHARGAAN		i
ABSTRAK		ii
ABSTRACT		iii
KANDUNGAN		iv
SENARAI JADUAL		vii
SENARAI RAJAH		ix
BAB 1	PENGENALAN	1
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Objektif	2
	1.3 Skop Kajian	3
	1.4 Kepentingan Projek	4
BAB 2	KAJIAN LITERATUR	5
	2.1 Bahan Tambah Mineral	5
	2.2 Pozzolana	5
	2.3. Kesan penggunaan Pozzolana Di Dalam Konkrit	6
	2.4 RHA	7
	2.4.1 Penyediaan RHA	9
	2.5 Pengaruh RHA Terhadap Kekuatan Mampatan Konkrit	11
	2.6 Kesan Penggantian RHA Ke Atas Konkrit	15
BAB 3	METODOLOGI KAJIAN	16
	3.1 Penyediaan Bahan	16
	3.2 Penghasilan RHA	18
	3.3 Ujian Analisis Ayak untuk Agregat Halus	19

3.4	Graviti Tentu dan Penyerapan	20
3.5	Ujian Kandungan Kelodak Untuk Pasir	21
3.6	Ujian Analisis Ayak untuk Agregat Kasar	21
3.7	Ujian Graviti Tentu Agregat Kasar	22
3.8	Ujian Nilai Hentaman Agregat (AIV)	23
3.9	Ujian Nilai Pecahan Agregat (ACV)	24
3.10	Penyediaan Spesimen	26
3.11	Ujian Penurunan	26
3.12	Ujian Kekuatan Mampatan Konkrit	27
3.13	Ujian Keliangan	28
3.14	Ujian Kebolehtelapan	30
3.15	Ujian Halaju Denyut Ultrasonik (PUNDIT)	31
<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>34</b>
4.1	Pengenalan	34
4.2	Ujian Analisis Ayak Untuk Agregat Halus	34
4.2.1	Keputusan dan Perbincangan	35
4.3	Ujian Graviti Tentu dan Penyerapan Agregat Halus	37
4.3.1	Keputusan dan Perbincangan	37
4.4	Ujian Kandungan Kelodak Untuk Pasir	38
4.4.1	Keputusan Ujian Kandungan Kelodak	38
4.5	Ujian Analisis Ayak untuk Agregat Kasar	39
4.5.1	Keputusan dan Perbincangan	39
4.6	Ujian Graviti Tentu Agregat Kasar	41
4.6.1	Keputusan dan Perbincangan	42
4.7	Ujian Nilai Hentaman Agregat ( AIV )	43

4.7.1	Keputusan dan Perbincangan	43
4.8	Ujian Nilai Pecahan Agregat (ACV)	46
4.7.1	Keputusan dan Perbincangan	46
4.9	Rekabentuk Campuran Konkrit	48
4.9.1	Keputusan dan Perbincangan	48
4.10	Keputusan dan Perbincangan Tahap Kebolehtelapan Konkrit	50
4.11	Ujian Mampatan Kiub	54
4.11.1	Keputusan dan Perbincangan	54
4.12	Ujian Keliangan	62
4.12.1	Keputusan dan Perbincangan	62
4.13	Ujian Kebolehtelapan	69
4.13.1	Keputusan dan Perbincangan	69
4.14	Ujian Halaju Denyut Ultrasonik	74
4.14.1	Keputusan dan Perbincangan	74
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Cadangan	82
5.2.1	Peningkatan Peratus Gantian RHA Dalam Konkrit	82
5.2.2	Penentuan Sifat-Sifat Fizikal dan Komposisi Kimia Sekam Padi dan RHA	83
5.2.3	Pemilihan Saiz dan Bentuk Agregat yang Sesuai	83
5.2.4	Suhu dan Tempoh Pembakaran Sekam Padi yang Optimum	84

5.2.5	Potensi RHA yang Dijangkakan Pada Masa Hadapan	84
RUJUKAN		85
LAMPIRAN A	Keputusan Ujian Kekuatan Mampatan Terperinci	
LAMPIRAN B	Keputusan Ujian Keliangan Terperinci	
LAMPIRAN C	Keputusan Ujian Kebolehtelapan Terperinci	
LAMPIRAN D	Keputusan Ujian Halaju Denyut Ultrasonik Terperinci	

## SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	Komposisi kimia RHA dan OPC (Zhang et.al., 1996)	8
Jadual 3.1	Kuantiti keseluruhan bancuhan untuk simen, air, RHA, agregat kasar, agregat halus dan bahan superpemplastik	17
Jadual 4.1	Keputusan Ujian Analisis Ayak Untuk Agregat Halus.	36
Jadual 4.2	Keputusan Ujian Graviti Tentu dan Penyerapan Agregat Halus	37
Jadual 4.3	Keputusan Graviti Tentu dan Penyerapan	37
Jadual 4.4	Keputusan Ujian Analisis Ayak Untuk Agregat Kasar	40
Jadual 4.5	Keputusan Ujian Graviti Tentu	42
Jadual 4.6	Keputusan Graviti Tentu	43
Jadual 4.7	Keputusan Nilai Hentaman Agregat (AIV)	45
Jadual 4.8	Keputusan Nilai Pecahan Agregat (ACV)	47
Jadual 4.9	Kandungan Campuran Konkrit	49
Jadual 4.1	Keputusan Ujian Penurunan	51
Jadual 4.11	Keputusan Ujian Meja Aliran	52
Jadual 4.12	Keputusan Ujian Kekuatan Mampatan Kiub	55
Jadual 4.13	Kekuatan Mampatan Relatif Spesimen Terhadap OPC	58
Jadual 4.14	Keputusan Ujian Kekuatan Mampatan Kiub (Zhang et al., 1996)	60
Jadual 4.15	Keputusan Ujian Keliangan (%)	64
Jadual 4.16	Keliangan Relatif Spesimen Terhadap OPC	65
Jadual 4.17	Keputusan Ujian kebolehtelapan	70
Jadual 4.18	Kebolehtelapan Relatif Spesimen Terhadap OPC	72
Jadual 4.19	Keputusan Ujian Halaju Denyut Ultrasonik	76
Jadual 4.20	Halaju Relatif Spesimen Terhadap OPC	77

