



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KUAT TEKAN BETON NORMAL MUTU RENDAH  
YANG MENGANDUNG ABU SEKAM PADI (*RHA*) DAN  
LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*)**

**SKRIPSI**

**WAHYU DWI CAHYADI**

**09 06 605 864**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KUAT TEKAN BETON NORMAL MUTU RENDAH  
YANG MENGANDUNG ABU SEKAM PADI (*RHA*) DAN  
LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*)**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**WAHYU DWI CAHYADI**

**09 06 605 864**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
2012**



**UNIVERSITY OF INDONESIA**

**THE STUDY ON COMPRESSIVE STRENGTH OF NORMAL  
CONCRETE CONTAINING RICE HUSK ASH (*RHA*) AND  
CONCRETE SLUDGE WASTE (*CSW*)  
DESIGNED FOR LOW STRENGTH**

**UNDERGRADUATE THESIS**

**Proposed As One Of Terms For Getting Bachelor Degree Engineering**

**WAHYU DWI CAHYADI  
09 06 605 864**

**FACULTY OF ENGINEERING  
PROGRAM STUDY OF CIVIL ENGINEERING  
DEPOK  
JULY 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi Ini Adalah Hasil Karya Saya Sendiri,  
Dan Semua Sumber Baik Yang Dikutip Maupun Dirujuk  
Telah Saya Nyatakan Dengan Benar.**

**Nama : Wahyu Dwi Cahyadi**

**NPM : 09 06 605 864**

**Tanda Tangan :** 

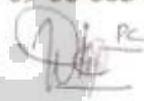
**Tanggal : 6 Juli 2012**

**PAGE OF ORIGINALITY STATEMENT**

**This undergraduate final project is my own research,  
and all source either quoted or referred  
have already stated correctly**

**Name : Wahyu Dwi Cahyadi**

**NPM : 09 06 605 864**

**Signature : **

**Date : 6 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Ini Diajukan Oleh :  
Nama : Wahyu Dwi Cahyadi  
NPM : 09 06 605 864  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah Yang Mengandung Abu Sekam Padi (*RHA*) dan Limbah Adukan Beton (*CSW*)

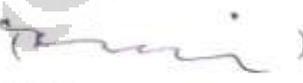
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc., Ph.D

()

Pembimbing II : Ir. Madsuri, MT.

()

Penguji I : Ir. Setyo Supriyadi

()

Penguji II : Chatarina Niken Dwi W.S.B.U

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

## LEGITIMATION PAGE

The final project is submitted by :  
Name : Wahyu Dwi Cahyadi  
NPM : 09 06 605 864  
Majority : Civil Engineering  
Final Project Title : The Study on Compressive Strength of  
Normal Concrete Containing Rice Husk  
Ash (*RHA*) and Concrete Sludge Waste  
(*CSW*) Designed for Low Strength

Has been successfully defended before the Council Prober and was accepted as part of the requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering Degree in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

### COUNCIL PROBER

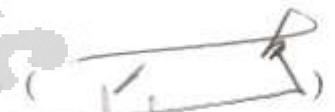
Advisor I : Ir. Essy Arijoeni, M.Sc., Ph.D

()

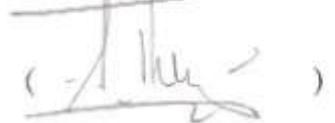
Advisor II : Ir. Madsuri, MT.

()

Prober I : Ir. Setyo Supriyadi

()

Prober II : Chatariņa Niken Dwi W.S.B.U

()

Be Appointed at : Depok

Date : 6 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, ridho, dan karunia-Nya, akhirnya dengan segenap usaha dan kerja keras penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai syarat kelulusan Program Pendidikan Sarjana Ekstensi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia (PPSE-DTS-FTUI).

Dalam menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bantuan, baik materil maupun spirituil dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini kami menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya.
2. Teristimewa, kepada kedua orang tua saya tercinta Bapak dan Ibu, serta kakak saya yang telah memberikan doa, bantuan, dorongan semangat dan pengertian yang tulus, baik material dan spiritual, sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Essy Ariyuni PhD dan Bapak Ir. Madsuri MT selaku dosen pembimbing saya, yang telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
4. Dwi Retno Fatmawati, yang senantiasa membantu, menemani, dan memberikan nasehat serta semangat yang sangat berarti sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai sesuai dengan waktunya.
5. Teman-teman seperjuanganku dalam skripsi ini, Andi, Marchin, Imam, Arya, Vian, Dika, dan Sheba yang telah berjuang bersama dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
6. Dosen Penguji, atas saran dan kritiknya sehingga terselesaikan penulisan skripsi ini.
7. Bapak Bibin dan keluarga beserta staff PT. Hakiki yang banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

8. PT Holcim, Tbk yang sudah membantu saya dalam penyediaan bahan limbah sisa adukan beton siap pakai sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
9. Bapak Topa, selaku rekan saya di PT. Holcim, Tbk yang sudah banyak membantu dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
10. Prof. Irwan Katili selaku Kepala Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
11. Bapak Ir. Heddy Rohandi Agah M.Eng. selaku Pembimbing Akademik selama kuliah.
12. Semua staff laboratorium Universitas Indonesia (Pak Apri, Pak Agus, Pak Soni Pak Djaelani, Pak Hanafi, Pak Idris dll), dosen-dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTS-FTUI) yang banyak membantu dalam memberi ilmu dan masukan baik selama kuliah maupun skripsi ini sendiri yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
13. Semua teman-teman sekelas Teknik Sipil Ekstensi 2009 FTUI yang satu perjuangan dan satu penderitaan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
14. Pihak-pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan naskah Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta masyarakat luas, khususnya di Indonesia.

Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wahyu Dwi Cahyadi  
NPM : 09 06 605 864  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah  
Yang Mengandung Abu Sekam Padi (RHA)  
dan Limbah Adukan Beton (CSW)**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 6 Juli 2012  
Yang Menyatakan



(Wahyu Dwi Cahyadi)

## ABSTRAK

Nama : Wahyu Dwi Cahyadi  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Kuat Tarik Beton Normal Mutu Rendah Dengan Campuran Abu Sekam Padi (*RHA*) dan Limbah Adukan Beton (*CSW*)

Skripsi ini membahas tentang penggunaan Abu Sekam Padi (*RHA*) sebagai bahan substitusi perekat semen dan penggunaan Limbah Adukan Beton (*CSW*) sebagai agregat halus untuk mengurangi penggunaan jumlah pasir pada beton. Penelitian dilakukan dengan membuat *mix design* dari beton normal  $f_c' 25$  MPa dan dikembangkan pada lima variasi campuran dengan jumlah *CSW* 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dengan penggunaan *RHA* tetap yaitu 8% dari total pemakaian semen. Sifat mekanis beton yang diuji meliputi: kuat tekan, modulus elastisitas, densitas, dan permeabilitas. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari terhadap lima benda uji pada setiap umur pengujian. Pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas nilai optimum terjadi pada campuran dengan jumlah *CSW* 30%, sedangkan prosentase susut terbesar terjadi pada beton dengan campuran *CSW* 70%. Dari penelitian ini diharapkan beton dengan campuran *RHA* dan *CSW* menghasilkan mutu sesuai yang direncanakan dan dapat diaplikasikan untuk produk paving blok.

Kata Kunci : Abu Sekam Padi, Limbah Adukan Beton, Kuat Tekan Beton, Modulus Elastisitas metode UPV, Densitas, Permeabilitas

## ABSTRACT

Name : Wahyu Dwi Cahyadi  
Study Program : Civil Engineering  
Title : The Study on Compressive Strength of Normal Concrete Containing Rice Husk Ash (RHA) and Concrete Sludge Waste (CSW) Designed for Low Strength

The focus of the study is observing the use of Rice Husk Ash (RHA) as a substitute of portland cement and Concrete Sludge Waste (CSW) to reduce of sand in concrete. Refers to the mix design of normal concrete  $f_c' 25$  MPa the mechanical properties tested in five variations with a percentage of CSW 30%, 40%, 50%, 60%, 70% and using fixed number 8% of RHA. The concrete were tested in compressive strength, modulus of elasticity, density, and permeability at the age of 3, 7, 14, 21, 28, 56 and 90 days for five specimens at each age of test. From the testing of compressive strength, modulus of elasticity obtained an optimum number of CSW 30%. And the largest percentage of shrinkage occurred in CSW 70%. From the result has been obtained, the concrete with RHA and CSW produce quality as planned and can be applied to block paving products. could be applied to the road pavement.

Key words : Rice Husk Ash, Concrete Sludge Waste, Compressive Strength, Modulus of Elasticity, Density, Permeability

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Hipotesa .....	5
1.5 Metode Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Beton .....	7
2.1.1 Kelebihan Beton .....	8
2.1.2 Kekurangan Beton .....	8
2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton .....	8
2.2 Beton Segar .....	9
2.2.1 Sifat –sifat Beton Segar .....	9
2.3 Beton Keras .....	10
2.3.1 Kuat Tekan Beton .....	10
2.3.2 Modulus Elastisitas Metode UPV .....	12
2.3.3 Permeabilitas .....	13
2.3.4 Densitas .....	14
2.4 Semen Portland Komposit .....	16
2.5 Air .....	20

2.6	Agregat Halus .....	21
2.7	Agregat Kasar .....	22
2.8	Abu Sekam Padi .....	23
2.9	Limbah Beton .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	Rancangan Penelitian .....	29
3.2	Diagram Alir Metode Penelitian .....	32
3.3	Pengujian Agregat Kasar .....	33
3.3.1	Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air .....	33
3.3.2	Uji Berat Isi .....	34
3.3.3	Uji Analisa Ayak .....	36
3.3.4	Uji Kadar Air .....	37
3.3.5	Uji Kadar Lumpur .....	38
3.4	Pengujian Agregat Halus .....	39
3.4.1	Uji Berat Jenis .....	39
3.4.2	Uji Berat Isi .....	40
3.4.3	Uji Analisa Ayak .....	42
3.4.4	Uji Kadar Air .....	43
3.4.5	Uji Kadar Lumpur .....	44
3.5	Pengujian Limbah Beton .....	45
3.5.1	Uji Analisa Ayak .....	45
3.5.2	Uji Berat Jenis .....	46
3.5.3	Uji XRF .....	48
3.5.4	Uji PSA .....	48
3.5.5	Uji SEM .....	49
3.6	Pengujian Beton Segar .....	50
3.6.1	Pembuatan Benda Uji .....	50
3.6.2	Uji Slump .....	52
3.6.3	Uji Berat Isi Beton .....	53
3.6.4	Uji Waktu Ikat Awal .....	54
3.7	Pengujian Beton Keras .....	55
3.7.1	Uji Kuat Tekan Beton .....	55

3.7.2 Uji Modulus Elastisitas .....	57
3.7.3 Uji Permeabilitas .....	58
3.7.4 Uji Densitas .....	59
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA .....</b>	<b>62</b>
4.1 Pengujian Agregat Halus .....	64
4.1.1 Uji Karakteristik Pasir Alam .....	64
4.1.1.1 Berat Jenis .....	64
4.1.1.2 Berat Isi .....	65
4.1.1.3 Kadar Air .....	66
4.1.1.4 Kadar Lumpur .....	66
4.1.1.5 Analisa Ayak .....	67
4.1.2 Uji Karakteristik CSW dan RHA .....	68
4.1.2.1 Berat Jenis dan Berat Isi CSW .....	68
4.1.2.2 Analisa Ayak CSW .....	70
4.1.2.3 Kadar Lumpur CSW .....	71
4.1.2.4 Uji XRF CSW .....	71
4.1.2.5 Uji PSA CSW .....	72
4.1.2.6 Kadar Air CSW .....	73
4.1.2.5 Analisa Ayak RHA .....	74
4.2 Pengujian Agregat Kasar .....	75
4.2.1 Berat Jenis .....	75
4.2.2 Berat Isi .....	75
4.2.3 Kadar Air .....	76
4.2.4 Analisa Ayak .....	77
4.3 Pembuatan Mix Design .....	78
4.4 Hasil Pengujian Beton Segar .....	83
4.4.1 Faktor Air Semen .....	83
4.4.2 Uji Slump .....	84
4.4.3 Berat Isi .....	86
4.4.4 Waktu Ikat Awal .....	87
4.5 Hasil Pengujian Beton Keras .....	89
4.5.1 Kuat Tekan .....	89

4.5.1.1 Kuat Tekan Beton Normal .....	90
4.5.1.2 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 121 .....	91
4.5.1.3 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 122 .....	92
4.5.1.4 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 123 .....	93
4.5.1.5 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 124 .....	94
4.5.1.6 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 125 .....	95
4.5.1.7 Perbandingan Kuat Tekan Gabungan .....	96
4.5.2 Modulus Elastisitas .....	103
4.5.3 Permeabilitas .....	106
4.5.4 Densitas .....	107
4.6 Analisa Hasil Pengujian Beton Keras .....	109
4.6.1 Analisa Hasil Uji Kuat Tekan .....	109
4.6.2 Analisa Hasil Uji Modulus Elastisitas .....	110
4.6.3 Analisa Hasil Uji Permeabilitas .....	112
4.6.4 Analisa Hasil Uji Densitas .....	112
4.6.5 Analisa Hasil Uji SEM .....	113
4.7 Pengaruh CSW Pada Masing – masing Pengujian Beton Keras .....	115
4.7.1 Pengaruh CSW Terhadap Kuat Tekan .....	115
4.7.2 Pengaruh CSW Terhadap Modulus Elastisitas .....	116
4.7.3 Pengaruh CSW Terhadap Permeabilitas .....	117
4.7.4 Pengaruh CSW Terhadap Densitas .....	118
4.8 Pemanfaatan Beton Campuran Untuk Bahan Bangunan .....	120
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>121</b>
5.1 Kesimpulan .....	121
5.2 Saran .....	122
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxii</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>xxiv</b>

## DAFTAR TABEL

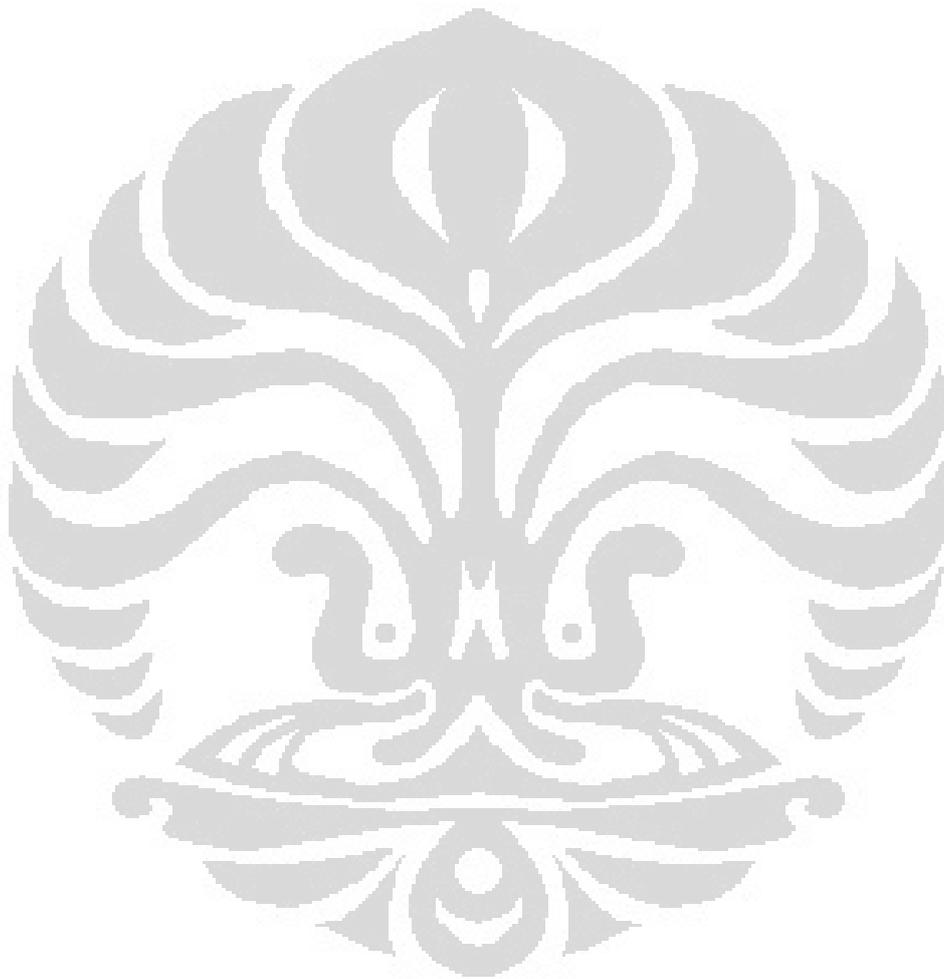
Tabel 2. 1 Ukuran Benda Uji Kuat Tekan Menurut SK SNI M - 62 - 1990 – 0311	
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya .....	18
Tabel 2. 3 Syarat fisika semen portland komposit .....	19
Tabel 2. 4 Hasil uji Particle Size Analysis (PSA) limbah beton.....	27
Tabel 2. 5 Komposisi senyawa kimia yang dikandung limbah beton (CSW) ...	28
Tabel 3. 1 Komposisi campuran beton yang akan di buat dalam penelitian.....	29
Tabel 3. 2 Kebutuhan volume beton untuk pembuatan benda uji.....	30
Tabel 3. 3 Macam – Macam Wadah Baja Silinder.....	34
Tabel 3. 4 Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Kasar .....	37
Tabel 3. 5 Macam – Macam Wadah Baja Silinder.....	41
Tabel 3. 6 Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Halus .....	44
Tabel 4. 1 Prosentase komposisi bahan pada masing – masing varisasi beton campuran .....	63
Tabel 4. 2 Hasil Uji Berat Jenis pada material pasir alam.....	64
Tabel 4. 3 Hasil uji berat isi lepas pada material pasir alam .....	65
Tabel 4. 4 Hasil uji berat isi padat pada material pasir alam.....	65
Tabel 4. 5 Hasil uji kadar air pada material pasir alam .....	66
Tabel 4. 6 Hasil uji kadar lumpur.....	66
Tabel 4. 7 Analisa uji ayak material pasir alam .....	67
Tabel 4. 8 Hasil analisa uji ayak material pasir alam masuk Zona 2 .....	67
Tabel 4. 9 Rekap hasil uji fisis dan mekanis pada pasir alam.....	68
Tabel 4. 10 Hasil uji berat jenis CSW .....	68
Tabel 4. 11 Hasil uji berat isi lepas CSW .....	69
Tabel 4. 12 Hasil uji berat isi padat .....	69
Tabel 4. 13 Hasil uji ayak CSW .....	70
Tabel 4. 14 Hasil uji kadar lumpur material CSW .....	71
Tabel 4. 15 Hasil uji XRF pada bahan CSW .....	72
Tabel 4. 16 Hasil uji PSA pada bahan CSW .....	72

Tabel 4. 17 Hasil uji kadar air pada bahan CSW .....	73
Tabel 4. 18 Pengujian analisa ayak Rice Husk Ash (sumber: skripsi Abdul latief, 2011) .....	74
Tabel 4. 19 Hasil uji berat jenis material split .....	75
Tabel 4. 20 Hasil uji berat isi lepas material split .....	75
Tabel 4. 21 Hasil uji berat isi padat material split.....	76
Tabel 4. 22 Hasil uji kadar air split .....	76
Tabel 4. 23 Hasil uji analisa ayak material split .....	77
Tabel 4. 24 Hasil analisa uji ayak material pasir alam masuk ASTM Standard C33-78 (19,0 – 4,75 mm).....	77
Tabel 4. 25 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air-Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa dipakai di Indonesia .....	78
Tabel 4. 26 Perkiraan kadar air bebas ( $\text{kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan beton .....	80
Tabel 4. 27 Perencanaan Campuran Beton Normal .....	81
Tabel 4. 28 Volume kebutuhan material dalam 1 x adukan molen.....	82
Tabel 4. 29 Volume total kebutuhan benda uji beton.....	82
Tabel 4. 30 Volume kebutuhan total material untuk campuran beton.....	83
Tabel 4. 31 FAS rata – rata pada setiap campuran beton .....	83
Tabel 4. 32 Hasil rekap pengujian beton segar .....	84
Tabel 4. 33 Rekap hasil pengujian ikat awal.....	89
Tabel 4. 34 Kuat tekan rata – rata beton normal mutu rendah $f_c'$ 25 MPa.....	90
Tabel 4. 35 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 121.....	91
Tabel 4. 36 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 122.....	92
Tabel 4. 37 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 123.....	93
Tabel 4. 38 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 124.....	94
Tabel 4. 39 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 125.....	95
Tabel 4. 40 Rekap hasil uji kuat tekan beton masing – masing campuran .....	96
Tabel 4. 41 Hasil uji ME metode UPV.....	105
Tabel 4. 42 Koefisien rata – rata dalam penentuan modulus elastisitas beton campuran RHA dan CSW .....	106

Tabel 4. 43 Rekap hasil uji permeabilitas masing – masing variasi beton campuran ..... 106

Tabel 4. 44 Rekap hasil uji densitas pada masing – masing variasi beton campuran ..... 108

Tabel 4. 45 Klasifikasi mutu beton paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996 ..... 119

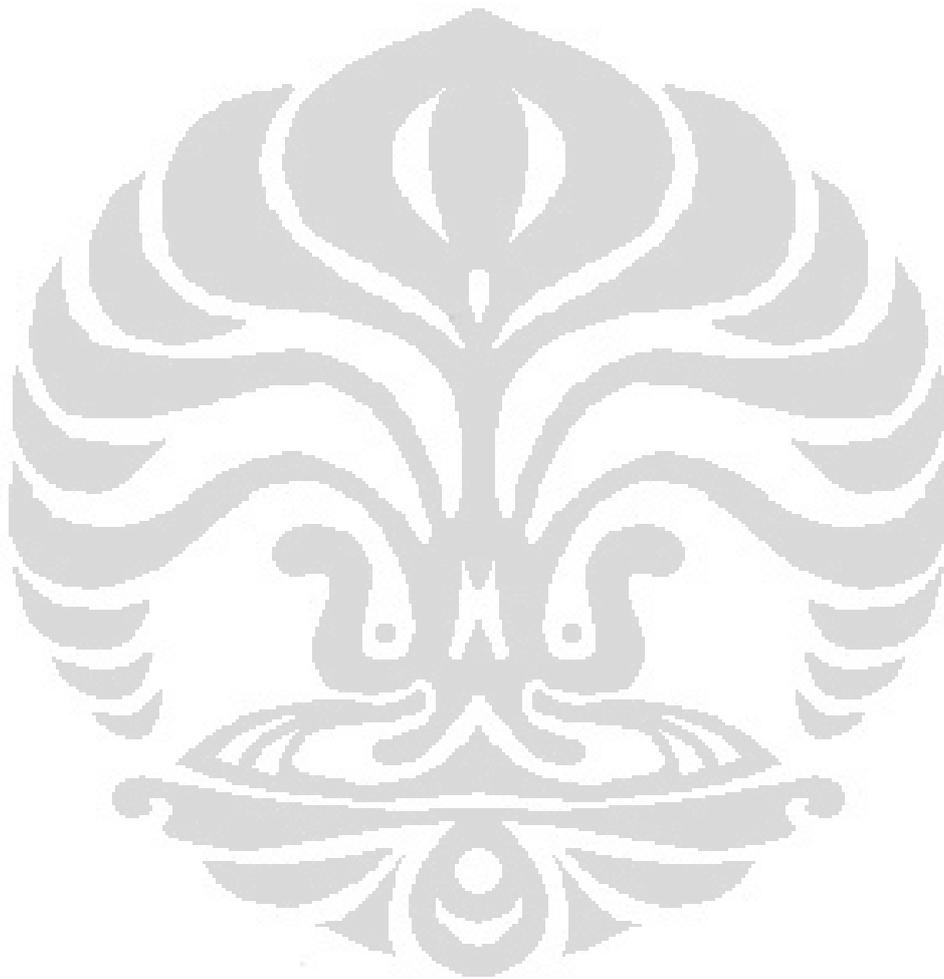


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses pembuatan abu sekam padi .....	24
Gambar 2. 2 Keseluruhan proses pembakaran abu sekam padi .....	24
Gambar 2. 3 Grafik histogram hasil penelitian pendahuluan kuat tekan CRHA ( campuran semen + RHA ) pada umur 28 hari.....	25
Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi penelitian.....	32
Gambar 4. 1 Grafik gradasi hasil analisa uji ayak material pasir alam (berdasarkan SK SNI S – 04 –1989-F).....	67
Gambar 4. 2 Grafik Gradasi material CSW hasil analisa uji ayak.....	70
Gambar 4. 3 Grafik ukuran butiran CSW hasil uji PSA.....	73
Gambar 4. 4 Pengujian analisa ayak Rice Husk Ash (RHA).....	74
Gambar 4. 5 Gradasi hasil uji analisa ayak material split.....	78
Gambar 4. 6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm).....	79
Gambar 4. 7 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm.....	80
Gambar 4. 8 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan.....	80
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan FAS pada setiap campuran beton.....	84
Gambar 4. 10 Gambar Nilai Slump rata – rata pada masing – masing campuran beton.....	85
Gambar 4. 11 Grafik Prosentase voids pada masing – masing campuran beton segar.....	85
Gambar 4. 12 Gambar Perbandingan berat isi beton segar pada masing – masing campuran.....	86
Gambar 4. 13 Grafik waktu ikat awal beton normal mutu rendah $f_c'$ 25 MPa... ..	87
Gambar 4. 14 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 121.....	87
Gambar 4. 15 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 122.....	87
Gambar 4. 16 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 123.....	88
Gambar 4. 17 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 124.....	88
Gambar 4. 18 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 125.....	88
Gambar 4. 19 Grafik untuk konversi kuat tekan beton kubus.....	90

Gambar 4. 20 Grafik kuat tekan rata – rata beton normal mutu rendah $f_c'$ 25 MPa	91
Gambar 4. 21 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 121	92
Gambar 4. 22 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 122	93
Gambar 4. 23 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 123	94
Gambar 4. 24 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 124	95
Gambar 4. 25 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 125	96
Gambar 4. 26 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 3 hari	97
Gambar 4. 27 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 7 hari	97
Gambar 4. 28 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 14 hari	98
Gambar 4. 29 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 21 hari	99
Gambar 4. 30 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 28 hari	99
Gambar 4. 31 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 56 hari	100
Gambar 4. 32 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 90 hari	101
Gambar 4. 33 Grafik rekap hasil perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada masing – masing umur	102
Gambar 4. 34 Grafik perbandingan ME hasil uji UPV dan Teoritis	105
Gambar 4. 35 Grafik hasil uji permeabilitas pada masing – masing variasi beton campuran	107
Gambar 4. 36 Grafik kepadatan kering pada masing – masing campuran	108
Gambar 4. 37 Grafik Prosentase Volume Penyerapan Pada Pori - pori pada masing – masing campuran	109
Gambar 4. 38 Hasil uji SEM pada beton CHWC 121	113
Gambar 4. 39 Hasil uji SEM pada beton CHWC 122	113
Gambar 4. 40 Hasil uji SEM pada beton CHWC 123	114

Gambar 4. 41 Hasil uji SEM pada beton CHWC 124.....	114
Gambar 4. 42 Hasil uji SEM pada beton CHWC 125.....	114



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Dalam beberapa tahun belakangan ini gencar sekali perkembangan industri konstruksi di Indonesia dan dunia. Seiring terus berkembangnya industri konstruksi maka wacana green construction atau teknologi konstruksi ramah lingkungan perlahan namun pasti mulai berhembus di dunia konstruksi Indonesia dan negara – negara lain.

Industri konstruksi ramah lingkungan sangat penting karena kita sebagai penghuni yang berakal pikiran di bumi berarti harus senantiasa menjaga dan melestarikan sumber daya alam yang telah diberikan Tuhan Yang Maha Kuasa dalam memajukan dunia konstruksi di Indonesia. Hal ini dapat dimulai salah satunya dengan menerapkan penggunaan material – material pada industri konstruksi yang sumber bahan bakunya berasal dari sisa atau limbah dari pemakaian material industri konstruksi yang telah dimanfaatkan kembali menjadi sebuah produk baru.

Seiring dengan terus berkembangnya pembangunan maka semakin bertambah pula limbah material pembangunan konstruksi dari waktu ke waktu maka pembuangan limbah ke alam terbuka tidak dapat dihindarkan. Salah satu dari limbah material konstruksi adalah limbah sisa pencucian dari beton siap pakai. Bila kita berkunjung ke lokasi batching plant tempat diproduksi beton siap pakai maka ada sebuah area lokasi yang diperuntukkan sebagai tempat sementara pembuangan limbah sisa pencucian beton siap pakai, yang kemudian dibuang ke tempat pembuangan akhir yaitu di lokasi alam terbuka sebagai timbunan. Hal inilah yang mendorong para ahli untuk mengembangkan suatu bahan sisa / limbah yang dapat menggantikan kebutuhan dari salah satu bahan baku yang baru untuk konstruksi tersebut. Diantaranya yaitu seperti pemanfaatan limbah sisa pencucian beton siap pakai sebagai agregat halus dan abu sekam padi sebagai bahan tambah pada pasta semen.

Beton siap pakai merupakan bahan utama material untuk pembangunan konstruksi di setiap negara termasuk Indonesia. Beton siap pakai dalam setiap produksinya di seluruh batching plant di Indonesia pasti menyisakan limbah hasil pengadukan yang dibuang begitu saja dan belum ada yang berinisiatif untuk mencoba memanfaatkan kembali limbah beton tersebut untuk diolah dijadikan produk baru kembali.

Oleh karena itu kita harus mengembangkan penelitian dengan menggunakan limbah beton tersebut agar kita dapat menemukan produk baru yang berkualitas ramah lingkungan karena kita mengoptimalkan limbah beton agar tidak terbuang menumpuk sia – sia hingga dapat merusak lingkungan sekitar. Dapat dikatakan ramah lingkungan itu sendiri karena dalam melakukan penelitian ini kita dapat menghemat pemakaian pasir alam dan semen dengan menggunakan tambahan agregat halus berupa limbah beton sisa adukan pencucian beton siap pakai (limbah beton/ CSW) yang telah didaur ulang dan abu sekam padi untuk menghemat pemakaian semen.

Dalam penggunaan limbah beton dalam penelitian ini kami mencoba agar dapat memanfaatkan sebaik – baiknya limbah dari sisa adukan beton siap pakai yang diperoleh dari pabrik beton siap pakai PT. Holcim Indonesia. Kami ingin melakukan studi tentang beton dengan tambahan campuran limbah beton sebagai tambahan untuk agregat halus agar dapat menghemat pemakaian pasir alam, karena diperkirakan limbah beton ini masih banyak mengandung silika. Sehingga pada penggunaan limbah beton ini diharapkan beton yang dihasilkan dapat merujuk pada kuat tekan yang optimal sehingga dapat menjadi sebuah produk berteknologi tepat guna dan ramah lingkungan.

Dalam penggunaan abu sekam padi sebagai bahan baku untuk menghemat pemakaian semen dapat dikatakan sangat efisien. Oleh karena padi adalah sebuah produk pertanian yang dimiliki oleh negara-negara agraris seperti Indonesia. Beras sendiri adalah hasil dari penggilingan padi yang juga dari hasil penggilingan tersebut adalah sekam padi. Sekam padi merupakan kulit beras yang diperoleh dari hasil dari penggilingan padi.

Maka dapat dipastikan bahwa sekam padi di Indonesia yang dihasilkan selama ini sangat melimpah dan sangat disayangkan bila sekam padi di daerah - daerah penghasil padi hanya digunakan sebagai bahan bakar untuk pembakaran batu merah dan pembakaran untuk memasak atau dibuang begitu saja.

Berdasarkan penelitian sebelumnya telah dilaporkan bahwa sekitar 20% dari berat padi adalah sekam padi. Abu sekam padi dihasilkan antara 13 sampai 29% dari berat sekam yang dibakar (Hara, 1996; Krishnarao, et al., 2000). Rata – rata nilai kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam abu sekam padi adalah 94%-96%. Namun apabila kandungan silika kurang dari 90% maka sekam yang dibakar telah terkontaminasi zat lain yang memiliki kandungan silika rendah (Houston, 1972; Prasad, et al., 2000).

Sekam padi akan menghasilkan abu silika yang bagus bila sekam padi dibakar secara terkontrol pada suhu tinggi 400-800 °C. Abu sekam padi diperoleh dengan menghaluskan abu sekam sampai lolos saringan 200. Abu silika tersebut memiliki sifat hidrolis yang baik yang dapat meningkatkan daya ikat semen, sehingga dapat menghemat penggunaan semen dalam pasta.

Abu sekam padi bersifat hidroskopis mudah menyerap air sehingga dapat mempengaruhi faktor air semen menjadi lebih besar. Penambahan abu sekam padi dapat meningkatkan kekuatan pasta semen melalui reaksi antara silika ( $\text{SiO}_2$ ) pada abu sekam padi dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada pasta semen.

Penggunaan limbah sisa adukan beton siap pakai sebagai agregat halus dan abu sekam padi pada beton perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan proporsi campuran yang baik agar didapatkan nilai sifat mekanis yang optimal. Untuk itu pada tugas akhir ini penulis mencoba untuk meneliti pengaruh pemanfaatan limbah sisa adukan beton siap pakai dan abu sekam padi sebagai bahan tambah pada semen untuk

mendapatkan proporsi campuran yang baik sehingga dihasilkan campuran dengan sifat mekanik yang maksimal.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat – sifat mekanis beton mutu rendah dengan disain campuran untuk beton  $f_c' 25$  MPa yang mengandung abu sekam padi (RHA) dan limbah beton (CSW).

Adapun sifat-sifat mekanis dari produk beton yang akan diamati adalah kuat tekan, kepadatan (density), permeabilitas dan modulus elastisitas beton  $f_c' 25$ MPa yang mengandung campuran RHA dan CSW. Dalam pengamatan kuat tekan ini diharapkan dapat merujuk pada beton dengan kuat tekan pada beton normal  $f_c' 25$  MPa agar bisa dijadikan produk beton teknologi tepat guna dan ramah lingkungan.

## **1.3. Batasan Masalah**

Dalam pembuatan Tugas Akhir penulis membatasi permasalahan dalam pengujian kedalam hal-hal dibawah ini :

- Semen yang digunakan pada pengujian sesuai dengan standar SNI 15-7064-2004 untuk semen portland komposit (PCC), sehingga sifat fisis dan mekanis semen dianggap telah sesuai dengan standar, sehingga tidak dilakukan pengujian.
- Campuran yang akan digunakan akan dicari terlebih dahulu faktor air semen yang maksimum dengan cara trial & error. Hasil faktor air semen tersebut kemudian digunakan untuk faktor air semen pada proporsi campuran masing-masing.
- Menggunakan abu sekam padi yang di produksi oleh PT. Hakiki di daerah indramayu.
- Menggunakan semen portland Tipe PCC (Portland Composite Cement).
- Suhu yang digunakan dianggap sama yaitu suhu kamar yaitu  $25^0$  C
- Benda uji kubus beton dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm untuk uji kuat tekan dan densitas.

- Benda uji silinder beton dengan ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm untuk uji permeabilitas dan modulus elastisitas.

