



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KUAT TEKAN BETON NORMAL MUTU SEDANG  
DENGAN CAMPURAN ABU SEKAM PADI (*RHA*) DAN  
LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*)**

**SKRIPSI**

**MARCHIN ALFREDO  
0906 605 731**

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

172/FT.EKS.01/SKRIP/07/2012



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KUAT TEKAN BETON NORMAL MUTU SEDANG  
DENGAN CAMPURAN ABU SEKAM PADI (*RHA*) DAN  
LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*)**

**SKRIPSI**

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

**MARCHIN ALFREDO  
0906 605 731**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 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 : Marchin Alfredo**

**NPM : 0906.605.731**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 20 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Ini Diajukan Oleh :  
Nama : Marchin Alfredo  
NPM : 0906.605.731  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang Dengan  
Campuran Abu Sekam Padi (*RHA*) Dan Limbah  
Adukan Beton (*CSW*)

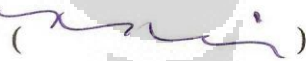
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

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

(  )

Pembimbing II : Ir. Madsuri, MT.

(  )

Penguji I : Dr. Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi

(  )

Penguji II : Ir. Setyo Supriyadi

(  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Tuhan Yesus yang telah melimpahkan rahmat, berkat, kasih dan karunia-Nya, akhirnya dengan segenap usaha dan kerja keras saya 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. Tuhan Yesus atas kuasa, berkat dan tangan pengasihannya, bersyukur selalu hingga dapat menyelesaikan skripsi selesai dengan baik.
2. Ibu Ir. Essy Ariyuni PhD selaku dosen pembimbing dengan juga pembimbing Akademik sewaktu kuliah, yang telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
3. Ir. Madsuri, MT selaku dosen pembimbing kedua, yang juga telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
4. Dosen Penguji, atas saran dan kritiknya sehingga terselesaikan penulisan skripsi ini.
5. PT. Hakiki dan Pak bibin yang sudah membantu dalam penyediaan bahan abu sekam padi (RHA) sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
6. PT Holcim, Tbk yang sudah membantu dalam penyediaan bahan limbah beton sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
7. Prof. Irwan Katili selaku Kepala Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
8. Semua staff laboratorium Universitas Indonesia (Pak Apri, Pak Yudi, Pak Agus, Mas Soni 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.

9. Teristimewa, kepada Kedua Orang Tua saya tercinta, serta adik-adikku Andre, dan Alvin yang telah memberikan doa, bantuan, dorongan semangat dan pengertian yang tulus, baik material dan spiritual kepadaku, sehingga aku dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
10. Gompita Elysabet yang senantiasa membantu, menemani, dan memberikan nasehat serta semangat yang sangat berarti sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai sesuai dengan waktunya.
11. Teman-teman seperjuanganku dalam skripsi ini, Sheba, Vian, Imam, Arya, Andi, Wahyu serta Dhika, yang telah berjuang bersama dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
12. Semua teman-teman sekelas Teknik Sipil Ekstensi 2009 FTUI yang satu perjuangan dan satu penderitaan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
13. Pihak-pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan naskah Tugas Akhir ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yesus 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 : Marchin Alfredo  
NPM : 0906.605.731  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

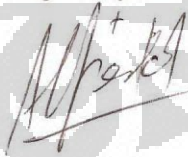
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**STUDI KUAT TEKAN BETON NORMAL MUTU SEDANG DENGAN  
CAMPURAN 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 : Juli 2012  
Yang Menyatakan



(Marchin Alfredo)

## ABSTRAK

Nama : Marchin Alfredo  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang Dengan Campuran Abu Sekam Padi (*RHA*) Dan Limbah Adukan Beton (*CSW*)

Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi bangunan di Indonesia semakin meningkat, khususnya pada industri beton siap pakai (*Ready Mix Concrete*). Salah satu masalah yang timbul dalam industri beton siap pakai, adalah mengumpulkan dan membuang sisa beton yang dihasilkan dari pencucian truk pengaduk beton setelah memproduksi dan mengirimkan campuran beton ke lokasi konstruksi. Atas dasar hal tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sifat fisik dan mekanis dari beton yang mengandung limbah adukan beton siap pakai (*Concrete Sludge Waste*) atau disebut juga *CSW* yang juga ditambahkan dengan abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) atau disebut juga *RHA*.

Fungsi *RHA* dan *CSW* adalah sebagai bahan pengganti sebagian dari semen dan agregat halus. Sifat fisik dan mekanis yang akan diuji yaitu meliputi kuat tekan beton, modulus elastisitas dengan *PUNDIT*, permeabilitas, dan densitas. Berdasarkan dari hasil pengujian didapat kuat tekan yang optimum yaitu pada komposisi campuran 92% semen, 8% *RHA*, 70% pasir, dan 30% *CSW* sebesar 32,12 MPa pada umur 28 hari. Demikian juga pada pengujian karakteristik beton keras lainnya seperti modulus elastisitas menggunakan *PUNDIT* didapat sebesar 32.133,33 MPa, penetrasi pada pengujian permeabilitas sebesar 19,67 mm, dan untuk densitas sebesar 2,056 g/cm<sup>3</sup>. Dari hasil pengujian tersebut menurut SNI untuk beton non struktural, dapat digunakan seperti paving blok, kanstin, pelataran parkir dan beton non struktural lainnya.

Kata Kunci : Abu Sekam Padi, Limbah Adukan Beton Siap Pakai, mutu sedang, kuat tekan, modulus elastisitas, permeabilitas, densitas.



## ABSTRACT

Nama : Marchin Alfredo  
Program Studi : Civil Engineering  
Judul : The Study on Compressive Strength of Normal Concrete Containing Rice Husk Ash (*RHA*) and Concrete Sludge Waste (*CSW*) Designed for Moderate Strength

Using of concrete as construction materials in Indonesia is increasing, especially in ready mix concrete industry (Ready Mix Concrete). One of the problems that arise in the ready mix concrete industry, is to collect and dispose of the rest resulting from washing concrete mixer truck concrete after the concrete mix, produce and deliver to construction sites. On the basis of this, the purpose of this study was to determine the physical and mechanical properties of concrete containing waste slurry ready mix concrete (Concrete Sludge Waste) or collectively, *CSW* is also ditambahkan with rice husk ash (Rice Husk Ash) or also known as *RHA*.

*RHA* and *CSW* function is as a partial replacement of cement and fine aggregate. Physical and mechanical properties to be tested that include concrete compressive strength, modulus of elasticity with the Pundit, permeability, and density. Based on test results obtained from the optimum compressive strength is the composition of the mixture of 92% cement, 8% *RHA*, 70% sand and 30% *CSW* of 32.12 MPa at 28 days. Similarly, the test characteristics of concrete such as modulus of elasticity of the other hard to come by using a Pundit 32133.33 MPa, penetration testing on the permeability of 19.67 mm, and for the density of 2.056 g/cm<sup>3</sup>. From the results of such testing according to SNI for non-structural concrete, can be used as paving blocks, canstine, parking lot and other non-structural concrete.

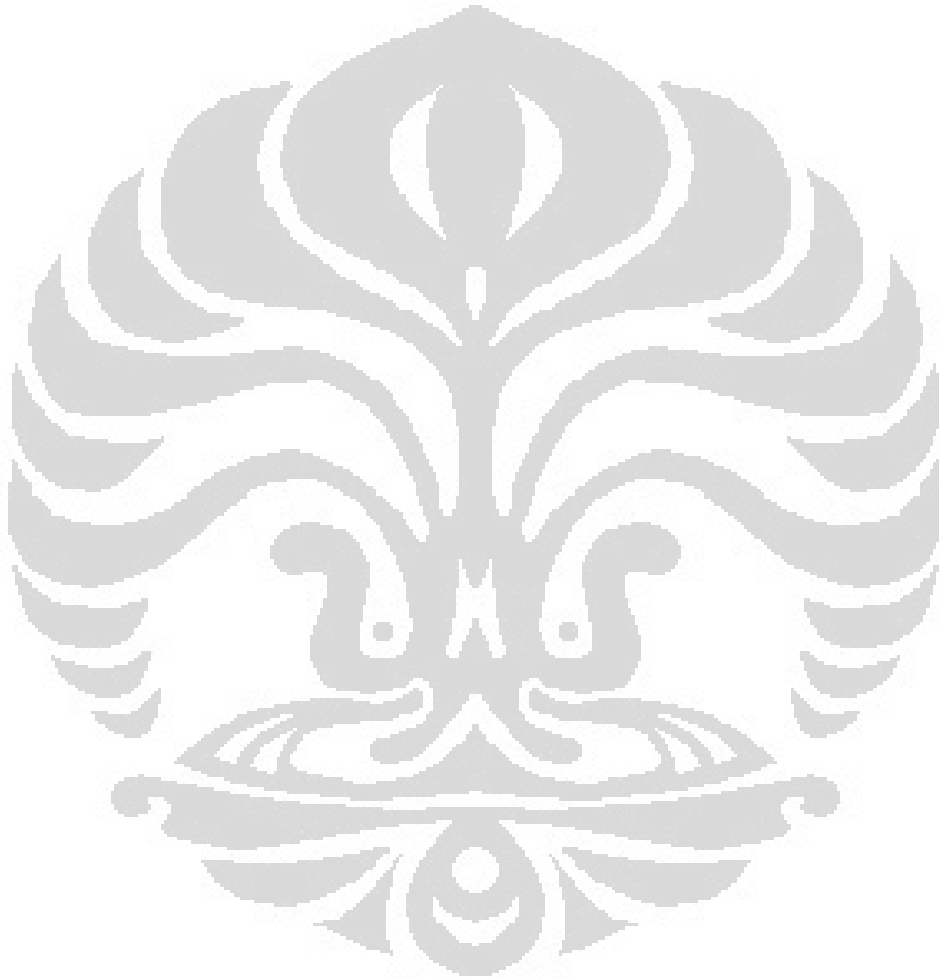
Keywords : *Rice Husk Ash*, *Concrete Sludge Waste*, moderate strength, compressive strength, modulus of elasticity, permeability, density.