## SENARAI RAJAH

Rajah 2.1	Pengagihan Saiz Zarah RHA (Jauberthie et al., 2000)	9
Rajah 2.2	Keamatan RHA sebelum pembakaran (Della et. al., 2002)	11
Rajah 2.3	Keamatan RHA selepas pembakaran (Della et. al., 2002)	11
Rajah 2.4	Kekuatan mampatan untuk konkrit PC30 dan RHA (Bui et al., 2005)	13
Rajah 2.5	Kekuatan mampatan untuk konkrit PC40 dan RHA (Bui et al., 2005)	13
Rajah 3.1	Sekam padi	17
Rajah 3.2	Abu sekam padi	18
Rajah 3.3	Ayak-ayak yang digunakan	19
Rajah 3.4	Mesin Ujian Mampatan	28
Rajah 3.5	' <i>Vacuum Saturation Apparatus</i> '	29
Rajah 3.6	Radas Kebolehtelapan Gas	31
Rajah 3.7	Kaedah Pengukuran Alat PUNDIT	33
Rajah 3.8	Radas Ujian Halaju Denyut Ultrasonik (PUNDIT)	33
Rajah 4.1	Lengkungan Penggredan Bagi Agregat Halus	36
Rajah 4.2	Lengkungan Penggredan Bagi Agregat Kasar	40
Rajah 4.3	Kesan Pengikat ke Atas kebolehkerjaan Dalam Konkrit Berkekuatan Tinggi	52
Rajah 4.4	Kekuatan Mampatan Melawan Umur Konkrit	56
Rajah 4.5	Kekuatan Mampatan Melawan Peratus Penggantian RHA	56
Rajah 4.6	Kekuatan Mampatan Relatif Melawan Umur Konkrit	58
Rajah 4.7	Kekuatan Mampatan Melawan Umur Konkrit	61

(Zhang et al., 1996)

Rajah 4.8	Keliangan Melawan Umur Konkrit	64
Rajah 4.9	Keliangan Melawan Peratus Penggantian RHA	65
Rajah 4.10	Keliangan Relatif Melawan Umur Konkrit	66
Rajah 4.11	Profil Keliangan Zon Antara Muka di antara Agregat dan Adunan Simen (Zhang et al., 1996)	68
Rajah 4.12	Kebolehtelapan Melawan Umur Konkrit	71
Rajah 4.13	Kebolehtelapan Melawan Peratus Penggantian RHA	71
Rajah 4.14	Kebolehtelapan Relatif Melawan Umur Konkrit	72
Rajah 4.15	Halaju Melawan Umur Konkrit	76
Rajah 4.16	Halaju Melawan Peratus Penggantian RHA	77
Rajah 4.17	Halaju Relatif Melawan Umur Konkrit	78

# BAB 1

## PENGENALAN

### 1.1 Pengenalan

Konkrit ialah suatu bahan binaan yang terpenting di dunia. Konkrit merupakan bahan yang banyak memberikan faedah jika hendak dibandingkan dengan bahan pembinaan yang lain. Ia bukan sahaja mudah diperolehi malah ia tidak memerlukan kos yang tinggi untuk menghasilkannya. Ia juga sesuai dan dapat digunakan dalam pelbagai keadaan kerana ia merupakan bahan yang mudah dikerjakan dan tahan lasak. Kajian-kajian yang telah dijalankan oleh ahli sains juga telah menghasilkan pelbagai penemuan yang menjadikan konkrit sebagai bahan yang cukup berpotensi dalam industri pembinaan.

Konkrit merupakan bahan kedua terpenting selepas air dan permintaannya hampir enam billion tan setahun (Sabir et al., 2001). Penghasilannya yang meluas ini telah memberikan kesan kepada alam sekitar yang disebabkan oleh pengestrakan bahan mentah dan pelepasan CO<sub>2</sub> semasa proses pembuatan simen dan kesedaran telah timbul dari pelbagai pihak untuk mengurangkan penggunaan simen dengan menggunakan bahan tambahan yang lain. Peningkatan jumlah kemalangan yang juga menjadi pendorong utama untuk menggunakan bahan tambah berikutan kepada kegagalan struktur konkrit yang disebabkan oleh kegagalan yang serius (Sabir et al., 2001).

Konkrit dihasilkan daripada bancuhan simen, batu, pasir, air dan bahan tambah jika diperlukan. Bahan tambah ialah bahan selain simen, air dan agregat yang ditambah ke dalam konkrit semasa pembancuhan untuk mengubah satu atau lebih sifat dalam

keadaan baru atau mengeras. Penggunaan bahan tambah dan reka bentuk campuran yang baik dapat menghasilkan campuran konkrit yang berkualiti tinggi, padat dan tidak mudah ditelapi air serta mempunyai kekuatan mampatan yang tinggi. Sifat konkrit mengeras boleh dikategorikan kepada sifat jangka pendek dan sifat jangka panjang. Bagi sifat konkrit mengeras jangka pendek merangkumi kekuatan mampatan, kekuatan tegangan, ikatan dan modulus elastik manakala konkrit mengeras jangka panjang pula termasuk rayapan, pengecutan, dan sifat ketahananlasakan antaranya ialah kebolehtelapan gas, keliangan dan rintangan terhadap lelasan. Kekuatan konkrit juga bergantung kepada beberapa faktor dan antaranya ialah sifat dan nisbah jujuk bahan, darjah hidrasi simen, kadar pembebanan, kaedah pengujian dan geometri spesimen.

## **1.2 Objektif**

Tujuan utama projek ini dijalankan adalah untuk:

- Mengkaji kesan penggunaan bahan RHA ke atas sifat-sifat konkrit berkuatan tinggi dengan kekuatan mampatan yang melebihi 60 MPa pada umur 28 hari.
- Mengkaji dan mengenalpasti kesan penggunaan abu sekam padi (RHA) terhadap sifat-sifat konkrit pada tahap penggantian 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20%.
- Mengkaji kesan bahan tambah mineral RHA dalam konkrit dari segi:
  - i. Kebolehkerjaan.
  - ii. Kekuatan mampatan.
  - iii. Keliangan.
  - iv. Kebolehtelapan gas.
  - v. Halaju denyut ultrasonik.

### 1.3 Skop Kajian

Sekam padi yang diperolehi perlu melalui proses pengkalsinan untuk menghasilkan abu sekam padi (RHA) dimana sekam padi dibakar di dalam relau pada suhu 600 °C selama 4 jam. Selepas itu, campuran konkrit dengan kadar penggantian sebanyak 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% daripada kandungan simen disediakan dan penuangan dilakukan ke dalam kiub yang berdimensi (100 x 100 x 100 mm) bagi ujian kekuatan mampatan, ujian halaju denyut ultrasonik dan prisma yang berdimensi (150 x 150 x 750 mm) untuk ujian kebolehtelapan dan keliangan.

Ujian runtunan bagi konkrit segar dilakukan bagi setiap bancuhan pada kadar nisbah air-simen 0.33 bagi menentukan kesan penggantian terhadap kebolehtelapan konkrit. Bagi konkrit mengeras pula, sampel diuji pada umur 1, 3, 7, 28, 56 dan 84 hari. Dalam pada masa tersebut pengawetan air dijalankan terhadap sampel-sampel konkrit tersebut. Bagi kiub, ujian mampatan dan ujian halaju denyut ultrasonik dijalankan pada umur konkrit yang telah dicadangkan. Bagi acuan prisma, sampel ditebuk bagi membolehkan ujian keliangan dan kebolehtelapan dijalankan. Sampel yang berdiameter 55 mm dan berketinggian 40 mm diperolehi.