Melakukan uji kuat tekan beton dengan benda uji kubus ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm untuk masing – masing komposisi sebanyak 5 buah pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari serta pada umur 28 hari beton diuji terhadap density, permeabilitas, dan modulus elastisitas. Dan uji kuat tekan pada benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk masing – masing komposisi sebanyak 5 buah pada umur 28 hari.

#### **1.4. Hipotesis**

Penelitian beton dengan campuran bahan pengikat hidrolis semen dengan abu sekam padi (RHA) dan air ini, dapat menghemat penggunaan semen dan campuran agregat halus pasir dengan limbah adukan beton siap pakai (CSW) yang dapat menghemat pasir dengan menggunakan kembali CSW sehingga tidak merusak lingkungan dan diharapkan kuat tekan yang dicapai sesuai harapan.

#### **1.5. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

- Metode observasi :  
Dilakukan dengan cara mendapatkan data-data secara langsung dari hasil pengujian laboratorium.
- Metode pengumpulan data :
  - a. Studi perpustakaan/literatur
  - b. Studi dokumenter
- Metode trial and error

Adapun metode yang di gunakan untuk menentukan faktor air semen yaitu menggunakan metode trial and error (metode coba-coba).

#### **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

## BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penelitian yang digunakan.

## BAB 2. LANDASAN TEORI

Landasan teori ini berisi pengenalan tentang sifat-sifat beton serta bahan-bahan pembentuknya dan beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian dijelaskan hal-hal apa saja yang dilakukan dalam penelitian ini serta langkah kerjanya.

## BAB 4. DATA DAN ANALISA

Dalam bab ini berisikan data desain campuran benda uji dan berisikan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium serta analisa-analisa data.

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan dari hasil pengujian.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Beton**

Beton merupakan campuran antara bahan agregat halus dan kasar dengan pasta semen (kadang-kadang juga ditambahkan admixtures), yang apabila dituangkan ke dalam cetakan dan kemudian didiamkan, akan menjadi keras seperti batuan. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi antara air dengan semen yang terus berlangsung dari waktu ke waktu. Hal ini menyebabkan kekerasan beton terus bertambah sejalan dengan waktu.

Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus, serta bahan tambah. Setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan. Bila kuat tekannya tinggi, maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air-semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan), serta umur beton.

Beton yang baik adalah mempunyai kuat tekan, tarik, dan lekat yang tinggi, tahan ausan, tahan cuaca, tahan terhadap zat – zat kimia (terutama sulfat), elastisitasnya (modulus elastis) tinggi, tidak ada pori setelah dilepas cetakannya, tidak banyak air atau rapat air, tidak ada gelembung, apabila dicampur sudah tidak kelihatan campurannya seperti pasir, krikil, semen ataupun air, bisa mengalir adonannya, dan susutan pengerasnya kecil.

Berdasarkan PBI 1971 klasifikasi beton dibagi menjadi tiga yaitu, beton klas I beton untuk pekerjaan – pekerjaan non struktural, beton klas II beton untuk pekerjaan – pekerjaan struktural secara umum dengan kekuatan tekan karakteristik antara K125 sampai dengan K225 , dan beton klas III adalah beton untuk pekerjaan – pekerjaan struktural dimana dipakai

mutu beton dengan kekuatan tekan karakteristik yang lebih tinggi dari K225

### **2.1.1 Kelebihan Beton**

- Kemudahan dalam pembentukan, yaitu dalam keadaan plastis beton dapat mudah dibentuk sesuai cetakan atau bekisting.
- Daya tahannya yang cukup tinggi terhadap api dan cuaca.
- Kekuatan tekannya yang tinggi sehingga beton cocok untuk dipakai sebagai elemen yang terutama memikul gaya tekan.
- Tahan lama karena tidak busuk atau berkarat.

### **2.1.2 Kekurangan Beton**

- Beton merupakan bahan yang getas dan mempunyai tegangan tarik yang rendah.
- Beton juga mempunyai sifat susut yang perlu diperhatikan dalam perencanaan.

### **2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton**

#### **1. Faktor Air Semen**

- Faktor air semen ialah perbandingan antara berat air dan berat semen di dalam campuran adukan beton.
- Kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh faktor air - semen yang dipakai.

#### **2. Umur Beton**

- Kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik, kuat lekat) bertambah tinggi dengan bertambahnya umur.
- Laju kenaikan kekuatan beton mula – mula cepat, akan tetapi makin lama laju kenaikan itu makin lambat. Oleh karena itu, sebagai standar kekuatan beton dipakai kuat tekan beton pada umur 28 hari.

### 3. Agregat

- Pengaruh agregat terhadap kekuatan beton terutama adalah bentuk tekstur permukaan dan ukuran maksimalnya.
- Pengaruh kekuatan agregat sendiri terhadap kekuatan beton tidak begitu besar karena umumnya kekuatan agregat lebih tinggi daripada kekuatan pasta semena, kecuali pada beton dengan agregat ringan atau beton dengan kuat tekan tinggi.

## 2.2 Beton Segar

Sifat pada beton segar perlu diketahui karena dapat mempengaruhi kualitas dari beton yang sudah mengeras. Penanganan pada waktu beton masih segar sangat diperlukan karena sifat pada beton segar sangat mempengaruhi pada beton kerasnya. Maka dari itu sebelum beton tersebut menjadi keras perlu dilakukan beberapa pengujian, agar pada waktu beton sudah mengeras sesuai dengan yang diharapkan.

### 2.2.1 Sifat – sifat Pada Beton Segar

#### 1. Workability (Kemudahan Pengerjaan)

Beton segar dinyatakan memiliki workability yang tinggi apabila beton tersebut mudah diaduk, mudah dicor, dan mudah dipadatkan. Sifat workability pada beton segar sangat dipengaruhi oleh bahan utama beton seperti :

- Banyaknya air dalam campuran beton.
- Adanya admixture, terutama jenis Super plasticizer.
- Kadar semen dalam beton.
- Banyaknya butiran halus dalam beton.

Untuk mengetahui seberapa besar kemudahan beton dikerjakan dengan cara menguji Slump Beton. Beton yang encer akan menghasilkan nilai slump yang tinggi, sebaliknya beton yang kaku akan menghasilkan nilai slump yang rendah.

#### 2. Berat Isi

Berat isi merupakan berat beton dibagi dengan isi (volume) alat, kegunaan berat isi adalah untuk konversi dari satuan berat ke satuan volume atau sebaliknya.

### 3. Kadar Udara

Kadar udara merupakan jumlah persen udara yang terdapat dalam beton segar, atau jumlah rongga udara didalam beton segar. Banyak kadar udara dalam beton akan mempengaruhi kepadatan beton sehingga akan menurunkan kuat tekan pada beton yang sudah keras.

### 4. Waktu Ikat

Beton dengan bahan perekat semen, memiliki waktu pengikatan yang variabel, tergantung dari Jenis semen, jenis admixture dan suhu lingkungan. Semen seperti diketahui merupakan bahan perekat thermo setting, jadi akan mengeras akibat suhu. Pengikatan pada beton ada dua macam, yaitu pengikatan awal (initial setting) dan pengikatan akhir.

Pengikatan awal adalah waktu yang dibutuhkan oleh beton mulai dari plastis menjadi tidak plastis. Waktu ini sangat perlu diketahui karena jika beton sudah tidak plastis, berarti bahan beton sudah mulai saling mengikat (stabil) artinya bahwa beton tersebut sudah tidak boleh dikerjakan lagi, baik itu dicor, dipadatkan, dirubah, atau di aduk kembali. Sedangkan waktu pengikatan akhir adalah waktu mulai dari bahan beton di aduk dalam keadaan plastis menjadi keras. Arti keras disini relatif, artinya hanya bentuknya saja yang keras, tetapi beton belum boleh dibebani, baik berat sendiri, apalagi sampai diberi beban tambahan.

## 2.3 Beton Keras

Kuat tekan beton dianggap sifat yang paling penting, oleh karena itu mutu beton umumnya dinilai dari kuat tekannya. Akan tetapi sebenarnya beton mampu menerima beban tarik sampai kira – kira 10 % dari kemampuannya memikul beban tekan.

Untuk memperoleh kekuatan maksimum, mutu beton harus diperhatikan dengan cara memperhatikan mutu agregat dan semen, serta pembuatan dan perawatan pada umur – umur muda.

Beberapa sifat pada beton keras adalah kuat tekan, density (berat jenis) dan daya serap air beton.

### 2.3.1 Kuat Tekan Beton

Sifat pada beton yang menonjol adalah kuat tekannya, maka dari itu dalam pembuatan beton sifat ini yang ditargetkan. Pengujian kuat tekan pada

beton ada dua macam, yaitu pengujian destruktif dan non destruktif. Uji destruktif yaitu pengujian yang dilaksanakan dengan cara merusak benda ujinya, sedangkan non destruktif tanpa merusak benda uji. Uji destruktif seperti pengujian sampel berbentuk kubus atau silinder, atau bentuk lainnya.

Jenis Cetakan Contoh Uji	Ukuran Bagian Dalam Cetakan (mm)
Kubus	150 x 150 x 150
	200 x 200 x 200
Balok	500 x 100 x 100
	600 x 150 x 150
Silinder	Diameter 50 dan Tinggi 100
	Diameter 150 dan Tinggi 300
	Diameter 100 dan Tinggi 200

*Tabel 2. 1 Ukuran Benda Uji Kuat Tekan Menurut SK SNI M - 62 - 1990 - 03*

Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Peralatan yang digunakan: Cetakan kubus ukuran 150 x 150 x 150 mm, tongkat pemadat, mesin pengaduk, timbangan, mesin tekan dll. Untuk mendapatkan benda uji harus diikuti beberapa tahapan dari beton segar yang mewakili campuran beton. Isi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, dimana setiap lapis dipadatkan dengan 25x tusukan secara merata, setelah itu ratakan permukaan beton dan tutuplah dengan bahan kedap air. Kemudian biarkan 24 jam, setelah itu bukalah cetakan dan keluarkan benda uji, ialu rendam dalam bak perendam berisi air pada temperatur 25° C.

Untuk persiapan pengujian; ambil benda uji dari bak perendam tentukan berat dan ukuran benda uji. Kemudian letakkan benda uji tegak lurus pada cetakan, benda uji siap diperiksa. Prosedur pengujian melalui tahapan sebagai berikut: Letakan benda uji pada mesin tekan secara sentris, dan jalankan mesin tekan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> perdetik. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji Ialu gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji. Kemudian hitung kuat tekan beton yaitu besarnya beban persatuan luas.

Adapun rumus yang digunakan pada perhitungan kuat tekan beton adalah :

$$\text{Kuat tekan beton ( } f'c \text{ )} = \frac{P}{A} \dots\dots \text{ ( MPa )}$$

Dimana :

$f'c$  = Kuat tekan beton ( MPa )

P = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Hasil pengujian ini dapat digunakan dalam pekerjaan: Perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu beton pada pelaksanaan pembeconan.

### 2.3.2 Modulus Elastisitas Metode UPV

Modulus elastisitas adalah suatu ukuran dari kekakuan atau daya tahan bahan terhadap deformasi.

Modulus elastis dapat ditentukan dengan menggunakan alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) yaitu PUNDIT kecepatan dari gelombang kompresi melalui benda uji beton keras dengan nilai Poisson rasio yang diasumsikan sebesar 0,22-0,24.

Nilai Modulus elastisitas dapat ditentukan dengan menggunakan kecepatan pulsa dengan rumus:

$$E = V^2 \frac{(\rho (1 + \mu)(1 - 2\mu))}{(1 - \mu)}$$

dimana

E = modulus elastisitas dinamis (MPa)

V = kecepatan rambat gelombang ultrasonik (m/s)

$\rho$  = kepadatan beton (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = Poisson rasio dinamis (0,22 – 0,24)

Nilai rata - rata dari kecepatan gelombang ultrasonik dapat berkisar 3500-5500 m/s, tergantung pada kekuatan beton dan usia pada beton yang diuji. Untuk meningkatkan keakuratan hasil kecepatan gelombang benda uji yang dites maka alat penguji jika dimungkinkan agar dikalibrasi sebelum ujian. Modulus elastisitas

ditentukan dari uji ultrasonik atau biasa disebut sebagai modulus elastisitas dinamika.

Nilai modulus elastisitas dinamika bisa sampai 25% lebih tinggi dari modulus elastisitas statis. Hal ini terjadi karena dua alasan. Pertama, uji ultrasonic dilakukan pada tingkat stres yang rendah dan dengan demikian hasil tes lebih mirip sebuah modulus tangen awal. Kedua, modulus elastis tergantung pada tingkat di mana beban yang diberikan. Semakin besar beban yang diberikan menghasilkan modulus elastisitas yang lebih tinggi. Hasil dari tes ini dapat memberikan metode alternatif untuk mengukur kecepatan gelombang yang dapat digunakan dalam mendahului para persamaan untuk memperkirakan sifat elastis. Rincian lebih lanjut tentang prosedur ini pengujian dan penggunaannya untuk menentukan sifat elastis tersedia dalam ASTM C 215. Nilai modulus elastisitas menurut ACI besarnya adalah:

$$E_c = 4730\sqrt{f'_c}$$

Nilai modulus elastisitas menurut SNI besarnya adalah:

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c}$$

### **2.3.3 Permeabilitas (DIN 1048)**

Uji permeabilitas memberikan ukuran ketahanan beton terhadap penetrasi tekanan air. Biasanya akan dilakukan saat usia beton 28 sampai 35 hari.

Benda uji yang digunakan untuk menentukan permeabilitas air ini sebaiknya berbentuk kubus dengan ukuran 200 mm x 200 mm x 120 mm, atau silinder dengan diameter 150 mm dengan tebal 150 mm dapat digunakan. Untuk ukuran agregat kasar maksimum melebihi 32 mm, harus menggunakan kubus 300 mm atau silinder dengan diameter 300 mm. Tebal benda uji minimal sebesar 120 mm, dimana ukuran partikel 32 mm atau lebih. (Jika tidak, itu akan menjadi setidaknya sama dengan empat kali diameter ukuran partikel maksimum.)

Permeabilitas merupakan kemampuan pori-pori beton ringan dilalui oleh air. Beton yang telah mengeras tersusun atas banyak partikel, dihubungkan antar permukaan yang jumlahnya relatif lebih kecil dari total permukaan partikel yang ada. Air memiliki viskositas yang tinggi namun demikian dapat bergerak dan merupakan bagian dari aliran yang terjadi. Uji permeabilitas ini menggunakan benda uji silinder dia. 15cm, tebal 15 cm.

Benda uji beton harus diekspos baik dari atas atau bawah untuk tekanan air 0,5 N/mm<sup>2</sup> bekerja normal terhadap dan mesin uji permeabilitas mengarah ke benda uji, untuk jangka waktu tiga hari. Tekanan ini harus dijaga konstan sepanjang tes. Jika air masuk melalui bagian bawah spesimen, tes akan diputuskan dan ditolak sebagai spesimen gagal.

Segera setelah tekanan telah dirilis, spesimen harus dihilangkan dan membelah pada bagian tengah, dengan wajah yang terkena air menghadap ke bawah. Pada permukaan perpecahan silinder menunjukkan tanda-tanda pengeringan (setelah sekitar 5-10 menit), kedalaman maksimum penetrasi ke arah tebal benda uji, harus diukur, dalam mm, dan tingkat penyerapan air. Rata – rata kedalaman maksimum penetrasi yang diperoleh dari tiga spesimen sehingga diuji harus diambil sebagai hasil tes.

#### **2.3.4 Density**

Berdasarkan ASTM C 642 – 97, metode ini meliputi tentang penentuan berat jenis (density), persen penyerapan (absorption), dan persen rongga udara pada beton keras.

Uji ini berguna dalam mengembangkan data yang diperlukan untuk konversi antara massa dan volume untuk beton.

Hal ini dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian dengan spesifikasi untuk beton dan untuk menunjukkan perbedaan dari tempat ke tempat dalam massa beton.

Benda uji yang dapat digunakan adalah benda uji dalam bentuk silinder, kubus atau balok sesuai bentuk atau ukuran yang sudah ditentukan. Masing – masing benda uji harus bebas dari retak, rongga atau celah disetiap sisinya.

Benda uji kering harus diketahui dengan mengukur berat dalam keadaan kering setelah dikeringkan dalam oven selama  $\pm 24$  jam. Setelah dikeluarkan dari oven, biarkan sampai kering udara sekitar  $20^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  C kemudian baru kita dapat mengukur berat benda uji kering oven.

Namun jika benda uji yang pertama masih terlihat basah maka dilakukan pengeringan kedua selama 24 jam kemudian ukur kembali berat benda uji tersebut. Dan apabila perbedaan berat antara yang pertama dan kedua masih melebihi 0.5 % lebih rendah, maka ulangi langkah – langkah diatas sampai perbedaan berat kurang dari 0.5 %. Setelah itu tentukan berat benda uji yang terendah sebagai A.

Berat kering jenuh permukaan didapat setelah benda uji direndam dalam air pada suhu sekitar  $21^{\circ}$  C selama  $\pm 48$  jam kemudian benda uji diukur setelah seluruh permukaan benda uji dikeringkan dengan handuk. Dan didapatkan berat kering jenuh sebagai B.

Berat kering jenuh permukaan setelah direbus dalam air selama  $\pm 5$  jam pada tempat yang cukup besar berisi air untuk benda uji dan dalam keadaan tertutup. Setelah itu biarkan selama  $\pm 14$  jam agar dingin secara alami hingga suhu akhir  $20^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  C. Lalu keringkan permukaan benda uji dengan handuk. Dan didapatkanlah berat kering jenuh permukaan setelah direbus sebagai C.

Berat jenuh setelah direbus didapat dengan menimbang benda uji pasca perebusan dengan digantungkan dengan kawat dalam air maka didapatkan berat jenuh benda uji sebagai D.

Berikut beberapa perhitungan yang dibutuhkan untuk menentukan berat jenis dan daya serap air pada beton keras :

➤ Prosentase penyerapan setelah perendaman (%)

$$= \frac{B - A}{A} \times 100$$

- Prosentase penyerapan setelah perendaman dan perebusan (%)

$$= \frac{C - A}{A} \times 100$$

- Berat jenis kondisi kering, ( $\text{kg/m}^3$ )

$$g_1 = \frac{A}{C - D} \times \rho$$

- Berat jenis setelah perendaman, ( $\text{kg/m}^3$ )

$$= \frac{B}{C - D} \times \rho$$

- Berat jenis setelah perendaman dan perebusan, ( $\text{kg/m}^3$ )

$$= \frac{C}{C - D} \times \rho$$

- Berat jenis Beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$$g_2 = \frac{A}{A - D} \times \rho$$

- Daya serap air/ volume pori, (%)

$$= \frac{g_2 - g_1}{g_2} \times 100$$

Dimana :

A = massa kering oven benda uji, kg

B = massa kering permukaan benda uji setelah perendaman, kg

C = massa kering permukaan benda uji setelah perendaman dan perebusan, kg

D = massa jenuh benda uji dalam air, kg

$g_1$  = berat jenis kering benda uji,  $\text{kg/m}^3$

$g_2$  = berat jenis beton,  $\text{kg/m}^3$

$\rho$  = berat jenis air,  $1000 \text{ kg/m}^3$

## 2.4 Semen Portland Komposit (PCC)

Semen merupakan bahan pengikat hidrolis yang merekat apabila dicampur dengan air. Berdasarkan SNI 15-2049- 2004, *Semen portland adalah* suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan,

atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan.

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat ( $C_3S$ ), dikalsium silikat ( $C_2S$ ), trikalsium aluminat ( $C_3A$ ), dan tetrakalsium aluminoforit ( $C_4AF$ ). Selain itu, pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya :  $MgO$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $K_2O$  dan  $Na_2O$ . Soda atau potasium ( $Na_2O$  dan  $K_2O$ ) merupakan komponen minor dari unsur-unsur penyusun semen yang harus diperhatikan, karena keduanya merupakan alkalis yang dapat bereaksi dengan silika aktif dalam agregat, sehingga menimbulkan disintegrasi beton (Neville dan Brooks, 1987).

Sedangkan pozolan merupakan bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Adapun jenis dan penggunaan dari semen portland pozzolan sebagai berikut :

- Jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton.
- Jenis IP-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- Jenis P-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.

- Jenis P-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Perubahan komposisi kimia semen, yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen, dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SNI) mengenal 5 jenis semen, yaitu:

- Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- Jenis II, yaitu semen portland untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
- Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang sangat baik terhadap sulfat.

Type Semen	Komposisi dalam %							Karakteristik Umum
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>3</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO	MgO	
Tipe I, Normal	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Semen untuk semua tujuan
Tipe II, Modifikasi	46	29	6	12	2,8	0,6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Tipe III, Kekuatan awal tinggi	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Mencapai kekuatan awal yang tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV, panas hidrasi rendah	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V, tahan sulfat	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Dipakai pada saluran struktur yang diekspose terhadap sulfat

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya

Semen yang beredar di pasaran Indonesia didominasi semen Tipe I dalam kemasan 50 kg, yang spesifikasinya diatur dengan SNI 15-2049-2004. Selain itu beredar pula semen portland pozzolan (PPC) dalam kemasan 40 kg, yang spesifikasinya diatur dengan SNI 15-0302-2004. Kedua jenis semen tersebut dapat digunakan untuk bahan konstruksi

rumah maupun gedung, namun perlu dicatat bahwa semen jenis PPC membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk mencapai kekuatan tekan yang diinginkan. Hal ini dikarenakan masih diperlukannya waktu tambahan untuk menuntaskan reaksi antara senyawa pozzolan aktif ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dengan kapur bebas ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dan membentuk tobermorite ( $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ ). Dalam konstruksi beton bertulang, kuat tekan beton pada umur 28 hari ( $f'_{c28}$ ) merupakan acuan untuk melakukan perencanaan struktur. (Neville dan Brooks, 1987).

Berdasarkan SNI 15-7064-2004 semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (blast furnace slag), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 % - 35 % dari massa semen portland komposit.

Syarat mutu terbagi menjadi dua yaitu syarat kimia dan fisika. Syarat kimia untuk semen portland komposit adalah  $\text{SO}_3$  maksimum 4,0 %. Dan untuk syarat fisika tertera pada tabel berikut :

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	$\text{m}^2/\text{kg}$	min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan autoclave :		
	- Pemuai	%	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat :		
	- Pengikatan awal	menit	min. 45
	- Pengikatan akhir	menit	maks. 375
4	Kuat tekan		
	- Umur 3 hari	$\text{kg}/\text{cm}^2$	min. 125
	- Umur 7 hari	$\text{kg}/\text{cm}^2$	min. 200
	- Umur 28 hari	$\text{kg}/\text{cm}^2$	min. 250
5	Pengikatan semu :		
	- Penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

Tabel 2. 3 Syarat fisika semen portland komposit

PCC (Portland Composite Cement) digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, sama dengan penggunaan Semen Portland Jenis I dengan kuat tekan yang sama.

Dalam penelitian ini ditetapkan penggunaan semen dengan semen portland komposit (PCC) yang mudah didapat di Indonesia karena PCC sering digunakan untuk konstruksi umum seperti : pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (paving block) dan lain sebagainya. Hal ini juga dikarenakan PCC mempunyai panas hidrasi yang lebih rendah selama proses pendinginan sehingga pengerjaannya akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan beton/plester yang lebih rapat dan lebih halus.

## **2.5 Air**

Air merupakan media pencampur komponen-komponen bahan lainnya. Bersama semen, air bereaksi secara kimiawi melakukan proses hidrasi. Bila air terlalu banyak, pengikatan semen dengan air terhalang, beton akan menjadi porus setelah mengeras namun bila air terlalu sedikit proses hidrasi tidak selesai.

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan. Dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (consistency), agar dapat dicapai suatu kelecakan (workability) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton yang sudah mengeras, sehingga menimbulkan pori-pori (capillary poreous).

Air yang akan dipakai untuk membuat campuran beton dan juga untuk pemeliharaan beton yang telah mengeras harus memenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- a. Air tawar yang dapat diminum.
- b. Air harus bersih dan tidak mengandung minyak ; asam alkali, garam-garam ; bahan-bahan organis atau bahan-bahan yang dapat merusak beton dan atau baja tulangan.
- c. Air yang bereaksi netral terhadap lakmus.
- d. Air pencampur yang digunakan pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- e. Apabila terdapat keragu-raguan terhadap pemakaian air, dianjurkan untuk mengirim contoh air itu ke lembaga pemeriksaan air untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton/baja tulangan.
- f. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton kecuali ketentuan berikut terpenuhi :
  - Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama untuk melakukan uji percobaan.
  - Hasil pengujian pada umur 28 hari pada silinder dengan diameter 150 mm dan tingginya 300 mm yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90 % dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum atau air suling. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa.

## **2.6 Agregat Halus**

Agregat halus terdiri dari pasir alam, pasir hasil buatan atau gabungan dari kedua pasir tersebut. Syarat - Syarat Agregat Halus (*SK SNI S – 04 – 1989 – F*) :

- a) Agregat halus harus terdiri dari butir – butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan  $\leq 2.2$
- b) Butir – butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
- c) Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.
  - Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.
  - Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
- d) Kadar Lumpur tidak boleh melebihi 5 % dari berat pasir, apabila kadar lumpur melebihi 5 % maka pasir sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu.
- e) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan – bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna Abrams – Herder. Untuk itu bila direndam dalam larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding. Jika Agregat halus tidak memenuhi percobaan diatas, maka agregat dapat dipakai, asal kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95 % dari kekuatan adukan agregat yang sama tetapi dicuci dahulu dalam larutan 3% NaOH kemudian dicuci hingga bersih dengan air pada umur yang sama.
- f) Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1.5 – 3.8 dan harus terdiri dari butir- butir yang beraneka ragam besarnya. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu dalam daerah susunan butir menurut Zone 1, 2, 3, atau 4 (*BS.882*) dan harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut:
  - Sisa diatas ayakan 4.8 mm harus maksimum 2% berat.
  - Sisa diatas ayakan 1.2 mm harus maksimum 10% berat.
  - Sisa diatas ayakan 0.30 mm harus maksimum 15% berat.
- g) Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
- h) Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk – petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan – bahan yang diakui.

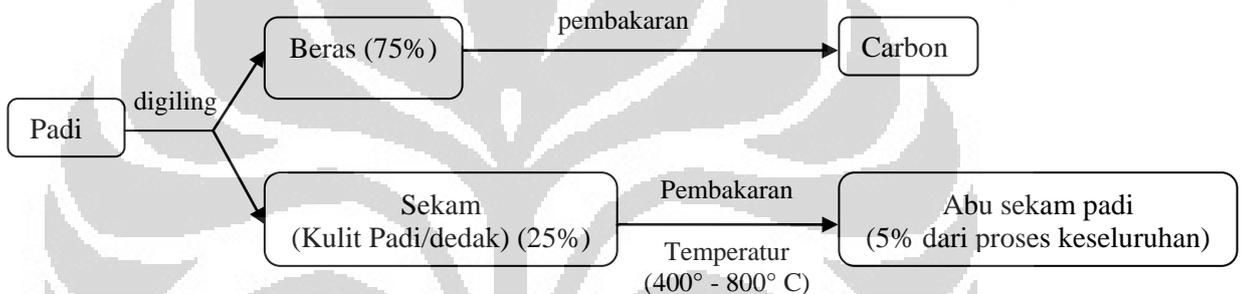
## 2.7 Agregat Kasar

Agregat kasar dapat berupa kerikil, pecahan kerikil, batu pecah, granit, terak tanur tiup atau beton semen hidrolis yang dipecah. Agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut (*SK SNI S – 04 – 1989 – F*):

- a. Kerikil atau batu pecah maupun granit harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori. Kadar bagian yang lemah bila diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5 %. Kekerasan agregat kasar diperiksa dengan bejana pengujian Rudolff dengan beban pengujian 20 ton.
- b. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
- c. Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
- d. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat
- e. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.
- f. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
- g. Tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali .
- h. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
- i. Agregat kasar harus terdiri dari butir – butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, susunan besar butir mempunyai modulus kehalusan antara 6 – 7.1 dan harus memenuhi syarat – syarat berikut :
  - Sisa diatas ayakan 38 mm harus maksimum 0% berat.
  - Sisa diatas ayakan 4.8 mm harus berkisar antara 90 dan 98 % berat.
  - Selisih antara sisa – sisa kumulatif diatas 2 ayakan berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 100%.

## 2.8 Abu Sekam Padi

Bahan campuran tambahan semen dalam beton adalah abu sekam padi. Abu sekam padi merupakan hasil pembakaran sekam atau kulit padi yang biasanya terbuang begitu saja. Setelah dilakukan penelitian oleh para ahli sebelumnya ternyata kandungan terbesar dalam abu sekam padi adalah silikat. Penambahan abu sekam padi (ASP) dapat meningkatkan kekuatan beton melalui reaksi antara silika ( $\text{SiO}_2$ ) pada abu sekam padi dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada beton.



Gambar 2. 1 Proses pembuatan abu sekam padi

Abu sekam padi diperoleh dengan menghaluskan abu sekam sampai lolos saringan 200. Sekam padi yang sudah dihaluskan tersebut dibakar sampai temperatur 400-800 °C sesuai dengan kemampuan tungku (furnace) yang ada sehingga menjadi abu sekam padi.



Gambar 2. 2 Keseluruhan proses pembakaran abu sekam padi

Dari gambar diagram alur di atas dapat dilihat bahwa sekam yang sudah dilakukan pembakaran, maka dihaluskan lagi hingga lolos kesaringan 200-400 Mesh. Secara keseluruhan dari sekam yang didapat dari padi hanya 5% nya saja atau sekitar 20% dari hasil pembakaran sekam. Berikut di bawah ini merupakan tungku tempa pembakaran sekam dan lama pembakaran untuk sekam di butuhkan waktu sekitar lima menit.



Gambar 2. 3 Grafik histogram hasil penelitian pendahuluan kuat tekan CRHA ( campuran semen + RHA ) pada umur 28 hari

Berdasarkan grafik hasil penelitian pendahuluan kuat tekan CRHA yang mengandung campuran semen dan RHA, maka didapat kuat tekan CRHA pada umur 28 hari yang paling optimal dengan komposisi 92 % semen dan 8 % RHA sebesar 57,51 MPa. Dari hasil penelitian pendahuluan ini maka digunakanlah komposisi RHA optimal sebesar 8 % dari kandungan semen untuk beton normal sesuai hasil rencana rancang campur beton normal berdasarkan SNI 03 – 2834 – 2000

## 2.9 Limbah Beton (Concrete Sludge Waste)

Kecenderungan masyarakat global untuk menggunakan bahan limbah yang didaur ulang kembali akhir – akhir ini sangatlah meningkat pesat. Dengan limbah yang dapat didaur ulang maka memungkinkan kita untuk berpartisipasi dalam membuat sebuah siklus kehidupan menjadi lebih efisien dan ikut menyumbang dalam perbaikan lingkungan. Di bidang konstruksi, kecenderungan ini telah memperoleh tingkat yang sangat penting dan sudah tidak bisa ditolerir karena sumber daya alam berangsur – angsur akan segera habis dan juga salah satunya karena masalah lingkungan yang disebabkan oleh limbah sisa adukan beton siap pakai (limbah beton) yang setiap harinya harus dibuang hingga ratusan kubik. Situasi ini telah menyebabkan pencarian untuk aplikasi baru untuk limbah ini, dan menggunakan mereka sebagai agregat halus pada beton

adalah alternatif yang menarik agar dapat menghemat penggunaan pasir alam.

Produksi limbah beton yang berasal dari pabrik beton siap pakai sangatlah besar sehingga dapat menyebabkan masalah terhadap dampak lingkungan. Atas pertimbangan itu limbah beton ini kami pakai sebagai bahan baku penelitian agar dapat dipakai kembali. Dalam penelitian ini kami harus melakukan beberapa treatment agar bahan baku limbah beton yang akan dijadikan campuran agregat halus dengan pasir alam ini bisa menjadi produk beton dengan teknologi tepat guna yang kuat tekannya bisa merujuk kekuatan seperti paving block.

Beberapa treatment yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Meringkakan limbah beton (kering jenuh)
- Menghancurkan limbah beton menggunakan mesin abrasi los angeles
- Melakukan analisa ayakan
- Spesifik gravity limbah beton tersebut (berat jenis)
- Uji XRF (X-rays Fluorescence) limbah beton
- Uji PSA (Particle Size Analysis) limbah beton

Pengujian mikrostruktur dari limbah beton dilakukan dengan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat bentuk (topografi) dan ukuran partikel penyusunnya. SEM merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Prinsip kerja SEM adalah dimana dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (Cathode Ray Tube) memberi tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip scanning, yang berarti berkas elektron yang diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca, gerakan membaca ini disebut dengan scanning. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit yaitu electron column (B) dan display console (A).

Electron column adalah model electron beam scanning. Sedangkan display console merupakan electron skunder yang didalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh electron gun yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus.

Uji PSA atau Particle Size Analysis adalah metode untuk mengetahui ukuran partikel dari limbah beton. Sampel limbah beton yang telah diujikan dalam bentuk powder karena sebelumnya sudah dilakukan beberapa proses treatment seperti pengeringan, pengabrasian dengan mesin abrasi Los Angeles, dan analisa ayakan 4,75 – 200.

No.	Particle Diameter (µm)	Statistics		
		Volume (%)	Surface Area (%)	Number (%)
1	< 20	100	100	100
2	< 10	98.500	99.700	99.998
3	< 8	92.300	98.400	99.990
4	< 6	79.600	94.900	99.900
5	< 4	60.500	87.600	99.700
6	< 2	36.000	71.500	98.000
7	< 1	16.200	44.800	86.700
8	< 0.4	0.220	1.040	4.930

Tabel 2. 4 Hasil uji Particle Size Analysis (PSA) limbah beton

Dari hasil uji PSA, limbah beton memiliki ukuran partikel terkecil 0.4 µm dan paling banyak partikel limbah beton ini berukuran antara 0.4 – 1 µm sebanyak 33.76 % dari keseluruhan sampel yang diujikan.

Dalam uji XRF atau X-Rays fluorescence ini banyak digunakan untuk analisis unsur dan analisis kimia, terutama dalam penyelidikan logam, kaca, keramik dan bahan bangunan, dan untuk penelitian dalam geokimia, ilmu forensik dan arkeologi. Pada penelitian ini saya melakukan uji XRF untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa apa saja yang dimiliki oleh limbah beton sisa adukan beton siap pakai yang berasal dari pabrik beton siap pakai PT. Holcim Indonesia.

Berdasarkan uji XRF yang telah dilakukan di Laboratorium Uji XRF di Kampus Universitas Indonesia Salemba, limbah beton ini mengandung beberapa unsur kimia didalamnya yaitu Mg, Al, Si, S, K, Ca,

Ti, Cr, Mn, dan Fe. Dan berikut sejumlah senyawa kimia yang dimilikinya :

No.	Senyawa Kimia	Prosentase	
		Berat/Wt (%)	Atom/ Molekul (%)
1	MgO	1.8284	3.6062
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.5603	5.8951
3	SiO <sub>2</sub>	35.5793	47.0789
4	S	0.5744	1.4243
5	K <sub>2</sub> O	0.7181	0.6061
6	CaCO <sub>3</sub>	48.0781	38.1902
7	TiO <sub>2</sub>	0.5984	0.5955
8	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1169	0.0612
9	MnO <sub>2</sub>	0.1927	0.1763
10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.7531	2.3644

Tabel 2. 5 Komposisi senyawa kimia yang dikandung limbah beton (CSW)

Dari hasil uji XRF, limbah beton yang kami pakai ini banyak mengandung SiO<sub>2</sub> dan CaCO<sub>3</sub>.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium sesuai dengan data-data dari studi pustaka baik Standar Indonesia SK SNI maupun Standar Asing yaitu ASTM, BSI dan DIN.