## DAFTAR ISI

Halaman Sampul .....	i
Halaman Judul.....	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas .....	iii
Halaman Pengesahan .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Lembar Pernyataan Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah.....	vii
Abstrak .....	viii
Daftar Isi.....	x
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Hipotesa .....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian .....	5
<b>BAB 2 STUDI LITERATUR .....</b>	<b>6</b>
2.1 Beton.....	6
2.2 Beton Segar .....	6
2.2.1 Sifat Fisik Beton Segar.....	7
2.3 Pengujian Beton Keras .....	8
2.3.1 Kuat Tekan Beton.....	9
2.3.2 Modulus Elastisitas.....	11
2.3.3 Permeabilitas .....	11
2.3.4 Densitas .....	12
2.4 Bahan Pembentuk Beton .....	12
2.4.1 Semen .....	12
2.4.2 Agregat .....	14
2.4.3 Air.....	20
2.5 Bahan Tambah Beton .....	20
2.5.1 Abu Sekam Padi (RHA) .....	21
2.5.2 Limbah Adukan Beton (CSW) .....	23
2.6 Penelitian Yang Pernah Dilakukan.....	27
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	29
3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	32
3.3 Pengujian Agregat Kasar .....	33
3.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar .....	33
3.3.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Kasar.....	34
3.3.3 Analisa Ayak Agregat Kasar .....	36
3.3.4 Kadar Air Agregat Kasar.....	38
3.4 Pengujian Agregat Halus .....	39
3.4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus .....	39
3.4.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Halus.....	41
3.4.3 Analisa Ayak Agregat Halus .....	42
3.4.4 Kadar Air Agregat Halus.....	44

3.4.5	Kadar Lumpur Agregat Halus .....	45
3.5	Pembuatan Benda Uji .....	46
3.6	Pemeriksaan Kualitas Beton Segar.....	48
3.6.1	Pengujian Slump.....	48
3.6.2	Pengujian Berat Isi Beton .....	49
3.6.3	Pengujian Waktu Ikat Awal.....	51
3.7	Pemeriksaan Kualitas Beton Keras .....	52
3.7.1	Kuat Tekan Beton.....	52
3.7.2	Modulus Elastisitas.....	54
3.7.3	Permeabilitas .....	55
3.7.4	Densitas .....	56
<b>BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN ANALISA .....</b>		<b>58</b>
4.1	Hasil Dan Analisa Pengujian Agregat Kasar.....	58
4.1.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	58
4.1.2	Berat Isi .....	58
4.1.3	Analisa Ayak .....	59
4.1.4	Kadar Air .....	60
4.2	Hasil Dan Analisa Pengujian Agregat Halus.....	61
4.2.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	61
4.2.2	Berat Isi .....	61
4.2.3	Analisa Ayak .....	62
4.2.4	Kadar Air .....	63
4.2.5	Kadar Lumpur .....	64
4.3	Hasil Dan Analisa Pengujian Sifat RHA.....	64
4.3.1	Analisa Ayak RHA.....	64
4.4	Hasil Dan Analisa Pengujian Sifat CSW.....	65
4.4.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.....	65
4.4.2	Pengujian Berat Isi CSW.....	66
4.4.3	Analisa Ayak .....	67
4.4.4	Kadar Lumpur .....	68
4.4.5	Kadar Air .....	68
4.5	Rancang Campur Dan Kebutuhan Bahan.....	69
4.5.1	Mix Design Beton Normal Mutu Sedang.....	69
4.5.2	Kebutuhan Bahan .....	70
4.6	Hasil Dan Analisa Pengujian Beton Segar .....	72
4.6.1	Pengujian Slump (Slump Rencana 60 – 180 mm).....	72
4.6.2	Berat Isi Beton .....	73
4.6.3	Waktu Ikat Awal.....	74
4.7	Hasil Pengujian Beton Keras.....	76
4.7.1	Kuat Tekan Beton.....	76
4.7.1.1	Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang.....	77
4.7.1.2	Kuat Tekan Beton Campuran CHWC131.....	78
4.7.1.3	Kuat Tekan Beton Campuran CHWC132.....	79
4.7.1.4	Kuat Tekan Beton Campuran CHWC133.....	80
4.7.1.5	Kuat Tekan Beton Campuran CHWC134.....	81
4.7.1.6	Kuat Tekan Beton Campuran CHWC135.....	82
4.7.1.7	Histogram Perbandingan Kuat Tekan Gabungan Pada Setiap Umur Pengujian.....	84
4.7.2	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas .....	89
4.7.3	Hasil Pengujian Permeabilitas .....	92

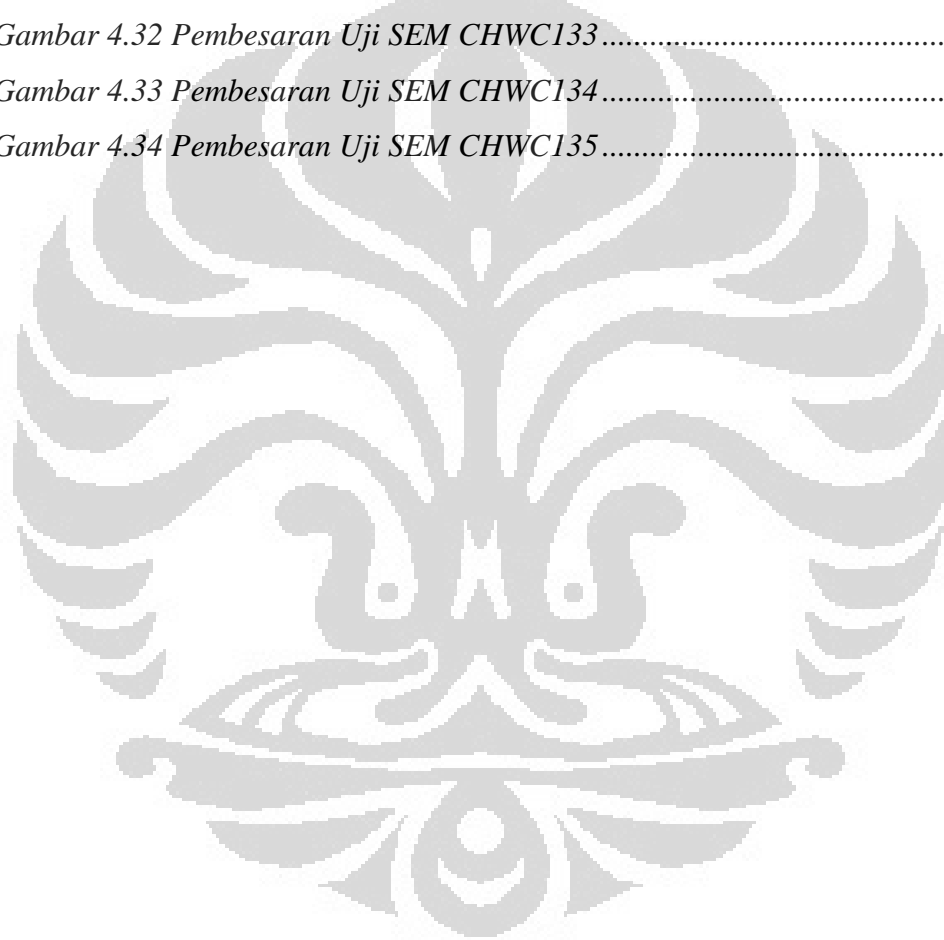
4.7.4 Hasil Pengujian Densitas.....	93
4.8 Analisa Hasil Penelitian Beton Keras.....	96
4.8.1 Analisa Kuat Tekan .....	96
4.8.2 Analisa Modulus Elastisitas .....	97
4.8.3 Analisa Permeabilitas .....	98
4.8.4 Analisa Densitas .....	98
4.9 Pemanfaatan CSW Sebagai Material Bahan Konstruksi.....	98
4.10 Hasil Pengujian SEM Beton Campuran RHA dan CSW .....	100
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>103</b>
5.1 KESIMPULAN .....	103
5.2 SARAN.....	104
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>106</b>



## DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 Faktor Koreksi Kuat Tekan Bentuk Silinder Pada Ukuran Yang Berbeda .....</i>	<i>10</i>
<i>Gambar 2.2 Grafik Gradasi Agregat Batasan ASTM C33 .....</i>	<i>15</i>
<i>Gambar 2.3 Gambar Proses Pembuatan Abu Sekam Padi (RHA).....</i>	<i>21</i>
<i>Gambar 2.4 Keseluruhan Proses Pembakaran Abu Sekam Padi .....</i>	<i>22</i>
<i>Gambar 2.5 Grafik Histogram Penelitian Pendahuluan Kuat Tekan CRHA (campuran + semen + RHA) Pada Umur 28 Hari .....</i>	<i>23</i>
<i>Gambar 2.6 Proses Pengambilan CSW .....</i>	<i>24</i>
<i>Gambar 2.7 Proses Pengolahan CSW .....</i>	<i>25</i>
<i>Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sesuai (ASTM C33 – 78) .....</i>	<i>60</i>
<i>Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Halus Pada Zona 2.....</i>	<i>63</i>
<i>Gambar 4.3 Grafik Pengujian Analisa Ayak RHA.....</i>	<i>65</i>
<i>Gambar 4.4 Grafik Pengujian Analisa Ayak CSW .....</i>	<i>67</i>
<i>Gambar 4.5 Grafik Slump Rata – rata.....</i>	<i>72</i>
<i>Gambar 4.6 Grafik Waktu Ikat Beton Normal Mutu Sedang.....</i>	<i>74</i>
<i>Gambar 4.7 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC131 .....</i>	<i>74</i>
<i>Gambar 4.8 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC132 .....</i>	<i>75</i>
<i>Gambar 4.9 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC133 .....</i>	<i>75</i>
<i>Gambar 4.10 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC134.....</i>	<i>75</i>
<i>Gambar 4.11 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC135.....</i>	<i>76</i>
<i>Gambar 4.12 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Normal Mutu Sedang .....</i>	<i>77</i>
<i>Gambar 4.13 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC131 .....</i>	<i>78</i>
<i>Gambar 4.14 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC132 .....</i>	<i>79</i>
<i>Gambar 4.15 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC133 .....</i>	<i>80</i>
<i>Gambar 4.16 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC134 .....</i>	<i>81</i>
<i>Gambar 4.17 Grafik Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC135 .....</i>	<i>82</i>
<i>Gambar 4.18 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Gabungan Seluruh Variasi Campuran .....</i>	<i>83</i>
<i>Gambar 4.19 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 3 Hari.....</i>	<i>84</i>
<i>Gambar 4.20 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 7 Hari.....</i>	<i>84</i>
<i>Gambar 4.21 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 14 Hari.....</i>	<i>85</i>
<i>Gambar 4.22 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 21 Hari.....</i>	<i>85</i>
<i>Gambar 4.23 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 28 Hari.....</i>	<i>86</i>

<i>Gambar 4.24 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 56 Hari.....</i>	<i>86</i>
<i>Gambar 4.25 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 90 Hari.....</i>	<i>87</i>
<i>Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Gabungan Variasi Beton Pada Setiap Umur Pengujian.....</i>	<i>88</i>
<i>Gambar 4.27 Grafik Modulus Elastisitas Pada Masing – masing Campuran ...</i>	<i>91</i>
<i>Gambar 4.28 Grafik Permeabilitas Pada Masing – masing Campuran .....</i>	<i>93</i>
<i>Gambar 4.29 Grafik Density Rata – rata Gabungan Beton CHWC.....</i>	<i>96</i>
<i>Gambar 4.30 Pembesaran Uji SEM CHWC131 .....</i>	<i>100</i>
<i>Gambar 4.31 Pembesaran Uji SEM CHWC132 .....</i>	<i>101</i>
<i>Gambar 4.32 Pembesaran Uji SEM CHWC133 .....</i>	<i>101</i>
<i>Gambar 4.33 Pembesaran Uji SEM CHWC134.....</i>	<i>102</i>
<i>Gambar 4.34 Pembesaran Uji SEM CHWC135 .....</i>	<i>102</i>



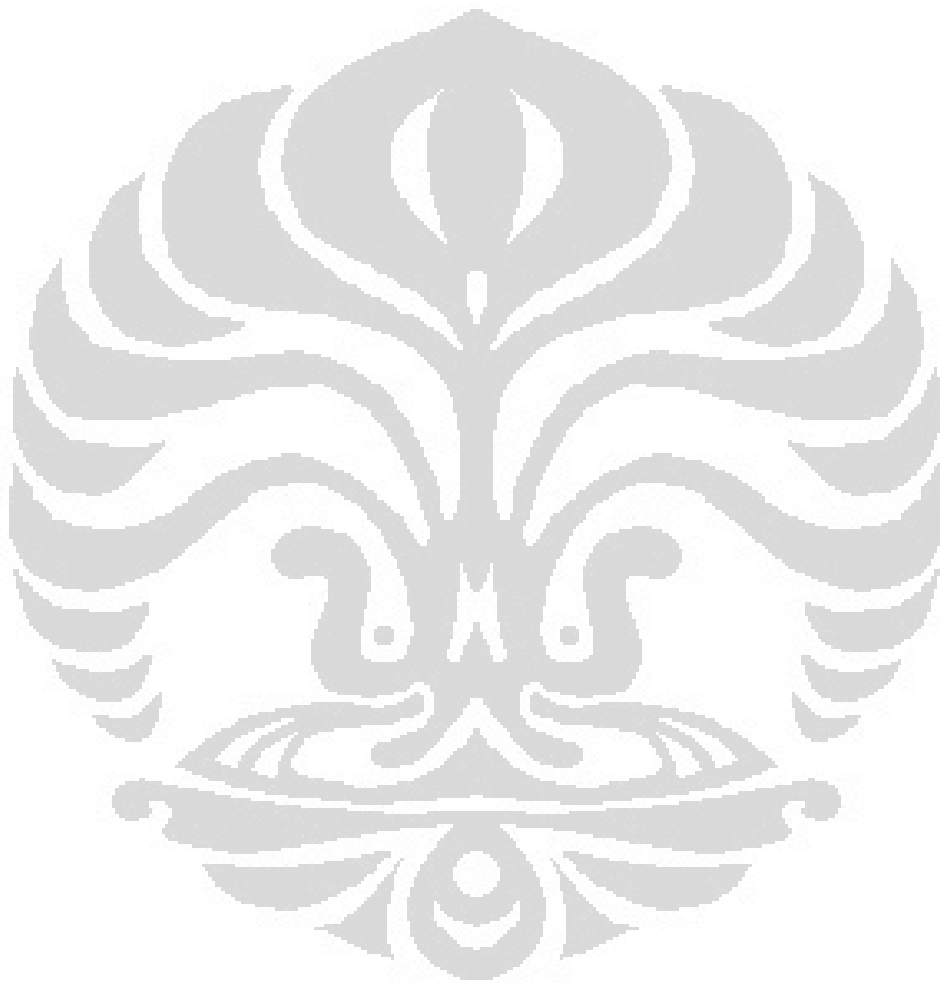
## DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2.1 Ukuran Benda Uji Kuat Tekan (SK SNI M – 62 – 1990 – 03)</i> .....	9
<i>Tabel 2.2 Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Benda Uji</i> .....	10
<i>Tabel 2.3 Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya</i> .....	14
<i>Tabel 2.4 Gradasi Agregat Halus</i> .....	18
<i>Tabel 2.5 Gradasi Agregat Kasar</i> .....	19
<i>Tabel 2.6 Komposisi Kimia RHA</i> .....	22
<i>Tabel 2.7 Hasil Uji PSA Pada CSW</i> .....	26
<i>Tabel 2.8 Komposisi Kimia CSW Pada Uji XRF</i> .....	26
<i>Tabel 3.1 Kebutuhan Total Volume Beton Untuk Pembuatan Benda Uji</i> .....	30
<i>Tabel 3.2 Volume Beton Untuk 1 kali Pengadukan</i> .....	31
<i>Tabel 3.3 Macam – macam Wadah Baja Silinder</i> .....	35
<i>Tabel 3.4 Banyaknya Benda Uji Berdasarkan Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar</i> .....	38
<i>Tabel 3.5 Banyaknya Benda Uji Berdasarkan Ukuran Butir Maksimum Agregat Halus</i> .....	44
<i>Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar</i> ....	58
<i>Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar</i> .....	58
<i>Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar</i> .....	59
<i>Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar</i> .....	59
<i>Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar</i> .....	60
<i>Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus</i> .....	61
<i>Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus</i> .....	61
<i>Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus</i> .....	62
<i>Tabel 4.9 Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus Spesifikasi Zona 2</i> ....	62
<i>Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus</i> .....	63
<i>Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus</i> .....	64
<i>Tabel 4.12 Hasil Pengujian Analisa Ayak RHA</i> .....	64
<i>Tabel 4.13 Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air</i> .....	65
<i>Tabel 4.14 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Dan Berat Isi Padat CSW</i> .....	66
<i>Tabel 4.15 Hasil Pengujian Analisa Ayak CSW</i> .....	67
<i>Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kadar Lumpur CSW</i> .....	68
<i>Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kadar Air CSW</i> .....	68
<i>Tabel 4.18 Perencanaan Campuran Beton Normal Mutu Sedang</i> .....	69

<i>Tabel 4.19 Volume Pekerjaan Untuk 1 Campuran .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabel 4.20 Kebutuhan Bahan Berbagai Variasi Campuran.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabel 4.21 Hasil Pengujian Slump .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabel 4.22 Hasil Pengujian Berat Isi Beton .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabel 4.23 Hasil Pengujian Waktu Ikut Awal Untuk Masing – masing Variasi Campuran .....</i>	<i>74</i>
<i>Tabel 4.24 Resume Hasil Pengujian Waktu Ikut Awal Untuk Masing – masing Variasi Campuran .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabel 4.25 Kuat Tekan Rata – rata Beton Normal Mutu Sedang .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabel 4.26 Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC131.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabel 4.27 Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC132.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabel 4.28 Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC133.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabel 4.29 Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC134.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabel 4.30 Kuat Tekan Rata – rata Beton Campuran CHWC135.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabel 4.31 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC131 Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabel 4.32 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC132 Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabel 4.33 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC133 Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabel 4.34 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC134 Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabel 4.35 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC135 Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabel 4.36 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata – rata Dengan Alat PUNDIT.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabel 4.37 Nilai Konstanta Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kuat Tekan.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabel 4.38 Hasil Pengujian Permeabilitas Rata – rata.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabel 4.39 Hasil Pengujian Density Beton Normal.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabel 4.40 Hasil Pengujian Density CHWC131.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 4.41 Hasil Pengujian Density CHWC132.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 4.42 Hasil Pengujian Density CHWC133.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 4.43 Hasil Pengujian Density CHWC134.....</i>	<i>95</i>



<i>Tabel 4.44 Hasil Pengujian Density CHWC135.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabel 4.45 Hasil Pengujian Density Rata – rata Gabungan.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabel 4.46 Syarat Mutu Paving Block Menurut SNI.....</i>	<i>99</i>



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan di bidang teknologi rekayasa struktur di Indonesia, penggunaan beton masih banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan bangunan tinggi, jalan, bendungan dll. Beton merupakan bahan yang relatif murah dibandingkan dengan bahan lain, selain memiliki kuat tekan yang besar, beton itu mudah dikerjakan dan dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan.

Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi bangunan semakin marak di Indonesia, dilihat dari produksi beton yang semakin meningkat khususnya pada industri beton siap pakai (Ready Mix). Permasalahan yang dihadapi industri beton siap pakai saat ini adalah mengumpulkan dan membuang hasil sisa beton yang dihasilkan dari pencucian truk pengaduk beton setelah memproduksi dan mengirimkan campuran beton ke lokasi konstruksi, yang akhirnya dibuang dan menumpuk di lahan kosong begitu saja. Pembuangan limbah tersebut dapat merusak lingkungan dan menurunkan nilai estetika pada lokasi – lokasi pembuangan. Solusi pengurangan sisa limbah adukan beton ini adalah dengan melakukan pemakaian kembali (Reuse) material yang masih layak dipakai, dan pengolahan kembali (Recycle) sisa material yang ada. Agar dapat dimanfaatkan sebagai material bahan konstruksi bangunan lain yang ramah terhadap lingkungan. Tujuannya adalah untuk mewujudkan pembangunan yang berkesinambungan (sustainable construction) yang dapat digunakan dan dilakukan oleh masyarakat.

Dengan penelitian yang pernah dilakukan dari campuran OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan limbah beton yang masih berbentuk lumpur, dengan perbandingan campuran 1:12; 1:10; 1:8; 1:6. Hasil test kuat tekan beton yang dievaluasi pada usia 7 hari didapat 1.18MPa, 2.35MPa, 4.71 MPa, dan 5.89MPa. Dimana terdapat perbandingan kuat tekan  $\geq 5$  Mpa merupakan mutu beton rendah yang dapat dipakai sebagai bahan bangunan seperti bata, paving blok, dll (*Diah Kusumantara, Essy Arijoeni*).

Pada penelitian ini untuk campuran beton selain dari semen, agregat halus, agregat kasar dan air, dilakukan penambahan Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) atau disebut RHA, yaitu limbah pembakaran sekam padi dimana memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan mutu beton, mempunyai sifat pozolan dan mengandung silica yang sangat menonjol, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. Limbah adukan beton siap pakai (*Concrete Sludge Waste*) adalah sisa adukan beton yang dihasilkan dari proses pencucian dari truk pengaduk beton atau disebut CSW, yang masih memiliki komposisi semen, agregat halus, agregat kasar, dan fly ash. Maka RHA dan CSW dapat dimanfaatkan untuk menghemat penggunaan semen dan agregat halus sebagai beton keras yang digunakan sebagai bahan bangunan yang ramah lingkungan. Dengan demikian, percobaan yang berkelanjutan diperlukan dalam penentuan komposisi beton yang digunakan.

Maka pada penelitian dicoba untuk meneliti pemanfaatan CSW yang sudah mengering dan RHA sebagai bahan tambah untuk pembuatan bahan bangunan atau bahan perkerasan jalan pejalan kaki (*Pedestrian Walk*) dengan perbandingan persentase tertentu untuk mendapatkan campuran dengan sifat mekanik yang maksimal.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang akan dicapai setelah Penelitian ini dilaksanakan :

1. Mengetahui sifat – sifat fisik dari RHA dan CSW yang akan digunakan.
2. Mengetahui komposisi CSW yang efektif dan dapat memenuhi *target strength* yang diinginkan.
3. Mengetahui perilaku Sifat – sifat fisik dan mekanis beton yang mengandung RHA dan CSW.

### 1.3. Batasan Masalah

Lingkup dari penulisan ini terbatas pada penelitian terhadap karakteristik material pembentuk beton khususnya pada sifat – sifat mekanisnya yang berdasarkan SNI dan ASTM. Adapun batasan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah :

- a. Pengujian Agregat meliputi : Berat Jenis, Kadar Air, Penyerapan Air, Berat Isi dan Porositas, Analisa Ayak, Kadar Lumpur.
- b. Pengujian beton segar, meliputi : slump, berat isi, waktu ikat awal.
- c. Pengujian CSW dari meliputi : Berat Jenis, kadar lumpur, Analisa Ayak, dan pengujian kimia seperti XRF, SEM, dan PSA.
- d. Menggunakan RHA yang di produksi sendiri di daerah Indramayu.
- e. Menggunakan semen sesuai dengan standar SNI 15-7064-2004 untuk semen jenis PCC (*Portland Composite Cement*), sehingga pengujian semen tidak dilakukan karena sifat fisis dan mekanis semen dianggap telah sesuai dengan standar.
- f. Membuat *Mix Design* beton normal mutu sedang dengan besar kuat tekan antara  $f_c' 30$  MPa sampai dengan  $f_c' 35$  MPa.
- g. Sampel yang dibuat adalah beton keras dengan perbandingan komposisi campuran didapat sebelumnya dari hasil mix design beton normal mutu sedang yang kemudian ditambah dengan bahan RHA dan CSW, yaitu sebagai berikut :
  - Bahan pengikat hidrolis dengan komposisi 92 % semen (PCC) dan 8 % RHA.
  - Agregat Halus dengan komposisi :
    - 30 % CSW dan 70 % pasir
    - 40 % CSW dan 60 % pasir
    - 50 % CSW dan 50 % pasir
    - 60 % CSW dan 40 % pasir
    - 70 % CSW dan 30 % pasir
  - Agregat Kasar (100 % *Screened Split* 10 – 15 mm)
- h. Adapun sifat-sifat mekanis dari produk beton yang akan diamati adalah kuat tekan, modulus elastisitas, permeabilitas dan densitas beton yang mengandung *RHA* dan *CSW*.

- i. Benda uji beton digunakan ukuran kubus 100mm x 100mm x 100mm dan silinder  $D= 15 \text{ cm}$ ,  $t= 30 \text{ cm}$ .
- j. Pengujian beton keras, meliputi uji kuat tekan beton yang diuji pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari serta pada umur 28 hari diuji modulus elastisitas, permeabilitas, dan densitas.

#### 1.4 Hipotesa

Pada penelitian ini beton normal mutu sedang merupakan acuan komposisi bahan beton campuran yang mengandung RHA dan CSW. RHA digunakan bertujuan untuk mensubstitusi penggunaan semen, sedangkan CSW digunakan untuk mensubstitusi penggunaan agregat halus seperti pasir alam. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi penggunaan CSW yang tepat terhadap pasir, agar dapat menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih tinggi. Diharapkan RHA dan CSW dapat digunakan sebagai bahan baku material yang ramah lingkungan, dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dan industri sebagai produk konstruksi secara komersial serta dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan.

#### 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan ini terdiri dari :

1. Studi pustaka  
Studi pustaka adalah sebuah metode dalam pengumpulan data berdasarkan pengujian terhadap benda uji dilaboratorium dan mempelajarinya untuk mendapatkan hasil yang dilaksanakan.
2. Metode eksperimental  
Dengan cara melakukan pengujian di laboratorium
3. 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 yang digunakan adalah sebagai berikut :

### BAB I. PENDAHULUAN

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

### BAB II. LANDASAN TEORI

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

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

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

### BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Dalam bab ini akan dibahas analisis data berdasarkan hasil pengujian yang didapat selama di laboratorium.

### BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dan saran dari hasil pengujian.

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 BETON**

Beton merupakan ikatan dari material pembentuk, yang terdiri dari campuran semen, air, agregat (kasar dan halus), semen dan air. Bahan air dan semen disatukan akan membentuk pasta semen, dan berfungsi sebagai bahan pengikat, sedangkan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan pengisi. Agregat halus berfungsi sebagai pengisi rongga antara agregat kasar. Bahan dipilih sesuai dengan ketentuan yang ada, dicampur dengan perbandingan tertentu dan digunakan sedemikian rupa untuk menghasilkan beton yang diinginkan. Karakteristik bahan pembentuk bangunan adalah tahan cuaca, kuat dan harga murah. Kualitas. Pemilihan dari bahan akan mempengaruhi beton, karena terdapat banyak variasi yang menuntut dari beton, yaitu dari segi bentuk kualitas dan mutu dari beton yang dihasilkan serta diperlukan juga pencampuran yang merata. Pencampuran bahan - bahan yang merata akan bersifat homogen yaitu saling mengikat dan mengisi antara semua bahan pada waktu dilaksanakan pengecoran dan pencetakan beton.

#### **2.2.1 BETON SEGAR**

Beton segar yang baik ialah beton segar yang dapat diaduk, dapat diangkut, dapat dituang, dapat dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi segregasi (pemisahan kerikil dari adukan) maupun bleeding (pemisahan air dan semen dari adukan ). Pada tiap-tiap pengolahan beton segar ini sangat diperhatikan agar bahan-bahan campuran tetap kompak dan tercampur merata dalam seluruh adukan. 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 ada beton kerasnya, dan apabila beton sudah mengeras tidak dapat dikerjakan kembali. 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 Fisik Beton Segar

Sifat fisik yang terdapat pada beton segar adalah kemudahan pengerjaan (*workability*), pemisahan kerikil (*segregation*), pemisahan air (*bleeding*).