Keputusan yang diperolehi dianalisa dan graf-graf diplot berdasarkan data-data yang didapati bagi mendapatkan parameter-parameter kekuatan mampatan, halaju denyut ultrasonik, keliangan dan kebolehtelapan gas yang optimum. Keputusan bagi setiap bahan tambah mineral abu sekam padi (RHA) dibandingkan. Perbincangan dan kesimpulan dibuat berdasarkan data-data yang diperolehi.

#### **1.4 Kepentingan Kajian**

Kajian ini dapat mengenalpasti tahap penggantian yang sesuai bagi penggunaan gabungan bahan tambah mineral RHA dalam penghasilan konkrit yang bermutu dan secara tidak langsung dapat menghasilkan penemuan baru dalam industri konkrit. Adalah diharapkan kajian ini sedikit sebanyak dapat membantu industri pembinaan negara dimana kerja penyelenggaraan dapat diminimalkan dan konkrit yang dihasilkan mempunyai sifat ketahananlasakan yang tinggi dan mudah dikerjakan. Selain itu, bahan tambah ini dapat mengurangkan penggunaan simen konvensional yang menyumbang kepada pencemaran alam sekitar. Selain itu juga, proses kitar semula bahan terbuang dapat dilaksanakan sejajar dengan dasar kerajaan dengan jayanya.

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Bahan Tambah Mineral**

Bahan tambah ialah bahan selain daripada simen, air dan agregat yang ditambah kepada konkrit semasa penyediaan konkrit untuk mengubah sifat-sifat dan ciri-ciri tertentu konkrit. Bahan tambah boleh dibahagikan kepada beberapa kategori utama iaitu bahan tambah pemecutan, bahan tambah perencat, bahan tambah pengurang air, bahan tambah mineral dan bahan tambah perangkap udara (Ramli, 1991).

Penggunaan bahan tambah dapat meningkatkan keboleherjaan konkrit disamping dapat mempercepatkan kadar tindak balas antara komponen simen dengan air. Ia juga dapat mengurangkan pembebasan haba terhadap konkrit yang merupakan salah satu proses penting dalam mengawal keretakan pada permukaan struktur konkrit. Dengan ini kekuatan konkrit yang lebih tinggi dapat dihasilkan dalam jangka waktu yang singkat. Kesan-kesan penambahan RHA kepada konkrit dari segi kekuatan mampatan, keliangan, kebolehtelapan dan penurunan akan dikaji sebagai objektif penyelidikan ini.

#### **2.2 Pozzolana**

Pozzolana ialah bahan asli atau bahan tiruan yang mengandungi silika dalam bentuk yang boleh bertindak balas. Penggunaan bahan pozzolana di dalam konkrit telah diketengahkan sejak dahulu lagi. Pozzolana ialah bahan yang apabila bertindakbalas dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) menghasilkan kalsium silikat terhidrat (C-S-H) (Mohd Yusof, 1995). Tindakbalas ini boleh dikenali sebagai aktiviti pozzolana.

Penggunaan bahan pozzolana ini adalah disebabkan oleh pengaruhnya kepada mikrostruktur dan ketahanan konkrit. Di dalam simen Portland juga terdapat bahan pozzolana. Hari ini, kebanyakan bahan pozzolana digunakan untuk meningkatkan kualiti sesuatu produk konkrit. Bahan pozzolana yang digunakan pada masa kini terdiri daripada bahan yang mengandungi silika dan alumina. Penggunaan air akan menghasilkan tindak balas di antara bahan ini dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dan akan membentuk sebatian yang mempunyai ciri-ciri bahan simen. Bahan pozzolana yang digunakan merangkumi bahan buangan daripada industri seperti abu sekam padi, abu ringan, metakaolin dan wasap silika. Penggunaan bahan pozzolana ini dapat merealisasikan usaha perlindungan alam sekitar di dalam industri pembinaan.

### **2.3 Kesan penggunaan Pozzolana Di Dalam Konkrit**

Kandungan kalsium silika terhidrat (C-S-H) yang terhasil daripada aktiviti pozzolana boleh digunakan sebagai bahan gantikan separa simen. Penggantian ini akan memberi kesan kepada sifat-sifat konkrit di mana ia merangkumi perubahan kepada kekuatan mampatan konkrit, keliangan, kebolehtelapan dan sebagainya. Sesetengah bahan pozzolana seperti sekam padi yang dikalsinkan menjadi abu sekam padi (RHA), akan mengurangkan nilai kebolehtelapan konkrit. Ia juga dapat mempercepatkan pencapaian kekuatan muktamad konkrit. Ini adalah disebabkan oleh proses penghidratan yang cepat akibat kehadiran silika yang tinggi dan kehalusan bahan pozzolana tersebut. Bagi bahan pozzolana yang lain seperti syel dan abu ringan pada peratus penggantian tertentu ia akan mengurangkan kadar peningkatan kekuatan konkrit.