Benda uji yang dibuat adalah beton dengan rencana rancang campur beton  $f_c' 25$  MPa. Berikut prosentase dengan perbandingan berat antara komposisi semen dengan RHA, komposisi agregat halus antara CSW dengan pasir dan agregat kasar.

Kode	Komposisi Bahan					
	Semen + RHA		Agregat Halus		Agregat Kasar	Air
	Semen PCC	RHA	Pasir	CSW		
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(ltr)	
CHWC121	92%	8%	70%	30%	100%	100%
CHWC122	92%	8%	60%	40%	100%	100%
CHWC123	92%	8%	50%	50%	100%	100%
CHWC124	92%	8%	40%	60%	100%	100%
CHWC125	92%	8%	30%	70%	100%	100%

*Tabel 3. 1 Komposisi campuran beton yang akan di buat dalam penelitian*

Masing-masing variasi dibuat 5 buah benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm untuk pengujian kuat tekan dan density beton, pengujian dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari. Sedangkan untuk pengujian daya serap air pada beton dilakukan pada umur 28 hari. Dalam pengujian ini juga saya membuat benda uji silinder berukuran  $D= 15$  cm,  $t= 30$  cm sebanyak 3 buah untuk masing – masing variasi campuran dan hanya diujikan untuk kuat tekan pada umur 28 hari sebagai acuan untuk konversi terhadap benda uji dengan kuat tekan dalam bentuk kubus dengan yang berbentuk silinder tersebut.

Dalam pengujian kuat tekan pada beton ini kita menggunakan benda uji dengan bentuk kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm. Hal ini dimaksudkan agar dalam pengujian ini kita dapat melakukan penghematan dari segi volume beton atau benda uji yang otomatis berujung pada

penghematan bahan baku, waktu dan biaya. Berikut kebutuhan volume beton yang dibutuhkan dalam studi pengujian kuat tekan ini.

No.	Jenis Uji	Jenis Benda Uji	Ukuran				Jumlah Benda Uji	Volume Total (m <sup>3</sup> )
			p (cm)	l (cm)	t (cm)	Ø (cm)		
1	Kuat Tekan	Kubus	10	10	10		175	0,1750
2	Modulus Elastisitas	Silinder			30	15	25	0,1325
3	Permeabilitas	Silinder			30	15	15	0,0795
4	Densitas	Silinder	10	10	10		25	0,0250
Total								0,4120
Total + 10%								0,4531

Tabel 3. 2 Kebutuhan volume beton untuk pembuatan benda uji

Pada pembuatan sampel dan pengujian kami menggunakan peralatan, bahan, dan tempat sebagai berikut.

A. Alat

1. Cetakan kubus, 10 cm x 10 cm x 10 cm
2. Cetakan silinder D=15 cm, t=30 cm
3. Cetakan silinder D=15 cm, t=15 cm
4. 1 Set Alat Uji Slump
5. 1 Set Alat Uji Waktu Ikut
6. Molen ( Mesin Pengaduk Beton )
7. Mesin tekan
8. Mesin test permeabilitas
9. Neraca

B. Bahan Baku

1. Agregat kasar alam : Batu Pecah ( screening  $\leq$  18 mm )
  - Sumber : PT. Holcim Indonesia
2. Agregat halus alam : Pasir Alam
  - Sumber : PT. Holcim Indonesia
3. Semen portland : PC Tipe PCC ( Tiga Roda )
  - Sumber : PT. Indocement Tunggal Prakarsa
  - Air : Air jernih, tidak berwarna,dan tidak berbau
  - Sember : Air PAM Laboratorium Struktur dan Material UI

4. Agregat halus daur ulang : Limbah beton daur ulang
  - Sumber : PT. Holcim Indonesia
5. Bahan campuran semen : Abu sekam padi (RHA/ Rice Husk Ash)
  - Sumber : PT. Hakiki

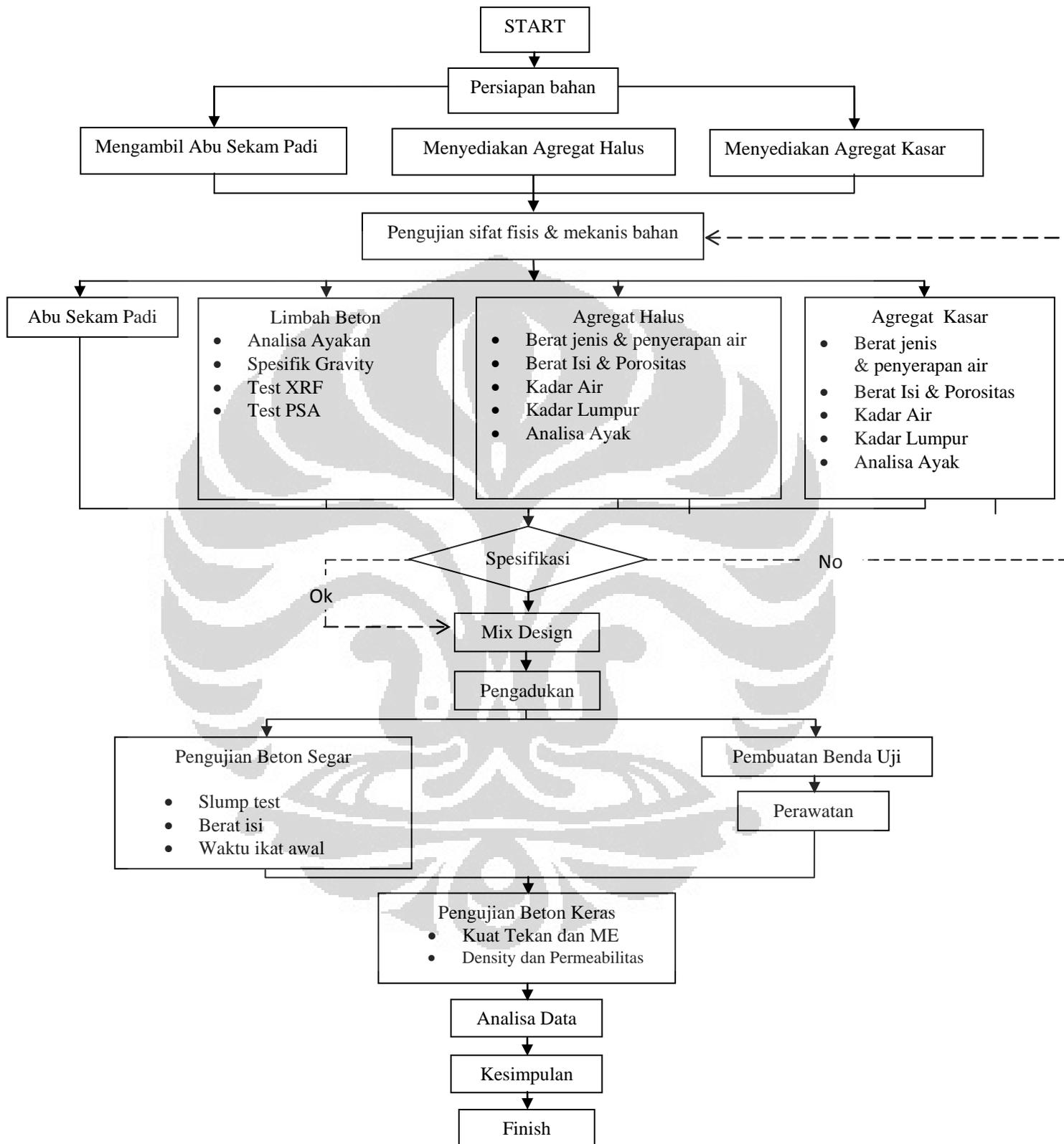
#### C. Kebutuhan Bahan

Dalam penelitian ini kami merencanakan membuat sejumlah benda uji beton berbentuk kubus ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm dan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dengan begitu kami juga memperhitungkan kebutuhan volume beton rencana untuk keseluruhan benda uji tersebut. Berikut perhitungan kebutuhan volume beton untuk benda uji kubus dan silinder untuk 1 x pengadukan :

#### D. Lokasi Penelitian

1. Laboratorium Struktur dan Material Universitas Indonesia ( UI ).

### 3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi penelitian

### 3.3 Pengujian Agregat Kasar

#### 3.3.1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 03 – 1969 – 90)

##### 1. Peralatan

- a. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No. 6 atau No. 8) dengan kapasitas kira-kira 5 kg
- b. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap.
- c. Timbangan dengan kapasitas 10 Kg dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- d. Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi sampai  $(110 \pm 5)$  °C
- e. Alat pemisah contoh
- f. Saringan No. 4

##### 2. Prosedur

Pertama – tama benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C sampai berat tetap. Setelah itu benda uji dikeluarkan dari oven, lalu benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1 - 3 jam, kemudian ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk). Selanjutnya rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama  $24 \pm 4$  jam. Setelah direndam, benda uji dikeluarkan dari air, Lalu dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang (jenuh permukaan kering/SSD). Untuk butir yang besar pengeringan harus satu persatu. Kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (BJssd). Selanjutnya benda uji diletakan didalam keranjang, lalu benda uji diguncangkan untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air (Ba). Suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C.

### 3 Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{b. Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} &= \frac{Bk}{B_{ssd} - B_a} \\ \text{c. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)} &= \frac{B_{ssd}}{B_{ssd} - B_a} \\ \text{d. Berat Jenis Semu (Apparent Surface Dry)} &= \frac{Bk}{Bk - B_a} \\ \text{e. Penyerapan Air (Absorption)} &= \frac{B_{ssd} - Bk}{Bk} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

B<sub>ssd</sub> = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)

B<sub>a</sub> = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)

### 3.3.2 Uji Berat Isi dan Porositas (Unit Weight and Voids) Agregat Kasar (ASTM C 29M – 91a)

#### 1. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
- Talam dengan kapasitas besar
- Tongkat pemadat diameter 15 mm dan panjang 60 cm
- Mistar perata (*straight edge*)
- Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut :

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Tempat Minimum		Ukuran Butir max (mm)
			Dasar	Sisi	
2.651	150.4	150.9	5.08	2.54	12.7
7.069	203.2	252.1	5.08	2.54	25.4
14.158	254.0	279.4	5.08	3.00	38.1
28.316	355.6	284.4	5.08	3.00	101.6

Tabel 3. 3 Macam – Macam Wadah Baja Silinder

#### 2. Bahan

Agregat yang telah di oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.

### 3. Prosedur

#### a. Berat Isi Lepas :

Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya ( $W_1$ ). Kemudian benda uji dimasukkan dengan hati – hati supaya tidak terjadi pemisahan butiran, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas silinder dengan menggunakan sekop sampai penuh. Lalu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan mistar perata. Kemudian silinder serta isinya ditimbang lalu dicatat ( $W_2$ ). Selanjutnya dihitung berat benda uji ( $W_3 = W_2 - W_1$ ).

#### b. Berat Isi Padat :

Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya ( $W_1$ ). Kemudian silinder diisi dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal, masing-masing setebal  $1/3$  dari tinggi silinder. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada saat dilakukan pemadatan, tongkat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap lapisan. Lalu permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata. Kemudian menimbang berat silinder serta benda uji dan dicatat ( $W_4$ ). Kemudian dihitung berat benda uji ( $W_5 = W_4 - W_1$ ).

### 4. Perhitungan

a. Berat Isi Agregat Lepas  $= \frac{W_3}{V}$

b. Berat Isi Agregat Padat  $= \frac{W_5}{V}$

c. Voids  $= \frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)}$

Keterangan :

$W_3$  = Berat Benda Uji dalam kondisi Lepas (Kg)

$W_5$  = Berat Benda Uji dalam kondisi dipadatkan (Kg)

$V$  = Volume Tabung Silinder (lt)

$S$  = *Bulk Specific Gravity* (Berat Jenis) Agregat

$M$  = Berat Isi Agregat (Kg/lt)

$$\begin{aligned} W &= \text{Density (kerapatan) air} = 998 \text{ kg/lt} \\ &= 0,998 \text{ gr/lt} \end{aligned}$$

### 3.3.3 Uji Analisa Ayak Agregat Kasar (ASTM C 135 – 95a)

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
- b. Satu Set Saringan
- c. Oven untuk memanaskan bahan
- d. Alat pemisah contoh
- e. Talam
- f. Kuas, sikat halus, sikat kuningan
- g. Sendok dan alat-alat lainnya

#### 2. Ukuran Saringan

- a. Ukuran maksimum 3.5" : berat minimum 35 kg
- b. Ukuran maksimum 3" : berat minimum 30 kg
- c. Ukuran maksimum 2.5" : berat minimum 25 kg
- d. Ukuran maksimum 2" : berat minimum 20 kg
- e. Ukuran maksimum 1.5" : berat minimum 15 kg
- f. Ukuran maksimum 1" : berat minimum 10 kg
- g. Ukuran maksimum 3/4" : berat minimum 5 kg
- h. Ukuran maksimum 1/2" : berat minimum 2,5 kg
- i. Ukuran maksimum 3/8" : berat minimum 1 kg

#### 3. Prosedur

Langkah pertama benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap. Kemudian benda uji ditimbang sesuai dengan berat yang disyaratkan. Lalu susun saringan, dengan menempatkan saringan paling besar dibagian atas. Lalu pan diletakan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Selanjutnya susunan saringan diletakan dalam mesin penggetar saringan (*sieve shaker*). Lalu mesin penggetar

saringan dijalankan selama  $\pm 15$  menit. Kemudian menimbang berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan.

#### 4. Perhitungan

Hitung Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing – masing ayakan terhadap berat total benda uji

$$FM = \frac{\sum \text{persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 150 \mu\text{m (0,15 mm)}}{100}$$

### 3.3.4 Uji Kadar Air Agregat Kasar (SNI 03 – 1971 – 90)

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan kapasitas 10 Kg dengan ketelitian 0.1 gr
- b. Oven
- c. Talam dari logam anti karat

#### 2. Bahan

Banyaknya benda uji tergantung pada ukuran butir maksimum sesuai dengan daftar dibawah ini

Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh	Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh
mm	Inci	kg	mm	inci	kg
6.3	¼	0.5	50.8	2	8
9.5	3/8	1.5	63.5	2.5	10
12.7	½	2.0	76.2	3	13
19.1	3/8	3.0	88.9	3.5	16
25.4	1.0	4.0	101.6	4	25
38.1	1.5	6.0	152.4	6	50

Tabel 3. 4 Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Kasar

#### 3 Prosedur

Pertama-tama menimbang berat talam kosong dan catat (W1). Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W2). Lalu dihitung berat benda ujinya ( $W3 = W2 - W1$ ). Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam didalam oven dengan suhu ( $110 \pm 5$ )°C, sampai berat tetap. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W4). Lalu dihitung berat benda uji kering ( $W5 = W4 - W1$ )

#### 4 Perhitungan

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

### 3.3.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Kasar (ASTM C 117 – 95)

#### 1. Peralatan

- a. Saringan no.16 dan Saringan no. 200
- b. Tempat pencuci kapasitas besar/bak plastik
- c. Oven Panas
- d. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
- e. Talam untuk mengeringkan contoh

#### 2. Prosedur

Langkah pertama sample dimasukkan dengan berat 1000 gram Kemudian ditimbang (W1). Lalu sample dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam, kemudian wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada sample hilang dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih. Kemudian semua bahan dikembalikan kedalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya (W2). Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W3). Kemudian dihitung berat bahan kering ( W4 = W3 – W2 ).

#### 3. Perhitungan

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W1 - W4}{W1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Berat Agregat

W4 = Berat Agregat di atas saringan no. 200 dan no. 16

### 3.4 Pengujian Agregat Halus

#### 3.4.1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air (SNI 03–1970–90)

##### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram mempunyai kapasitas 5 kg
- b. Picnometer dengan kapasitas 500 ml
- c. Kerucut terpancung
- d. Batang penumbuk
- e. Saringan 4 mm
- f. Oven
- g. Pengukur suhu dengan ketelitian 1°C
- h. Talam
- i. Bejana tempat air
- j. Pompa hampa udara (vacuum pump)
- k. Air suling
- l. Desikator

##### 2. Bahan

Benda uji yang dilakukan pengujian adalah agregat yang lewat ayakan no.4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 2000 gram

##### 3. Prosedur

Pertama benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap. Lalu benda uji didinginkan pada suhu ruang, kemudian direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian air bekas rendam dibuang dengan hati-hati, jangan sampai ada butiran dari sample yang hilang, lalu benda uji tersebut ditebarkan diatas talam, kemudian benda uji dikeringkan diudara panas. Pengeringan dilakukan sampai tercapai jenuh permukaan kering (JPK). Selanjutnya periksa dalam keadaan JPK dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali, lalu angkat kerucut. Keadaan JPK tercapai bila benda uji lerengnya runtuh akan tetapi tingginya masih tetap. Setelah tercapai keadaan

JPK, ambil benda uji sebanyak  $\pm 500$  gram (Bssd) kemudian dimasukkan kedalam picnometer, lalu dimasukkan air suling sebanyak 90 dari isi picnometer, putar sambil digucang-guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat dapat digunakan pompa hampa udara atau dengan cara merebus picnometer. Kemudian rendam picnometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ . Lalu air ditambahkan sampai pada batas tertentu. Picnometer berisi air dan benda uji ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram (BT). Lalu benda uji dikeluarkan, kemudian benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap, setelah itu benda uji didinginkan dalam desikator. Setelah benda uji dingin lalu ditimbang (BK). Tentukan berat picnometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ .(B)

#### 4. Perhitungan

- a. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*)  $= \frac{Bk}{B + Bssd - BT}$
- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*)  $= \frac{Bssd}{B + Bssd - BT}$
- c. Berat jenis semu (*Apparent Surface Dry*)  $= \frac{Bk}{B + Bk - BT}$
- d. Penyerapan Air  $= \frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\%$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bssd = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (SSD) (gram)

B = Berat piknometer + air (gram)

BT = Berat Piknometer + benda uji + air (gram)

### 3.4.2 Uji Berat Isi dan Porositas Agregat Halus (ASTM C 29M – 91a)

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
- b. Talam dengan kapasitas besar

- c. Tongkat pemadat diameter 15 mm dan panjang 60 cm
- d. Mistar perata (*straight edge*)
- e. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut :

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Tempat		Ukuran Butir max (mm)
			Minimum Dasar	Sisi	
2.651	150.4	150.9	5.08	2.54	12.7
7.069	203.2	252.1	5.08	2.54	25.4
14.158	254.0	279.4	5.08	3.00	38.1
28.316	355.6	284.4	5.08	3.00	101.6

*Tabel 3. 5 Macam – Macam Wadah Baja Silinder*

## 2. Bahan

Agregat yang telah di oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.

## 3. Prosedur

### a. Berat Isi Lepas :

Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya ( $W_1$ ). Kemudian benda uji dimasukkan dengan hati – hati supaya tidak terjadi pemisahan butiran, dari ketinggian maksimum 5 cm diatas silinder dengan menggunakan sekop sampai penuh. Lalu benda uji diratakan permukaannya dengan menggunakan mistar perata. Kemudian silinder serta isinya ditimbang lalu dicatat ( $W_2$ ). Selanjutnya dihitung berat benda uji ( $W_3 = W_2 - W_1$ ).

### b. Berat Isi Padat :

Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya ( $W_1$ ). Kemudian silinder diisi dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal, masing-masing setebal  $1/3$  dari tinggi silinder. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada saat dilakukan pemadatan, tongkat masuk sampai lapisan

bagian bawah tiap lapisan. Lalu permukaan benda uji diratakan dengan mistar perata. Kemudian menimbang berat silinder serta benda uji dan dicatat (W4). Kemudian dihitung berat benda uji ( $W5 = W4 - W1$ ).

#### 4. Perhitungan

a. Berat Isi Agregat Lepas =  $\frac{W_3}{V}$

b. Berat Isi Agregat Padat =  $\frac{W_5}{V}$

c. Voids =  $\frac{[(S \times W) - M] \times 100}{(S \times W)}$

Keterangan :

$W_3$  = Berat Benda Uji dalam kondisi Lepas (Kg)

$W_5$  = Berat Benda Uji dalam kondisi dipadatkan (Kg)

V = Volume Tabung Silinder (lt)

S = *Bulk Specific Gravity* (Berat Jenis) Agregat

M = Berat Isi Agregat (Kg/lt)

W = Density (kerapatan) air = 998 kg/lt  
= 0,998 gr/lt

#### 3.4.3 Uji Analisa Ayak Agregat Halus (ASTM C 135 – 95a)

##### 1. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
- Satu set saringan
- Oven untuk memanaskan bahan
- Alat pemisah contoh
- Talam
- Kuas, sikat halus, sikat kuning
- Sendok dan alat-alat lainnya

##### 2. Ukuran Saringan

- Ukuran maksimum no.4 : berat minimum 500 gram.
- Ukuran maksimum no.8 : berat minimum 100 gram

### 3. Prosedur Pengujian

Langkah pertama benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ , sampai berat tetap. Kemudian benda uji ditimbang sesuai dengan berat yang disyaratkan. Lalu susun saringan, dengan menempatkan saringan paling besar dibagian atas. Lalu pan diletakan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengayak agar hasil ayakan terpisah merata. Pengayakan dilakukan sampai ukuran agregat benar-benar terpisah. Kemudian berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang.

### 4. Perhitungan

Hitung Persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing – masing ayakan terhadap berat total benda uji

$$FM = \frac{\sum \text{persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 150 \mu\text{m (0,15 mm)}}{100}$$

#### 3.4.4 Uji Kadar Air Agregat Halus (SNI 03 – 1971 – 90)

##### 1. Peralatan

- a. Timbangan kapasitas 10 Kg dengan ketelitian 0.1 gr
- b. Oven
- c. Talam dari logam anti karat

##### 2. Bahan

Banyaknya benda uji tergantung pada ukuran butir maksimum sesuai dengan daftar dibawah ini

Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh	Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh
mm	Inci	kg	mm	inci	kg
6.3	¼	0.5	50.8	2	8
9.5	3/8	1.5	63.5	2.5	10
12.7	½	2.0	76.2	3	13
19.1	3/8	3.0	88.9	3.5	16
25.4	1.0	4.0	101.6	4	25
38.1	1.5	6.0	152.4	6	50

Tabel 3. 6 Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Halus

### 3. Prosedur

Pertama-tama menimbang berat talam kosong dan catat (W1). Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W2). Lalu dihitung berat benda ujinya ( $W3 = W2 - W1$ ). Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam didalam oven dengan suhu ( $110 \pm 5$ )°C, sampai berat tetap. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W4). Lalu dihitung berat benda uji kering ( $W5 = W4 - W1$ )

### 4 Perhitungan

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W_3 - W_5}{W_5} \times 100\%$$

### 3.4.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Halus (ASTM C 117 – 95)

#### 1. Peralatan

- Saringan no.16 dan saringan no. 200
- Tempat pencuci kapasitas besar/bak plastik
- Oven panas
- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr
- Talam untuk mengeringkan contoh

#### 2. Prosedur

Langkah pertama benda uji dimasukkan dengan berat 1000 gram Kemudian ditimbang (W1). Lalu benda uji dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam, kemudian wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada benda uji hilang

dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih. Kemudian semua bahan dikembalikan kedalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya (W2). Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W3). Kemudian dihitung berat bahan kering ( $W4 = W3 - W2$ ).

### 3. Perhitungan

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{W1 - W4}{W1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Berat agregat

W4 = Berat agregat di atas saringan no. 200 dan no. 16

## 3.5 Pengujian Limbah Beton

### 3.5.1 Uji Analisa Ayak Limbah Beton (ASTM C 135 – 95a)

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
- b. Satu set saringan
- c. Oven untuk memanaskan bahan
- d. Alat pemisah contoh
- e. Talam
- f. Kuas, sikat halus, sikat kuning
- g. Sendok dan alat-alat lainnya

#### 2. Ukuran Saringan

- a. Ukuran maksimum no.4 : berat minimum 500 gram.
- b. Ukuran maksimum no.8 : berat minimum 100 gram

#### 3. Prosedur Pengujian

Langkah pertama benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu ( $110 \pm 5$ )°C, sampai berat tetap. Kemudian benda uji ditimbang sesuai dengan berat yang disyaratkan. Lalu susun saringan, dengan menempatkan saringan

paling besar dibagian atas. Lalu pan diletakan pada bagian bawah. Kemudian agregat dimasukkan dari bagian atas, lalu bagian atas saringan ditutup dengan penutup saringan. Pengayakan dilakukan dengan menggunakan mesin pengayak agar hasil ayakan terpisah merata. Pengayakan dilakukan sampai ukuran agregat benar-benar terpisah. Kemudian berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang.

#### 4. Perhitungan

Hitung persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing – masing ayakan terhadap berat total benda uji

$$FM = \frac{\sum \text{persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 150 \mu\text{m (0,15 mm)}}{100}.$$

#### 3.5.2 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 03 – 1970 – 90)

##### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram mempunyai kapasitas 5 kg
- b. Picnometer dengan kapasitas 500 ml
- c. Kerucut terpancung
- d. Batang penumbuk
- e. Saringan 4 mm
- f. Oven
- g. Pengukur suhu dengan ketelitian 1°C
- h. Talam
- i. Bejana tempat air
- j. Pompa hampa udara (vacuum pump)
- k. Air suling
- l. Desikator

## 2. Bahan

Benda uji yang dilakukan pengujian adalah agregat yang lewat ayakan no.4 (4,75 mm) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 2000 gram

## 3. Prosedur

Pertama benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap. Lalu benda uji didinginkan pada suhu ruang, kemudian direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam. Kemudian air bekas rendam dibuang dengan hati-hati, jangan sampai ada butiran dari sample yang hilang, lalu benda uji tersebut ditebarkan diatas talam, kemudian benda uji dikeringkan diudara panas. Pengeringan dilakukan sampai tercapai jenuh permukaan kering (JPK). Selanjutnya periksa dalam keadaan JPK dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung, kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali, lalu angkat kerucut. Keadaan JPK tercapai bila benda uji lerengnya runtuh akan tetapi tingginya masih tetap. Setelah tercapai keadaan JPK, ambil benda uji sebanyak  $\pm 500$  gram (Bssd) kemudian dimasukkan kedalam picnometer, lalu dimasukkan air suling sebanyak 90 dari isi picnometer, putar sambil digucang-guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya. Untuk mempercepat dapat digunakan pompa hampa udara atau dengan cara merebus picnometer. Kemudian rendam picnometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ . Lalu air ditambahkan sampai pada batas tertentu. Picnometer berisi air dan benda uji ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram (BT). Lalu benda uji dikeluarkan, kemudian benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap, setelah itu benda uji didinginkan dalam desikator. Setelah benda uji dingin lalu ditimbang (BK). Tentukan berat picnometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ .(B)

#### 4. Perhitungan

- a. Berat jenis (*Bulk Specific Gravity*)  $= \frac{Bk}{B + Bssd - BT}$
- b. Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*)  $= \frac{Bssd}{B + Bssd - BT}$
- c. Berat jenis semu (*Apparent Surface Dry*)  $= \frac{Bk}{B + Bk - BT}$
- d. Penyerapan Air  $= \frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\%$

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bssd = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (*SSD*) (gram)

B = Berat piknometer + air (gram)

BT = Berat Piknometer + benda uji + air (gram)

### 3.5.3 Uji XRF Limbah Beton ( X-RAY Fluorance )

#### 1. Peralatan

- a. Mesin XRF

#### 2. Prosedur

Dalam uji XRF atau X-Rays fluorescence ini digunakan untuk analisis unsur dan analisis kimia, terutama dalam penyelidikan logam, kaca, keramik dan bahan bangunan, dan untuk penelitian dalam geokimia, ilmu forensik dan arkeologi.

Pada penelitian ini saya melakukan uji XRF untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa apa saja yang dimiliki oleh limbah beton sisa adukan beton siap pakai yang berasal dari pabrik beton siap pakai PT. Holcim Indonesia.

Berdasarkan uji XRF yang dilakukan di Laboratorium Uji XRF di Kampus Universitas Indonesia Salemba, maka kita akan mengetahui unsur kima dan senyawa kimia yang dikandung didalamnya.

### 3.5.4 Uji PSA Limbah Beton ( Particle Sixe Analysis )

#### 1. Peralatan

- a. Mesin Particle Size Analiyzer
- b. Mesin alat pemecah ultrasonic

- c. Aquades/ alkohol
- d. Gelas ukur
- e. Gelas katalis untuk PSA

## 2. Prosedur Pengujian

Pertama persiapkan limbah beton (berupa powder) yang sudah ditreatment secukupnya kemudian persiapkan alat pemecah ultrasonic dan PSA. Masukkan limbah beton secukupnya kedalam gelas ukur yang sudah berisi cairan aquades kemudian gelas ukur tersebut dimasukkan ke dalam mesin alat pemecah ultrasonik sesuai waktu yang ditentukan guna menguraikan limbah beton yang masih menggumpal setelah dicampurkan dengan aquades. Setelah beberapa lama sesuai waktu yang telah ditentukan maka isi dari gelas ukur tersebut dimasukan kedalam gelas katalis PSA untuk menganalisa limbah beton tersebut pada mesin Particle Size Analyzer. Tunggu beberapa menit agar kita dapat hasil dari mesin PSA. Ketika proses analisa dari mesin tersebut selesai maka kita akan peroleh prosentase dan ukuran – ukuran dari partikel limbah beton tersebut.

### 3.5.5 Uji SEM Limbah Beton ( Scanning Electron Microscope )

Pengujian mikrostruktur dari limbah beton dilakukan dengan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat bentuk dan ukuran partikel penyusunnya. SEM merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan untuk analisa permukaan material. SEM juga dapat digunakan untuk menganalisa data kristalografi, sehingga dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa. Prinsip kerja SEM adalah dimana dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (Cathode Ray Tube) memberi tampilan gambar.

SEM menggunakan prinsip scanning, yang berarti berkas elektron yang diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca, gerakan membaca ini disebut dengan scanning. Komponen utama SEM terdiri dari dua unit yaitu electron column (B) dan display console (A).

Electron column adalah model electron beam scanning. Sedangkan display console merupakan electron skunder yang didalamnya terdapat CRT. Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh electron gun yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus.

### **3.6 Pengujian Beton Segar**

#### **3.6.1 Pembuatan Benda Uji (SK SNI T – 15 – 1990 – 03)**

Hal pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan data – data yang dibutuhkan dalam perancangan campuran beton, meliputi jenis semen, jenis agregat kasar dan halus, gradasi dan besar butiran maximum. Pada perancangan beton ini tidak ditentukan mutu beton yang direncanakan, tetapi ditentukan oleh faktor air semen. Sebelum melakukan pengecoran, dilakukan pengecekan kembali jumlah takaran material yang sudah disiapkan.

Pengadukan bahan untuk campuran beton dapat dalam komposisi berat atau dalam perbandingan, dengan cara mengkonversi satuan berat bahan tersebut dengan nilai berat isinya. Banyaknya bahan untuk pengadukan tergantung dari volume sampel yang akan dibuat, serta banyaknya pengujian yang akan dilakukan.

1. Peralatan
  - a. Alat atau mesin pengaduk beton
  - b. Timbangan kapasitas 100 Kg dengan ketelitian 100 gram
  - c. Ember besar atau tempat bahan lainnya
  - d. Alat penakar bahan
  - e. Satu set alat pengujian Slump
  - f. Satu set alat pengujian Berat Isi
  - g. Satu set alat pengujian Waktu Pengikatan
  - h. Cetakan Silinder D 15 cm, t 30 cm
  - i. Cetakan Kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm

## 2. Bahan

### a. Agregat Halus

Dilakukan pengecekan kebutuhan pasir dalam satu kali pengadukan, sehingga hasil rencana campuran tercapai

### b. Agregat Kasar

Dilakukan pengecekan ulang untuk mengetahui takaran kebutuhan agregat kasar dalam satu kali pengadukan dan menyamakan kondisi agregat dengan hasil analisa agregat. Agar hasil rencana campuran tercapai.

### c. Semen

Dilakukan pengecekan takaran berat semen dan kondisi fisik semen, sudah terjadi pengerasan atau belum. Kalau sudah terjadi pengerasan sebagian pada semen, semen tidak bisa digunakan dan harus diganti dengan kondisi yang bagus.

### d. Air

Persiapan air dilakukan pada saat melakukan pengecoran, jumlah air yang digunakan sesuai dengan jumlah air yang telah direncanakan.

### e. Limbah Beton (CSW/ Concrete Sludge Waste)

Limbah beton yang lolos oleh ayakan 4.75 – 200. Timbang sesuai kebutuhan rencana 1 x pengadukan

### f. Abu Sekam Padi ( ASP

ASP yang sudah diayak oleh saringan 200 – 400 mesh ditimbang sesuai kebutuhan rencana.

## 3. Prosedur

Pertama – tama ditimbang atau ditakar semua bahan yang akan di aduk. Kemudian menyiapkan mesin pengaduk beton dan peralatan yang akan digunakan. Lalu nyalakan mesin pengaduk. Sambil mesin pengaduk berjalan, agregat kasar dan agregat halus dimasukkan, setelah itu semen. Lalu abu sekam padi dimasukkan dan diikuti air sebanyak setengahnya dari keperluan pengadukan, kemudian dimasukkan tawas yang sudah dicampur air dari rencana jumlah air dan masukkan sisa air, lakukan pengadukan

hingga semua bahan merata. Setelah selesai pengadukan, campuran beton terlebih dahulu diuji workabilitynya, umumnya menggunakan alat slump. Setelah selesai pengujian slump, kemudian beton segar diuji berat isi, dan waktu pengikatan.

Untuk pembuatan sampel beton keras, beton segar dimasukkan ke dalam cetakan yang terlebih dahulu dilumasi bagian dalamnya dengan bahan pelumas. Sampel dimasukkan kedalam cetakan dalam tiga lapis, setiap lapis dipadatkan 25 kali. Kemudian permukaannya diratakan dengan mistar perata. Pada permukaannya diberi tanda, supaya sampel tidak tertukar dengan sampel lain. Lalu benda uji disimpan di tempat perawatan atau *curing tank* atau di tempat teduh dan lembab. Jika udara panas sampel ditutup dengan karung lembab.

### **3.6.2 Uji Slump (SNI 03 – 1972 – 90)**

#### **1. Peralatan**

- a. Kerucut Abram, yaitu kerucut terpancung dengan ukuran diameter bawah 20 cm diameter atas 10 cm, tinggi 30 cm
- b. Plat baja tahan karat untuk alas pengujian
- c. Tongkat pemadat diameter 20 mm panjang 50 cm
- d. Mistar pengukur

#### **2. Prosedur**

Pertama – tama bagian dalam alat slump serta landasannya dilumasi dengan kain basah, supaya tidak menyerap air dari sample. Kemudian alat slump diletakan di tempat datar atau landasan yang sudah disiapkan. Lalu tahan kerucut terpancung tersebut dengan cara menekannya dengan kedua tangan pada bagian atas agar tidak terangkat pada saat beton dimasukkan. Selanjutnya beton dimasukkan dalam tiga lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan batang pemadat sebanyak 25 kali. Kemudian diratakan permukaan atasnya, dengan menggeserkan batang pemadat secara mendatar. Apabila kelebihan beton yang menempel pada alat slump dibersihkan. Lalu secara

perlahan angkat vertical keatas kerucut abrasinya. Kemudian bandingkan tinggi cetakan dengan tinggi beton, lalu hasil dari pengukurannya dicatat.