#### 1. *Workability* (Kemampuan Dikerjakan)

Kelecekan adalah kemudahan mengerjakan beton, dimana menuang dan memadatkan tidak menyebabkan munculnya efek negatif seperti berupa pemisahan (*Segregation*) dan pendarahan (*bleeding*). Beton segar yang baik terlihat dari kemudahan adukan tersebut dikerjakan (*workability*) yang mempunyai sifat:

- a. Mobilitas, yaitu kemudahan spesi beton dapat dituangkan (dialirkan) kedalam cetakan pada saat pengecoran.
- b. Kompaktibilitas, yaitu kemudahan spesi beton dipadatkan dan rongga udara dihilangkan.
- c. Stabilitas, yaitu kemampuan spesi beton untuk tetap sebagai masa yang homogen dan stabil selama dikerjakan dan digetarkan tanpa terjadi segregasi dari bahan utamanya.

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. Pemisahan agregat (Segresi)

Segregasi dapat terjadi karena turunnya butiran ke bagian bawah dari beton segar, atau terpisahnya agregat kasar dari campuran, akibat cara penuangan dan pemadatan yang salah. Segregasi tidak bisa diujikan sebelumnya, hanya dapat dilihat setelah semuanya terjadi. Segregasi ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain :

- a. Campuran yang terlalu basah atau terlalu kering.
- b. Ukuran partikel yang lebih besar dari 25 mm.



- c. Kurangnya jumlah material halus dalam campuran.
- d. Berat jenis agregat kasar yang berbeda dengan agregat halus.
- e. Permukaan butir agregat kasar, semakin kasar permukaan butir agregat semakin mudah terjadi segregasi.

Untuk mengurangi kecenderungan segregasi maka diusahakan air yang diberikan sedikit mungkin, adukan beton jangan dijatuhkan dengan ketinggian yang terlalu besar dan cara pengangkutan, penuangan maupun pemadatan harus mengikuti cara-cara yang betul.

### 3. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Pemisahan Air sering terjadi setelah beton dituang dalam cetakan. Karena berat jenis semen lebih dari 3 kali berat jenis air maka butir semen dalam pasta, terutama yang cair cenderung turun. Pada beton yang normal dengan konsistensi yang cukup, bleeding terjadi secara bertahap dengan rembesan seragam pada seluruh permukaan. Air yang naik ini membawa semen dan butir-butir pasir halus, yang pada saat beton mengeras akan membentuk selaput (*laitence*). Pada beton yang cukup tebal, bisa terjadi 3 lapisan horizontal, yaitu air di lapisan teratas, beton dengan kepadatan seragam, dan beton terkompresi (ada gradien makin bertambah ke bawah). Bleeding dapat dikurangi dengan cara :

- Memberi lebih banyak semen.
- Menggunakan air sedikit mungkin.
- Menggunakan pasir lebih banyak.

## 2.3 PENGUJIAN BETON KERAS

Sifat – sifat beton adalah fungsi dari waktu dan kelembapan di sekitarnya, untuk mendapatkan nilai tersebut, pengujian pada beton harus dilakukan dibawah spesifikasi tertentu atau pada kondisi yang diketahui. Pengujian beton dapat dilakukan untuk tujuan yang berbeda tetapi dua tujuan utamanya adalah kontrol kualitas dan sesuai dengan standar spesifikasi. Pengujian dapat diklasifikasikan yaitu uji mekanis destruktif

dan non destruktif, yang memungkinkan pengujian dilakukan dengan benda uji yang sama, dan dengan demikian dapat mengetahui studi akan waktu perubahan sifat beton. (A.M.Neville. Properties of Concrete).

### 2.3.1 Kuat Tekan Beton

Sifat pada beton yang menonjol adalah kuat tekannya, maka dari itu dalam pembuatan beton sifat ini yang ditargetkan. Dalam teori teknologi beton, kekuatan beton yang dihasilkan dipengaruhi oleh :

- a. rasio semen terhadap air.
- b. rasio semen terhadap agregat.
- c. grading, tekstur permukaan, bentuk, kekuatan dari partikel agregat.
- d. ukuran maksimum agregat.

Pemeriksaan kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui secara pasti akan kekuatan tekan beton ringan pada umur 28 hari yang sebenarnya apakah sesuai dengan yang direncanakan atau tidak. Pada mesin uji tekan benda diletakkan dan diberikan beban sampai benda runtuh, yaitu pada saat beban maksimum bekerja.

Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$f_c' = P/A$ , Dimana :

P = gaya maksimum dari mesin tekan, (N)

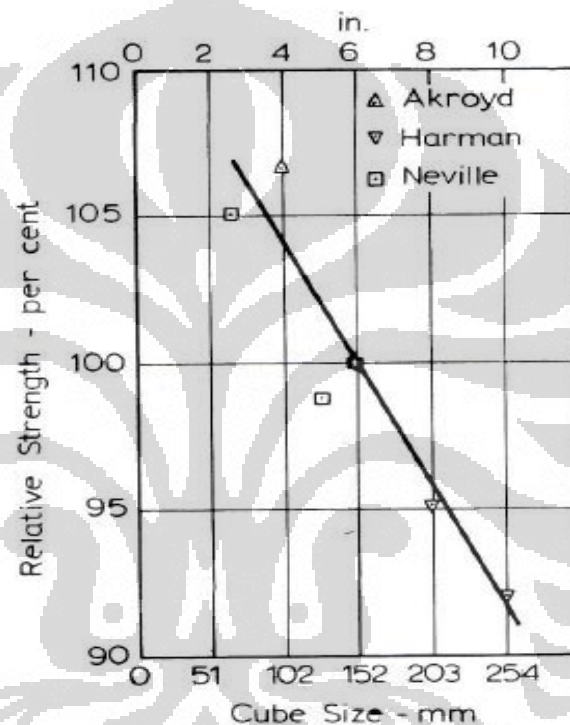
A = luas penampang yang diberi tekanan, (mm<sup>2</sup>)

$f_c'$  = kuat tekan, (N/mm<sup>2</sup>)

Tabel 2.1. Ukuran Benda Uji Kuat Tekan Menurut SK SNI M - 62 - 1990 - 03

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

Dalam perancangan komponen struktur beton bertulang, beton diasumsikan hanya menerima beban tekan saja. Dengan demikian, mutu beton selalu dikaitkan dengan kemampuannya dalam memikul beban tekan (atau istilahnya kuat tekan). Penentuan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji silinder berbeda dengan kuat tekan beton yang diperoleh dari benda uji kubus. Ada beberapa referensi yang memberikan hubungan antara kuat tekan silinder dengan kuat tekan kubus.



Gambar 2.1. Faktor Konversi Kuat Tekan Bentuk Silinder Pada Ukuran yang Berbeda  
(Neville, A.M, *Properties of Concrete, Fourth Edition, hal 607.*)

Tabel 2.2. Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Bentuk Benda Uji

No	Bentuk Benda Uji	Nilai Konversi (A.M. Neville)
1	Kubus 10x10x10 (cm)	1,04
2	Kubus 15x15x15 (cm)	1,00
3	Silinder d=10, t=20 (cm)	0,86
4	Silinder d=15, t=30 (cm)	0,83

### 2.3.2 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah suatu ukuran dari kekakuan atau daya tahan bahan terhadap deformasi. Modulus elastisitas ditentukan perubahan tegangan terhadap regangan dalam batas elastisitasnya. Daerah elastis pada beton menurut ASTM dibatasi antara regangan 0,00005 dengan tegangan pada 40% tegangan maksimum. Namun pada penelitian ini pengujian modulus elastisitas menggunakan alat uji non destruktif yaitu PUNDIT (*Portable Ultrasonik Non-Destruktive Digital Indicating Tester*) yang menggunakan gelombang ultrasonik. Kemampuan alat ini, selain mengetahui mutu beton, juga dapat mendeteksi tebal lapisan beton yang rusak, atau dalamnya retakan di dalam beton. Hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton menurut SKSNI 1991 yang digunakan juga oleh ACI adalah :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa besarnya modulus elastisitas pada beton meningkat seiring dengan peningkatan kuat tekan betonnya.

### 2.3.3 Permeabilitas

Permeabilitas merupakan sifat kemudahan lolosnya air ataupun zat sejenisnya menembus permukaan beton. Tingkat kemampuan suatu material meloloskan air dinyatakan dengan koefisien permeabilitas  $k$ , yang tergantung pada luas permukaan beton, tekanan air, dan durasi waktu. Pengujian permeabilitas beton untuk mengetahui pengaruh variasi semen dan agregat atau pengaruh banyaknya ragam operasi pencampuran beton, pencetakan dan perawatan, memperhitungkan informasi dasar pada bagian dalam porositas beton yang relatif berhubungan langsung dengan penyerapan, saluran kapiler, ketahanan terhadap pembekuan, penyusutan, daya angkat dan lain-lain. Faktor yang mempengaruhi kekedapan adalah kualitas material, metode persiapan beton, dan perawatan beton (Brook K.M, Murdock L.J, 1991).

### 2.3.4 Densitas

Berdasarkan ASTM C 642 – 97, metode ini meliputi tentang penentuan densitas. 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. Besarnya *density* dapat diukur sebagai berikut :

$$[A/(C-D)].\rho = (\text{g/cm}^3)$$

Dimana :

A = massa kering oven benda uji (g)

C = massa jenuh benda uji (g)

D = massa benda uji dalam air (g)

$\rho$  = berat jenis air (1 g/cm<sup>3</sup>)

## 2.4 BAHAN PEMBENTUK BETON

### 2.4.1 Semen

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 (SII 0013-1981). Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan. Suatu campuran dari calcareous (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan argillaceous (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu (Tjokrodinuljo, 1996).

Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu: trikalsium silikat (C<sub>3</sub>S), dikalsium silikat (C<sub>2</sub>S), trikalsium aluminat (C<sub>3</sub>A), dan tetrakalsium aluminoforit (C<sub>4</sub>AF). Selain itu, pada semen juga terdapat unsur-unsur lainnya dalam jumlah kecil, misalnya : MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O dan Na<sub>2</sub>O. Soda atau potasium (Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O) 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).

Unsur  $C_3S$  dan  $C_2S$  merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 1996). Bila semen terkena air, maka  $C_3S$  akan segera berhidrasi dan memberikan pengaruh yang besar dalam proses pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Unsur  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh setelah beton berumur 7 hari. Unsur  $C_3S$  bereaksi sangat cepat dan memberikan kekuatan setelah 24 jam. Semen yang mengandung unsur  $C_3S$  lebih dari 10% akan berakibat kurang tahan terhadap sulfat. Unsur yang paling sedikit dalam semen adalah  $C_3AF$ , sehingga tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan pasta semen atau beton.

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:

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

Tabel 2.3. Komposisi Kimia Semen Portland Menurut Jenisnya

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

Proses hidrasi yang terjadi pada semen portland dapat dinyatakan dalam persamaan kimia sebagai berikut :



Hasil utama dari proses hidrasi semen adalah C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>3</sub> (tobermorite) yang berbentuk gel dan menghasilkan panas hidrasi selama reaksi berlangsung. Hasil yang lain berupa kapur bebas Ca(OH)<sub>2</sub>, yang merupakan sisa dari reaksi antara C<sub>3</sub>S dan C<sub>2</sub>S dengan air. Kapur bebas ini dalam jangka panjang cenderung melemahkan beton, karena dapat bereaksi dengan zat asam maupun sulfat yang ada di lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan proses korosi pada beton.

#### 2.4.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat kira – kira menempati sebanyak 70-75% dari total volume beton, maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan, kuat, tahan lama, dan ekonomis.

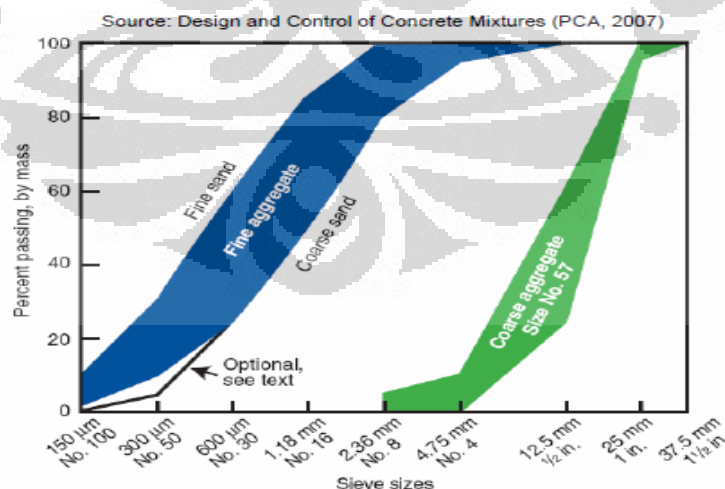
Ukuran agregat dalam prakteknya dapat digolongkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu:

- Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
- Kerikil, jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
- Pasir, jika ukuran butiran antara 0,15 mm sampai 5 mm.
- Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm, dinamakan “silk” atau tanah

Faktor penting yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat. Apabila butir-butir agregat mempunyai ukuran yang seragam, dapat menimbulkan volume pori lebih besar. Tetapi jika ukuran butirnya bervariasi, maka volume pori menjadi kecil. Hal ini disebabkan butir yang lebih kecil akan mengisi pori di antara butiran yang lebih besar.

#### 2.4.2.1 Gradasi Umum

Gradasi (Pembagian/distribusi butir, *grading*) ialah distribusi ukuran butir agregat. Agregat diayak berurutan menurut ayakan standar, yang disusun mulai dari ayakan terbesar di bagian paling atas. Agregat diletakkan di bagian teratas. Setelah cukup lama ayakan digetarkan, berat agregat yang tertahan pada setiap ayakan dicatat, dihitung persentasenya. Persentase kumulatif tertahan dan persentase kumulatif lolos kemudian dihitung. Kurva gradasi suatu agregat dapat dibuat dengan menggunakan hasil dari analisis ayakan/saringan.



Gambar 2.2. Gambar Grafik gradasi agregat batasan ASTM C33

Besar persentase suatu fraksi agregat tertentu menyatakan besar volume butir fraksi tersebut. Oleh karena itu nilai persentase sebaiknya dalam volume padat,



dan tidak hanya dalam teori akan tetapi dalam praktek, terutama jika berat jenis butir-butir agregatnya tidak sama (misalnya agregat halus berupa pasir normal, dan agregat kasar dari agregat ringan). Bila berat jenis butir-butirnya tidak berbeda jauh maka nilai persentase fraksi tersebut dapat dinyatakan dalam berat. Akan tetapi karena umumnya berat jenis agregat sama dan persentase dengan berat lebih mudah dilaksanakan maka banyak dilakukan persentase berat.

#### 2.4.2.2 Gradasi Agregat

Untuk mengetahui susunan butiran pada agregat dilakukan dengan analisa ayak. Agregat yang akan diuji dimasukkan kedalam susunan saringan yang telah ditentukan, kemudian susunan saringan tersebut digetar selama 10 sampai 15 menit. Agregat yang tertahan pada masing - masing saringan dianalisa, hasilnya dibandingkan dengan persyaratan atau spesifikasi.

Syarat susunan butiran agregat untuk beton, sudah diatur dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971, SK SNI, atau dalam standard asing seperti ASTM dan British Standard.

##### 1. Gradasi Agregat Halus

Bagian yang lolos darisuatu ayakan tidak boleh lebih dari 45% dari yang tertahan pada ayakan berikutnya. Modulus kehalusan harus antara 2,3 – 3,2 dan variasi tidak lebih dari 0,2. 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.
- i. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas.

Persyaratan susunan butiran untuk agregat halus menurut British Standard dan ASTM dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

*Tabel 2.4. Gradasi Agregat Halus  
BS and ASTM Grading Requirements for Fine Agregate*

Sieve size		Percentage by weight passing sieves					ASTM Standard C 33-78
		BS 882:1973					
BS	ASTM No.	Grading zone 1	Grading zone 2	Grading zone 3	Grading zone 4		
9.5 mm	3/8 in.	100	100	100	100	100	
4.75 mm	3/16 in.	90-100	90-100	90-100	95-100	95-100	
2.36 mm	8	60-95	75-100	85-100	95-100	80-100	
1.18 mm	16	30-70	55-90	75-100	90-100	50-85	
600 µm	30	15-34	35-59	60-79	80-100	25-60	
300 µm	50	5-20	8-30	12-40	15-50	10-30	
150 µm	100	0-10*	0-10*	0-10*	0-15*	2-10	

## 2. Gradasi 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. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.
- h. 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%.

Agregat kasar, menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, perlu diuji ketahanannya terhadap keausan (dengan mesin Los Angelos).

Persyaratan susunan butiran untuk agregat halus menurut British Standard dan ASTM dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

*Tabel 2.5. Gradasi Agregat Kasar  
Grading Requirements for Coarse Aggregate According to  
ASTM Standard C 33-78*

Sieve size		Percentage by weight passing sieves				
		Nominal size of graded aggregate			Nominal size of single-sized aggregate	
mm	in.	37.5 to 4.75 mm 1½ in. to ¾ in.	19.0 to 4.75 mm ¾ in. to ¾ in.	12.5 to 4.75 mm ½ in. to ¾ in.	63 mm 2½ in.	37.5 mm 1½ in.
75	3	—	—	—	100	—
63.0	2½	—	—	—	90-100	—
50.0	2	100	—	—	35-70	100
38.1	1½	95-100	—	—	0-15	90-100
25.0	1	—	100	—	—	20-55
19.0	¾	35-70	90-100	100	0-5	0-15
12.5	½	—	—	90-100	—	—
9.5	¾	10-30	20-55	40-70	—	0-5
4.75	¾	0-5	0-10	0-15	—	—
2.36	No. 8	—	0-5	0-5	—	—

### 2.4.3 Air

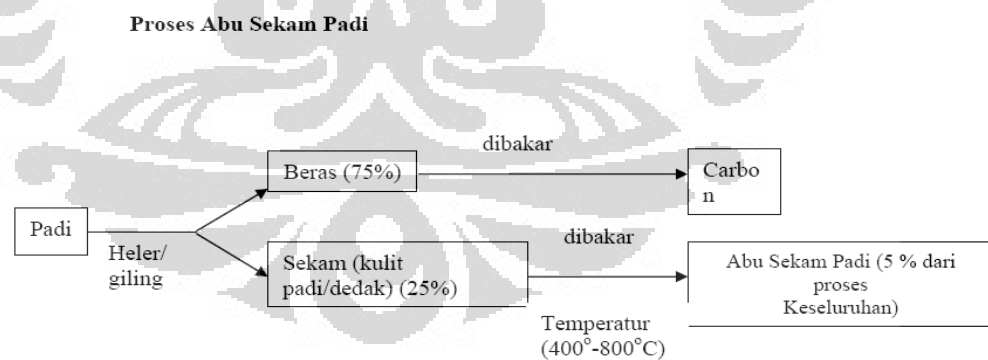
Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*Workability*). Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air semen 0,65 adalah sekitar 20% dari berat semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35 – 37% dari berat semen (Paul Nugraha, Antoni). Selain itu kelebihan air akan bersama-sama dengan semen bergerak ke permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang (*bleeding*) yang kemudian menjadi buih dan merupakan suatu lapisan tipis yang dikenal dengan selaput tipis (*laitance*). Selaput tipis ini akan mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton dan merupakan bidang sambung yang lemah. Apabila ada kebocoran cetakan, air dengan semen juga dapat keluar, sehingga terjadilah sarang-sarang kerikil.