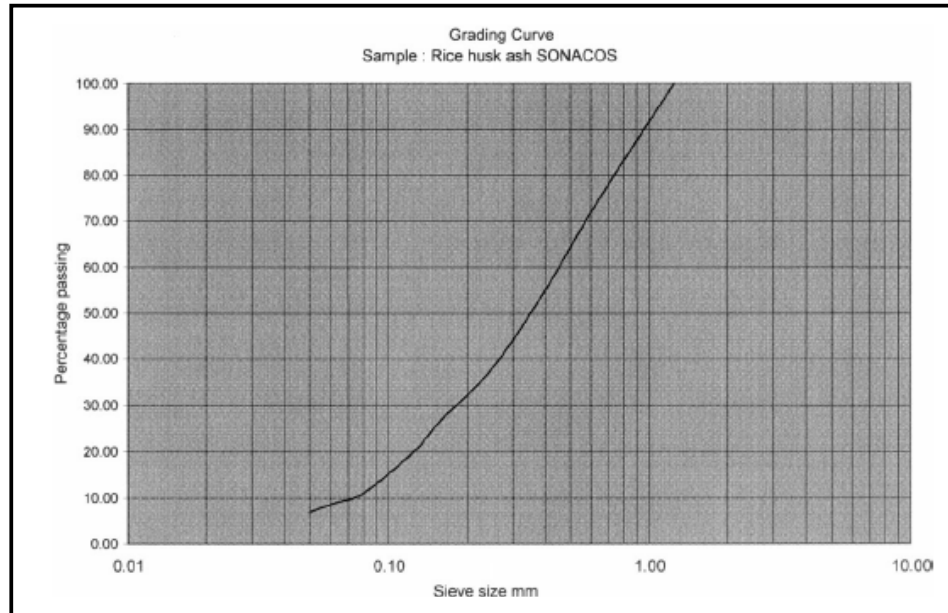
## 2.4 RHA

Abu sekam padi (RHA) adalah sejenis bahan pozzolana yang bermutu tinggi sesuai digunakan dalam bahan campuran batu kapur-pozzolana dan digunakan dalam industri simen Portland. RHA yang digunakan dalam campuran konkrit ini bukan merupakan perkara baru. Banyak percubaan telah dilakukan bagi memperkenalkan bahan pozzolana RHA di kebanyakan negara termasuk India, China, Senegal, Taiwan, UK, Egypt dan Guyana (Nehdi et al., 2003). RHA mengandungi bahan silikon dioksida yang tinggi kandungannya dan kereaktifannya bergantung kepada dua faktor iaitu kandungan non-crystalline dalam RHA dan keadaan permukaan spesifiknya. Kandungan bahan kimia dan ciri fizikal abu sekam padi ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Menurut (Nehdi et al., 2003), RHA mempunyai indeks aktiviti pozzolana sehingga 117% pada hari ke 7 dan 114% pada hari ke 28. Oleh itu, kadar tindak balas RHA ini adalah sangat tinggi. Kereaktifan yang tinggi ini adalah disebabkan saiz partikel yang sangat halus. Saiz partikel yang halus ditunjukkan oleh luas permukaan yang tinggi. RHA adalah bahan pozzolana yang sangat halus, saiz partikel dan permukaan tentunya bergantung kepada keadaan pembakaran ketika ia dihasilkan (Zhang et al., 1996).

Purata saiz partikel bahan RHA adalah termasuk dalam julat 5 hingga 10  $\mu\text{m}$  dan luas permukaan spesifiknya adalah 20 hingga 50  $\text{m}^2/\text{g}$ . Kajian awal menunjukkan bahawa bahan RHA yang digunakan adalah mempunyai ciri-ciri bahan pozzolana yang tinggi dan ianya boleh digunakan bagi bahan asas simen untuk menghasilkan konkrit berkualiti tinggi bagi tujuan pembinaan (Zhang et al., 1996). Lengkung penggredan granulometrik untuk abu sekam padi ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Lengkung ini menunjukkan bahan RHA digredkan antara 0.1 hingga 1 mm berdasarkan kenyataan yang dikeluarkan oleh SONACO dan keputusan analisa makmal (Jaubertie et al., 2000).

**Jadual 2.1. Komposisi kimia RHA dan OPC (Zhang et al., 1996).**

Item	OPC (%)	RHA (%)
Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> )	20.1	87.2
Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4.51	0.15
Ferum Oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2.50	0.16
Kalsium Oksida (CaO)	61.3	0.55
Magnesium Oksida (MgO)	3.13	0.35
Natrium Oksida (Na <sub>2</sub> O)	0.24	1.12
Kalium Oksida (K <sub>2</sub> O)	0.39	3.68
Fosforus Oksida (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	<0.9	0.50
Titanium Oksida (TiO <sub>3</sub> )	0.24	0.01
Sulfur oksida (SO <sub>3</sub> )	4.04	0.24
Klorin (Cl)	-	0.45
Karbon (C)	-	5.91
<i>'Loss or ignition'</i>	2.41	8.55
Trikalsium Silikat (C <sub>3</sub> S)	51.3	-
Dikalsium Silikat (C <sub>2</sub> S)	19.0	-
Trikalsium Aluminat (C <sub>3</sub> A)	7.7	-
Tetrakalsium Aluminoforit (C <sub>4</sub> AF)	7.6	-



**Rajah 2.1. Pengagihan saiz zarah RHA (Jauberthie et al., 2000).**

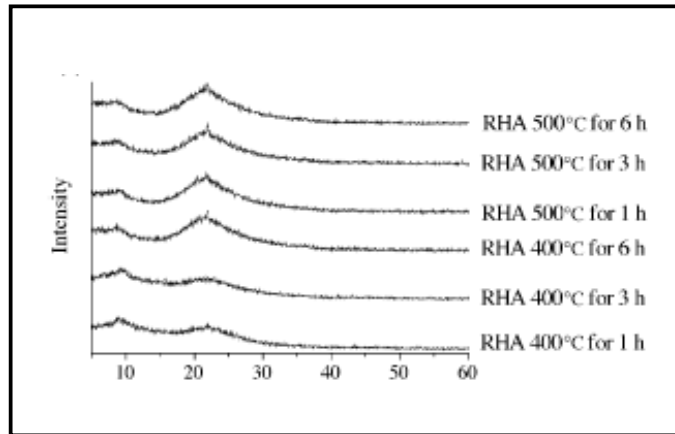
Bagi tujuan penyelidikan ini, penggunaan RHA sebanyak 5%, 10%, 15% dan 20% digunakan untuk mengkaji kesannya ke atas sifat-sifat penting konkrit seperti kekuatan mampatan, penurunan, keliangan, halaju denyut ultrasonik dan kebolehtelapan.

#### **2.4.1 Penyediaan RHA**

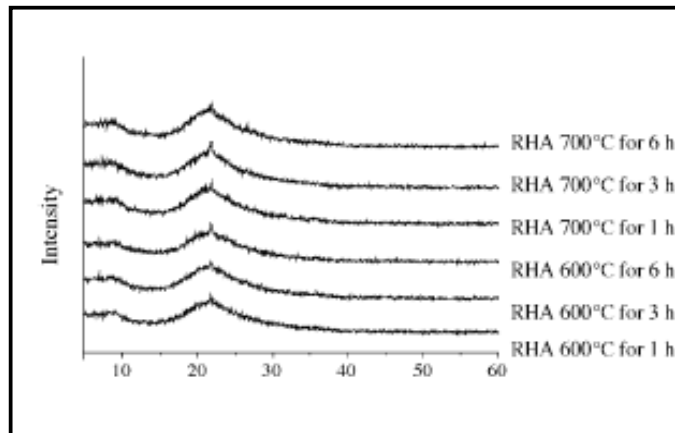
Bahan mentah yang digunakan bagi eksperimen adalah RHA yang diperolehi daripada industri tempatan. Langkah pertama dalam menghasilkan silika aktif (AS) daripada RHA melibatkan rawatan termal pada pelbagai suhu. Silika adalah bahan mineral utama RHA (<http://www.edge.com/2000/Ppr0019/Ppr0019.htm>). Tujuannya adalah untuk menambah maun silika oksida dengan mengurangkan unsur karbon yang hadir dalam sampel dan juga membuang segala unsur yang tidak dikehendaki yang dikesan melalui analisis kimia. Kitaran pemanasan dilakukan di dalam udara di dalam oven pemanasan pada kadar pemanasan 10 °C/min. Setiap sampel dipanaskan pada

suhu maksimum (400, 500, 600 atau 700 °C) untuk selama 1, 3 atau 6 jam, sampel juga akan disejukkan di dalam oven pemanasan. Dari penyelidikan terdahulu, pembakaran sekam padi dilakukan pada suhu 400 °C sehingga 700 °C (Della et al., 2000). Suhu pemanasan dan masa adalah faktor-faktor penting untuk menentukan sama ada silika masih dalam keadaan amorfus atau telah bertukar ke dalam bentuk berhablur. Di sebalik suhu tinggi dan masa yang telah ditetapkan, struktur silika yang hadir dalam habuk masih kekal amorfus (Rajah 2.2 dan Rajah 2.3). Sepatutnya suhu yang diaplikasikan adalah di bawah 700 °C bagi mengelakkan sebarang perubahan bentuk dari amorfus ke bentuk berhablur. Ini adalah kerana pembakaran habuk untuk membuang unsur karbon yang mengambil masa yang panjang dan suhu yang tinggi akan menyebabkan unsur silika akan bertukar ke bentuk yang berhablur.