### 3.6.3 Uji Berat Isi Beton (ASTM C 138 – 92)

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan kapasitas 25 kg, dengan ketelitian 0.1 gram.
- b. Skop baja
- c. Tongkat pemadat diameter 16 mm panjang 600 mm
- d. Mistar Perata
- e. Mistar Pengukur
- f. Tabung silinder

#### 2. Prosedur Pengujian

Langkah pertama adalah menyiapkan alat – alat yang akan digunakan, untuk tabung silinder yang lebih dari 11 liter terlebih dahulu diuji dengan alat slump. Jika nilai slumpnya lebih dari 75 mm dipadatkan dengan tongkat pemadat, nilai slump antara 25 – 75 mm dengan tongkat atau vibrator, dan nilai slump kurang dari 25 mm harus dengan vibrator. Kemudian menimbang tabung silinder → A gram, dan volumenya diukur. Pengukuran volume dapat diperoleh dengan cara diukur biasa atau diisi dengan air. Dengan cara diisi air yaitu tabung diletakkan di atas timbangan yang datar, dan memasukkan air ke dalam tabung sampai penuh, lalu catat beratnya → B gram. Volume tabung dapat dihitung dengan cara mengkonversi berat air dengan berat isi air (= 1 Kg/Liter), jadi volume tabung adalah  $B - A$  (Liter).

Setelah volume tabung diketahui, langkah selanjutnya adalah memasukkan beton segar ke dalam tabung dan memadatkannya, adapun aturan untuk pemadatan adalah sebagai berikut :

Pemadatan dengan tongkat pemadat dilakukan dengan cara memasukkan beton segar ke dalam tabung dalam tiga lapisan yang sama volumenya. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali, untuk tabung berukuran kurang dari 14 liter. Sedangkan yang berukuran lebih dari 28 liter banyaknya pemadatan 50 kali per lapis.

Kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat secara saling silang. Pada lapis pertama pemadatan sampai lapis bawah, tapi jangan sampai dasar tabung, pada lapis kedua dan ketiga, tongkat pemadat harus masuk sedalam 25 mm pada lapis dibawahnya.

Pemadatan memakai vibrator dilakukan dengan cara mengisi tabung dengan beton dalam dua lapisan yang sama. Beton lapis pertama diisi, kemudian menyalakan vibrator, dan menusukkannya di tiga tempat yang berbeda. Vibrator dimasukkan ke dalam lapis pertama, tapi jangan sampai mengenai dasar tabung. Dalam keadaan vibrator menyala, lapis kedua dimasukkan dan dilakukan penusukkan dalam tiga tempat yang berbeda. Kemudian jarum vibrator dimasukkan, diusahakan kurang lebih 1 inch (25 mm) pada lapis bawahnya. Jika beton sudah terlihat padat, maka segera dihentikan dan diangkat jarum vibratornya. Lamanya pemadatan tergantung dari workability dan efektifitas dari vibrator. Kemudian permukaan tabung diratakan dengan mistar perata, lalu timbang  $\rightarrow$  C gram.

### 3. Perhitungan

$$\text{Berat Isi (W)} = \frac{C - A}{B - A} \text{ gr/ltr atau kg/ltr}$$

$$\text{Yield (Y)} = \frac{W1}{W} \text{ m}^3$$

$$\text{Kadar Udara} = \frac{Y - V}{Y} \times 100 \%$$

Keterangan :

A = Berat Tabung (Kg)

B = Volume Tabung (ltr)

C = Berat Tabung + Adukan (Kg)

W1 = Jumlah total bahan pada waktu pengadukan (Kg)

V = Total Volume Absolut dari bahan yang dimasukkan (m<sup>3</sup>)

### 3.6.4 Uji Waktu Ikat Awal (ASTM C 403M – 95)

#### 1. Peralatan

##### a. Penetrometer

- b. Stop watch
- c. Cetakan kubus atau silinder
- d. Saringan 2.36 mm
- e. Skop baja
- f. Alat pemadat
- g. Mistar Perata

## 2. Prosedur

Setelah pengadukan waktu untuk pengujian waktu ikat mulai dicatat. Segera Setelah selesai pengadukan, beton segar disaring dengan saringan 2.36 mm, bahan yang tertahan di atas saringan dibuang, sedangkan yang lolos saringan dimasukkan ke dalam cetakan beton. Cetakan diisi dalam tiga lapisan, setiap lapis dipadatkan 25 kali, Lalu permukaan beton diratakan dengan menggunakan mistar perata. Sampel didiamkan selama 30 menit dalam tempat terlindung, bebas dari getaran, dan panas matahari. Pengujian dilakukan dengan cara menusukkan alat penetrometer sedalam 1 inchi ke dalam sampel dalam waktu 10 detik. Catat besarnya beban pada alat penetrometer untuk menusukkan jarum tadi. Waktu ikat awal tercapai, apabila masuknya jarum ke dalam sampel, sedalam 1 inchi, dalam waktu 10 detik, memerlukan beban 500 psi. Apabila pada pengujian pertama tadi belum menunjukkan angka 500 psi, pengujian diulangi pada menit ke 60. Demikian pengujian dilanjutkan dengan selang waktu 30 menit, sampai tercapai beban 500 psi. Sejak pengadukkan dicatat pada menit ke berapa waktu ikat awal tercapai. Lalu dilanjutkan pengujian waktu ikat akhir. Waktu ikat akhir tercapai apabila masuknya jarum penetrometer sedalam 1 inch dalam waktu 30 detik memerlukan beban 500psi. Kemudian buat grafik hubungan antara waktu pengujian dengan beban yang tercapai.

## 3.7 Pengujian Beton Keras

### 3.7.1 Uji Kuat Tekan Beton (SNI 03 – 1974 – 90)

- 1. Peralatan
  - a. Mesin Kuat Tekan

- b. Timbangan kapasitas 25 kg dengan ketelitian minimum 0.01 kg
- c. Mistar ukur

## 2. Prosedur

Langkah pertama beton yang berbentuk kubus, yang telah di rawat sampai hari pengujian, diambil dari tempat perawatan. Kemudian permukaannya dilap sehingga kering, lalu masing-masing sampel diberi nomor atau tanda agar tidak tertukar. Lalu benda uji ditimbang, setelah itu lakukan pengukuran panjang, lebar dan tinggi. Luas benda uji yang akan ditekan dicatat (A) cm<sup>2</sup>. Untuk benda uji berbentuk kubus ditimbang (B) gram. Dan benda uji dibawa ke mesin tekan. Mesin tekan disiapkan dengan cara menyambungkan kabel antara bagian penekan dengan bagian kontrol. Kabel listrik dihubungkan antara mesin tekan dengan sumber arus. Lalu mesin tekan diatur, agar jarak antara plat atas dengan plat bawah tidak terlalu jauh, yaitu dengan meletakkan plat sebagai ganjal. Diusahakan setelah benda uji dipasang pada mesin tekan, jarak antara sampel dengan plat atas tidak lebih dari 1(satu) cm. Kemudian atur jarum penunjuk sampai menunjukkan angka 0 (nol) dengan cara memutarinya. Lalu mesin tekan dijalankan dengan menekan tombol star, kemudian tombol rapid approach ditekan agar sampel terangkat menempel pada plat atas mesin tekan, sampai jarum penunjuk bergerak sedikit. Lepas tombol rapid approach, sehingga mesin bergerak sendiri. Kecepatan pembebanan diatur dengan memutar *load rate* antara 0.14 – 0.34 Mpa / detik. Bila beban sudah mencapai maksimum, jika jarum penunjuk berhenti dan kembali ke angka nol. Pada saat tersebut dicatat besar beban maksimum P maks (KN). Segera mesin penguji dihentikan dengan menekan tombol stop sampai sampel dapat diambil dari mesin tekan.

## 3. Perhitungan

$$\text{Kuat Tekan (Xi)} = \frac{P \text{ max}}{A} \text{ Kg/cm}^2 \text{ atau } \text{N/mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Rata – Rata (X)} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Keterangan :

P = Beban Maksimum (Kg)

A = Luas Benda Uji (Cm)

n = Jumlah Benda Uji

### 3.7.2 Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini mengacu pada peraturan ASTM C597 – 09 (Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete) dan ASTM C 215 dengan menggunakan alat PUNDIT. Berikut prosedur pelaksanaan pengujian dengan langkah – langkah pengujian sebagai berikut:

Untuk menentukan modulus elastisitas, maka perlu diinput data-data: panjang rambatan, factor koreksi (jika diperlukan), berat jenis, serta poisson's rasionya.

Dalam pengujiannya nilai yang kita dapat adalah nilai waktu transit rambat gelombang yang kemudian didapat kecepatan gelombang dengan rumus :

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

dimana

V = kecepatan rambat gelombang ultrasonik  
(m/s)

L = panjang benda uji yang dilalui gelombang  
(m)

$\Delta t$  = waktu transit rambat gelombang ( $\mu s$ )

Setelah nilai kecepatan rambat gelombang didapat maka modulus elastisitas dapat ditentukan dengan rumus :

$$E = V^2 \frac{(\rho (1 + \mu)(1 - 2\mu))}{(1 - \mu)}$$

dimana

$E$  = modulus elastisitas dinamis (MPa)

$V$  = kecepatan rambat gelombang ultrasonik  
(m/s)

$\rho$  = kepadatan beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = poisson rasio dinamis (0,22 – 0,24)

- a. Untuk melihat modulus elastisitas, pilih option 5 dari menu utama.
- b. Input data-data yang diperlukan
- c. Pakai gel ke transducer dan tempakkan pada sampel. Tekan tombol menu, untuk membaca waktu transit.
- d. Untuk memulai perambatan getaran, tekan tombol “run/stop”. Transduser akan mulai “ticking”, dan waktu transit akan terbaca.
- e. Jika waktu yang diambil sinyal penerima melebihi range yang digunakan, maka akan muncul tulisan “OVER RANGE”. Jika hal ini muncul sebanyak 3 kalim, maka akan muncul tulisan “LOST SIGNAL”
- f. Menekan tombol “run/stop” untuk yang kedua kali akan menghentikan getaran (pada moda kontinyu dan penundaan) atau mengirimkan getaran kedua (pada oda tunggal)
- g. Untuk menyimpan pembacaan, tekan “ENTER”. Untuk keluar dari menu ini, tekan tombol “MENU”.

### 3.7.3 Uji Permeabilitas

Pada pengujian permeabilitas, benda uji yang digunakan adalah benda uji dengan bentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm tebal 15 cm. Dalam pembuatan benda uji penulis menggunakan cetakan silinder diameter 15 cm tinggi 30 cm, setelah perawatan beton hingga umur 28 hari benda uji dipotong sesuai ukuran dengan tebal 15 cm. Prosedur pengujian permeabilitas adalah sebagai berikut:

- a. Permukaan benda uji yang sudah dipotong menjadi tebal 15 cm dikasarkan di bagian tengahnya dengan bentuk lingkaran dengan diameter 10 cm.
- b. Benda uji diletakkan dengan permukaan yang dikasarkan menempel pada mesin uji permeabilitas dengan beralaskan karet agar air tidak keluar dari bawah benda uji, kemudian ditekan dengan kunci dari atas.
- c. Mesin uji penetrasi siap dijalankan dengan tekanan 5 bar selama 72 jam.
- d. Selama pengujian berlangsung air persediaan dalam tabung harus selalu terisi.
- e. Benda uji diangkat setelah 72 jam penetrasi air dilakukan, kemudian benda uji dibelah sejajar silinder pada bagian tengahnya menjadi dua bagian
- f. Pada bagian patahan beton, diukur rata – rata kedalaman penetrasi air, hasil nilai rata – rata tersebut merupakan hasil uji permeabilitas yang dapat dibandingkan dengan hasil uji kuat tekan dan densitas .

#### **3.7.4 Uji Density (ASTM C 642 – 97)**

Berdasarkan ASTM C 642 – 97, metode ini meliputi tentang penentuan berat jenis (density), persen penyerapan (absorption), dan persen rongga udara pada beton keras.

Uji ini berguna dalam mengembangkan data yang diperlukan untuk konversi antara massa dan volume untuk beton.

Hal ini dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian dengan spesifikasi untuk beton dan untuk menunjukkan perbedaan dari tempat ke tempat dalam massa beton.

Benda uji yang dapat digunakan adalah benda uji dalam bentuk silinder, kubus atau balok sesuai bentuk atau ukuran yang sudah ditentukan. Masing – masing benda uji harus bebas dari retak, rongga atau celah disetiap sisinya.

Benda uji kering harus diketahui dengan mengukur berat dalam keadaan kering setelah dikeringkan dalam oven selama  $\pm 24$  jam. Setelah dikeluarkan dari oven, biarkan sampai kering udara

sekitar 20° - 25° C kemudian baru kita dapat mengukur berat benda uji kering oven.

Prosedur yang harus dilakukan adalah dengan mencari berat benda uji yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut :

- Meringkakan benda uji dalam oven selama 24 jam kemudian ukur kembali berat benda uji tersebut. Dan apabila perbedaan berat antara yang pertama dan kedua masih melebihi 0.5 % lebih rendah, maka ulangi langkah – langkah diatas sampai perbedaan berat kurang dari 0.5 %. Setelah itu tentukan berat benda uji yang terendah sebagai A.
- Rendam benda uji pada suhu sekitar 21° C selama ± 48 jam kemudian benda uji diukur setelah seluruh permukaan benda uji dikeringkan dengan handuk. Dan didapatkan berat kering jenuh permukaan sebagai B.
- Rebus benda uji dalam air selama ± 5 jam pada tempat yang cukup besar berisi air untuk benda uji dan dalam keadaan tertutup. Setelah itu biarkan selama ± 14 jam agar dingin secara alami hingga suhu akhir 20° - 25° C. Lalu keringkan permukaan benda uji dengan handuk. Dan didapatkanlah berat kering jenuh permukaan setelah direbus sebagai C.
- Berat jenuh setelah direbus didapat dengan menimbang benda uji pasca perebusan dengan digantungkan dengan kawat dalam air maka didapatkan berat jenuh benda uji sebagai D.

Berikut beberapa perhitungan yang dibutuhkan untuk menentukan berat jenis dan daya serap air pada beton keras :

- Prosentase penyerapan setelah perendaman (%)

$$= \frac{B - A}{A} \times 100$$

- Prosentase penyerapan setelah perendaman dan perebusan (%)

$$= \frac{C - A}{A} \times 100$$

- Berat jenis kondisi kering, (kg/m<sup>3</sup>)

$$g_1 = \frac{A}{C - D} \times \rho$$

- Berat jenis setelah perendaman, (kg/m<sup>3</sup>)

$$= \frac{B}{C - D} \times \rho$$

- Berat jenis setelah perendaman dan perebusan, (kg/m<sup>3</sup>)

$$= \frac{C}{C-D} \times \rho$$

- Berat jenis Beton (kg/m<sup>3</sup>)

$$g_2 = \frac{A}{A-D} \times \rho$$

- Daya serap air/ volume pori, (%)

$$= \frac{g_2 - g_1}{g_2} \times 100$$

Dimana :

A = massa kering oven benda uji, kg

B = massa kering permukaan benda uji setelah perendaman, kg

C = massa kering permukaan benda uji setelah perendaman dan perebusan, kg

D = massa jenuh benda uji dalam air, kg

g<sub>1</sub> = berat jenis kering benda uji, kg/m<sup>3</sup>

g<sub>2</sub> = berat jenis beton, kg/m<sup>3</sup>

ρ = berat jenis air, 1000 kg/m<sup>3</sup>

## **BAB IV**

### **DATA DAN ANALISA**

Berdasarkan referensi metode pengujian berdasarkan standar yang berlaku, maka penulis melakukan pengujian di laboratorium Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia. Data-data pengujian yang diolah meliputi :

1. Pengujian Agregat Halus
  - Pengujian berat jenis
  - Pengujian berat isi
  - Pengujian kadar air
  - Pengujian kadar lumpur
  - Pengujian analisa ayak
2. Pengujian CSW dan RHA
  - Pengujian berat jenis dan berat isi CSW
  - Pengujian analisa ayak CSW
  - Pengujian kadar lumpur CSW
  - Pengujian XRF CSW
  - Pengujian PSA CSW
  - Pengujian kadar air
  - Pengujian analisa ayak RHA
3. Pengujian Agregat Kasar
  - Pengujian berat jenis
  - Pengujian berat isi
  - Pengujian kadar air
  - Pengujian analisa ayak
4. Pengujian Beton segar
  - Faktor air semen
  - Pengujian slump test
  - Pengujian berat isi beton
  - Pengujian waktu ikat awal

5. Pengujian semen tidak dilakukan, karena semen yang digunakan adalah jenis semen type PCC. Pada semen ini tidak dilakukan pengujian karena dianggap sudah melalui quality control yang ketat dari pabrik dan dapat dilihat secara visual yaitu tidak menggumpal
6. Pengujian Beton keras
  - Pengujian kuat tekan
  - Pengujian modulus elastisitas
  - Pengujian permeabilitas
  - Pengujian densitas

Pengujian karakteristik material agregat halus dan kasar merupakan pengujian awal yang dilakukan agar mengetahui karakteristik agregat halus dan kasar sebelum melakukan mix design beton yang mengacu pada ASTM dan SNI.

Dari data yang telah diperoleh selama pengujian, maka dilakukan perencanaan rancang campur (Mix Design SNI 03-2834-2000) pada beton dengan menggunakan campuran RHA dan CSW, dimana dalam pengujian tersebut beton merujuk pada beton mutu rendah dengan menetapkan dengan kuat tekan  $f_c'25$  MPa dengan prosentase bervariasi pada komposisi agregat halus yang terdiri dari pasir alam dan CSW. Berikut komposisi variasi beton campuran yang akan dilakukan penelitian :

Kode	Komposisi Bahan					Agregat Kasar	Air
	Semen + RHA		Agregat Halus				
	Semen PCC	RHA	Pasir	CSW			
CHWC121	92%	8%	70%	30%	100%	100%	
CHWC122	92%	8%	60%	40%	100%	100%	
CHWC122	92%	8%	50%	50%	100%	100%	
CHWC122	92%	8%	40%	60%	100%	100%	
CHWC122	92%	8%	30%	70%	100%	100%	

Tabel 4. 1 Prosentase komposisi bahan pada masing – masing varisasi beton campuran

Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan ukuran 10x10x10 cm sebanyak 175 buah untuk pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, 90 hari dan densitas pada umur 28 hari sedangkan silinder dengan ukuran tinggi 30 cm dan diameter 15 cm dengan banyaknya benda uji 9 buah untuk pengujian permeabilitas dan modulus elastisitas pada umur 28 hari. Diharapkan dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan akan diperoleh nilai kuat tekan beton yang

sesuai dengan kuat tekan yang telah direncanakan serta diharapkan dengan adanya RHA dapat meminimalkan penggunaan semen pada beton dan CSW dapat berperan sebagai bahan pengganti sebagian pasir alam pada beton.

#### 4.1 Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pasir alam ex. Cimangkok, Bogor. Sebelum membuat rencana rancang campuran beton, penulis harus melakukan pengujian awal pada material pasir agar mengetahui karakteristiknya.

##### 4.1.1 Uji Karakteristik Pasir Alam (Ex. Cimangkok)

###### 4.1.1.1 Berat Jenis

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Agregat SSD (gr)	500	500	500,00
Berat Agregat + Air + Piknometer BT (gr)	968	973	970,50
Berat Agregat Kering Oven BK (gr)	475	484	479,50
Berat Piknometer + Air B (gr)	700	700	700,00
Berat Jenis	2,0	2,1	2,1
Berat Jenis SSD	2,2	2,2	2,2
Berat Jenis Semu	2,3	2,3	2,3
Penyerapan Air	5,26%	3,31%	4,28%

Tabel 4. 2 Hasil Uji Berat Jenis pada material pasir alam

Dari hasil uji berat jenis diatas didapat berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,2 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 sampai 2,7. Penyerapan air (absorption) yang didapat dari hasil pengujian yaitu 4,28 % , batas maksimal prosentase penyerapan air sebesar 3 %.. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering muka sebesar 4,28 % dari berat kering agregat itu sendiri.

#### 4.1.1.2 Berat Isi

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr)	2181		
Volume Tabung	2629,00		
Berat Tabung + Agregat (gr)	5598	5621	5609,50
Berat Agregat (gr)	3417	3440	3428,50
Berat Isi Lepas ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )	1,300	1,308	1,30
Berat Isi Lepas Rata - rata ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,30		

Tabel 4. 3 Hasil uji berat isi lepas pada material pasir alam

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr)	2181		
Volume Tabung	2629,00		
Berat Tabung + Agregat (gr)	5906	5933	5919,50
Berat Agregat (gr)	3725	3752	3738,50
Berat Isi Lepas ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,417	1,427	1,422
Berat Isi Lepas Rata - rata ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	1,422		

Tabel 4. 4 Hasil uji berat isi padat pada material pasir alam

W5 (padat)	=	3,74	kg
W3 (lepas)	=	3,43	kg
V	=	0,0026	$\text{m}^3$
S (bj)	=	2,09	$\text{gr}/\text{cm}^3$
M (brt isi padat)	=	1,422	$\text{gr}/\text{cm}^3$
M (brt isi lepas)	=	1,304	$\text{gr}/\text{cm}^3$
W (density air)	=	0,998	$\text{gr}/\text{cm}^3$
Voids (padat)	=	31,817	%
Voids (lepas)	=	37,471	%

Dari hasil pengujian berat isi agregat halus didapat berat isi lepas sebesar  $1,3 \text{ gr}/\text{cm}^3$ , nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu min  $1,2 \text{ gr}/\text{cm}^3$  ( SII No.52-1980 ) dan nilai voids yang didapat yaitu 37,471 %.

Didapat berat isi padat rata - rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,422 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu min 1,2 gr/cm<sup>3</sup> ( SII No.52-1980 ). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 31,817 %.

#### 4.1.1.3 Kadar Air

Pengukuran	Benda Uji	
	I	II
Berat agregat asli, W3 (gr)	500	500
Berat agregat kering oven W5 (gr)	437,5	442,5
Kadar Air	14,286%	12,994%
<b>Kadar Air Rata - rata</b>	<b>13,64%</b>	

*Tabel 4. 5 Hasil uji kadar air pada material pasir alam*

Dari hasil uji kadar air didapat nilai rata-rata 13,64 % nilai ini lebih besar dari penyerapan air yaitu 4,28 % maka agregat dalam keadaan basah dan untuk mencapai ssd maka air dalam campuran beton harus dikurangi sebesar ( 13,64% - 4,28% ) = 9,36 % dari berat agregat halus.

#### 4.1.1.4 Kadar Lumpur

Pengukuran	I	II
W1 (gr)	437,5	442,5
W2 (gr)	420	431
Kadar Lumpur	4,00%	2,60%
<b>Kadar Lumpur Rata - rata</b>	<b>3,30%</b>	

*Tabel 4. 6 Hasil uji kadar lumpur*

Dari hasil uji Kadar Lumpur didapat prosentase kadar lumpur rata – rata 3,3%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu max 5 %. (SK SNI S -04-1989-F) sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

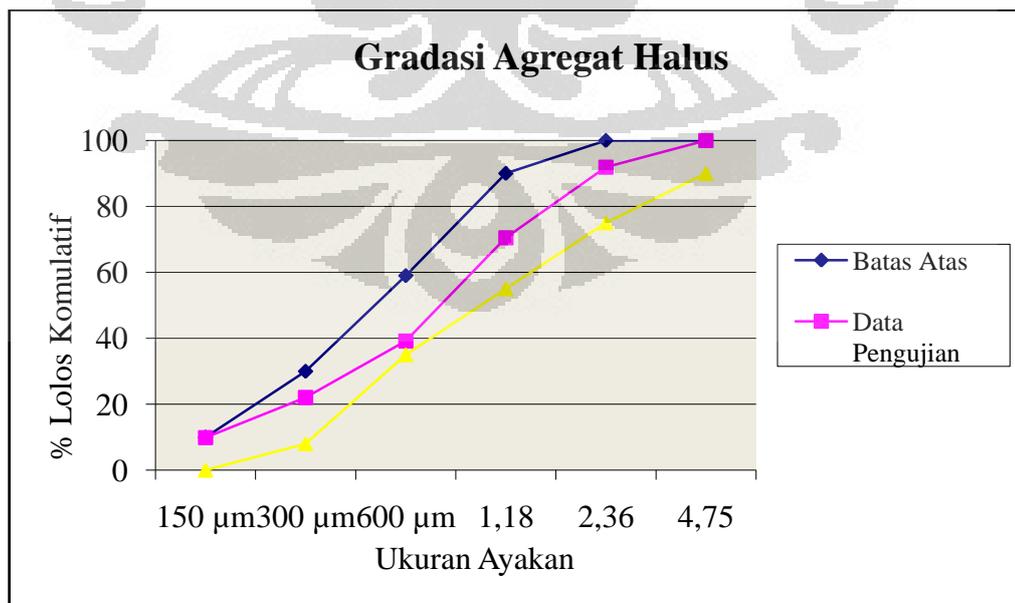
#### 4.1.1.5 Analisa Ayak

No. Saringan	Lubang Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)	% Berat Tertahan	% Berat Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Rata - rata	Spec
3/16 in	4,75	0	0,00	0	100,00	100,00	90-100
8	2,36	40	8,08	8,08	91,92	91,92	60-95
16	1,18	106	21,41	29,49	70,51	70,51	30-70
30	0,600	155	31,31	60,81	39,19	39,19	15-34
50	0,300	85	17,17	77,98	22,02	22,02	5-20
100	0,150	60	12,12	90,10	9,90	9,90	0-10
pan	-	49	9,90	100,00	0,00	0,00	-
	Jumlah	495					

Tabel 4. 7 Analisa uji ayak material pasir alam

Spesifikasi Zone 2			
Saringan	Batas Atas	Data Hasil Pengujian	Batas Bawah
0,150	10	9,90	0
0,300	30	22,02	8
0,600	59	39,19	35
1,18	90	70,51	55
2,36	100	91,92	75
4,75	100	100,00	90

Tabel 4. 8 Hasil analisa uji ayak material pasir alam masuk Zona 2



Gambar 4. 1 Grafik gradasi hasil analisa uji ayak material pasir alam (berdasarkan SK SNI S-04-1989-F)

$$\begin{aligned}
 \text{FM} &= \frac{\sum \text{persen tertahan komulatif mulai dari saringan } 150 \mu\text{m (0,15 mm)}}{100} \\
 &= \frac{90,10 + 77,98 + 60,81 + 29,49 + 8,08}{100} = \frac{266,46}{100} = 2,665
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian didapat hasil FM sebesar 2,66 %. Nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu 1,5 – 3,8 % (Menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F) dan ASTM 2,3 - 3,0 %. Agregat tersebut berada di Zone 2.

No	Sifat Fisis dan Mekanis	Hasil Pengujian	Syarat
1	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	2,09	
2	Berat Jenis SSD (kg/m <sup>3</sup> )	2,18	
3	Penyerapan Air (%)	4,28%	
4	Berat Isi Lepas (kg/m <sup>3</sup> )	1,30	Min 1,2
5	Berat Isi Padat (kg/m <sup>3</sup> )	1,42	Min 1,2
6	Voids (%)	34,64	Max 50%
7	Kadar Air (%)	13,64%	
8	Kadar Lumpur (%)	3,30%	Max 5%
9	Analisa Ayak	Zone 2	
10	Kadar Kehalusan (FM)	2,66%	ASTM 2,3 - 3,0 dan SNI 1,5 - 3,8

Tabel 4. 9 Rekap hasil uji fisis dan mekanis pada pasir alam

#### 4.1.2 Uji Karakteristik CSW dan RHA

##### 4.1.2.1 Berat Jenis dan Berat Isi CSW

No	Pengukuran	Sample I	Sample II	Rata-rata
1	Berat Agregat SSD (Gram)	500	500	500
2	Berat Agregat + Air + Picnometer (gram)	944	948,5	946,25
3	Berat Agregat kering oven (gram)	482	470	476
4	Berat piknometer + Air (gram)	643	646	644,5
	<b>Berat Jenis</b>	<b>2,422</b>	<b>2,38</b>	<b>2,401</b>
	<b>BJ ssd</b>	<b>2,513</b>	<b>2,532</b>	<b>2,522</b>
	<b>BJ Semu</b>	<b>2,663</b>	<b>2,806</b>	<b>2,732</b>
	<b>Penyerapan Air (%)</b>	<b>3,734</b>	<b>6,383</b>	<b>5,042</b>

Tabel 4. 10 Hasil uji berat jenis CSW

Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, pada pengujian berat jenis SSD 2.522. suatu agregat bisa dikatakan

agregat normal, mempunyai berat jenis antara 2.4 – 2.9. Dalam pengujian agregat CSW ini, diketahui agregatnya dikategorikan sebagai agregat normal. Sedangkan penyerapan air didapatkan 5.042 %, batas maksimal prosentase penyerapan air sebesar 3 %.

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr), W1	2181		
Volume Tabung	2629,00		
Berat Tabung + Agregat (gr), W2	5359	5379	5369,00
Berat Agregat (gr)	3178	3198	3188,00
Berat Isi Lepas (kg/cm <sup>3</sup> )	1,209	1,216	1,21
Berat Isi Lepas Rata - rata (gr/cm <sup>3</sup> )	1,21		

Tabel 4. 11 Hasil uji berat isi lepas CSW

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr)	2181		
Volume Tabung	2629,00		
Berat Tabung + Agregat (gr)	5574	5532	5553,00
Berat Agregat (gr)	3393	3351	3372,00
Berat Isi Lepas (gr/cm <sup>3</sup> )	1,291	1,275	1,283
Berat Isi Lepas Rata - rata (gr/cm <sup>3</sup> )	1,283		

Tabel 4. 12 Hasil uji berat isi padat

W5 (padat)	=	3,37 kg
W3 (lepas)	=	3,19 kg
V	=	0,0026 m <sup>3</sup>
S (bj)	=	2,40 gr/cm <sup>3</sup>
M (brt isi padat)	=	1,283 gr/cm <sup>3</sup>
M (brt isi lepas)	=	1,213 gr/cm <sup>3</sup>
W (density air)	=	0,998 gr/cm <sup>3</sup>
Voids (padat)	=	46,473 %
Voids (lepas)	=	49,394 %

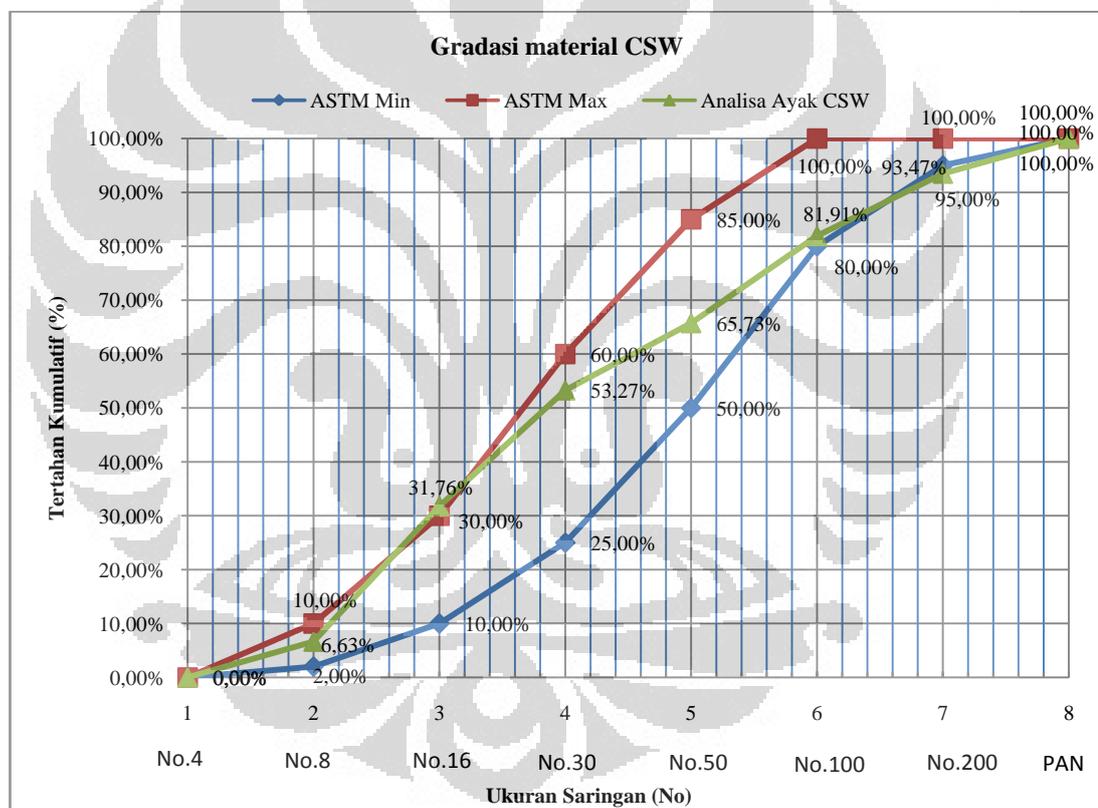
Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, pada pengujian berat isi lepas diketahui 2135 gr sedangkan berat isi padat sebesar 2483,5

gr. Maka dengan demikian berat isi padat 1.163 kali lebih padat terhadap berat isi lepas CSW.

#### 4.1.2.2 Analisa Ayak CSW

Ukuran NoSaringan (No)	Sample 1			Sample 2			Rata-Rata			Persen Kumulatif Tertahan ASTM	
	Tertahan (gram)	Tertahan	Tertahan Kumulatif	Tertahan (gram)	Tertahan	Tertahan Kumulatif	Tertahan	Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif	Min	Max
1	4	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%
2	8	31,00	6,3%	6,3%	34,00	6,8%	6,8%	6,5%	93,5%	95,0%	100,0%
3	16	54,00	10,9%	17,1%	61,00	12,2%	19,0%	11,6%	81,9%	80,0%	100,0%
4	30	81,00	16,3%	33,5%	80,00	16,0%	35,1%	16,2%	65,7%	50,0%	85,0%
5	50	63,00	12,7%	46,2%	61,00	12,2%	47,3%	12,5%	53,3%	25,0%	60,0%
6	100	112,00	22,6%	68,8%	102,00	20,4%	67,7%	21,5%	31,8%	10,0%	30,0%
7	200	120,00	24,2%	92,9%	130,00	26,1%	93,8%	25,1%	6,6%	2,0%	10,0%
8	Pan	35,00	7,1%	100,0%	31,00	6,2%	100,0%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%
Jumlah		496,00	100,00%		499,00	100,00%		208,34%	FM	2,083	

Tabel 4. 13 Hasil uji ayak CSW



Gambar 4. 2 Grafik Gradasi material CSW hasil analisa uji ayak

Dari hasil pengujian didapat hasil FM sebesar 2,08 %. Hasil analisa ayak ini masuk dalam ASTM Standard C33 – 78 .Dan nilai FM masih dalam batas yang diijinkan yaitu 1,5 – 3,8 % (Menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F).