### 2.5 Bahan Tambah Beton

Bahan tambah yaitu bahan selain unsur pokok dalam beton (air, semen dan agregat), yang ditambahkan pada adukan beton, baik sebelum, segera atau selama pengadukan beton dengan tujuan mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton, sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Fungsi bahan tambah antara lain: mempercepat pengerasan, menambah kelecakan (*workability*) beton segar, menambah kuat tekan beton, meningkatkan daktilitas atau mengurangi sifat getas beton, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya. Bahan tambah diberikan dalam jumlah yang relatif sedikit dengan pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan, sehingga memperburuk sifat beton (Tjokodimuljo, 1996). Bahan tambah juga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi pemakaian semen atau agregat sebagian. Pada penelitian ini bahan tambah yang digunakan adalah abu sekam padi RHA dan limbah adukan beton CSW.

### 2.5.1 Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*)

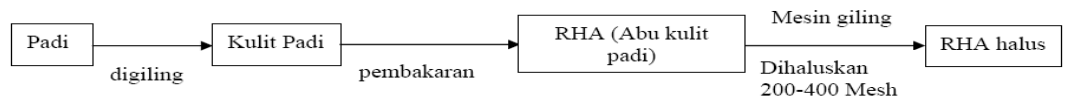
Sekam padi adalah bagian terluar dari butir padi, yang merupakan hasil sampingan saat proses penggilingan padi dilakukan. Sedangkan abu Sekam Padi atau *Rice Husk Ash* yang disebut RHA merupakan limbah pembakaran sekam padi memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan mutu beton, mempunyai sifat pozolan dan mengandung silika yang sangat menonjol, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. Padahal didalam sekam padi ini terdapat unsur  $\text{SiO}_2$  reaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozolan buatan peningkatan mutu beton (Priyosulistyo, 2001). Penambahan abu sekam padi pada mortar semen dapat meningkatkan kekuatan mortar 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 mortar (Latief, 2009). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa variasi waktu pembakaran abu sekam berpengaruh pada kuat tekan beton (Nandhari & Yusuf, 2003). Prosentase optimal penambahan (tanpa mengurangi semen) abu sekam padi sebesar 17,5% dari berat semen dan dengan prosentase tersebut abu sekam padi dapat mengantisipasi kerusakan beton akibat Magnesium Sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ).



Gambar 2.3. Gambar Proses Pembuatan Abu Sekam Padi (RHA) (Sumber : Latief, 2009)

Abu sekam padi diperoleh dengan menghaluskan abu sekam sampai lolos saringan 200. Sekam padi yang sudah dihaluskan tersebut dibakar sampai temperatur  $400\text{-}800^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan kemampuan tungku (furnace) yang ada sehingga menjadi abu sekam padi (RHA).

Secara keseluruhan proses abu sekam :



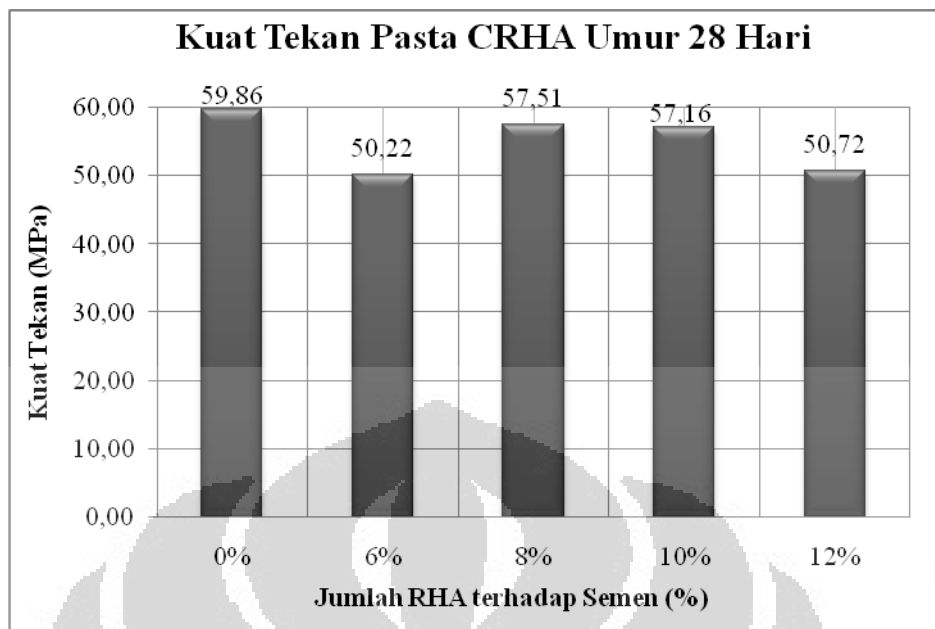
Gambar 2.4. Keseluruhan Proses Pembakaran Abu Sekam Padi (Sumber :Latief, 2009)

Dari gambar diagram alur di atas dapat dilihat bahwa sekam yang sudah di lakukan pembakaran, maka dihaluskan lagi hingga lolos kesaringan 200-400 Mesh. Secara keseluruhan dari sekam yang di dapat dari padi hanya 5 % nya saja atau sekitar 20 % dari hasil pembakaran sekam. Analisis kimia yang dilakukan pada abu sekam padi hasil pembakaran menunjukkan kandungan silika oksida yang cukup tinggi, seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel.2.6. Komposisi Kimia RHA

Senyawa Kimia	Jumlah (% berat)
SiO <sub>2</sub>	93.4408
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1031
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.0129
S	0.2227
K <sub>2</sub> O	3.4808
CaO	0.7193
TiO <sub>2</sub>	0.0946
MnO <sub>2</sub>	0.2285
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.6800
ZnO	0.0173

Sumber : uji sifat kimia abu sekam PT. Hakiki, juni 2009



Gambar 2.5. 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 digunakan komposisi RHA optimal sebesar 8 % dari kandungan semen untuk beton campuran yang mengandung RHA da CSW sesuai hasil rencana rancang campur beton normal berdasarkan SNI 03 – 2834 – 2000.

### 2.5.2 Limbah Adukan Beton (CSW)

Limbah adukan beton atau *Concrete Sludge Waste* atau disebut juga CSW, merupakan limbah yang dihasilkan dari pencucian truck mixer di *batching plant* setelah memproduksi dan mengirimkan campuran beton ke lokasi konstruksi. Pada saat pencucian, CSW menjadi seperti lumpur yang kemudian akan mengeras membentuk bongkahan. Fungsi CSW pada penelitian ini bertujuan untuk menghemat dalam pemakaian pasir dan memiliki kuat tekan yang maksimum serta juga dapat digunakan bahan bangunan ramah akan lingkungan yang tepat guna seperti paving blok, batu bata.





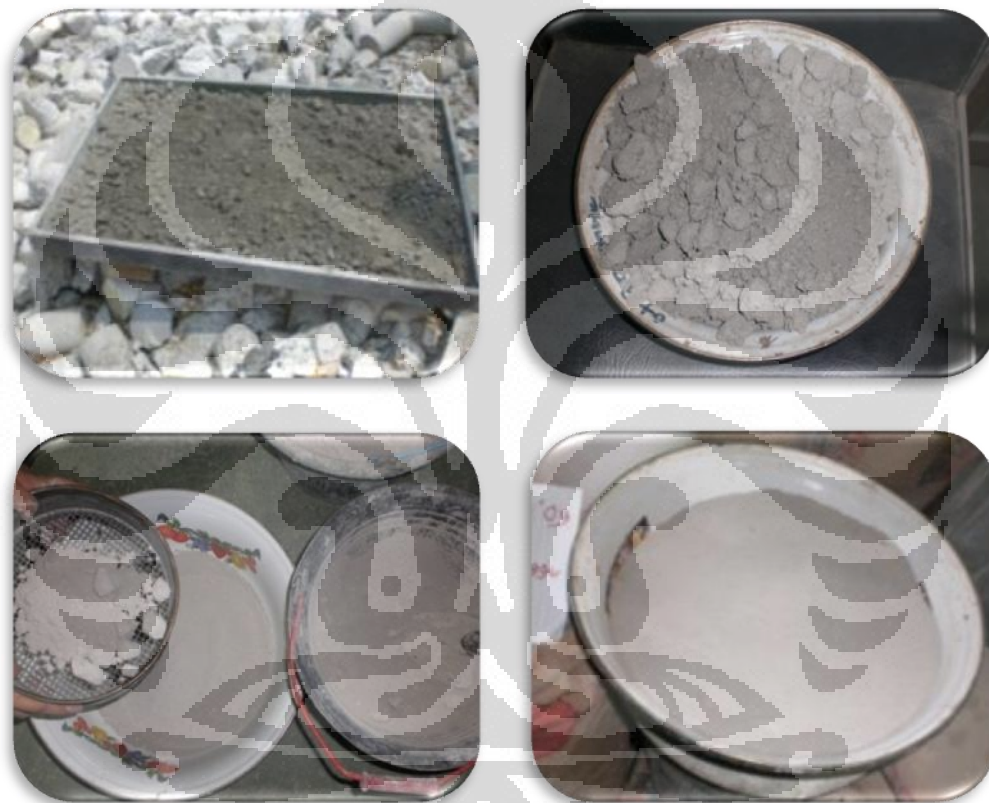
Gambar 2.6. Proses Pengambilan CSW

Pada penelitian sebelumnya dicoba dengan metode trial and error dari campuran OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan limbah beton yang masih berbentuk lumpur dengan perbandingan campuran 1:12; 1:10; 1:8; 1:6. Kuat tekan dievaluasi pada usia 7 hari didapat 1,18MPa, 2,35MPa, 4,71MPa, dan 5,89MPa. Kuat tekan terbesar didapat 5,89 MPa pada campuran 1:6, dimana terdapat perbandingan kuat tekan  $\geq 5$ MPa mutu beton rendah yang dipakai sebagai bahan bangunan seperti bata, paving blok, dinding partisi dll (*Diah Kusumantara, Essy Arijoeni*).