Kesimpulannya, struktur silika yang hadir dalam habuk yang dibakar pada suhu 700 °C selama 6 jam adalah amat sesuai kerana ianya masih dalam bentuk amorfus dan menghasilkan kandungan silika yang paling maksima iaitu 95%. Saiz purata partikel RHA selepas mengalami pembakaran pada suhu 700 °C selama 6 jam adalah di sekitar 33µm. Sebagai bahan mentah, RHA mewakili luas permukaan spesifik seluas 177 m<sup>2</sup>/g. Selepas pembakaran, luas permukaan spesifiknya berkurang kepada 54 m<sup>2</sup>/g. Pengurangan luas spesifik ini adalah berkadar langsung dengan suhu dan masa pembakaran. Kandungan karbon dianggarkan sebagai peratus kehilangan semasa pembakaran. Perubahan warna akan dikesan selepas pembakaran yang sempurna seperti mana perubahan struktur silika di dalam habuk. Bahan silika aktif diperolehi selepas pemanasan dan pengisaran akan digunakan bagi mengurangkan saiz partikel dan warna kelabu sebagai tanda amaun karbon yang amat kurang di dalam sampel. Amaun unsur karbon yang dikesan sebelum pembakaran adalah 18.6% dan selepas pembakaran pada suhu 700 °C selama 6 jam adalah 0.14% (Della et al., 2000).



**Rajah 2.2. Keamatan RHA sebelum pembakaran (Della et al., 2002)**

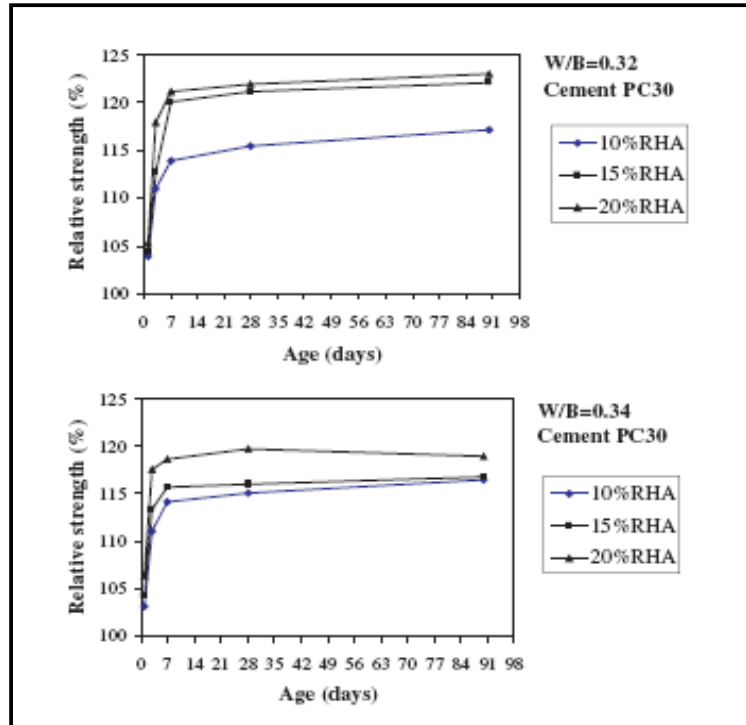


**Rajah 2.3. Keamatan RHA selepas pembakaran (Della et al., 2002)**

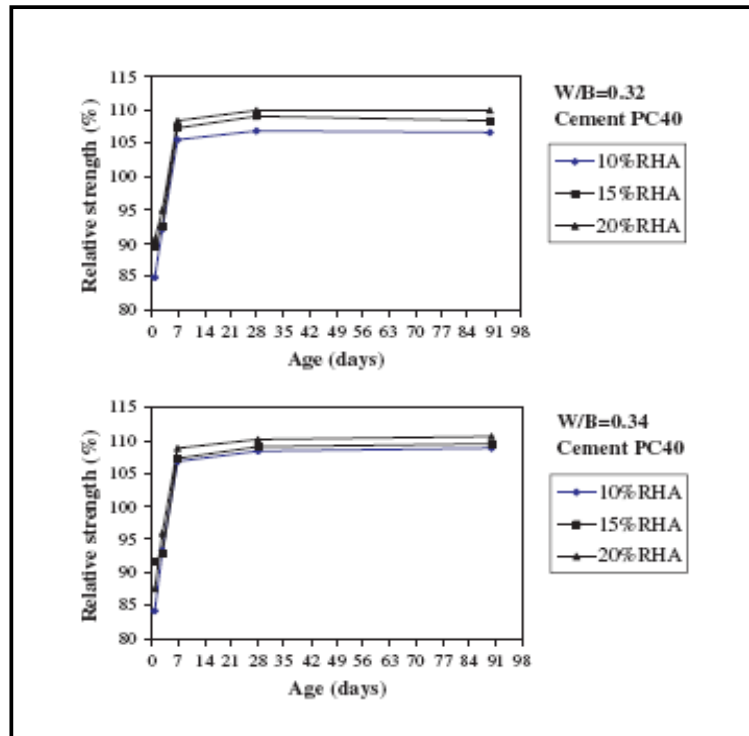
### 2.5 Pengaruh RHA Terhadap Kekuatan Mampatan Konkrit