#### 4.1.2.3 Kadar Lumpur CSW

No.	Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
1	W1	441	445
2	W2	437,5	442,5
3	W3	861	876
4	W4	420	431
5	Kadar Lumpur	0,79%	0,56%
6	<b>Kadar Lumpur Rata-rata</b>	<b>0,678%</b>	

Tabel 4. 14 Hasil uji kadar lumpur material CSW

Keterangan:

W1 = Berat kering oven (tetap)

W2 = Berat benda uji setelah di cuci di oven (Tetap)

W3 = Berat benda uji + talam

W4 = Berat talam

Dari hasil uji Kadar Lumpur didapat prosentase kadar lumpur rata – rata 0,68 %. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu max 5 %. (SK SNI S -04-1989-F) sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

#### 4.1.2.4 Uji XRF Material CSW

Berdasarkan uji XRF yang telah dilakukan di Laboratorium Uji XRF di Kampus Universitas Indonesia Salemba, limbah beton ini mengandung beberapa unsur kimia didalamnya yaitu Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, Cr, Mn, dan Fe. Dan berikut sejumlah senyawa kimia yang dimilikinya :

No.	Senyawa Kimia	Prosentase	
		Berat (%)	Atom/Molekul (%)
1	MgO	1,8284	3,6062
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,5603	5,8951
3	SiO <sub>2</sub>	35,5793	47,0789
4	S	0,5744	1,4243
5	K <sub>2</sub> O	0,7181	0,6061
6	CaCO <sub>3</sub>	48,0781	38,1902
7	TiO <sub>2</sub>	0,5984	0,5955
8	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1169	0,0612
9	MnO <sub>2</sub>	0,1927	0,1763
10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7531	2,3644

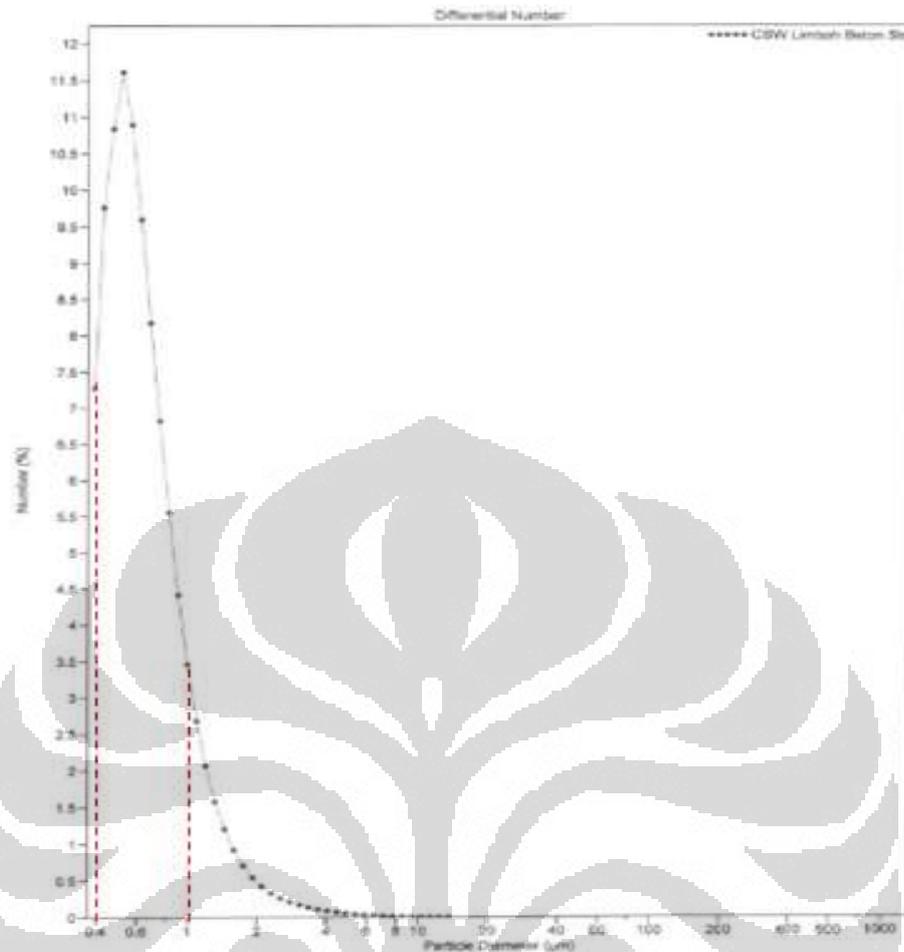
*Tabel 4. 15 Hasil uji XRF pada bahan CSW*

Dari hasil uji XRF, limbah beton yang kami pakai ini banyak mengandung SiO<sub>2</sub> dan CaCO<sub>3</sub>.

#### 4.1.2.5 Uji PSA CSW

No.	Particle Diameter (µm)	Statistics		
		Volume (%)	Surface Area (%)	Number (%)
1	< 20	100	100	100
2	< 10	98,500	99,700	99,998
3	< 8	92,300	98,400	99,990
4	< 6	79,600	94,900	99,900
5	< 4	60,500	87,600	99,700
6	< 2	36,000	71,500	98,000
7	< 1	16,200	44,800	86,700
8	< 0.4	0,220	1,040	4,930

*Tabel 4. 16 Hasil uji PSA pada bahan CSW*



Gambar 4. 3 Grafik ukuran butiran CSW hasil uji PSA

Dari hasil uji PSA, CSW yang dipakai banyak didominasi oleh butiran – butiran dengan diameter 0,4 µm – 1 µm dan ukuran 0,6 µm yang paling dominan prosentasenya.

#### 4.1.2.6 Kadar Air CSW

No.	Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
1	W1	214	1384
2	W2	714	1884
3	W3	500	500
4	W4	681	1850
5	W5	467	466
Kadar Air		6,60%	6,80%
<b>Kadar Air Rata-rata</b>		<b>6,70%</b>	

Tabel 4. 17 Hasil uji kadar air pada bahan CSW

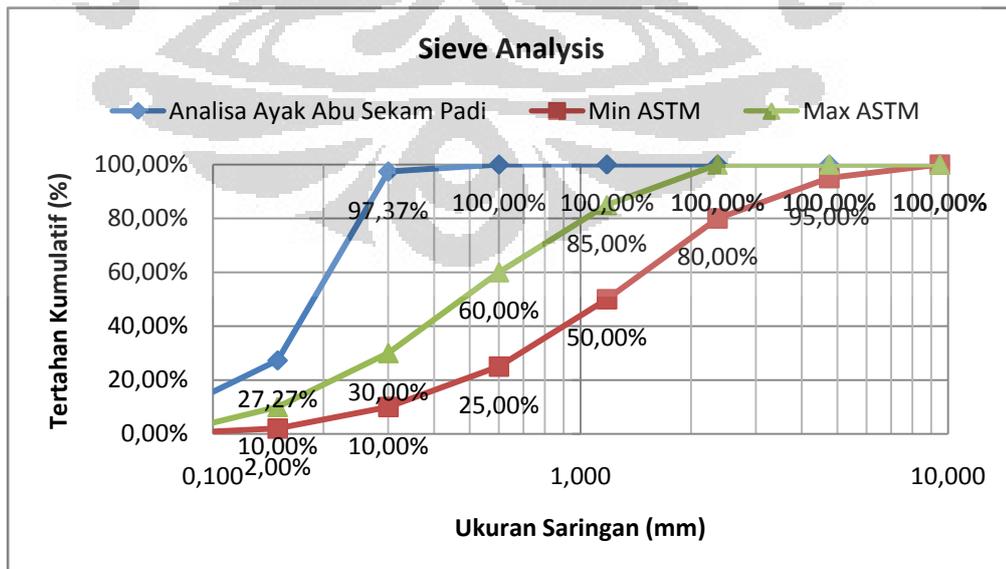
Dari hasil uji kadar air didapat nilai rata-rata 6,7 % nilai ini lebih besar dari penyerapan air yaitu 5,042 % maka agregat dalam keadaan basah dan untuk mencapai ssd maka air dalam campuran beton harus dikurangi sebesar ( 6,7 % - 5,042 % ) = 1,658 % dari berat CSW.

#### 4.1.2.7 Analisa Ayak RHA

Pada tahun 2010, pengujian nilai analisa ayak RHA telah dilakukan dilaboratorium UI, oleh sebab itu pengujian RHA tidak perlu kami lakukan kembali, karena jenis RHA yang kami pakai sama seperti pengujian tahun lalu. Berikut adalah tabel hasil pengujian analisa ayak pada RHA :

No	Ukuran Saringan (mm)	Sample 1			Sample 2			Rata-Rata			Persen Kumulatif Tertahan ASTM	
		Tertahan (gram)	Tertahan	Kumulatif	Tertahan (gram)	Tertahan	Kumulatif	Tertahan	Kumulatif	Lolos Kumulatif	Min	Max
1	9.500	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2	4.750	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	95.00%	100.00%
3	2.360	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	80.00%	100.00%
4	1.180	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	50.00%	85.00%
5	0.600	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	25.00%	60.00%
6	0.300	7.00	2.81%	2.81%	6.00	2.44%	2.44%	2.63%	2.63%	97.37%	10.00%	30.00%
7	0.150	172.00	69.08%	71.89%	175.00	71.14%	73.58%	70.11%	72.73%	27.27%	2.00%	10.00%
8	0.075	53.00	21.29%	93.17%	46.00	18.70%	92.28%	19.99%	92.72%	7.28%	0.00%	0.00%
9	Pan	17.00	6.83%	100.00%	19.00	7.72%	100.00%	7.28%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Jumlah	249.00	100.00%		246.00	100.00%		100.00%	75.36%	FM	0.754	

Tabel 4. 18 Pengujian analisa ayak Rice Husk Ash (sumber: skripsi Abdul latief, 2011)



Gambar 4. 4 Pengujian analisa ayak Rice Husk Ash (RHA)

## 4.2 Pengujian Agregat Kasar

### 4.2.1 Berat Jenis

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Kering Oven (Bk)	5002	5000	5001,00
Berat Agregat SSD (Bj)	5035	5055	5045,00
Berat Dalam Air (Ba)	3062	3083	3072,50
Berat Jenis	2,54	2,54	2,54
Berat Jenis SSD	2,55	2,56	2,56
Berat Jenis Semu	2,58	2,61	2,59
Penyerapan Air	0,66%	1,10%	0,88%

Tabel 4. 19 Hasil uji berat jenis material split

Dari hasil pengujian berat jenis diatas didapat berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,56 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 sampai 2,7. Penyerapan air (absorption) didapat dari hasil pengujian yaitu 0,88 %. Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering muka sebesar 0,88 % dari berat kering agregat itu sendiri.

### 4.2.2 Berat Isi

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr)	5044		
Volume Tabung	9401,17		
Berat Tabung + Agregat (gr)	17585	17524	17554,50
Berat Agregat (gr)	12541	12480	12510,50
Berat Isi Lepas (gr/m <sup>3</sup> )	1,334	1,327	1,33
Berat Isi Lepas Rata - rata (gr/m <sup>3</sup> )	1,331		

Tabel 4. 20 Hasil uji berat isi lepas material split

Pengukuran	Sampel		Rata - rata
	I	II	
Berat Tabung Silinder (gr)	5044		
Volume Tabung	9401,17		
Berat Tabung + Agregat (gr)	18500	18435	18467,50
Berat Agregat (gr)	13456	13391	13423,50
Berat Isi Padat (gr/m <sup>3</sup> )	1,43	1,42	1,428
Berat Isi Padat Rata - rata (gr/m <sup>3</sup> )	1,428		

Tabel 4. 21 Hasil uji berat isi padat material split

W5 (padat)	=	13,42	kg
W3 (lepas)	=	12,51	kg
V	=	0,0094	m <sup>3</sup>
S (bj)	=	2,54	gr/cm <sup>3</sup>
M (brt isi padat)	=	1,428	gr/cm <sup>3</sup>
M (brt isi lepas)	=	1,331	gr/cm <sup>3</sup>
W (density air)	=	0,998	gr/cm <sup>3</sup>
Voids (padat)	=	43,570	%
Voids (lepas)	=	47,408	%

Didapat berat isi lepas rata – rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,331 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm<sup>3</sup> ( SII No.52-1980 ). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 47,408 %.

Sedangkan berat isi padat rata – rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,425 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu min 1,2 gr/cm<sup>3</sup> (SII No.52-1980). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 43,57 %.

#### 4.2.3 Kadar Air

Pengukuran	Benda Uji	
	I	II
Berat agregat asli, W3 (gr)	1000	1000
Berat agregat kering oven W5 (gr)	986	985
Kadar Air	1,420%	1,523%
Kadar Air Rata - rata	1,471%	

Tabel 4. 22 Hasil uji kadar air split

Dari hasil uji kadar air didapat nilai rata-rata 1,471 % nilai ini lebih besar dari penyerapan air yaitu 0,88 % maka agregat dalam keadaan basah dan untuk mencapai ssd maka air dalam campuran beton harus dikurang sebesar ( 1,471% - 0,88% ) = 0,6 % dari berat agregat kasar.

#### 4.2.4 Analisa Ayak

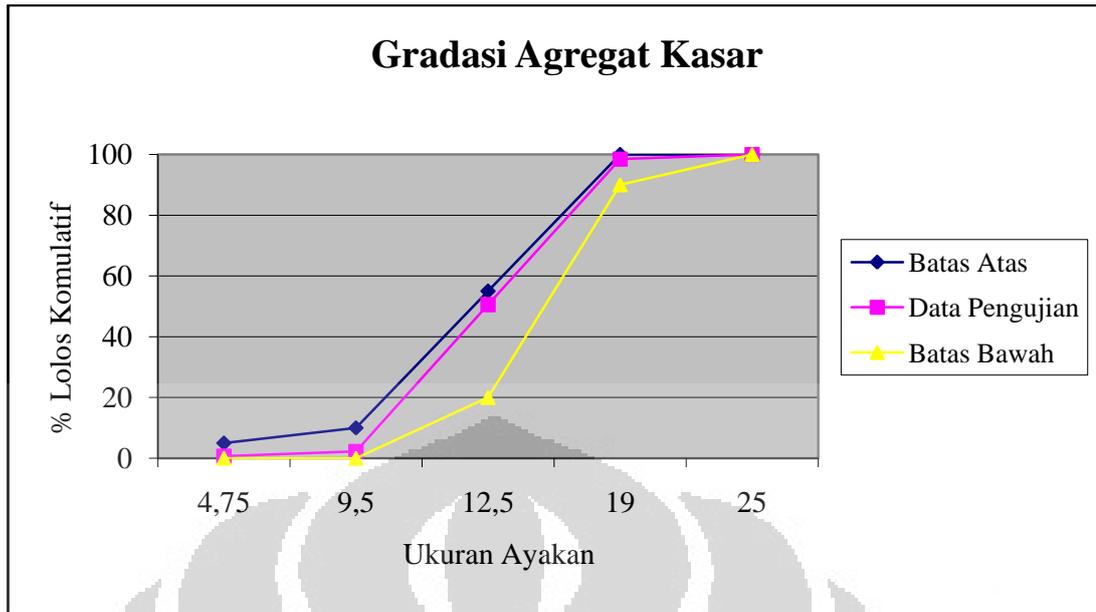
No Saringan	Lubang Saringan (mm)	Berat Tertahan (gr)		% Berat Tertahan		% Berat Tertahan Kumulatif		Rata - rata	% Lolos Kumulatif		Rata - rata
		I	II	I	II	I	II		I	II	
1 in	25	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
3/4 in	19	0	11	0,00	0,44	0,00	0,44	0,22	100,00	99,56	99,78
1/2 in	12,5	30	36	1,20	1,44	1,20	1,88	1,54	98,80	98,12	98,46
3/8 in	9,5	1210	1185	48,40	47,48	49,60	49,36	49,48	50,40	50,64	50,52
3/16 in	4,75	1219	1191	48,76	47,72	98,36	97,08	97,72	1,64	2,92	2,28
no. 8	2,36	35	45	1,40	1,80	99,76	98,88	99,32	0,24	1,12	0,68
pan	pan	6	28	0,24	1,12	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
	Jumlah	2500	2496								

Tabel 4. 23 Hasil uji analisa ayak material split

Saringan	Atas	Data Pengujian (lolos kumulatif)	Bawah
2,36	5	0,68	0
4,75	10	2,28	0
9,5	55	50,52	20
19	100	98,46	90
25	100	100,00	100

Tabel 4. 24 Hasil analisa uji ayak material pasir alam masuk ASTM Standard C33-78 (19,0 – 4,75 mm)

$$\begin{aligned}
 FM &= \frac{\sum \text{persen tertahan kumulatif mulai dari saringan } 150 \mu\text{m (0,15 mm)}}{100} \\
 &= \frac{100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 99,32 + 97,08 + 49,32 + 1,2}{100} \\
 &= \frac{746,92}{100} = 7,47
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 5 Gradasi hasil uji analisa ayak material split

Didapat nilai Dari hasil pengujian analisa ayak agregat kasar didapat nilai FM = 7,46 %. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan ASTM C 33 - 93, yaitu 6 - 7 % sehingga gradasi agregat tersebut cenderung kasar.

#### 4.3 Pembuatan Mix Design

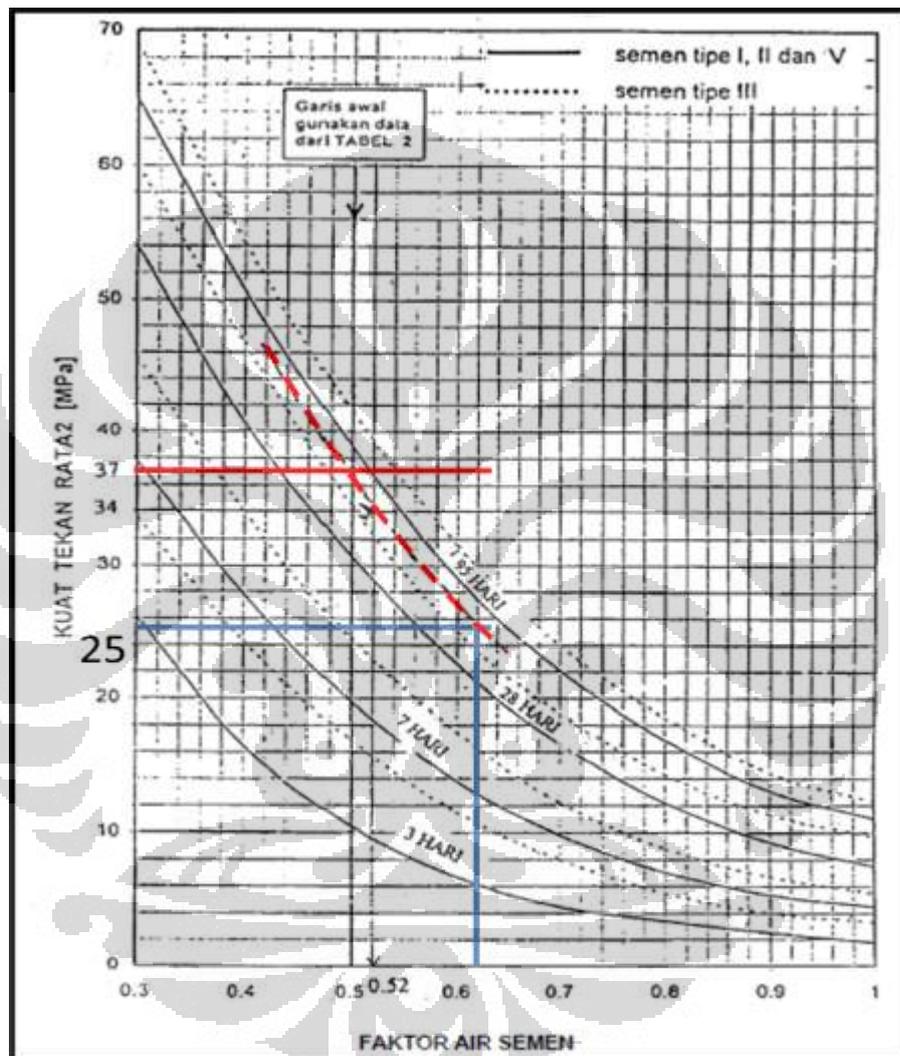
Data – data yang dibutuhkan untuk merencanakan rancangan campuran beton dengan SNI 03 – 2834 – 2000 ini adalah sebagai berikut :

- Semen PCC Type 1
- Slump = 60 – 180 mm
- Kuat tekan yang ditargetkan beton mutu rendah  $f_c$ '25 MPa
- Agregat kasar batu pecah ukuran max. 2 cm

Jenis semen ---	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe I Atau	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen-tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
Batu pecah	30	40	53	60		

Tabel 4. 25 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air-Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa dipakai di Indonesia

Dengan penggunaan PC type I dan agregat kasar berupa batu pecah ukuran maksimal 2 cm maka berdasarkan tabel 4.20 perkiraan kekuatan tekan sebesar 37 MPa.



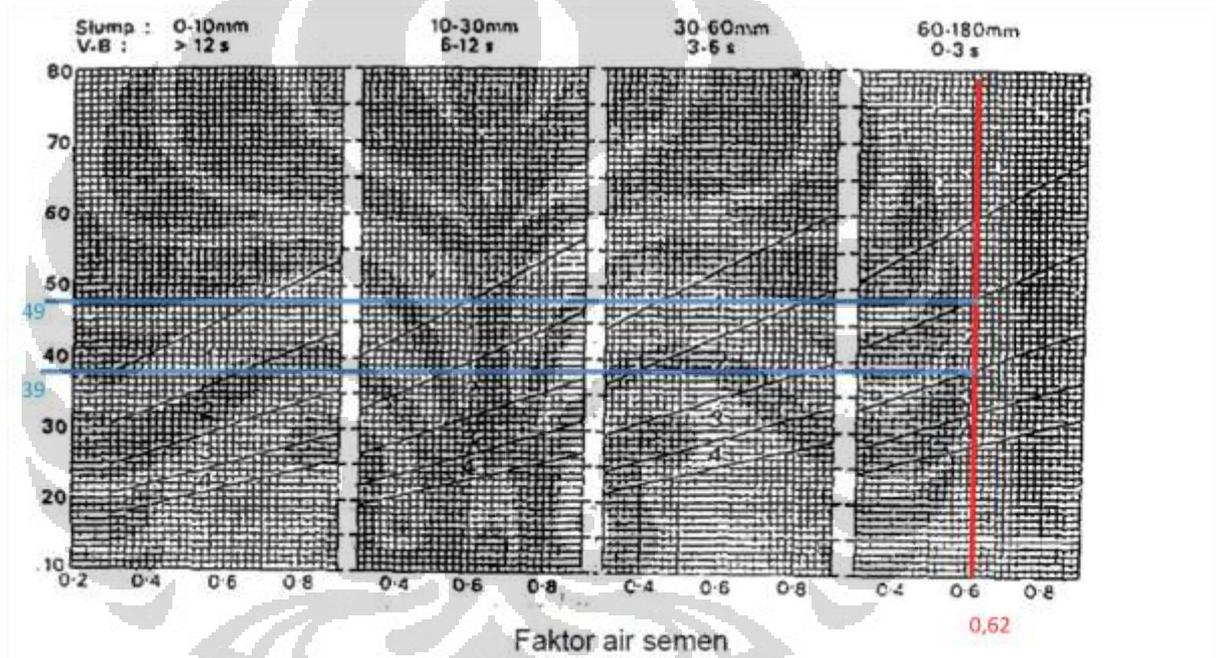
Gambar 4. 6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Dengan begitu berdasarkan Grafik 4.4 dengan mengacu pada kuat tekan yang ditargetkan didapat FAS 0,62

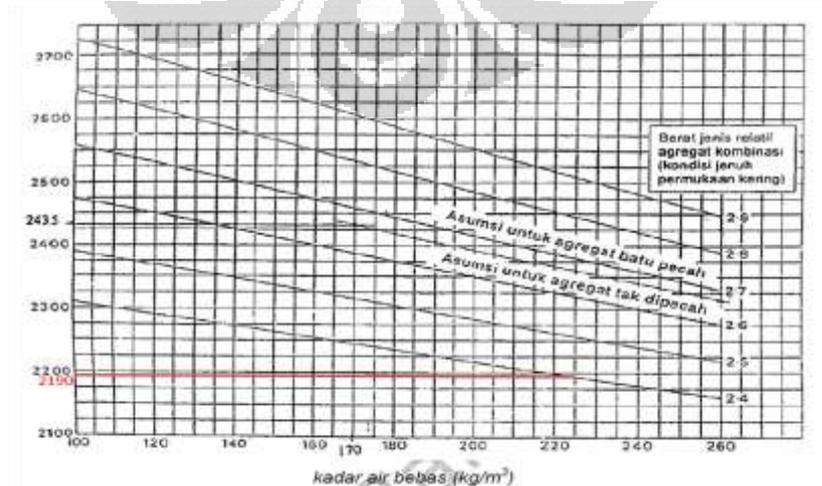
Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	---	---	---	---
10	batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	batu pecah	180	205	230	250
20	batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	batu pecah	170	190	210	225
40	batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	batu pecah	155	175	190	205

Tabel 4. 26 Perkiraan kadar air bebas ( $\text{kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan beton

Berdasarkan Grafik 4.21 dengan mengacu pada slump 60 – 180 mm maka perkiraan kebutuhan air sebesar  $225 \text{ kg/m}^3$ .



Gambar 4. 7 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm



Gambar 4. 8 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan

Maka dapat ditentukan berat isi beton dari Grafik 4.6 yaitu sebesar  $2190 \text{ kg/m}^3$ . Berikut Tabel rancang campur beton hasil analisa berdasarkan SNI 03 – 2834 – 2000.

No	Uraian	Tabel/ Grafik/ Perhitungan	Nilai	
1	Kuat Tekan yang diisyaratkan	Ditetapkan	25	Mpa
2	Faktor Air Semen	Ditetapkan	0,62	
3	Ukuran Agregat Maximum	Ditetapkan	20	mm
4	Slump	Ditetapkan	60 - 180	mm
5	Kadar Air Bebas	Lampiran 3.6.4 dari tabel 3.6.1	225	$\text{kg/m}^3$
6	Kadar Semen	5 : 2	362,90	kg
7	Susunan Butir Agregat Halus	Gradasi Zone 1		
8	Persen Agregat Halus	Grafik 3.6.11	39-49	
		Dipakai	44	
9	Berat Jenis Relatif Agregat (Kering permukaan)	( % Ag. Halus x Bj. Halus) + (% Ag. Kasar x Bj. Kasar)	2,4	
10	Berat Isi Beton	Grafik 3.6.12	2190	$\text{kg/m}^3$
11	Kadar Agregat Gabungan	10 - 6 - 5	1602,10	$\text{kg/m}^3$
12	Kadar Agregat Halus	8 x 11	704,92	$\text{kg/m}^3$
13	Kadar Agregat Kasar	11 - 12	897,17	$\text{kg/m}^3$
14	Komposisi Campuran : - Per $1 \text{ m}^3$ Beton	a. Semen b. Air c. Agregat Halus d. Agregat Kasar	362,90 225 704,92 897,17	kg kg kg kg
15	Komposisi Campuran Setelah Koreksi Air : - Per $1 \text{ m}^3$ Beton (Setelah Koreksi Air Agregat)	a. Semen b. Air c. Agregat Halus d. Agregat Kasar	362,90 224,29 705,58 897,23	kg kg kg kg
	- Kebutuhan Bahan Setelah Koreksi Air untuk $1 \text{ x adukan } 0,04 \text{ m}^3$	a. Semen b. Air c. Agregat Halus d. Agregat Kasar	14,52 8,97 28,22 35,89	kg kg kg kg

Tabel 4. 27 Perencanaan Campuran Beton Normal

Dengan Tabel 2.22 sebagai perencanaan campuran beton maka dapat ditentukan kebutuhan total volume material yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji penelitian dan kebutuhan material untuk  $1 \text{ x adukan}$

molen. Berikut volume material yang dibutuhkan untuk masing – masing variasi campuran beton :

Kode	Volume 1 x adukan		Komposisi Bahan					Air (ltr)
			Semen + RHA		Agregat Halus		Agregat	
			Semen PCC (kg)	RHA (kg)	Pasir (kg)	CSW (kg)	Kasar (kg)	
CHWC121	0,04	m <sup>3</sup>	92% 13,35	8% 1,16	70% 19,76	30% 8,47	35,89	8,97
CHWC122	0,04	m <sup>3</sup>	92% 13,35	8% 1,16	60% 16,93	40% 11,29	35,89	8,97
CHWC123	0,04	m <sup>3</sup>	92% 13,35	8% 1,16	50% 14,11	50% 14,11	35,89	8,97
CHWC124	0,04	m <sup>3</sup>	92% 13,35	8% 1,16	40% 11,29	60% 16,93	35,89	8,97
CHWC125	0,04	m <sup>3</sup>	92% 13,35	8% 1,16	30% 8,47	70% 19,76	35,89	8,97

Tabel 4. 28 Volume kebutuhan material dalam 1 x adukan molen

No.	Jenis Uji	Jenis Benda Uji	Ukuran				Jumlah Benda Uji	Volume Total (m <sup>3</sup> )
			p (cm)	l (cm)	t (cm)	Ø (cm)		
1	Kuat Tekan	Kubus	10	10	10		175	0,1750
2	Modulus Elastisitas	Silinder			30	15	25	0,1325
3	Permeabilitas	Silinder			30	15	15	0,0795
4	Densitas	Silinder	10	10	10		25	0,0250
Total								0,4120
Total + 10%								0,4531

Tabel 4. 29 Volume total kebutuhan benda uji beton

Kode	Volume		Komposisi Bahan					Air (ltr)
			Semen + RHA		Agregat Halus		Agregat Kasar (kg)	
			Semen PCC (kg)	RHA (kg)	Pasir (kg)	CSW (kg)		
CHWC121	0,091	m <sup>3</sup>	92% 30,38	8% 2,64	70% 44,95	30% 19,26	81,65	20,41
CHWC122	0,091	m <sup>3</sup>	92% 30,38	8% 2,64	60% 38,52	40% 25,68	81,65	20,41
CHWC123	0,091	m <sup>3</sup>	92% 30,38	8% 2,64	50% 32,10	50% 32,10	81,65	20,41
CHWC124	0,091	m <sup>3</sup>	92% 30,38	8% 2,64	40% 25,68	60% 38,52	81,65	20,41
CHWC125	0,091	m <sup>3</sup>	92% 30,38	8% 2,64	30% 19,26	70% 44,95	81,65	20,41
Total	0,453145	m <sup>3</sup>	151,91	13,21	160,52	160,52	408,24	102,05

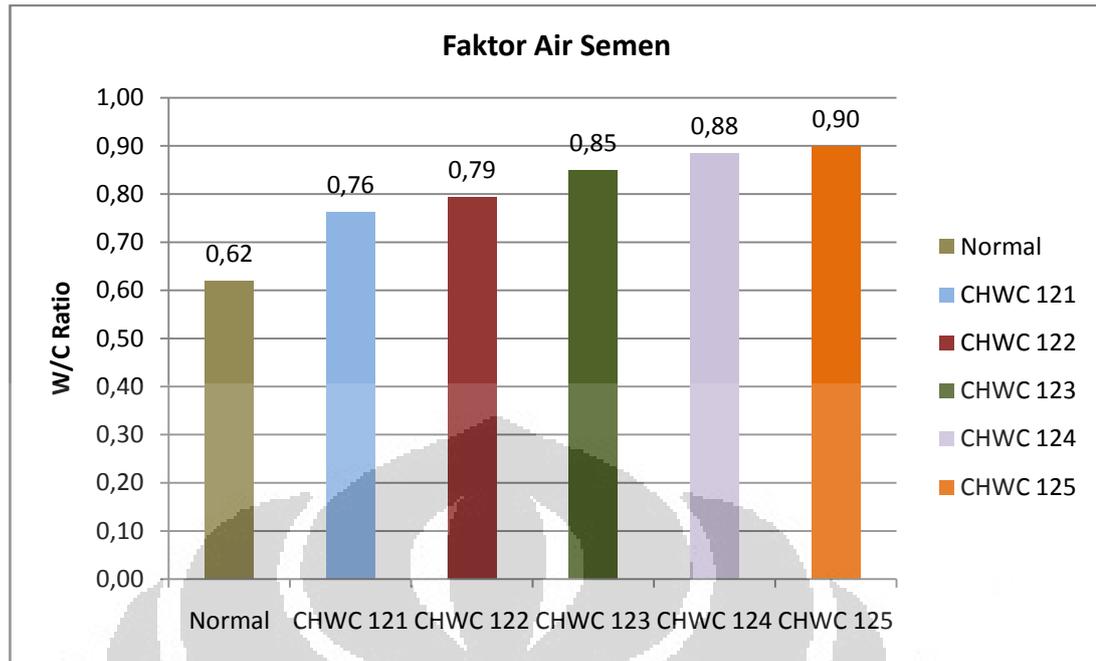
Tabel 4. 30 Volume kebutuhan total material untuk campuran beton

#### 4.4 Hasil Pengujian Beton Segar

##### 4.4.1 Faktor Air Semen

No	Campuran Beton	Air (kg)			FAS			Rata - rata
		1	2	3	1	2	3	
1	Normal	9	9	9	0,62	0,62	0,62	0,62
2	CHWC 121	11,15	11,1	11	0,77	0,76	0,76	0,76
3	CHWC 122	11,5	11,6	11,5	0,79	0,80	0,79	0,79
4	CHWC 123	12,6	12,3	12,1	0,87	0,85	0,83	0,85
5	CHWC 124	12,9	12,8	12,8	0,89	0,88	0,88	0,88
6	CHWC 125	13,2	13	13	0,91	0,90	0,90	0,90

Tabel 4. 31 FAS rata – rata pada setiap campuran beton



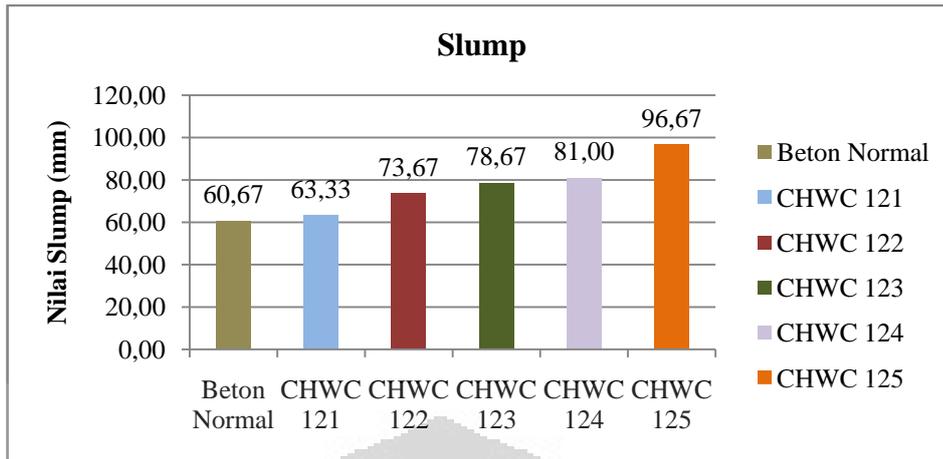
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan FAS pada setiap campuran beton

Berdasarkan data dari Tabel 4.26 dan Grafik 2.7 menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya prosentase campuran CSW maka kebutuhan kadar air semakin bertambah sehingga FAS semakin besar. Hal ini dikarenakan penggunaan CSW yang cenderung dalam keadaan kering sehingga menambah kadar air agar workability semakin baik dan slump yang ditargetkan tercapai.