Berdasarkan kepada konkrit menggunakan simen bergred 30 (PC30) dan bergred 40 (PC40), kekuatan mampatan campuran konkrit RHA adalah lebih tinggi daripada nilai untuk simen biasa berdasarkan nilai nisbah air kepada bahan pengikat dan usianya. Kandungan RHA yang tinggi boleh digunakan tanpa kehilangan sebarang tenaga. Penggunaan bahan superpemplastik diperlukan bagi mencapai campuran yang mempunyai ketahanan yang tinggi untuk jangka masa panjang. Rajah 2.4 menunjukkan nilai data kekuatan mampatan relatif yang mewakili nisbah nilai kekuatan mampatan

konkrit campuran RHA dengan nilai kekuatan mampatan konkrit biasa untuk PC30. Percampuran RHA meningkatkan kekuatan mampatan relatif pada semua usia dan selalunya ianya akan meningkat dalam 7 hari yang pertama. Dalam campuran konkrit RHA, unsur  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  akan terbentuk semasa penghidratan. Partikel RHA yang kecil meningkatkan kepadatan campuran simen dan akan mengurangkan liang-liang yang besar antara konkrit untuk membentuk mikrostruktur yang lebih homogenus. Campuran konkrit yang dibuat dengan simen PC40 mempunyai daya kekuatan yang lebih tinggi berbanding dengan PC30. Sebagai contoh, konkrit PC30 dengan kandungan simen  $500 \text{ kg/m}^3$  dan nisbah air kepada simen adalah 0.32 mampu menghasilkan daya kekuatan 59.6 MPa untuk 28 hari. Namun untuk konkrit PC40, nilainya bertambah kepada 85.7 MPa. Rajah 2.5 menunjukkan nilai kekuatan mampatan konkrit untuk RHA lebih rendah daripada simen biasa untuk 3 hari yang pertama. Nilai ini akan bertambah dari hari ke 7 dan seterusnya. Percampuran bahan RHA dengan simen PC40 menyediakan daya mampatan partikel yang rendah disebabkan oleh julat saiz partikel yang semakin mengecil. Simen PC40 adalah lebih halus, oleh itu campuran konkrit yang menggunakan simen ini akan mempunyai nilai kekuatan mampatan yang lebih tinggi (Bui et al., 2005).



Rajah 2.4. Kekuatan mampatan untuk konkrit PC30 dan RHA (Bui et al., 2005).



Rajah 2.5. Kekuatan mampatan untuk konkrit PC40 dan RHA (Bui et al., 2005).

Penambahan kekuatan konkrit RHA adalah jelas disebabkan oleh zon permukaan di antara agregat dan bahan pengikat. Disebabkan saiz partikel yang lebih besar, magnitud tindak balas adalah kurang daripada gas silika (Zhang et al. 1996). Menurut (<http://www.GolfConstructionOnline.com>) penggantian simen sebanyak 10% dengan bahan RHA akan mengurangkan liang-liang poros yang besar. Perubahan sistem liang yang terbuka kepada sistem liang yang tertutup akan memberi kesan yang lebih banyak kepada kadar resapan berbanding kekuatan bahan. Sumbangan mikrosilika (MS) atau RHA kepada kekuatan konkrit adalah kecil kepada dalam nisbah air-simen untuk campuran HPC (*high performance concrete*). Kekuatan yang tinggi bagi campuran HPC ini diperolehi daripada nisbah air-simen yang rendah yang diperolehi daripada penggunaan sukatan bahan superpemplastik yang tinggi. Bahan superpemplastik ini akan dicampur ke dalam campuran konkrit untuk membebaskan partikel halus campuran pozzolana. Tindakbalas pozzolana dengan gas silika akan menyumbang kepada kekuatan walaupun dengan amaun kecil bahan MS dan RHA yang digunakan (selalunya 5% hingga 8% daripada jisim simen) (<http://www.GolfConstructionOnline.com>).

## **2.6 Kesan Penggantian RHA Ke Atas Konkrit**

Percampuran RHA memberi kesan kepada konkrit untuk membolehkan konkrit mempunyai ciri-ciri yang sempurna untuk digunakan dalam industri pembangunan. Penambahan bahan RHA akan mempercepatkan masa pembentukan konkrit yang dikehendaki walaupun air diperlukan dalam kuantiti yang amat banyak untuk bahan OPC (Ordinary Portland Cement). Pada tahap penggantian sebanyak 35%, nilai kekuatan mampatan simen campuran dengan RHA akan meningkat disebabkan oleh kandungan peratusan silika yang tinggi. Simen campuran RHA juga lebih tahan tindak balas kimia daripada simen OPC. Ini disebabkan oleh unsur silika yang hadir dalam bahan RHA yang akan bergabung dengan kalsium hidroksida dan akan mengurangkan tindak balas asid ke atas konkrit. Bahan RHA lebih digunakan secara meluas dalam industri konkrit bagi persekitaran marin atau laut. Ini dilakukan dengan menggantikan simen Portland sebanyak 10% dengan bahan RHA bagi mengelak tindak balas klorida terhadap konkrit. Secara umumnya, konkrit yang dibuat daripada kombinasi simen Portland dan bahan RHA mempunyai kekuatan mampatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan konkrit biasa (Rice Husk Ash Market Study, ETSU U/00/00061/REP – DTI/Pub URN03/668).

## BAB 3

### METODOLOGI KAJIAN

#### 3.1 Penyediaan Bahan

Hampir 70-80% kandungan konkrit terdiri daripada agregat. Mutu agregat mempengaruhi kekuatan dan ketahanan lasakan konkrit. Agregat kasar yang digunakan adalah dengan saiz 20 mm. Saiz agregat yang maksimum yang sesuai adalah bersaiz 10 mm kerana saiz kuib adalah 100 mm. Agregat yang banyak terdapat di makmal adalah bersaiz maksimum 20 mm. Oleh itu campuran dibuat dengan menggunakan agregat 20 mm berdasarkan Kaedah Jabatan Alam Sekitar United Kingdom (Zakaria, 1992).

Simen merupakan antara bahan paling penting dalam campuran konkrit. Oleh itu pemilihan jenis simen mempengaruhi ciri-ciri kekuatan konkrit. Bagi kajian ini, simen yang digunakan adalah dari jenis '*Ordinary Portland Cement*', (OPC). Ini kerana simen jenis ini banyak dihasilkan oleh kilang-kilang tempatan kerana kegunaannya paling meluas, juga baik untuk bancuhan konkrit.

Sebanyak lima campuran telah dibuat iaitu campuran yang tidak mengandungi RHA sebagai campuran kawalan (OPC) dan yang mengandungi peratus gantian simen dengan RHA 5% (RHA 5), 10% (RHA 10), 15% (RHA 15) dan 20% (RHA 20). Nisbah air-simen yang digunakan untuk kesemua campuran agregat tersebut ialah 0.33. Kuantiti keseluruhan untuk simen, RHA, air, agregat kasar, agregat halus dan bahan superplastik seperti dalam Jadual 3.1. Agregat-agregat ini dikeringkan di dalam makmal terlebih dahulu sebelum digunakan.

**Jadual 3.1. Kuantiti keseluruhan bancuhan untuk simen, air, RHA, agregat kasar, agregat halus dan bahan superpemplastik.**

Perkara	Jisim ( kg )
Simen	51.75
Air	19.00
RHA	5.75
Agregat Kasar	138.00
Agregat Halus	61.50
Bahan Superpemplastik	2.30

Memandangkan RHA yang telah siap diproses tidak berada di pasaran, maka sekam padi (Rajah 3.1) telah digunakan dan selepas proses pengkalsinan dilakukan di makmal, abu sekam padi didapati (Rajah 3.2). Sekam padi ini diperolehi daripada kilang beras di Parit Buntar, Perak. Selepas dibakar ia dikisar dengan menggunakan alat pengisar yang sesuai untuk mendapatkan RHA yang lebih halus.