#### 4.4.2 Uji Slump

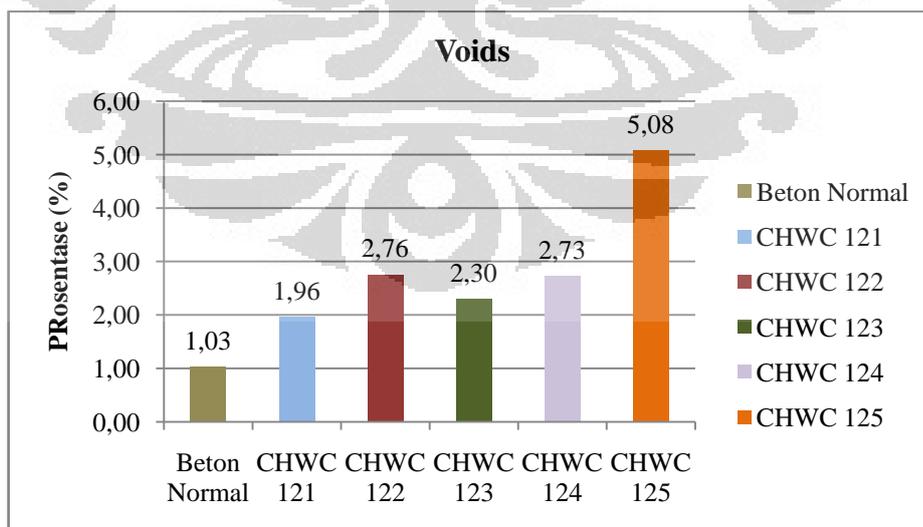
Kode Variasi Campuran	Berat Isi Rencana (Kg/m <sup>3</sup> )	Berat Isi (Kg/m <sup>3</sup> )	Yield	Voids (%)	Slump (mm)
Beton Normal	2190	2167,47	1,01	1,03	60,67
CHWC 121	2190	2147,00	1,02	1,96	63,33
CHWC 122	2190	2129,61	1,03	2,76	73,67
CHWC 123	2190	2139,71	1,02	2,30	78,67
CHWC 124	2190	2130,22	1,03	2,73	81,00
CHWC 125	2190	2078,79	1,05	5,08	96,67

Tabel 4. 32 Hasil rekap pengujian beton segar



Gambar 4. 10 Gambar Nilai Slump rata – rata pada masing – masing campuran beton

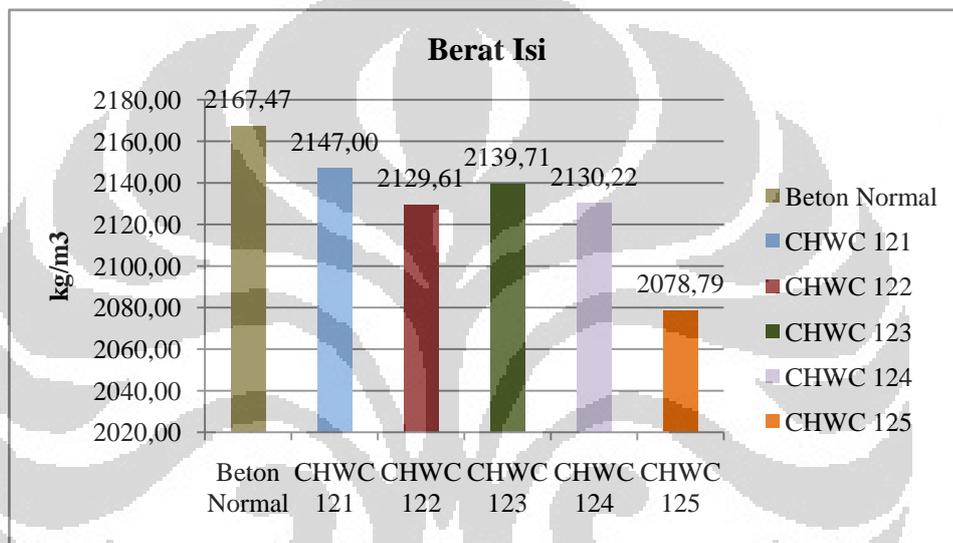
Berdasarkan data hasil pengujian slump, nilai rata – rata slump campuran beton normal, CHWC 121, CHWC 122, CHWC 123, CHWC 124, CHWC 125 yaitu, 60,67 mm, 63,33 mm, 73,67 mm, 78,67 mm, 81 mm, dan 96,67 mm. Kelima variasi beton campuran dan beton campuran normal tersebut masuk dalam slump rencana yaitu 60 – 180 mm. Dari Grafik 4.8 menunjukkan bahwa pola yang terjadi semakin banyak prosentase campuran material CSW maka semakin bertambah tinggi nilai slump yang terjadi, sehingga berbanding lurus dengan FAS pada setiap beton campuran yang semakin tinggi nilai FAS seiring bertambahnya prosentase material CSW.



Gambar 4. 11 Grafik Prosentase voids pada masing – masing campuran beton segar

Berdasarkan Grafik kadar udara dalam beton variasi campuran yang terbesar terdapat pada campuran CHWC 125 sebesar 5,08 %, Namun walaupun dari beton campuran CHWC 122 ke beton campuran CHWC 123 kadar udara berkurang dapat disimpulkan pola yang terbentuk cenderung semakin bertambah pada kadar udara dalam beton campuran dengan prosentase CSW yang semakin bertambah.

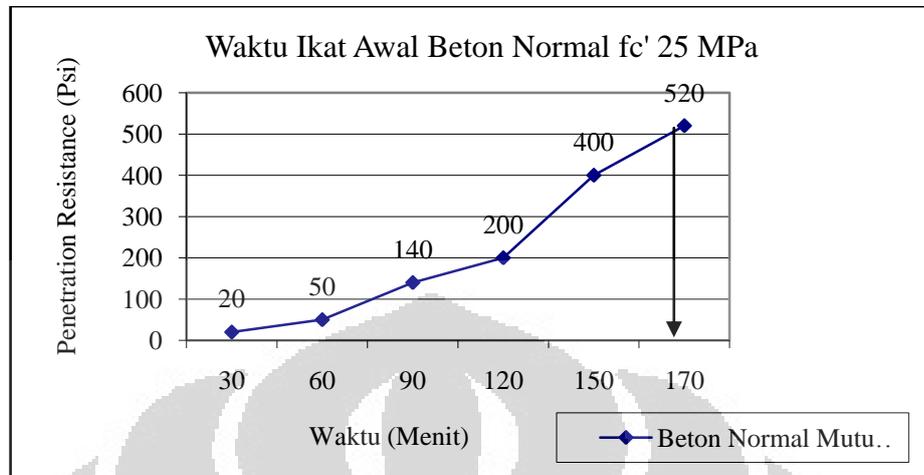
#### 4.4.3 Berat Isi



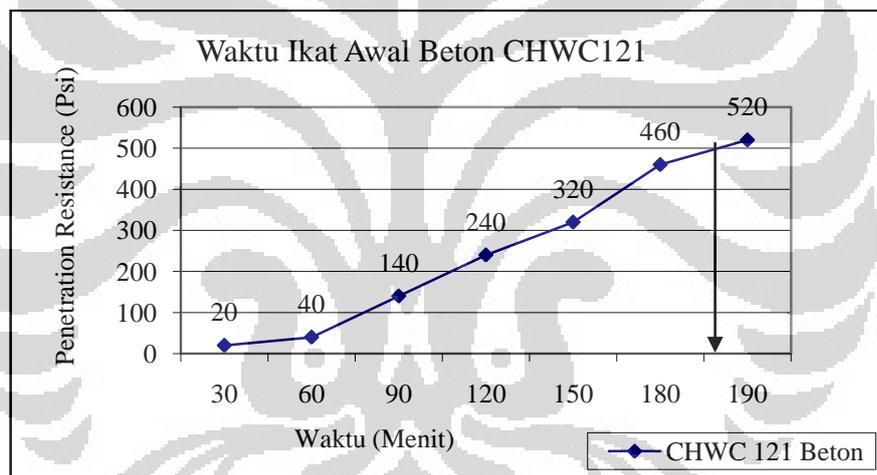
Gambar 4. 12 Gambar Perbandingan berat isi beton segar pada masing – masing campuran

Berdasarkan data pengujian berat isi beton segar untuk berbagai variasi campuran disimpulkan bahwa beton campuran Normal hampir memenuhi berat isi beton rencana yaitu 2167 kg/m<sup>3</sup> , sedangkan beton campuran CHWC 125 memiliki berat isi beton 2078 kg/m<sup>3</sup> , terendah jauh dari berat isi rencana berat isi beton yang mencapai 2190 kg/m<sup>3</sup>.

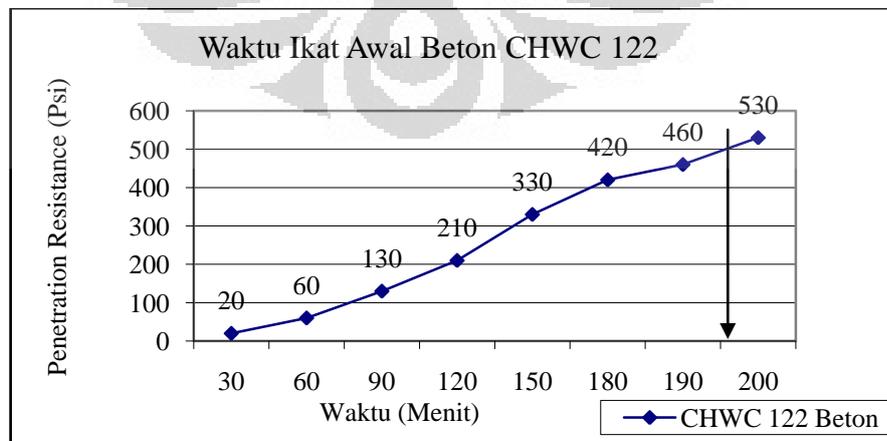
#### 4.4.4 Waktu Ikat Awal



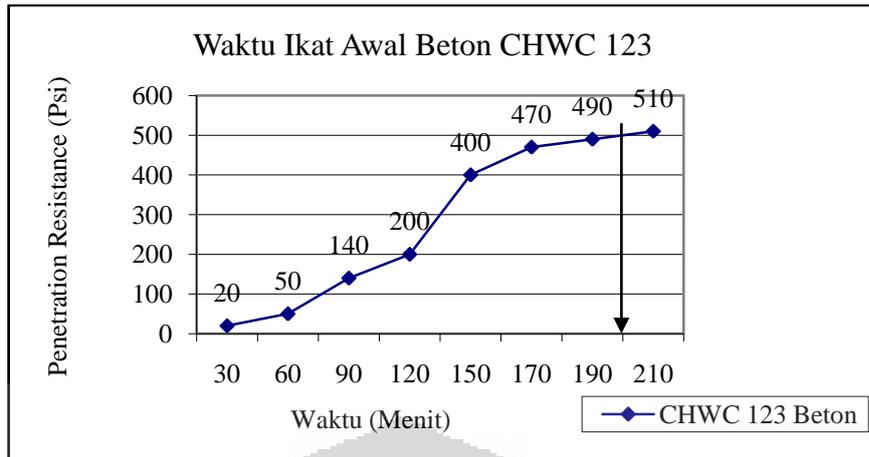
Gambar 4. 13 Grafik waktu ikat awal beton normal mutu rendah  $f_c'$  25 MPa



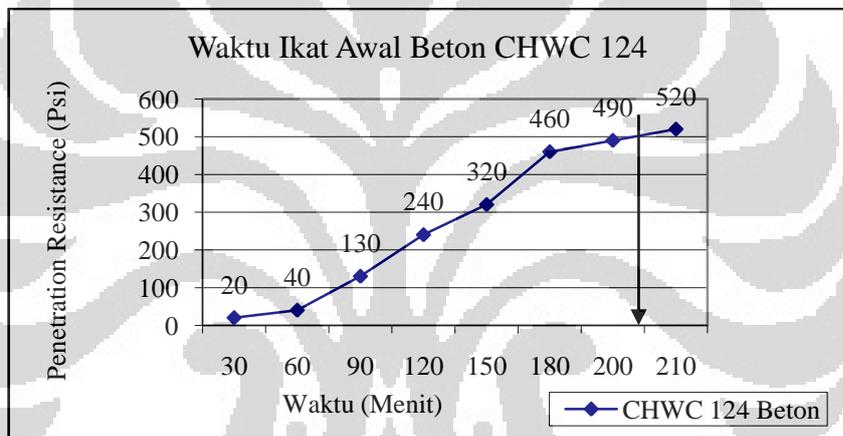
Gambar 4. 14 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 121



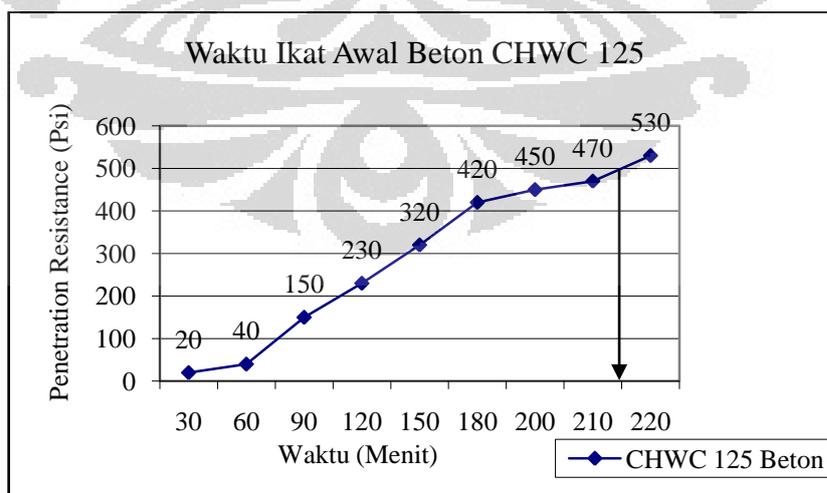
Gambar 4. 15 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 122



Gambar 4. 16 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 123



Gambar 4. 17 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 124



Gambar 4. 18 Grafik waktu ikat awal beton CHWC 125

Variasi Beton Campuran	Waktu Ikat Awal (menit)
Beton Normal	166,667
CHWC 121	186,667
CHWC 122	195,714
CHWC 123	200,000
CHWC 124	203,333
CHWC 125	215,000

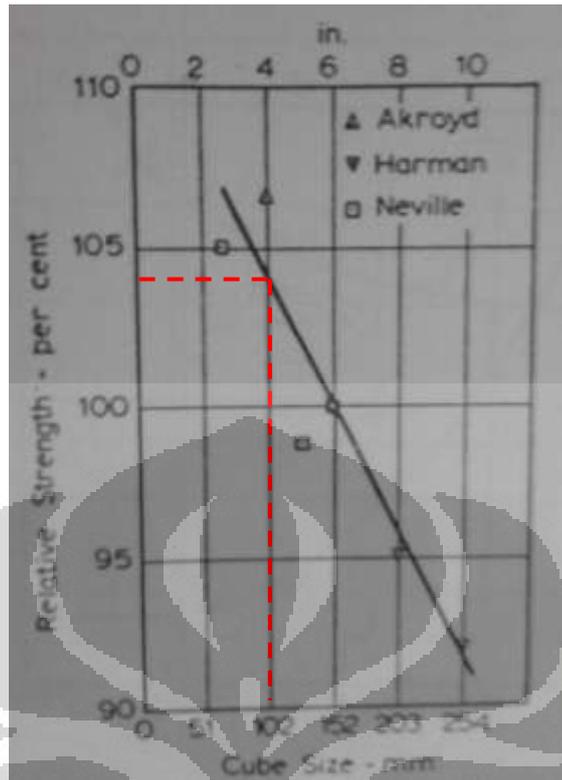
*Tabel 4. 33 Rekap hasil pengujian ikat awal*

Waktu ikat awal beton normal merupakan waktu ikat awal terpendek dicapai dengan waktu 166,67 menit. Sedangkan waktu ikat awal beton campuran CHWC121 186,67 menit, CHWC122 195,7 menit, CHWC123 200 menit, CHWC124 203,3 menit, CHWC125 215 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah CSW yang digunakan semakin lama waktu ikat awal yang dicapai.

## **4.5 Hasil Pengujian Beton Keras**

### **4.5.1 Kuat Tekan**

Dalam pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan kubus beton berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm guna penghematan material . Dengan begitu hasil kuat tekan yang didapat harus dikonversikan terhadap mutu kuat tekan kubus beton 15 cm x 15 cm x 15 cm yaitu kuat tekan kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm / 1,04, kemudian dikonversikan lagi menjadi kuat tekan silinder 15 cm x 30 cm yaitu 15 cm x 15 cm x 15 cm x 0,83 (Neville, A.M, Properties of Concrete, Third Edition, hal 561.)



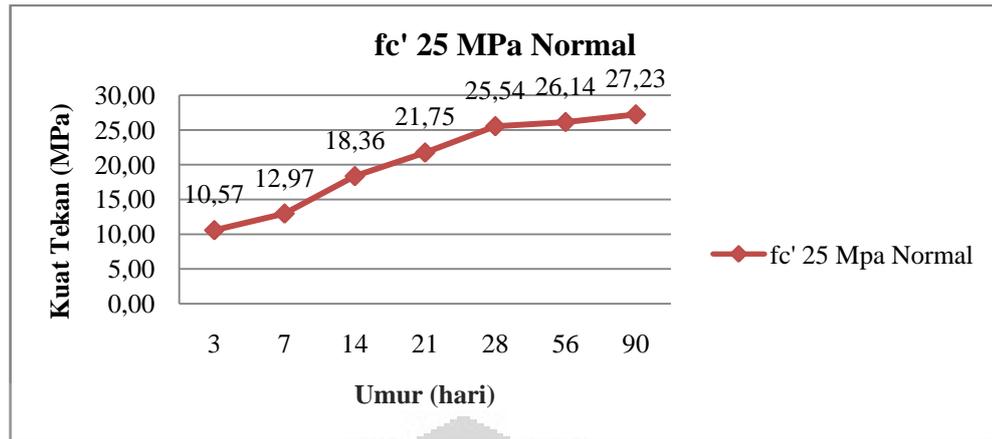
Gambar 4. 19 Grafik untuk konversi kuat tekan beton kubus

#### 4.5.1.1 Kuat Tekan Beton Normal

Beton campuran normal merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal tanpa campuran RHA dan CSW.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	2,207	9,04	10,57
2	7	100,00	2,148	12,97	12,97
3	14	100,00	2,196	19,62	18,36
4	21	100,00	2,194	21,15	21,75
5	28	100,00	2,196	25,01	25,54
6	56	100,00	2,225	26,80	26,14
7	90	100,00	2,193	28,73	27,23

Tabel 4. 34 Kuat tekan rata – rata beton normal mutu rendah  $f_c'$  25 MPa



Gambar 4. 20 Grafik kuat tekan rata – rata beton normal mutu rendah  $f_c'$  25 MPa

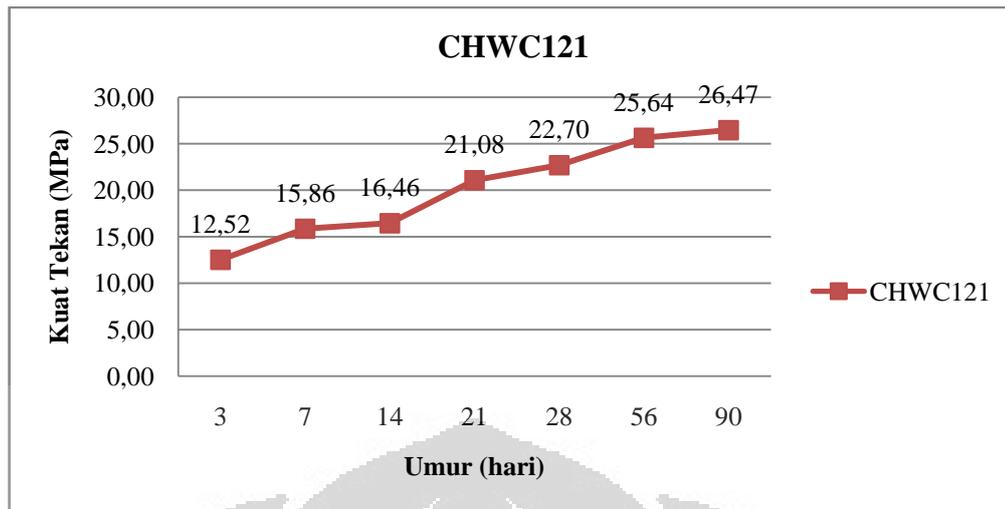
Didapat kuat tekan kubus beton yang sudah dikonversikan menjadi  $f_c'$  kuat tekan beton silinder, yaitu pada umur 28 hari sebesar 25,54 MPa. Dimana besar kuat tekan sudah mencapai dengan kuat tekan beton mutu rendah rencana yaitu antara  $f_c'$  25 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa peningkatan terus terjadi hingga umur 56 dan 90 hari, yaitu 26,14 MPa dan 27,23 MPa.

#### 4.5.1.2 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 121

Beton campuran CHWC 121 merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal yang mengandung campuran RHA 8 % dari komposisi semen dan CSW 30 % dari komposisi agregat halus.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	1,916	15100	12,52
2	7	100,00	2,182	18650	15,86
3	14	100,00	2,183	22700	16,46
4	21	100,00	2,206	26450	21,08
5	28	100,00	2,199	28800	22,70
6	56	100,00	2,218	32700	25,64
7	90	100,00	2,250	33200	26,47

Tabel 4. 35 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 121



Gambar 4. 21 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 121

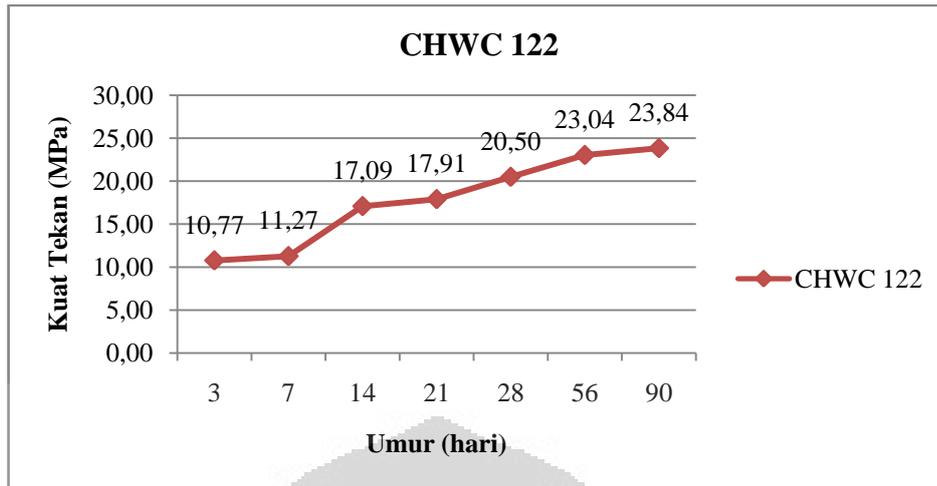
Dari grafik dan tabel diatas kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 22,7 MPa. Kuat tekan tersebut tidak mencapai kuat tekan yang ditargetkan yaitu 25 MPa. Namun peningkatan kuat tekan beton terus terjadi sampai umur 90 hari yaitu 25,64 MPa pada umur 56 hari dan 26,47 pada umur 90 hari.

#### 4.5.1.3 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 122

Beton campuran CHWC 122 merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal yang mengandung campuran RHA 8 % dari komposisi semen dan CSW 40 % dari komposisi agregat halus.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	2,157	14300	10,77
2	7	100,00	2,133	14450	11,27
3	14	100,00	2,169	21400	17,09
4	21	100,00	2,182	23500	17,91
5	28	100,00	2,165	26250	20,50
6	56	100,00	2,188	28250	23,04
7	90	100,00	2,145	30900	23,84

Tabel 4. 36 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 122



Gambar 4. 22 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 122

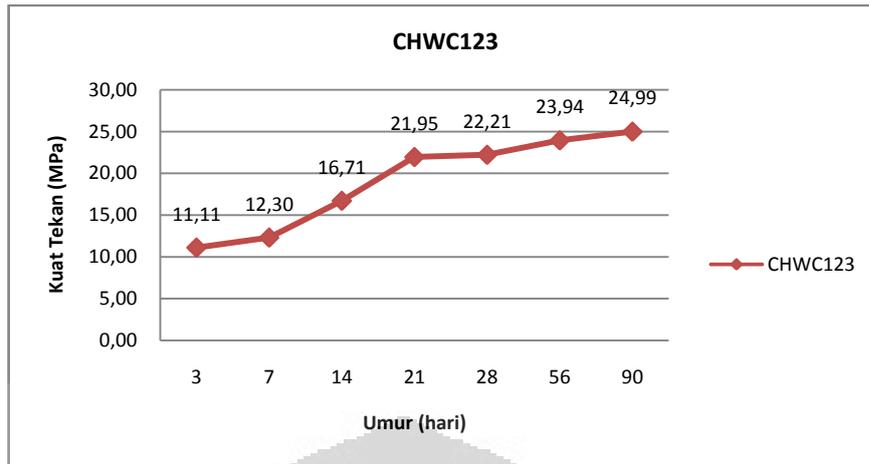
Dari tabel dan grafik diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC 122 pada umur 28 hari mencapai 20,5 MPa. Maka kuat tekan CHWC 122 tidak mencapai kuat tekan yang direncanakan yaitu  $f_c' = 25$ . Namun pada grafik dapat terlihat peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 23,84 MPa.

#### 4.5.1.4 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 123

Beton campuran CHWC 123 merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal yang mengandung campuran RHA 8 % dari komposisi semen dan CSW 50 % dari komposisi agregat halus.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	2,158	13900	11,11
2	7	100,00	2,128	15250	12,30
3	14	100,00	2,153	19800	16,71
4	21	100,00	2,154	27000	21,95
5	28	100,00	2,181	27750	22,21
6	56	100,00	2,143	29250	23,94
7	90	100,00	2,139	29350	24,99

Tabel 4. 37 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 123



Gambar 4. 23 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 123

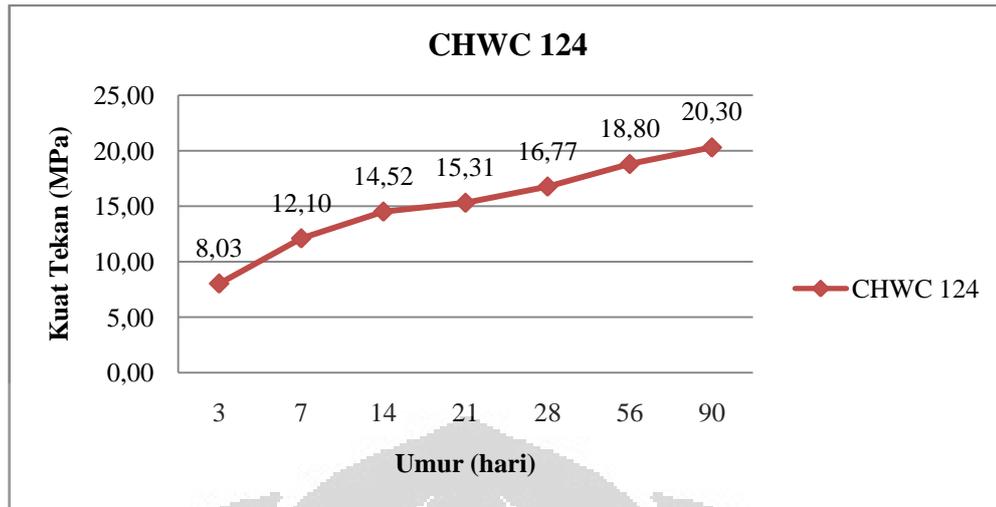
Dari tabel dan grafik diatas didapat kuat tekan beton campuran CHWC 123 pada umur 28 hari mencapai 22,21 MPa. Berdasarkan hasil uji kuat tekan di atas kuat tekan CHWC123 meningkat mendekati kuat tekan beton rencana dan melebihi kuat tekan dari beton campuran sebelumnya yaitu CHWC 122 yang memiliki prosentase CSW lebih kecil. Dan pada grafik selalu terjadi peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 24,99 MPa.

#### 4.5.1.5 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 124

Beton campuran CHWC 124 merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal yang mengandung campuran RHA 8 % dari komposisi semen dan CSW 60 % dari komposisi agregat halus.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	2,127	10150	8,03
2	7	100,00	2,104	15050	12,10
3	14	100,00	2,157	18000	14,52
4	21	100,00	2,178	18950	15,31
5	28	100,00	2,135	21110	16,77
6	56	100,00	2,087	23350	18,80
7	90	100,00	2,154	26350	20,30

Tabel 4. 38 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 124



Gambar 4. 24 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 124

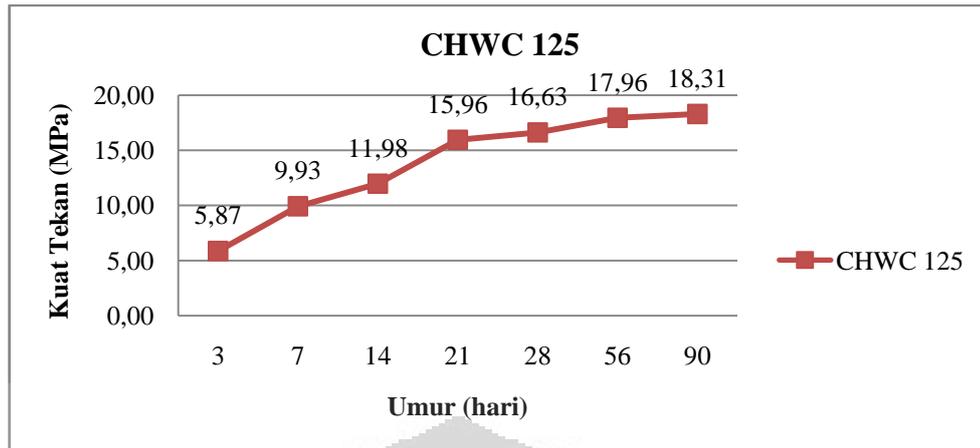
Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC 124 pada umur 28 hari mencapai 16,77 MPa. Kuat tekan CHWC 124 tidak mencapai kuat tekan yang direncanakan yaitu  $f_c'$  25 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 20,30 MPa.

#### 4.5.1.6 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC 125

Beton campuran CHWC 125 merupakan beton dengan komposisi rancang campuran beton normal yang mengandung campuran RHA 8 % dari komposisi semen dan CSW 70 % dari komposisi agregat halus.

No	Umur (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Berat Benda Uji Rata - rata (kg)	Beban Rata - rata (kg)	Konversi Kuat Tekan Silinder (Dia. 15 cm) (MPa)
1	3	100,00	2,043	7762	5,87
2	7	100,00	2,066	12350	9,93
3	14	100,00	2,003	15016	11,98
4	21	100,00	2,040	20300	15,96
5	28	100,00	2,073	20700	16,63
6	56	100,00	1,984	22200	17,96
7	90	100,00	1,987	22400	18,31

Tabel 4. 39 Kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 125



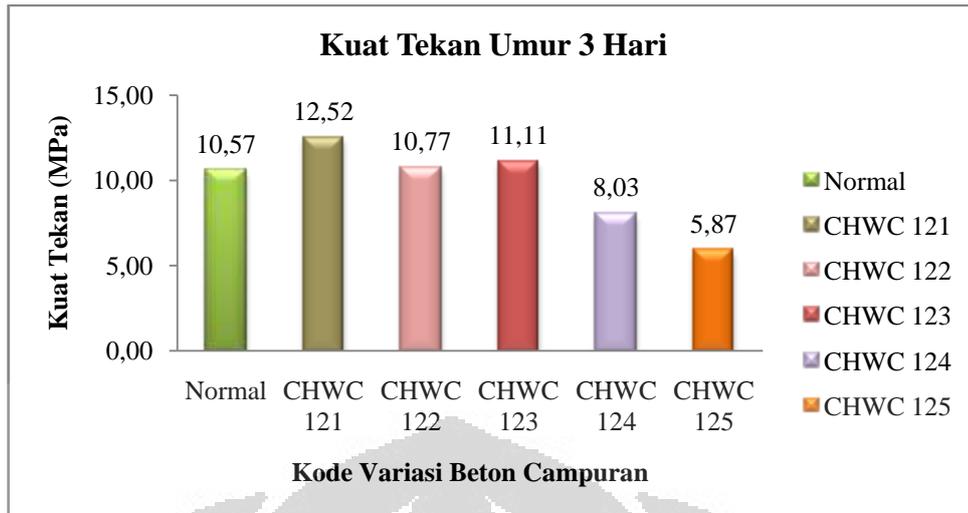
Gambar 4. 25 Grafik kuat tekan rata – rata beton campuran CHWC 125

Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC 125 pada umur 28 hari mencapai 16,63 MPa. Kuat tekan CHWC 125 tidak mencapai kuat tekan yang direncanakan yaitu  $f_c'$  25 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 18,31 MPa.