**Rajah 3.1 Sekam padi**



**Rajah 3.2 Abu sekam padi**

### **3.2 Penghasilan RHA**

RHA yang dihasilkan daripada karbon sekam padi (RHC) adalah satu produk buangan sekam padi yang telah dibakar sebagai bahan api di dalam pendidih pada suhu 1000 °C untuk 1 minit. RHC diperolehi daripada kilang beras di Parit Buntar, Perak dan di bakar dalam relau elektrik pada kadar pemanasan 20 °C per minit hingga 600 °C dan dikekalkan pada suhu ini selama 4 jam dan kemudian disejukkan kepada suhu bilik. Abu yang terhasil akan dikisar dalam mesin pengisar bebola selama 2 jam untuk mendapatkan kehalusan yang sama dengan keperluan kehalusan OPC di mana 18% adalah tertahan pada ayak bersaiz 45 µm sebagaimana diterangkan oleh BS 3892 : Bahagian 1 : 1982. Simen Portland Biasa (OPC) yang digunakan adalah dihasilkan oleh Kedah Cement Malaysia Bhd. Komposisi kimia (melalui analisis XRF), ketumpatan dan keluasan permukaan spesifik (SSA) (melalui pensaizan Malven 2000) untuk RHA dan OPC. Pasir sungai tempatan (53% melepasi ayak 600 µm) dan agregat batuan granit biru yang telah dihancurkan (melepasi ayak 20 mm) digunakan sebagai agregat halus dan kasar.

### 3.3 Ujian Analisis Ayak untuk Agregat Halus

Ujian analisis ayak merupakan ujian terpenting sebelum hendak merekabentuk campuran. Bagi tujuan penyelidikan, ujian analisis dilakukan untuk agregat halus sahaja. Ayakan ini dimulakan dengan mengambil agregat melalui proses ‘*quartering*’ supaya sampel mewakili longgokan agregat yang ingin digunakan. Analisis ini dilakukan mengikut piawaian BS 882 : 1983. Ujian ini bertujuan untuk menentukan pembahagian saiz agregat halus. Saiz bukaan ayak ialah 10.00 mm, 5.00 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 600  $\mu\text{m}$  dan 150  $\mu\text{m}$  (Rajah 3.3). Daripada kurang lebih 2 kg sampel pasir, sebanyak 500 g sampel didapatkan dengan menggunakan pemisah sampel. Sampel ditimbang kepada 0.1 g terhampir.

Sebelum ayakan, jisim setiap ayak ditimbang. Ayak-ayakan diaturkan mengikut susunan yang betul dan diletakkan di atas penggoncang ayak. Sampel dimasukkan kedalam ayak dan diayak selama 5 minit. Pasir yang terdapat di dalam tiap-tiap ayak dan dulang (pan) ditimbang. Jika jumlah jisim sampel yang telah diayak berbeza daripada jisim asal lebih dari 1 % ujian keatas sampel yang lain perlu dijalankan. Peratusan sampel yang melepasi tiap-tiap ayak dikira.



**Rajah 3.3. Ayak-ayakan yang digunakan.**

### 3.4 Graviti Tentu dan Penyerapan Pasir

Graviti tentu sesuatu bahan adalah nisbah unit berat bahan tersebut berbanding dengan unit berat air. Memandangkan agregat boleh menyerap air, graviti tentunya bergantung kepada kandungan lembapannya. Nilai ini perlu diperolehi untuk tujuan rekabentuk campuran. Analisis ini dilakukan mengikut piawaian BS 812 : Part 2 :1975. Bagi ujian ini, ia dimulakan dengan menimbang piknometer semasa kosong dan apabila penuh dengan air suling. Kemudian lebih kurang 500 gram sampel pasir yang telah direndam selama 24 jam dimasukkan ke dalam piknometer dan dipenuhkan dengan air suling dan didapatkan jisimnya (B). Air dibuang dan sampel pasir dimasukkan ke dalam tray. Sampel diselerakkan dan dikeringkan menggunakan pengering rambut sehingga keadaan permukaan kering tepu didapati. Keadaan ini ditentukan dengan memasukan sampel ke dalam acuan kon dan dipadatkan 25 kali dengan rod pematat. Jika terdapat lembapan yang berlebihan, pasir tersebut akan mengekalkan bentuknya bila acuan diangkat. Keadaan permukaan kering tepu didefinisikan sebagai keadaan di mana pasir mula menurun apabila acuan diangkat. Sampel dan tray ditimbang dan jisim sampel pada keadaan permukaan kering tepu (A) didapatkan. Sampel dimasukkan ke dalam oven pada suhu  $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  selama 24 jam dan jisim sampel selepas dikeringkan (D) didapatkan. Graviti tentu dikira dengan menggunakan formula-formula berikut:

$$\begin{array}{l} \text{Graviti tentu pukal} \\ \text{(oven dried)} \end{array} = \frac{D}{A - (B - C)} \quad (3.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Graviti tentu pukal} \\ \text{(saturated surface dried)} \end{array} = \frac{A}{A - (B - C)} \quad (3.2)$$

$$\text{Graviti tentu ketara} = \frac{D}{D - (B - C)} \quad (3.3)$$

$$\text{Peratusan penyerapan} = \frac{(A - D)}{D} \quad (3.4)$$

### 3.5 Ujian Kandungan Kelodak Untuk Pasir

Tujuan ujian ini adalah untuk menganggarkan jumlah kelodak yang ada dalam sesuatu sampel pasir. 50 ml air yang mengandungi 1% garam dimasukkan kedalam silinder penyukat 250 ml dan pasir ditambahkan ke dalam silinder penyukat tersebut sehingga paras air mencapai paras 100 ml. Larutan air garam ditambahkan hingga mencapai paras 150 ml. Mulut silinder ditutup dengan tapak tangan dan digoncang dengan kuat serta dipusingkan beberapa kali. Campuran pasir dan air garam dibiarkan mendap selama 3 jam. Ketinggian lapisan kelodak dan lapisan pasir diukur selepas 3 jam. Kandungan kelodak dikira menggunakan formula berikut,

$$\text{Kandungan kelodak} = \frac{\text{Tinggi lapisan kelodak}}{\text{Tinggi lapisan pasir}} \times 100 \quad (3.5)$$

### 3.6 Ujian Analisis Ayak untuk Agregat Kasar

Tujuan ujian ini adalah untuk menunjukkan kaedah-kaedah bagi menentukan ciri-ciri fizikal agregat kasar yang diperlukan di dalam reka bentuk campuran konkrit. Analisis ini dilakukan mengikut piawaian BS 882 : 1983. Ia juga untuk menentukan pembahagian saiz agregat kasar. Saiz bukaan ayak ialah 37.50 mm, 20.00 mm, 14.00 mm, 10.00 mm, 5.00 mm dan 2.36 mm. Daripada kurang lebih 10 kg sampel agregat,

kurang lebih 2 kg agregat didapatkan dengan menggunakan pemisah sampel. Sampel ditimbang kepada 0.1 gram terhampir.

Sebelum ayakan, jisim setiap ayak ditimbang. Ayak-ayakan diaturkan mengikut susunan yang betul dan diletakkan di atas penggongcang ayak. Sampel dimasukkan ke dalam ayak dan diayak selama 5 minit. Sampel yang terdapat di dalam tiap-tiap ayak dan dulang (pan) ditimbang. Jika jumlah jisim sampel yang telah diayak berbeza daripada jisim asal lebih dari 1% ujian keatas sampel yang lain perlu dijalankan. Peratusan sampel yang melepasi tiap-tiap ayak dikira.

### **3.7 Ujian Graviti Tentu Agregat Kasar**

Graviti tentu sesuatu bahan adalah nisbah unit berat bahan tersebut berbanding dengan unit berat air. Memandangkan agregat boleh menyerap air, graviti tentunya bergantung kepada kandungan lembapannya. Nilai ini perlu diperolehi untuk tujuan rekabentuk campuran. Bagi ujian ini, ia dimulakan dengan membasuh sampel bertujuan untuk membuang partikel-partikel halus dan debu. Sampel direndam selama 24 jam pada suhu bilik. Kemudian sampel yang direndam tadi dimasukkan kedalam raga dawai dan ditenggelamkan di dalam air. Pada ketika ini, raga dipastikan berada 50 mm dibawah permukaan air. Udara yang terperangkap dibuang dengan mengangkat dan menjatuhkan raga 25 kali pada kadar 1 jatuhan sesaat. Semasa operasi ini, raga dan agregat mestilah berada di bawah permukaan air. Raga yang berisi agregat ketika tenggelam di dalam air ditimbang ( $W_1$ ).

Agregat dikeluarkan dan dikeringkan kepada keadaan permukaan kering tepu menggunakan kain. Raga (tanpa agregat) ketika tenggelam di dalam air ditimbang ( $W_2$ ). Agregat yang berkeadaan permukaan kering tepu dimasukkan ke dalam dulang dan ditimbang ( $W_3$ ). Dulang yang berisi agregat dimasukkan ke dalam oven pada suhu

105 ± 5 °C selama 24 jam. Dulang dan agregat dikeluarkan daripada oven dan ditimbang (W<sub>4</sub>). Dulang dikosongkan dan jisim dulang didapatkan (W<sub>5</sub>). Graviti tentu dikira dengan menggunakan formula-formula berikut:

$$\begin{aligned} \text{Graviti Tentu} &= \frac{(W_4 - W_5)}{[(W_3 - W_5) - (W_1 - W_2)]} & (3.6) \\ (\text{oven - dried}) & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Graviti tentu} &= \frac{(W_3 - W_5)}{[(W_3 - W_5) - (W_1 - W_2)]} & (3.7) \\ (\text{Saturated Surface Dried}) & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Graviti Tentu Ketara} &= \frac{(W_4 - W_5)}{[(W_4 - W_5) - (W_1 - W_2)]} & (3.8) \\ & & \end{aligned}$$

### 3.8 Ujian Nilai Hentaman Agregat (AIV)

Tujuan ujian ini adalah untuk menentukan nilai hentaman agregat yang diperlukan di dalam reka bentuk campuran bagi kegunaan-kegunaan pengkonkritan yang berlainan. Apabila nilai hentaman agregat meningkat, kekuatan mampatan konkrit turut meningkat. Ini kerana konkrit adalah agregat yang telah digredkan dan telah diuji melalui ujian hentaman yang mana mempunyai susunan partikel yang lebih padat dan seterusnya dapat hasilkan konkrit yang lebih tumpat. Ujian ini dilakukan mengikut piawaian BS 812 : Part 112 : 1990.

Kerja-kerja pengkonkritan di mana agregat yang diuji sesuai digunakan ialah 25% digunakan dalam kerja pelantaian, 30% digunakan dalam kerja '*wearing surface*', dan 45% lagi di gunakan dalam kerja-kerja yang lain. Ujikaji dijalankan dengan mengambil sampel agregat yang di ayak menggunakan ayak 14 mm dan 10 mm.

Sampel agregat mestilah dikeringkan di dalam oven tidak lebih 4 jam pada suhu  $105 \pm 5$  °C. Agregat yang diuji mestilah melepasi ayak 14 mm dan bertahan pada ayak 10 mm. Kemudian sampel di masukkan ke dalam penyukat dalam tiga tokokan yang sama. Setiap lapisan di padatkan dengan 25 kali tujahan menggunakan rod keluli 10 mm yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 50 mm daripada permukaan sampel. Permukaan sampel diratakan menggunakan rod keluli. Agregat yang berlebihan dibuang dan tambah di mana perlu. Mangkuk keluli dipasangkan dengan kemas pada alatan dan agregat di masukkan ke dalam mangkuk dan di padatkan dengan 25 kali tujahan menggunakan rod keluli. Ketinggian pengetuk di araskan supaya permukaan bawahnya berada  $350 \pm 5$  mm daripada permukaan sampel. Pengetuk di jatuhkan secara bebas sebanyak 15 kali jatuhan. Kemudian sampel di keluarkan daripada mangkuk keluli menggunakan pengetuk getah dan di masukkan ke dalam dulang. Berus bristle yang disediakan digunakan bagi memastikan semua sampel dikeluarkan. Sampel ditimbang kepada 0.1 g terhampir ( $M_1$ ). Sampel di ayak menggunakan ayak 2.36 mm sehingga tiada sampel yang boleh melepasi ayak tersebut. Sampel yang melepasi ayak ( $M_2$ ) dan yang tertahan ( $M_3$ ) di timbang kepada 0.1g terhampir. Jika jumlah jisim ( $M_2 + M_3$ ) berbeza daripada  $M_1$  (jisim asal) lebih daripada 1 g keputusan diabaikan dan ujian ke atas sampel yang lain dijalankan.

### **3.9 Ujian Nilai Pecahan Agregat (ACV)**

Ujikaji ini penting dalam menentukan nilai pecahan agregat yang diperlukan di dalam reka bentuk campuran bagi kegunaan-kegunaan pengkonkritan yang berlainan. Ujikaji ini dilakukan mengikut piawaian BS 812 : Part 110 : 1983. Secara umumnya nilai ACV yang tinggi akan menyebabkan kekuatan mampatan konkrit bertambah. Ini dapat diterangkan melalui sifat keliangan agregat yang diuji. Agregat yang kurang