#### 4.5.1.7 Perbandingan Kuat Tekan Gabungan

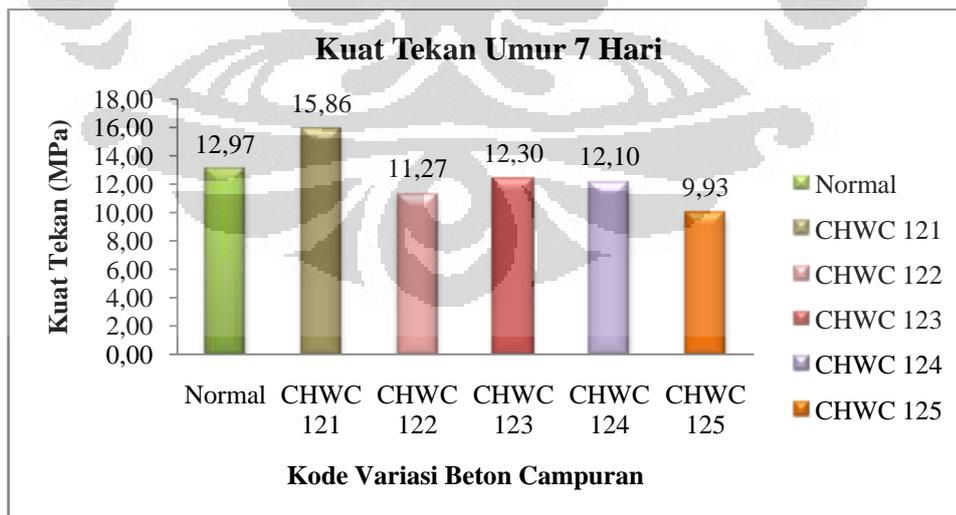
Umur (hari)	Kuat Tekan (Mpa)					
	Normal	CHWC 121	CHWC 122	CHWC 123	CHWC 124	CHWC 125
3	10,57	12,52	10,77	11,11	8,03	5,87
7	12,97	15,86	11,27	12,30	12,10	9,93
14	18,36	16,46	17,09	16,71	14,52	11,98
21	21,75	21,08	17,91	21,95	15,31	15,96
28	25,54	22,70	20,50	22,21	16,77	16,63
56	26,14	25,64	23,04	23,94	18,80	17,96
90	27,23	26,47	23,84	24,99	20,30	18,31

Tabel 4. 40 Rekap hasil uji kuat tekan beton masing – masing campuran



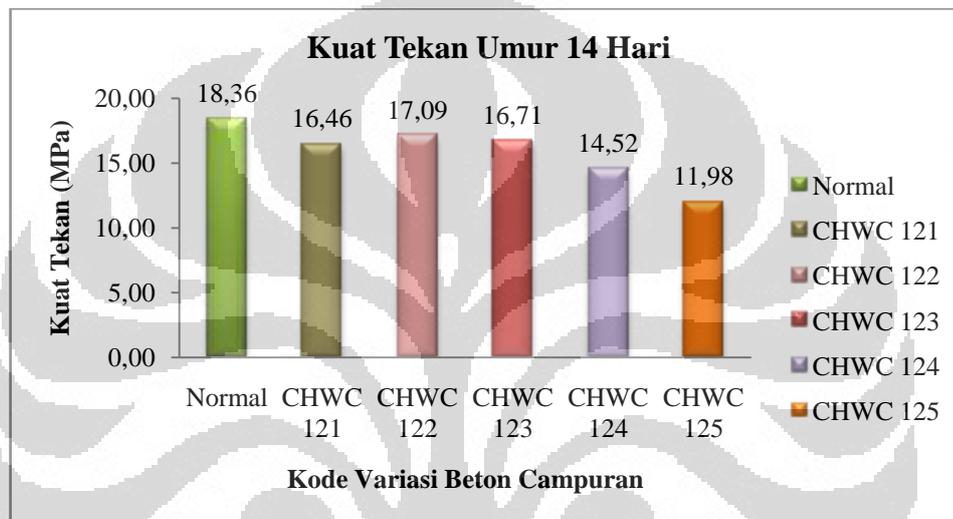
Gambar 4. 26 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 3 hari

Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 3 hari, kuat tekan beton campuran normal 10,57 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 121 dengan nilai sebesar 12,52 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 11,11 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 5,87 MPa.



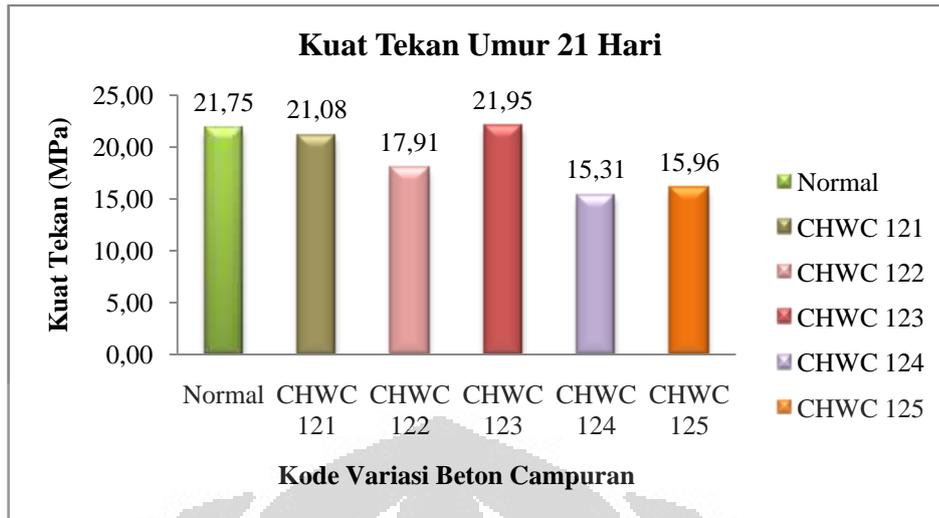
Gambar 4. 27 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 7 hari

Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 7 hari, kuat tekan beton campuran normal 12,97 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 121 dengan nilai sebesar 15,86 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 12,3 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 9,93 MPa.



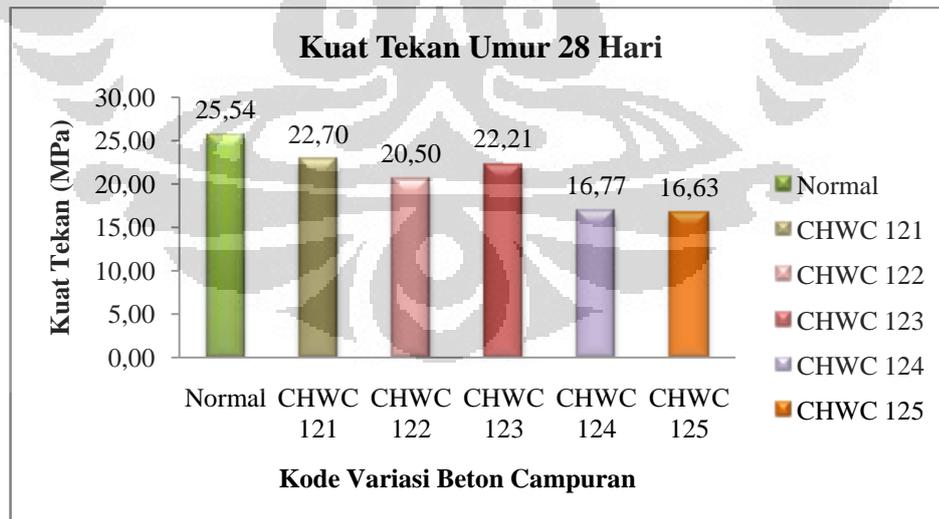
Gambar 4. 28 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 14 hari

Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 14 hari, kuat tekan beton campuran normal 18,36 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 122 dengan nilai sebesar 17,09 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 16,71 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 11,98 MPa.



Gambar 4. 29 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 21 hari

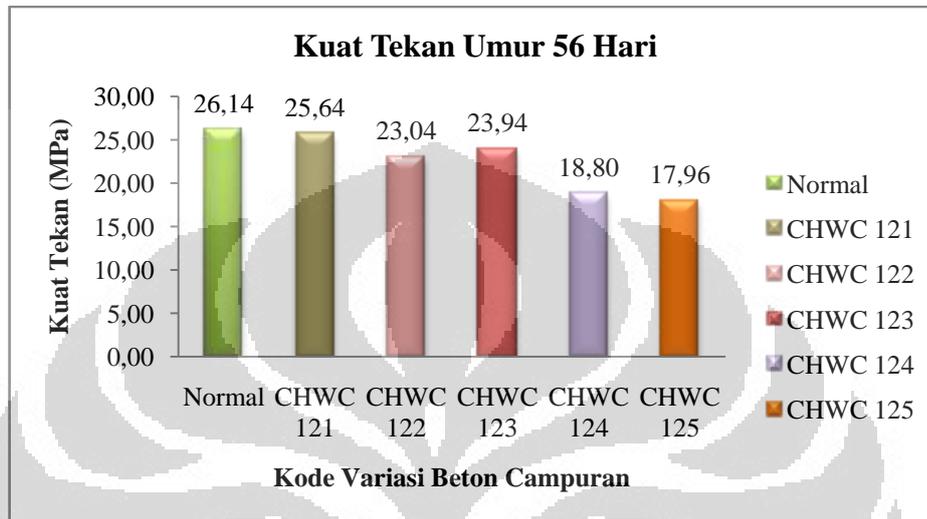
Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 21 hari, kuat tekan beton campuran normal 21,75 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 123 dengan nilai sebesar 21,95 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 121 21,08 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 124 dengan nilai sebesar 15,31 MPa.



Gambar 4. 30 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 28 hari

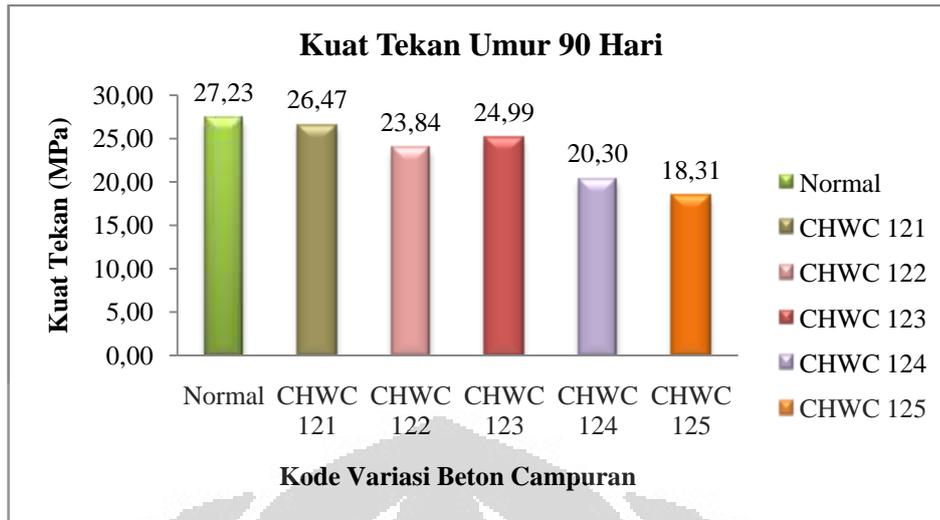
Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 28 hari, kuat tekan beton campuran normal 25,54 MPa.

Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 121 dengan nilai sebesar 22,7 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 22,21 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 16,63 MPa.



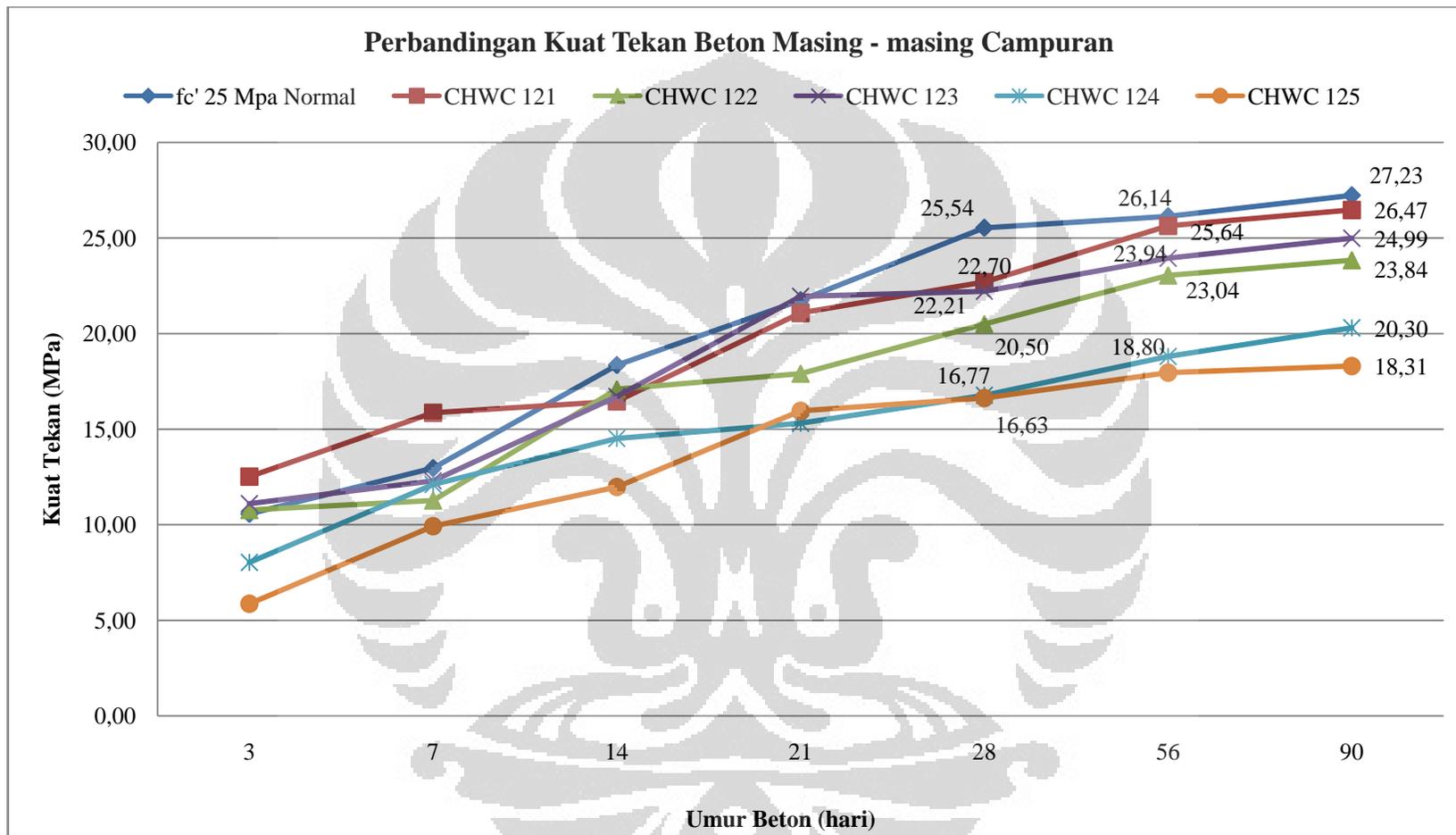
Gambar 4. 31 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 56 hari

Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 56 hari, kuat tekan beton campuran normal 26,14 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 121 dengan nilai sebesar 25,64 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 23,94 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 17,96 MPa.



Gambar 4. 32 Grafik histogram perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada umur 90 hari

Pada grafik histogram diatas, diketahui pada saat umur 90 hari, kuat tekan beton campuran normal 27,73 MPa. Sedangkan pada variasi kelima beton campuran yang memiliki kuat tekan terbesar adalah CHWC 121 dengan nilai sebesar 26,47 MPa dan untuk kuat tekan terbesar kedua adalah CHWC 123 24,99 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC 125 dengan nilai sebesar 18,31 MPa.



Gambar 4. 33 Grafik rekap hasil perbandingan kuat tekan beton masing – masing campuran pada masing – masing umur

Dari grafik pengujian kuat tekan gabungan dapat terlihat jelas perbedaan komposisi pada campuran beton sangat mempengaruhi kuat tekan beton yang terjadi pada setiap umur-umur benda uji. Dari kelima beton campuran, komposisi beton campuran CHWC121 mempunyai kuat tekan terbesar pada umur 28 hari yaitu sebesar 22,7 MPa, sedangkan kuat tekan terbesar kedua adalah beton campuran CHWC 123 yaitu sebesar 22,21 MPa, kuat tekan terbesar ketiga adalah beton campuran CHWC 122 yaitu sebesar 20,5 MPa, kuat tekan terbesar keempat adalah beton campuran CHWC 124 yaitu sebesar 16,77 MPa, kuat tekan terbesar kelima adalah beton campuran CHWC 125 yaitu sebesar 16,63 MPa, maka dapat dianalisa bahwa semakin banyak CSW pada campuran beton dapat menurunkan kuat tekan beton.

#### 4.5.2 Modulus Elastisitas

Untuk menentukan modulus elastisitas, maka perlu diinput data-data: panjang rambatan, factor koreksi (jika diperlukan), berat jenis, serta poisson's rasionya.

Dalam pengujiannya nilai yang kita dapat dari alat UPV adalah nilai waktu transit rambat gelombang yang kemudian didapat kecepatan gelombang dengan rumus :

$$V = \frac{L}{\Delta t}$$

dimana

V = kecepatan rambat gelombang ultrasonik  
(m/s)

L = panjang benda uji yang dilalui gelombang  
(m)

$\Delta t$  = waktu transit rambat gelombang ( $\mu s$ )

Setelah nilai kecepatan rambat gelombang didapat maka modulus elastisitas dapat ditentukan dengan rumus :

$$E = V^2 \frac{(\rho (1 + \mu)(1 - 2\mu))}{(1 - \mu)}$$

dimana

$E$  = modulus elastisitas dinamis (MPa)

$V$  = kecepatan rambat gelombang ultrasonik  
(m/s)

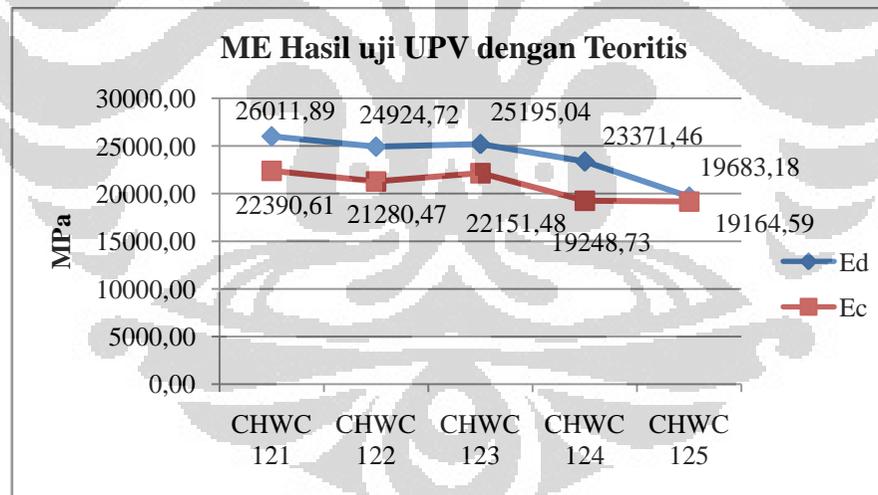
$\rho$  = kepadatan beton ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = poisson rasio dinamis (0,22 – 0,24)

Dari grafik pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan alat UPV setelah dianalisa terlihat jelas nilai modulus elastisitas terbesar adalah campuran CHWC131 yaitu sebesar 28.125,20 MPa, dan nilai modulus elastisitas yang terkecil adalah campuran CHWC135 yaitu sebesar 21.282,32 MPa. Pada tabel dibawah, nilai modulus elastisitas yang menggunakan alat UPV rata – rata lebih tinggi 23,51 % dibandingkan dengan nilai hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton menurut SKSNI 1991. Berdasarkan analisa dari tabel dan grafik hasil uji Modulus Elastisitas dengan metode UPV, semakin tinggi nilai kuat tekan yang didapat, semakin tinggi juga nilai modulus elastisitasnya.

No.	Variasi Campuran	Umur (hari)	Dimensi Silinder		Kuat Tekan (MPa)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Waktu Transit (μs)	Kecepatan Rambat (m/s)	Poisson Ratio	E <sub>d</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (MPa)	Koreksi
			Dia. (mm)	Panjang (mm)								
1	CHWC 121	28	150	300	22,70	2153,04	80,79	3714	0,22	26011,89	22390,61	16,17%
2	CHWC 122	28	150	300	20,50	2132,28	82,15	3652	0,22	24924,72	21280,47	17,12%
3	CHWC 123	28	150	300	22,21	2151,72	82,06	3656	0,22	25195,04	22151,48	13,74%
4	CHWC 124	28	150	300	16,77	2123,60	84,64	3545	0,22	23371,46	19248,73	21,42%
5	CHWC 125	28	150	300	16,63	2012,21	89,78	3342	0,22	19683,18	19164,59	2,71%
Rata - rata											14,23%	

Tabel 4. 41 Hasil uji ME metode UPV



Gambar 4. 34 Grafik perbandingan ME hasil uji UPV dan Teoritis

Kode Campuran	fc' (MPa)	E (MPa)	√fc'	Koef.
CHWC 121	22,70	26012	4,76	5460
CHWC 122	20,50	24925	4,53	5505
CHWC 123	22,21	25195	4,71	5346
CHWC 124	16,77	23371	4,10	5707
CHWC 125	16,63	19683	4,08	4827
Rata - rata				5369

Tabel 4. 42 Koefisien rata – rata dalam penentuan modulus elastisitas beton campuran RHA dan CSW

Nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil penelitian yang dinyatakan dengan perumusan :

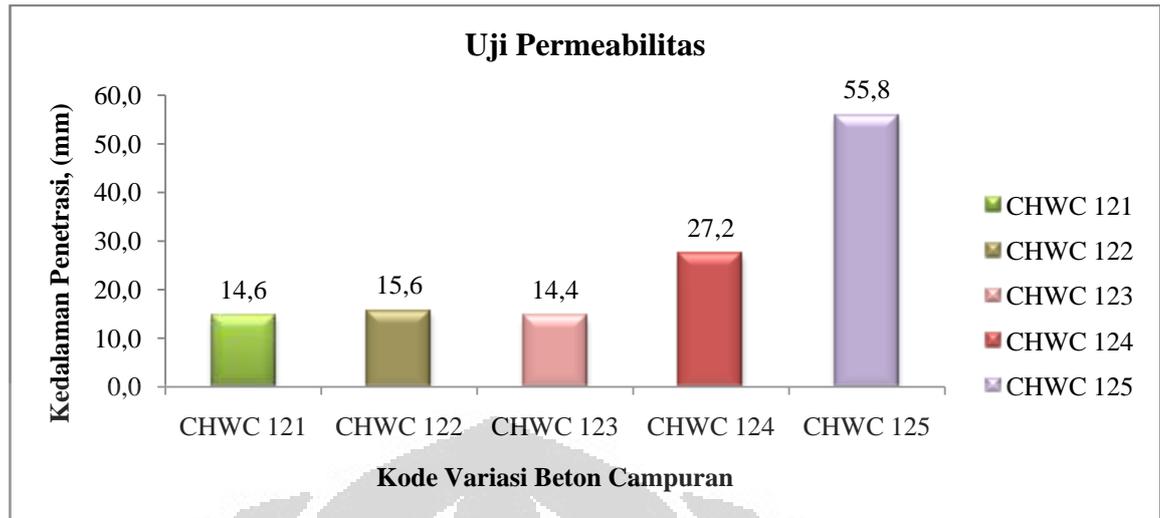
$$E = 5369\sqrt{f_c'}$$

#### 4.5.3 Permeabilitas

Uji permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan panjang 15 cm dengan memotong benda uji beton silinder ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan dengan tekanan air sebesar 5 bar selama 72 jam atau 3 hari.

Kode Variasi Campuran	Benda Uji Bentuk	Benda Uji		Umur (hari)	Tekanan (Bar)	Kuat Tekan (MPa)	Kedalaman Penetrasi Rata - rata (mm)
		Dia. (cm)	Tinggi (cm)				
CHWC 121	Silinder	15	15	28	5	22,70	14,6
CHWC 122	Silinder	15	15	28	5	20,50	15,6
CHWC 123	Silinder	15	15	28	5	22,21	14,4
CHWC 124	Silinder	15	15	28	5	16,77	27,2
CHWC 125	Silinder	15	15	28	5	16,63	55,8

Tabel 4. 43 Rekap hasil uji permeabilitas masing – masing variasi beton campuran



Gambar 4. 35 Grafik hasil uji permeabilitas pada masing – masing variasi beton campuran

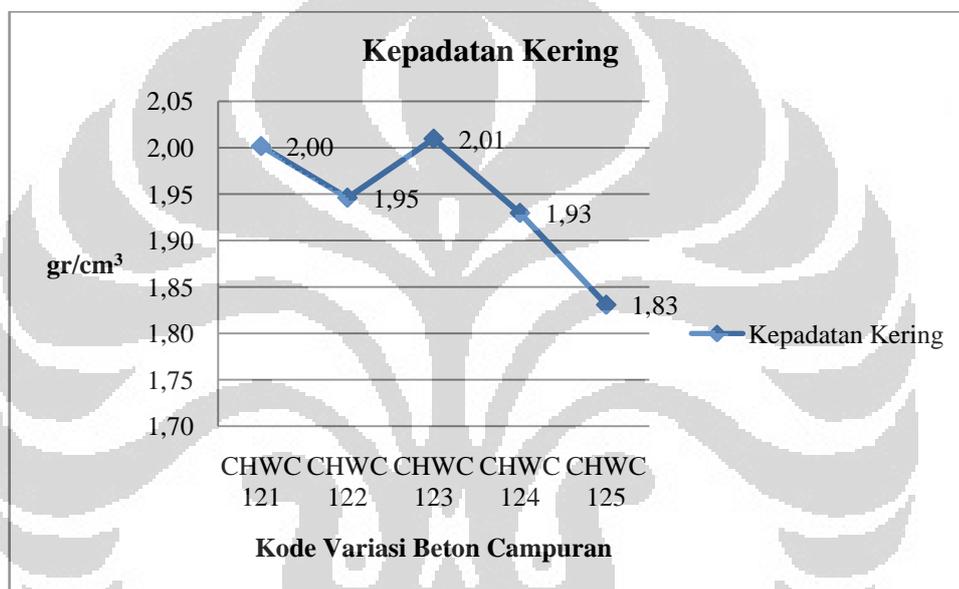
Pada pengujian permeabilitas dapat dilihat pada grafik nilai kedalaman penetrasi terbesar adalah pada campuran CHWC125 yaitu sebesar 55,8 mm, sedangkan nilai penetrasi terkecil adalah pada beton campuran CHWC 121 dan CHWC 123 yaitu sebesar 14,6 mm dan 14,4 mm. CHWC 125 memiliki komposisi CSW yang terbesar dibandingkan dengan kelima beton campuran yang lain yaitu 70%. Maka dapat dianalisa bahwa semakin banyak kandungan CSW maka semakin besar nilai kedalaman penetrasi yang terjadi. Begitu juga dengan perbandingan besarnya nilai kuat tekan pada masing – masing campuran, bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan semakin rendah nilai kedalaman penetrasinya.

#### 4.5.4 Densitas

Pengujian densitas menggunakan timbangan digital dan timbangan dalam air. Dari masing-masing variasi beton campuran dibuat benda uji kubus 10 x 10 x 10 cm sebanyak 5 buah. Berikut ini merupakan data hasil pengujian densitas beton yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium.

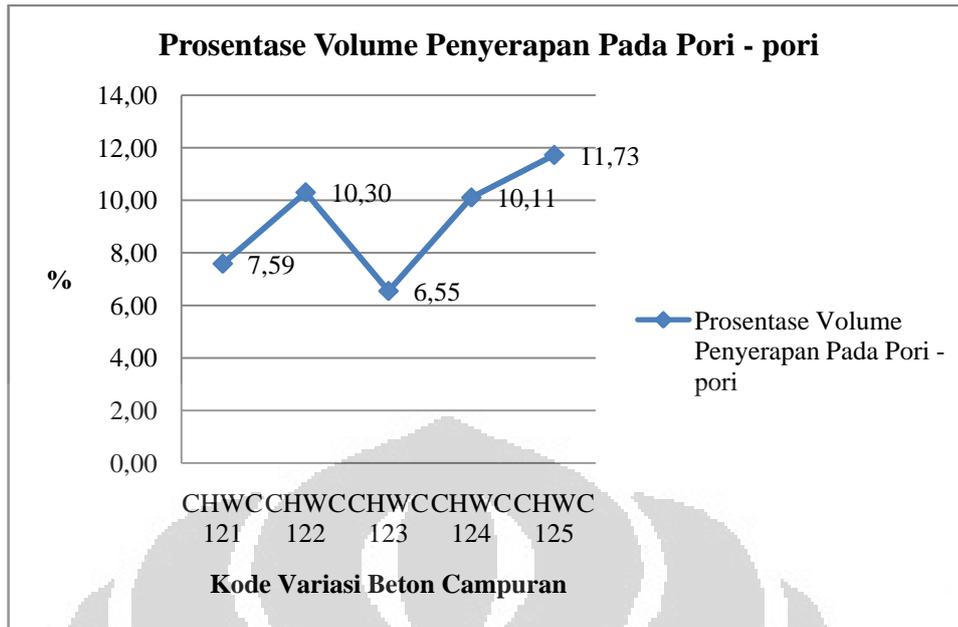
No	Variasi Campuran	Absorpsi Setelah Perendaman (%)	Absorpsi Setelah Perendaman dan Perebusan (%)	Kepadatan Kering (g/cm <sup>3</sup> )	Kepadatan Setelah Perendaman (g/cm <sup>3</sup> )	Kepadatan Setelah perendaman dan perebusan (g/cm <sup>3</sup> )	Kepadatan Semu (g/cm <sup>3</sup> )	Volume Penyerapan Pori - pori (%)
1	CHWC 121	7,70	8,24	2,00	2,15	2,17	2,39	7,59
2	CHWC 122	10,95	11,51	1,95	2,16	2,17	2,51	10,30
3	CHWC 123	6,52	7,05	2,01	2,14	2,15	2,34	6,55
4	CHWC 124	10,70	11,25	1,93	2,14	2,15	2,47	10,11
5	CHWC 125	12,72	13,29	1,83	2,06	2,07	2,42	11,73

Tabel 4. 44 Rekap hasil uji densitas pada masing – masing variasi beton campuran



Gambar 4. 36 Grafik kepadatan kering pada masing – masing campuran

Dari grafik di atas variasi beton campuran dengan nilai densitas atau kepadatan tertinggi dihasilkan oleh beton campuran CHWC 121 yaitu sebesar 2 gr/cm<sup>3</sup> atau 2000 kg/m<sup>3</sup> dan CHWC 123 sebesar 2,01 gr/cm<sup>3</sup> atau 2010 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan nilai densitas atau kepadatan terendah terjadi pada beton campuran CHWC 125 yaitu sebesar 1,83 gr/cm<sup>3</sup> atau 1830 kg/m<sup>3</sup>. Dengan begitu dapat dikatakan dengan perbandingan kuat tekan dengan densitas pada masing – masing beton campuran, bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan semakin tinggi nilai densitasnya.



Gambar 4. 37 Grafik Prosentase Volume Penyerapan Pada Pori - pori pada masing – masing campuran

Dari grafik di atas variasi beton campuran dengan nilai prosentase penyerapan pada pori - pori terendah dihasilkan oleh beton campuran CHWC 121 yaitu sebesar 7,59 % dan CHWC 123 6,55 %. Sedangkan nilai prosentase penyerapan pada pori - pori tertinggi terjadi pada beton campuran CHWC 125 yaitu sebesar 11,73 % . Dengan begitu dapat dikatakan dengan perbandingan nilai densitas dengan prosentase penyerapan pada pori – pori pada masing – masing beton campuran, bahwa semakin tinggi nilai densitas maka semakin rendah nilai prosentase penyerapan pada pori - porinya.

## 4.6 Analisa Hasil Pengujian Beton Keras

### 4.6.1 Analisa Hasil Uji Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian uji kuat tekan yang telah dilakukan, beton campuran normal mencapai target kuat tekan rencana pada umur 28 hari sebesar 25,54 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan untuk kelima beton campuran yang lain tidak mencapai target kuat tekan rencana.

Pada beton campuran CHWC 121 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 70 % pasir dan 30 % CSW memiliki kuat tekan

tertinggi pertama dengan kuat tekan 22,7 MPa pada umur 28 hari. Selama pengujian pada setiap umur selalu mengalami peningkatan kuat tekan hingga 26,47 MPa pada umur 90 hari.

Pada beton campuran CHWC 122 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 60 % pasir dan 40 % CSW memiliki kuat tekan tertinggi ketiga dengan kuat tekan 20,5 MPa pada umur 28 hari. Selama pengujian pada setiap umur selalu mengalami peningkatan kuat tekan hingga 23,84 MPa pada umur 90 hari.

Pada beton campuran CHWC 123 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 50 % pasir dan 50 % CSW memiliki kuat tekan tertinggi kedua dengan kuat tekan 22,21 MPa pada umur 28 hari. Selama pengujian pada setiap umur selalu mengalami peningkatan kuat tekan hingga 24,99 MPa pada umur 90 hari.

Pada beton campuran CHWC 124 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 40 % pasir dan 60 % CSW memiliki kuat tekan tertinggi keempat dengan kuat tekan 16,77 MPa pada umur 28 hari. Selama pengujian pada setiap umur selalu mengalami peningkatan kuat tekan hingga 20,3 MPa pada umur 90 hari.

Pada beton campuran CHWC 121 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 70 % pasir dan 30 % CSW memiliki kuat tekan terendah dengan kuat tekan 16,63 MPa pada umur 28 hari. Selama pengujian pada setiap umur selalu mengalami peningkatan kuat tekan hingga 18,31 MPa pada umur 90 hari.

Berdasarkan analisa diatas, beton campuran dengan komposisi pasir 70 % dan CSW 30 % yang memiliki mutu kuat tekan terbaik. Sedangkan beton campuran dengan komposisi CSW semakin tinggi dan pasir semakin rendah dapat menurunkan mutu kuat tekan beton.

#### **4.6.2 Analisa Hasil Uji Modulus Elastisitas**

Berdasarkan hasil penelitian uji modulus elastisitas dengan metode UPV yang telah dilakukan, pada beton campuran CHWC 121 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 70 % pasir dan 30 % CSW

memiliki modulus elastisitas tertinggi pertama sebesar 26.011,89 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari memiliki nilai 22.390,61 MPa.

Pada beton campuran CHWC 122 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 60 % pasir dan 40 % CSW memiliki modulus elastisitas tertinggi ketiga sebesar 24.924,72 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari memiliki nilai 21.280,47 MPa.

Pada beton campuran CHWC 123 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 50 % pasir dan 50 % CSW memiliki modulus elastisitas tertinggi kedua sebesar 25.195,04 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari memiliki nilai 22.151,48 MPa.

Pada beton campuran CHWC 124 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 40 % pasir dan 60 % CSW memiliki modulus elastisitas tertinggi keempat sebesar 23.371,46 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari memiliki nilai 19.248,73 MPa.

Pada beton campuran CHWC 125 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 30 % pasir dan 70 % CSW memiliki modulus elastisitas terendah sebesar 19.683,18 MPa pada umur 28 hari. Sedangkan nilai modulus elastisitas berdasarkan hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari memiliki nilai 19.164,59 MPa.

Berdasarkan analisa diatas, beton campuran dengan komposisi pasir 70 % dan CSW 30 % yang memiliki nilai modulus elastisitas terbaik. Sedangkan beton campuran dengan komposisi CSW semakin tinggi dan pasir semakin rendah dapat menurunkan modulus elastisitas pada beton. Hasil uji ini menunjukkan bahwa beton dengan kerapatan atau kepadatan yang semakin tinggi maka transit time akan semakin pendek atau cepat dengan begitu kecepatan rambat gelombang dari alat PUNDIT akan semakin cepat dan akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang semakin tinggi. Namun dalam pengujian

dengan metode UPV ini terjadi koreksi rata – rata sebesar 14,23 % dengan modulus elastisitas teoritis.

#### **4.6.3 Analisa Hasil Uji Permeabilitas**

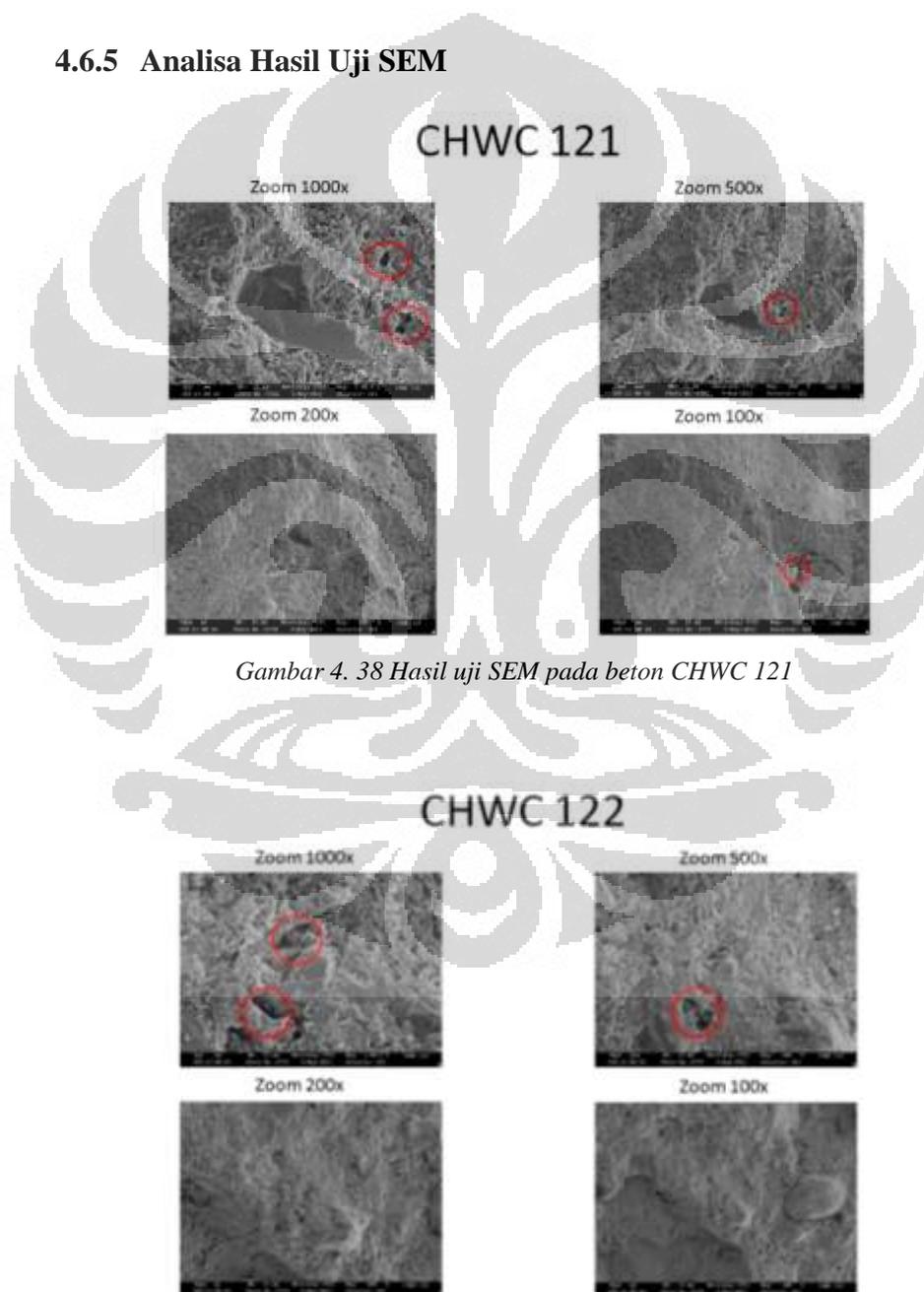
Berdasarkan hasil penelitian uji permeabilitas pada kelima beton campuran yang mengandung RHA dan CSW menunjukkan bahwa pengujian yang dilakukan pada umur 28 hari pada beton campuran CHWC 121 dan CHWC 123 yang masing – masing beton campuran mengandung RHA 8 % dari semen, 70 % pasir, 30 % CSW dan RHA 8 % dari semen, 50 % pasir, 50 % CSW memiliki hasil dengan kedalaman penetrasi air rata – rata sebesar 14,6 dan 14,4 mm. Hal ini menunjukkan bahwa beton CHWC 121 dan CHWC 123 merupakan beton yang memiliki kuat tekan dan kerapatannya paling tinggi dari kelima variasi beton campuran tersebut. Sedangkan Pada beton campuran CHWC 125 yang mengandung RHA 8 % dari semen, 30 % pasir dan 70 % CSW memiliki hasil dengan kedalaman penetrasi air rata – rata sebesar 55,8 mm. Hal ini menunjukkan bahwa beton CHWC 125 merupakan beton yang memiliki kuat tekan dan kerapatannya paling rendah dari kelima variasi beton campuran tersebut.

#### **4.6.4 Analisa Hasil Uji Densitas**

Berdasarkan hasil pengujian densitas pada kelima beton campuran yang mengandung RHA dan CSW, nilai kepadatan atau densitas yang dihasilkan untuk setiap beton campuran cukup bervariasi, dimana beton campuran CHWC 121 dan CHWC 123 memiliki kepadatan tertinggi dari kelima beton campuran lainnya, yaitu masing – masing sebesar  $2,00 \text{ gr/cm}^3$  atau  $2000 \text{ kg/m}^3$  dan  $2,01 \text{ gr/cm}^3$  atau  $2010 \text{ kg/m}^3$  . Hal ini berbanding lurus dengan nilai prosentase penyerapan pada pori – pori pada beton CHWC 121 dan CHWC 123 memiliki nilai penyerapan terendah dengai nilai masing – masing penyerapan 7,59 % dan 6,55 %.

Sedangkan nilai densitas beton terendah terjadi pada beton CHWC 125 dengan kepadatan  $1,83 \text{ gr/cm}^3$  atau  $1830 \text{ kg/m}^3$  dan memiliki prosentase penyerapan pada pori – pori terbesar dengan nilai 11,73 %. Dengan begitu hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi kepadatan beton maka semakin rendah prosentase penyerapan pori - pori sedangkan kepadatan beton yang semakin rendah maka prosentase penyerapan pada pori – pori akan semakin tinggi.

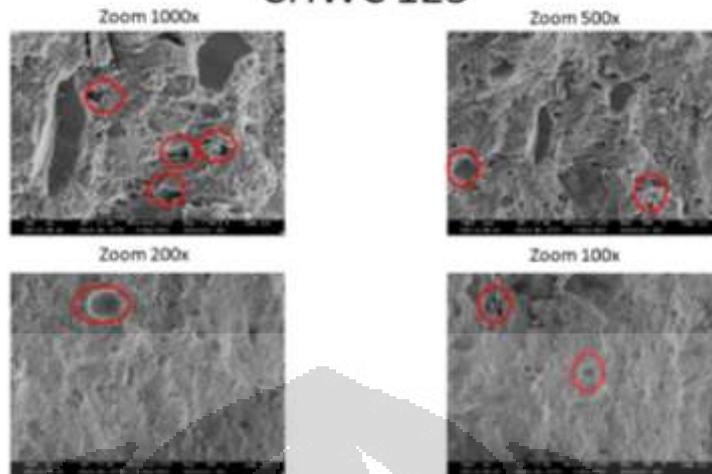
#### 4.6.5 Analisa Hasil Uji SEM



Gambar 4. 38 Hasil uji SEM pada beton CHWC 121

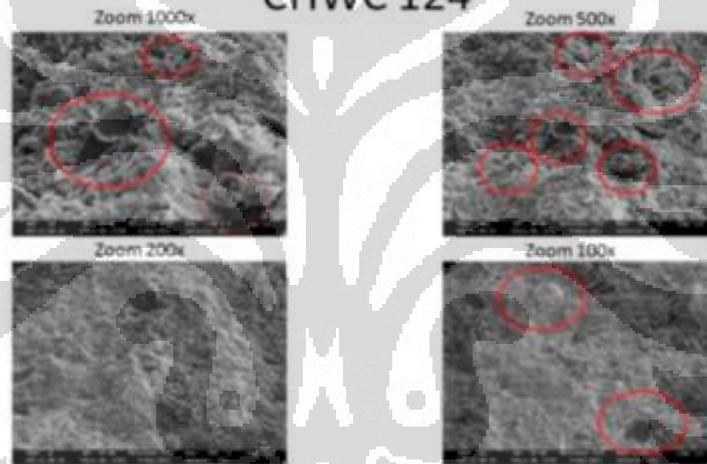
Gambar 4. 39 Hasil uji SEM pada beton CHWC 122

### CHWC 123



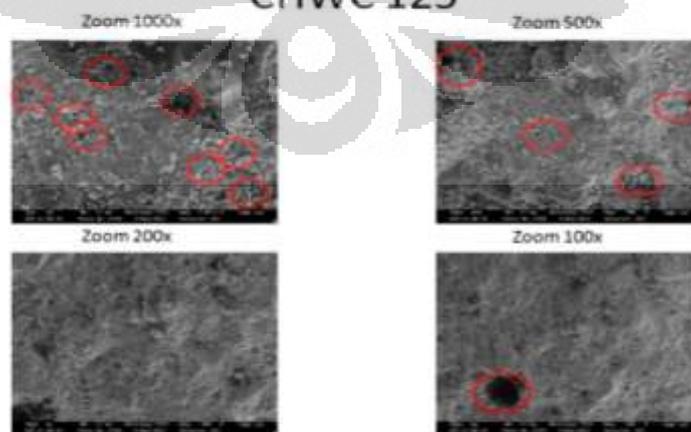
Gambar 4. 40 Hasil uji SEM pada beton CHWC 123

### CHWC 124



Gambar 4. 41 Hasil uji SEM pada beton CHWC 124

### CHWC 125



Gambar 4. 42 Hasil uji SEM pada beton CHWC 125

Berdasarkan hasil pengujian SEM pada kelima beton campuran yang mengandung RHA dan CSW, pada masing – masing beton menunjukkan bahwa pada beton CHWC 121, CHWC 122, dan CHWC 123 ada kemungkinan terjadi ketidak homogenan antara partikel – partikel pasir alam dengan CSW dan semen dengan RHA sehingga terjadi rongga – rongga udara yang terperangkap didalam beton yang dapat menurunkan kuat tekan beton.

Namun ketidak homogenan antar partikel lebih jelas terlihat pada beton CHWC 124 dan CHWC 125 dan dengan begitu rongga – rongga udara dengan prosentase lebih besar dapat terlihat pada beton CHWC 124 dan CHWC 125. Maka dapat disimpulkan dengan penambahan prosentase CSW dapat memperbesar ketidak homogenan antar partikel dan rongga – rongga udara yang akan menurunkan mutu beton karakteristik baik secara kuat tekan, modulus elastisitas, permeabilitas dan densitas.

#### **4.7 Pengaruh CSW Pada Masing – masing Pengujian Beton Keras**

##### **4.7.1 Pengaruh CSW Terhadap Kuat Tekan**

Untuk penambahan RHA pada mortar, hal ini sebelumnya sudah dibahas pada penelitian sebelumnya. Pada laporan penelitian sebelumnya, penggunaan RHA, hanya bisa digunakan  $\pm 10\%$  dari berat semen. Namun dilakukan kembali pengujian ulang, melalui tes pasta semen sehingga nilai kuat tekan Pasta semen + RHA maksimum sebesar 8% dari berat semen.

Berdasarkan analisa kuat tekan diatas pengaruh yang diakibatkan dengan penambahan CSW pada kelima beton campuran cukup bervariasi namun dalam komposisi yang memiliki kandungan prosentase CSW yang semakin banyak dapat menurunkan mutu kuat tekan beton keras. Pada beton CHWC 121 dengan komposisi agregat halus 70 % pasir, 30 % CSW yang merupakan komposisi CSW terendah dapat menghasilkan kuat tekan tertinggi pertama sedangkan CHWC 123 dengan komposisi agregat halus 50 % pasir, 50 % CSW

yang merupakan komposisi CSW sama dengan pasir dapat menghasilkan kuat tekan tertinggi kedua dan terjadi pola penurunan kuat tekan pada beton CHWC122 dengan komposisi agregat halus pasir 60 % dan CSW 40 %, CHWC 124 dengan komposisi agregat halus pasir 40 % dan CSW 60 % dan beton dengan kuat tekan terendah CHWC 125 dengan komposisi agregat halus pasir 70 % dan CSW 30 %.

Pola penurunan kuat tekan ini kemungkinan terjadi dikarenakan CSW yang terkandung menambah ketidak homogenan antara semen, RHA, pasir dengan CSW sehingga proses pengikatan tidak terjadi dengan sempurna dan terjadi banyak rongga udara yang dapat menurunkan mutu kuat tekan beton.

#### **4.7.2 Pengaruh CSW Terhadap Modulus Elastisitas**

Berdasarkan analisa modulus elastisitas diatas pengaruh yang diakibatkan dengan penambahan CSW pada kelima beton campuran cukup bervariasi namun dalam komposisi yang memiliki kandungan prosentase CSW yang semakin banyak dapat menurunkan nilai modulus elastisitas beton keras. Pada beton CHWC 121 dengan komposisi agregat halus 70 % pasir, 30 % CSW yang merupakan komposisi CSW terendah dapat menghasilkan nilai modulus elastisitas tertinggi pertama sebanding dengan nilai kuat tekan sedangkan CHWC 123 dengan komposisi agregat halus 50 % pasir, 50 % CSW yang merupakan komposisi CSW sama dengan pasir dapat menghasilkan nilai modulus elastisitas yang tertinggi kedua sebagaimana kuat tekannya tertinggi kedua dan dengan terjadinya pola penurunan kuat tekan pada beton CHWC122 dengan komposisi agregat halus pasir 60 % dan CSW 40 %, CHWC 124 dengan komposisi agregat halus pasir 40 % dan CSW 60 % dan beton dengan kuat tekan terendah CHWC 125 dengan komposisi agregat halus pasir 70 % dan CSW 30 %, hal ini pun terjadi pada hasil pengujian modulus

elastisitas dengan metode UPV dengan terjadi koreksi rata – rata kenaikan dibanding nilai modulus elastisitas teoritis sebesar 14,23 % .

Pola penurunan nilai modulus elastisitas ini kemungkinan terjadi dikarenakan CSW yang terkandung menambah rongga udara yang membuat kerapatan beton menjadi berkurang sehingga waktu cepat rambat gelombang menjadi lebih lambat sehingga membuat nilai hasil analisa modulus elastisitas menunjukkan beton campuran dengan komposisi CSW yang semakin tinggi akan memiliki nilai modulus elastisitas yang semakin rendah.

#### **4.7.3 Pengaruh CSW Terhadap Permeabilitas**

Berdasarkan data hasil uji permeabilitas diatas pengaruh yang diakibatkan dengan penambahan CSW pada kelima beton campuran cukup bervariasi namun tetap dengan pola yang sama, dalam komposisi yang memiliki kandungan prosentase CSW yang semakin banyak dapat membuat beton keras itu memiliki daya tahan terhadap tekanan air yang semakin berkurang.

Pada beton CHWC 121 dengan komposisi agregat halus 70 % pasir, 30 % CSW yang merupakan komposisi CSW terendah dapat mampu menahan tekanan air sebesar 5 bar selama 72 jam sampai kedalaman penetrasi sebesar 14,6 mm sedangkan Pada beton CHWC 123 dengan komposisi agregat halus 50 % pasir, 50 % CSW dapat mampu menahan tekanan air sebesar 5 bar selama 72 jam sampai kedalaman penetrasi sebesar 14,4 mm. Beton CHWC 121 dan CHWC 123 mempunyai daya tahan yang relatif sama sehingga menunjukkan dengan kuat tekan tertinggi dari kelima beton campuran RHA dan CSW maka beton akan semakin sulit ditembus karena memiliki kerapatan yang tinggi pula.

Untuk ketiga beton keras yang lainnya juga menunjukkan pola dengan semakin bertambahnya CSW maka kedalaman penetrasi semakin bertambah dengan beton CHWC 125 yang memiliki komposisi CSW 70 %, pasir 30 % sebagai beton yang daya tembus

paling rendah dengan penetrasi kedalaman 55,8 mm hasil ini tidak menunjukkan bahwa dengan kandungan CSW yang semakin banyak justru mengurangi kerapatan beton itu sendiri.

#### 4.7.4 Pengaruh CSW Terhadap Densitas

Berdasarkan data hasil uji densitas diatas pengaruh yang diakibatkan dengan penambahan CSW pada kelima beton campuran cukup bervariasi namun tetap dengan pola yang sama, dalam komposisi yang memiliki kandungan prosentase CSW yang semakin banyak dapat membuat beton keras itu memiliki berat yang semakin ringan sehingga karapatan beton keras semakin berkurang dan pori – pori semakin banyak.

Pada beton CHWC 121 dengan komposisi agregat halus 70 % pasir, 30 % CSW yang merupakan komposisi CSW terendah memiliki kepadatan kering terbesar bersamaan dengan beton CHWC 123 dengan komposisi agregat halus 50 % pasir, 50 % CSW yaitu masing – masing sebesar  $2000 \text{ kg/m}^3$  dan  $2010 \text{ kg/m}^3$  . Dan untuk prosentase penyerapan pori – pori memiliki prosentase terkecil masing – masing sebesar 7,59 % untuk beton CHWC 121,dan 6,55 % untuk beton CHWC 123 hal ini menunjukkan nilai kepadatan beton yang semakin tinggi maka akan memiliki prosentase penyerapan pada pori – pori yang semakin kecil.

Untuk ketiga beton keras yang lainnya menunjukkan pola dengan semakin bertambahnya CSW maka berat beton akan semakin berkurang dan prosentase penyerapan pada pori – pori semakin tinggi hal ini dapat terlihat pada beton CHWC 124 dan CHWC 125 dengan kepadatan masing – masing sebesar  $1930 \text{ kg/m}^3$  dan  $1830 \text{ kg/m}^3$  sedangkan prosentase penyerapan pada pori – pori semakin tinggi yaitu masing – masing sebesar 10,11 % dan 11,73 % . Berdasarkan hasil ini telah menunjukkan bahwa dengan kandungan CSW yang semakin banyak akan menambah terus pori – pori yang dapat menambah volume prosentase penyerapan air pada pori – pori

sehingga dengan begitu beton keras semakin ringan dalam keadaan kering dengan kepadatan yang semakin rendah.

#### 4.8 Pemanfaatan Beton Campuran Untuk Bahan Bangunan

**Paving Blok** memiliki beragam kekuatan dan klasifikasi penggunaan bila diukur dengan **Standar SNI. Harga Paving Blok** yang murah tidak selalu dapat diartikan bahwa kualitas & Kekuatan **Paving Blok** tersebut tidak bagus. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat dari tabel Klasifikasi **Mutu Beton Paving Blok** berdasarkan **SNI** :

Jenis	Kuat Tekan ( mPa* )		Ketahanan Aus		Penyerapan Air (Rata-rata Max.)
	Rata-rata	Minimum	Rata-rata	Minimum	
A	40	35	0,090	0,103	3
B	20	17	0,130	0,149	6
C	15	12,5	0,160	0,184	8
D	10	8,5	0,219	0,251	10

Sumber : SNI 03-0691-1996

Tabel 4. 45 Klasifikasi mutu beton paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 klasifikasi Paving block dibedakan menurut kelas penggunaannya sebagai berikut:

- **Paving Block** Mutu A : digunakan untuk jalan
- **Paving Block** Mutu B : digunakan untuk pelataran parkir
- **Paving Block** Mutu C : digunakan untuk pejalan kaki
- **Paving Block** Mutu D : digunakan untuk taman dan pengguna lain

**Paving blok** yang diproduksi secara manual biasanya termasuk dalam mutu beton kelas D atau C yaitu untuk tujuan pemakaian non struktural, seperti untuk taman dan penggunaan lain yang tidak diperlukan untuk menahan beban berat di atasnya. Mutu **paving blok** yang pengerjaannya dengan menggunakan mesin pres dapat dikategorikan ke dalam mutu beton kelas C sampai A dengan kuat tekan diatas 125 kg/cm<sup>2</sup> bergantung pada perbandingan campuran bahan yang digunakan

Penampakan antara **paving blok** yang diproduksi dengan cara manual dan **paving blok** pres **mesin** secara kasat mata relatif hampir sama, namun permukaan paving yang diproduksi dengan **mesin** pres terlihat lebih rapat dibanding yang dibuat secara manual.

Berdasarkan klasifikasi mutu paving block diatas maka beton CHWC 123 yang memiliki komposisi pasir 50 % dan CSW 50 % berkekuatan tekan 22,21 MPa serta prosentase penyerapan pada pori – pori rata – rata sebesar 6,55 % dapat diaplikasikan untuk beton paving block jenis B yang digunakan untuk pelataran parkir luar ruangan.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa dari hasil pengujian di laboratorium, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan RHA sebagai pengganti sebagian semen (*Substitusi Parsial*) dan CSW sebagai bahan pengganti sebagian pasir alam mempengaruhi sifat fisis dan sifat mekanis dari beton dibandingkan dengan beton normal (tanpa mengurangi semen dan pasir alam sebagai agregat halus). Pengaruh pemanfaatan RHA dan CSW terhadap sifat fisis beton yaitu :

- Menurunkan nilai slump beton karena semakin besar prosentase penggunaan CSW maka semakin kecil nilai slump sehingga *workability* (kemudahan dalam pembuatan) beton segar semakin rendah.
- Menurunkan berat isi beton. Pada penggunaan RHA dan semakin besar prosentase penggunaan CSW maka semakin rendah berat isi beton segar sehingga kadar udara (rongga udara) dalam beton segar semakin besar.
- Memperlambat waktu ikat awal beton. Semakin besar prosentase penggunaan CSW maka semakin lama waktu ikat awal yang terjadi karena penambahan FAS dilakukan untuk mencapai *workability* dan slump yang direncanakan sehingga proses reaksi hidrasi semen berlangsung lebih lama dari beton normal. Prosentase CSW yang digunakan memegang peranan penting dalam memperlambat hidrasi semen ini.

Sedangkan pengaruh pemanfaatan CSW sebagai bahan pengganti sebagian pasir alam terhadap sifat mekanis beton yaitu :

- Semakin besar prosentase penggunaan CSW maka semakin kecil kuat tekan rata – rata yang dihasilkan pada umur 28 hari. Beton CHWC 121 dengan campuran pasir 70 % - CSW 30 % mencapai 22,7 MPa yaitu sekitar 88,88 % dari beton normal yang mencapai 25,54 MPa.

Sedangkan beton dengan kuat tekan tertinggi kedua dimiliki beton CHWC 123 dengan campuran pasir 50 % - CSW 50 % mencapai 22,2 MPa yaitu sekitar 86,92 % dari beton normal yang mencapai 25,54 MPa. Sedangkan CHWC 125 dengan campuran pasir 30 % - CSW 70 mencapai 16,63 MPa yaitu sekitar 65,11 % dari beton normal yang mencapai 25,54 MPa.

- Pada penggunaan CSW yang semakin banyak maka sifat mekanis beton akan cenderung mengalami pola penurunan
- RHA yang kurang reaktif kemungkinan dapat disebabkan butiran RHA yang masih terlalu besar dan kasar karena pengolahannya dilakukan secara tradisional.
- Daya serap CSW yang tinggi mengakibatkan penambahan kadar air agar workability dan nilai slump tercapai sehingga nilai FAS yang semakin tinggi dan menurunkan kuat tekan beton.
- Selama jumlah CSW semakin tinggi maka FAS akan bertambah besar dan slump semakin tinggi.
- Hasil penelitian tidak sesuai yang diharapkan yaitu kuat tekan beton CHWC 122 mencapai kuat tekan beton rencana  $f_c'$  25 MPa agar harapan dengan penggunaan CSW 40 % - pasir alam 60 % dapat cukup mengurangi limbah dari beton siap pakai sehingga beton dengan komposisi ini bisa untuk beton struktural yang ramah lingkungan.
- Dari hasil uji SEM beton yang mengandung prosentase CSW yang semakin banyak menunjukkan bahwa terjadi ketidak homogenan antar partikel yang juga menimbulkan terjadinya rongga – rongga udara yang dapat menurunkan mutu beton.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut pemanfaatan RHA dan CSW sebaiknya dilakukan dengan cara antara lain :

- Pada material CSW yang memiliki daya serap tinggi maka harus dilakukan beberapa modifikasi seperti penambahan bahan kimia

superplasticizer untuk mengurangi FAS namun beton segar tetap workable untuk pengerjaannya dan dapat mengurangi kadar semen namun tetap tidak mengurangi kuat tekan justru dapat menambahkannya.

- Penambahan benda uji merupakan upaya agar hasil penelitian dapat lebih akurat.
- Dari hasil dua kuat tekan tertinggi yaitu beton CHWC 121 dengan komposisi agregat halus 70 % pasir – 30 % CSW dan beton CHWC 123 dengan komposisi agregat halus 50 % pasir – 50 % CSW maka selanjutnya dapat dilakukan penelitian yang dapat divariabelkan kedalam range antara 70 % pasir – 30 % CSW, 65 % pasir – 45 % CSW, 60 % pasir – 40 % CSW, 55 % pasir – 45 % CSW, dan 50 % pasir – 50 % CSW.
- Dalam persiapan bahan diharapkan peneliti dapat mengklasifikasikan CSW dalam kondisi yang homogen dalam setiap melakukan pembuatan benda uji

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing Materials. *Manual Book of ASTM Standards 2005: Vol.04.02, Concrete and Aggregate*. Philadelphia, ASTM 2005.
- American Concrete Institute. (2005). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)*. Farmington Hills, MI.
- Buku Pedoman Praktikum. *Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton*, Depok : Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil,1998.
- MacGregor, J.G., *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, N.J., 1997.
- Nawy, Edward G. 1985. *Reinforced Concrete, A Fundamental Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Neville, AM. 1988. *Properties of Concrete*. Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Gebi, Izzah. 2005. *Tawas “dan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Beton Semen”*. Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.
- Walker, S and D.L. Bloem. 1956. *Studies of Flexural Strength of Concrete*. Laboratory Public, Washington D.C.
- WULANDARI, ANNIE. 2008 “*STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT DAUR ULANG*”. Skripsi, Program Sarjana Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik UI, Depok
- Standar Nasional Indonesia, SNI 03 – 2834 – 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, 2000
- American Society for Testing Materials. ASTM C597 – 09. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*
- American Society for Testing Materials. ASTM C 642 – 97. *Standard Test Method*

*for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*

Deutsche Norm. DIN 1048. *Testing Concrete, Testing of Hardened Concrete for Water Permeability*

Kusumantara, Diah. *Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Campuran 50% Semen Dan 50% Abu Sekam Padi*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok : 2009.

Anagyagos, Nigoskatis. *Kuat Tekan, Density, Absorpsi Dan Modulus Elastisitas Mortar Campuran Semen, Abu Sekam Padi, Dan Precious Slag Ball Dengan*

*Perbandingan 30%; 30%; 40%*. Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok : 2011.

SNI 15-7064-2004. *Semen Portland Komposit*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta : 2004.

## LAMPIRAN

### 1. CSW di batching plant PT. Holcim Tbk



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**

- A. Truk molen beton ready mix akan membuang sisa adukan beton siap pakai (CSW)
- B. Kolam pengendapan CSW sedalam 1,5 m
- C. Kondisi CSW setelah diendapkan
- D. Loader untuk pengangkutan CSW ke mobil bak dan truk engkel
- E. CSW siap diangkut ke Laboratorium Teknik Sipil untuk di daur ulang

## 2. Pengolahan CSW di Lab. UI



**A**



**B**



**C**



**D**

- A. Pengeringan CSW diatas bak
- B. Pengeringan CSW diatas terpal
- C. Penyaringan CSW menggunakan Saringan 4,75
- D. Hasil penyaringan menghasilkan cukup banyak agregat kasar

### 3. Uji Modulus Elastisitas Metode UPV



**B**



**C**



**A**



**D**



**E**

- A. Benda uji modulus elastisitas metode UPV
- B. Oleskan stepet pada kedua permukaan silinder diusahakan sejajar satu garis lurus antar kedua ujungnya
- C. Atur alat PUNDIT kemudian tempelkan kedua transmitter pada ujung silinder yang sudah dioleskan stepet.
- D. Pembacaan dilakukan sampai transit time bergerak stabil
- E. Transit time sudah didapat maka lakukan ulang pembacaan pada 3 titik lainnya

#### 4. Uji Densitas



**A**



**B**



**C**



**D**



**E**

Pengujian Densitas, Benda uji kubus setelah 2 hari dalam oven pada 105° Celcius

- A. Perendaman selama 2 hari
- B. Timbang kering permukaan setelah perendaman
- C. Perebusan selama 5 jam
- D. Penimbangan dalam air.

## 5. Uji Tekan Kubus 10 cm x 10 cm

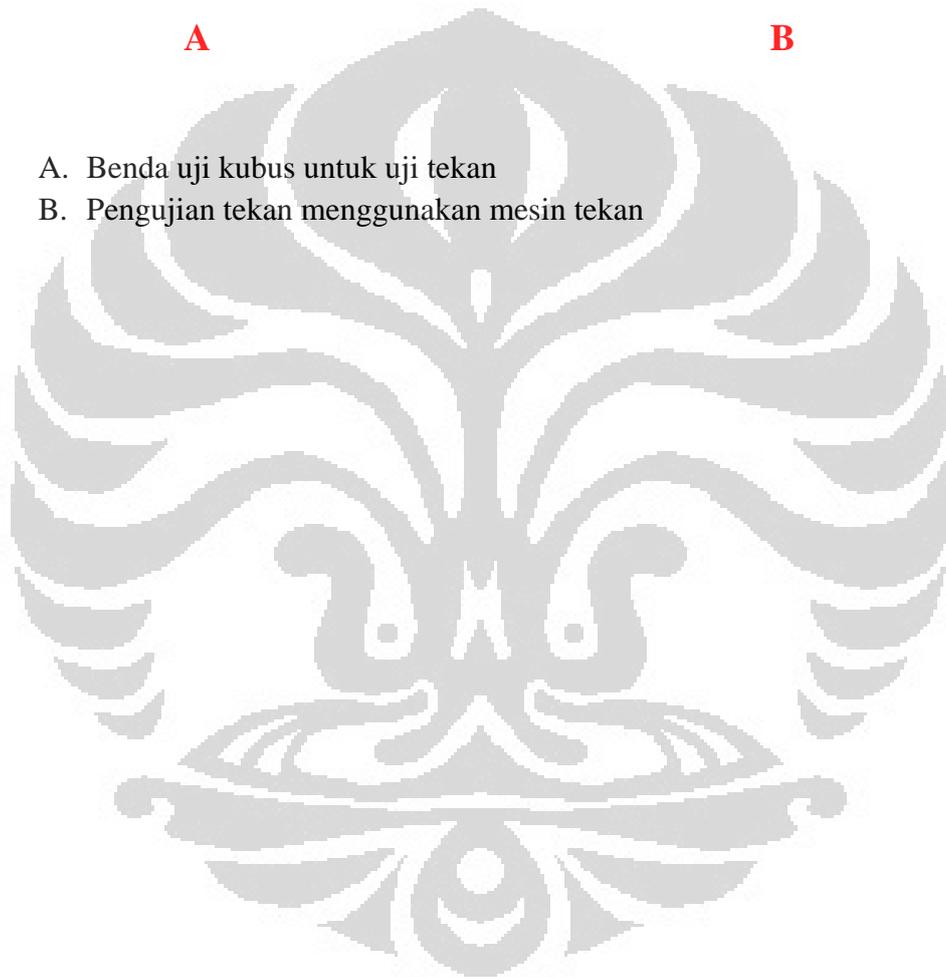


**A**



**B**

- A. Benda uji kubus untuk uji tekan
- B. Pengujian tekan menggunakan mesin tekan



## 6. Hasil pengolahan CSW



**A**



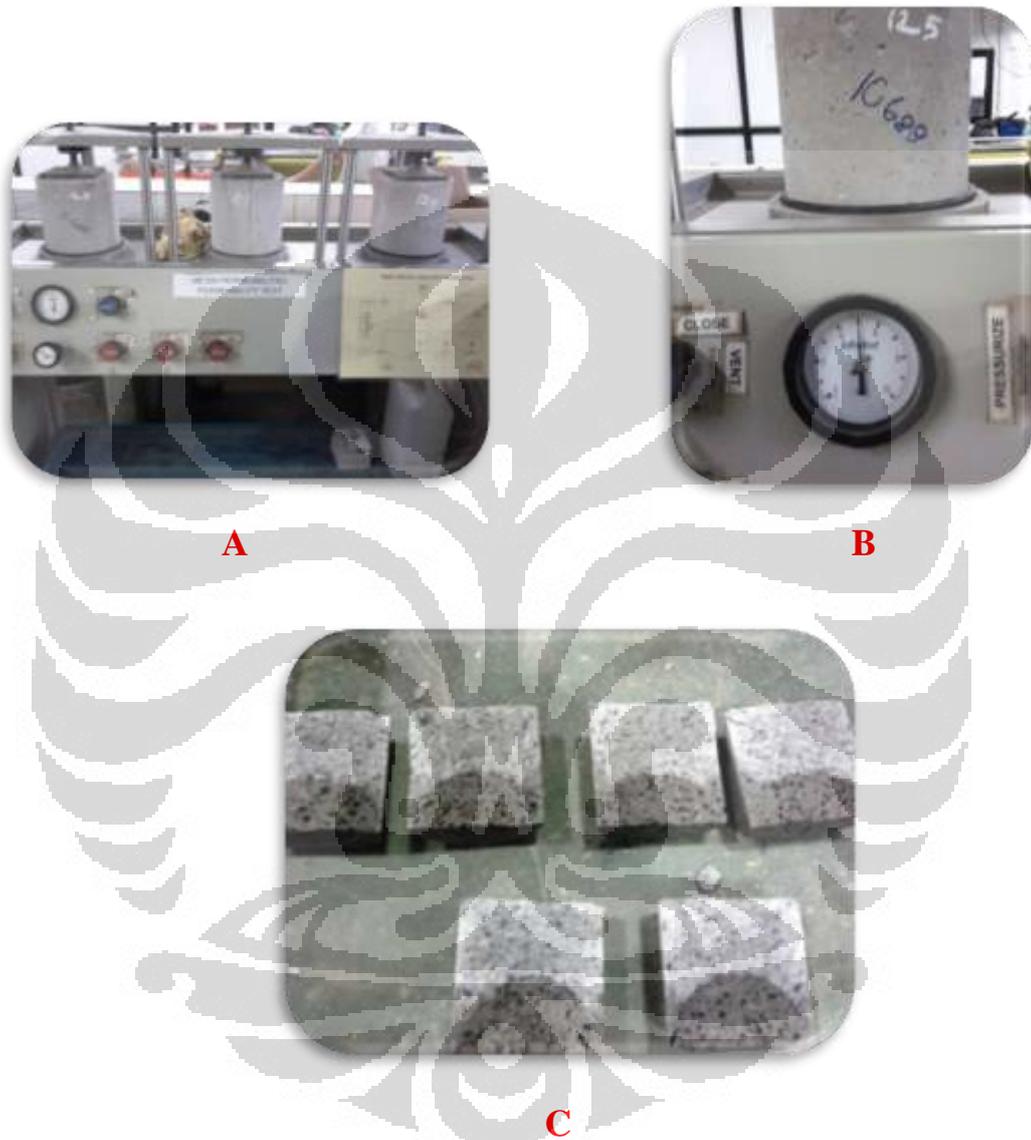
**B**



**C**

- A. Pengukuran CSW yang dapat dipakai setelah pengeringan dan penyaringan
- B. Agregat kasar yang dihasilkan CSW mencapai 30% – 35 % dari berat total
- C. Agregat halus yang dapat dihasilkan CSW hanya mencapai 65 % - 70 % dari berat total

## 7. Uji permeabilitas silinder Dia. 15 cm



- A. Uji Permeabilitas menggunakan benda uji 3 buah silinder dia. 15 cm t. 30 cm yang dipotong setebal 15 cm
- B. Tekanan air yang uji sebesar 5 bar
- C. Hasil uji permeabilitas selama 72 jam, benda uji dibelah dan diukur seberapa dalam penetrasi air yang terjadi.