Pada penelitian kali ini CSW tidak langsung digunakan tetapi harus dilakukan penelitian yang lebih lanjut dan pengolahan agar sesuai dengan yang diharapkan, berikut cara proses pengolahan CSW hingga dapat digunakan :

1. Pada saat pengambilan biasanya CSW berbentuk bongkahan masih dalam keadan basah atau lembab, maka harus terlebih dahulu dikeringkan dengan cara dijemur matahari atau juga dapat dioven hingga tidak terdapat kadar air di dalam CSW.

2. Setelah mengering, bongkahan CSW dihancurkan dan dihaluskan dengan cara digiling atau ditumbuk.
3. Setelah dihaluskan CSW diayak dengan ayakan saringan 4,75 mm (3/16 in) yang merupakan standar ayakan lolos saringan untuk agregat halus.
4. CSW yang sudah diayak akan berbentuk bubuk yang sangat halus dan harus disimpan di tempat yang kering.



Gambar 2.7. Proses Pengolahan CSW

Analisis kimia pada CSW yang dilakukan pada Laboratorium Material Science Universitas Indonesia adalah uji PSA (*Particle Size Analysis*) dan XRF (*X-Rays fluorescence*) yang memiliki kandungan kimia, seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel.2.7. Hasil Uji PSA Pada CSW

No.	Particle Diameter ( $\mu\text{m}$ )	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.2.8. Komposisi Kimia CSW dari Uji XRF

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	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>35.5793</b>	47.0789
4	S	0.5744	1.4243
5	K <sub>2</sub> O	0.7181	0.6061
6	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>48.0781</b>	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

Dari hasil uji PSA, CSW memiliki ukuran partikel terkecil 0.4  $\mu\text{m}$  dan jumlah partikel CSW yang berukuran antara 0.4 – 1  $\mu\text{m}$  sebanyak 16,42% dari keseluruhan sampel yang diujikan. Sedangkan dari hasil uji XRF, CSW memiliki komposisi kimia paling besar mengandung SiO<sub>2</sub> dan CaCO<sub>3</sub>. Pembuangan sisa beton yang berasal dari dalam truck mixer menjadi suatu perhatian bagi kalangan pelaksana konstruksi dan pemerhati lingkungan. Penanganan yang dilakukan selama ini adalah pembuangan sisa beton pada lokasi proyek atau pada suatu lahan kosong. Penanganan ini berdampak negatif pada lingkungan, seperti timbulnya *brown field*, tertutupnya lahan serapan air, serta pemborosan eksplorasi bahan alam dan energi.

## 2.6 Penelitian Yang Pernah Dilakukan

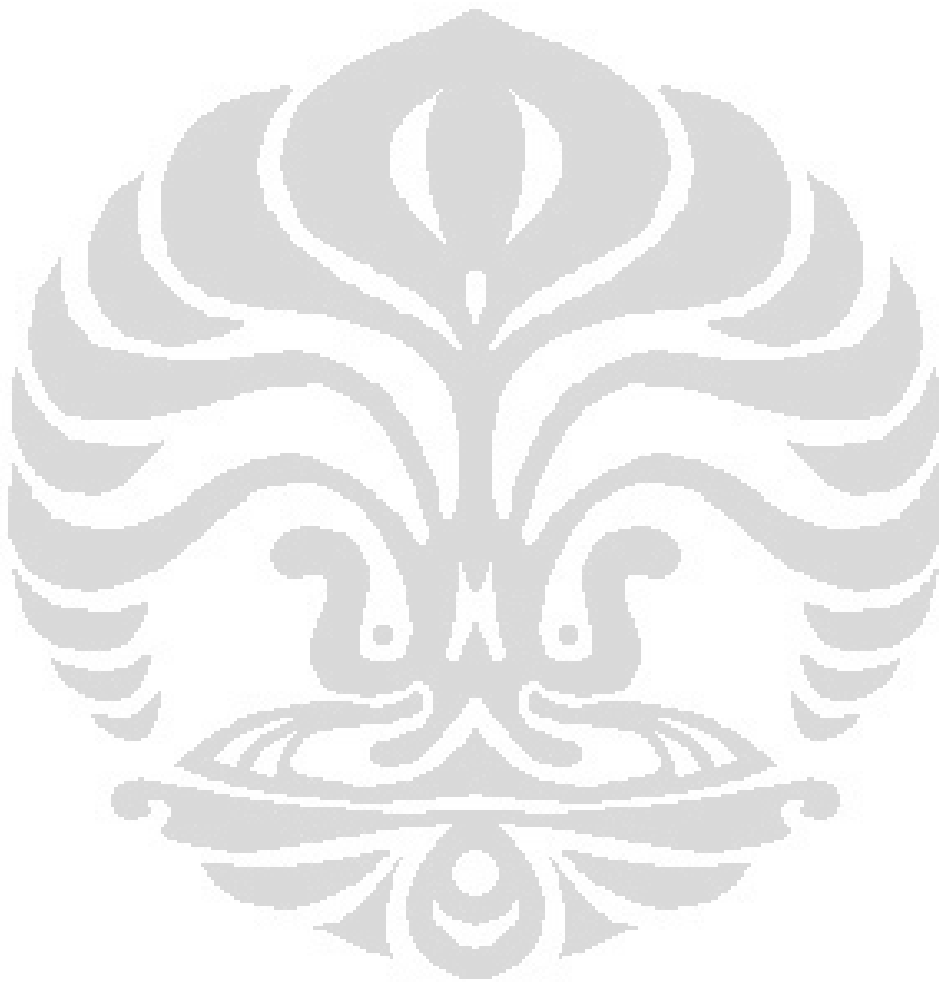
a. Penelitian yang pernah dilakukan dengan penambahan RHA dan semen dengan berat yang sama yaitu 50 % RHA dicampurkan dengan 50 % semen, dengan variasi pasta semen campuran yang dibedakan berdasarkan faktor air semen (FAS) yaitu FAS 0,6 ; 0,7 dan 0,8 terhadap berat jenis pasta, didapatkan :

- Kuat tekan pasta semen campuran abu sekam padi mengalami penurunan terhadap pasta semen normal. Kuat tekan pasta semen campuran abu sekam padi tertinggi berada dinilai FAS 0,7 yaitu pada nilai kuat tekan  $f_c' = 26,5$  MPa atau penurunan sebesar 71,86% dari kuat tekan pasta normal.
- Kuat tarik pasta semen campuran abu sekam padi tertinggi berada dinilai FAS 0,7 yaitu pada nilai kuat tarik  $f_c't = 0,653$  MPa atau penurunan sebesar 37,57 % dari kuat tarik pasta normal.

Dengan menggunakan grafik yang diinterpolasi maka didapatkan nilai kuat tekan dan kuat tarik pasta semen campuran abu sekam padi tertinggi di peroleh pada faktor air semen 0,68. Abu sekam padi bisa menghemat penggunaan semen karena dengan pasta semen campuran abu sekam disini bisa menghemat penggunaan semen hingga 50% dan tetap memenuhi standard kekuatan acian sesuai dengan ASTM C 109 yaitu kekuatan acian berkisar dari 3,6 Mpa - 7,2 MPa, sedangkan untuk pasta semen campuran abu sekam disini kekuatannya sudah melebihi dari 8 MPa (Kusumantara, Diah, 2009).

b. Pada penelitian yang menggunakan Limbah Adukan Beton Siap Pakai sebelumnya dicoba dengan metode trial and error dari campuran OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan CSW yang masih berbentuk lumpur dengan perbandingan campuran 1:12; 1:10; 1:8; 1:6. Dimana kuat tekan dievaluasi pada usia 7 hari didapat 1,18MPa, 2,35MPa, 4,71MPa, dan 5,89MPa.

Kuat tekan terbesar didapat 5,89 MPa pada campuran 1:6, dimana terdapat perbandingan kuat tekan  $\geq 5$ MPa mutu beton rendah yang dipakai sebagai bahan bangunan seperti bata, paving blok, dinding partisi dll (*Diah Kusumantara, Essy Arijoeni*).



## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Metode Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium sesuai dengan data-data dari studi pustaka baik Standar Indonesia SK SNI maupun standar asing yaitu ASTM.

Sampel yang dibuat adalah beton keras dengan perbandingan komposisi campuran yang didapat sebelumnya dari hasil mix design beton normal mutu sedang yaitu dengan besar kuat tekan  $f_c'$  30 MPa sampai dengan  $f_c'$  35 MPa yang kemudian ditambah dengan bahan RHA dan CSW, yaitu sebagai berikut :

- Bahan pengikat hidrolis dengan komposisi 92 % semen (PCC) dan 8 % RHA.
- Agregat Halus dengan komposisi :
  - 30 % CSW dan 70 % pasir
  - 40 % CSW dan 60 % pasir
  - 50 % CSW dan 50 % pasir
  - 60 % CSW dan 40 % pasir
  - 70 % CSW dan 30 % pasir
- Agregat Kasar (100 % screened split 10 – 15 mm)

Beton normal mutu sedang dibuat terlebih dahulu dengan menggunakan cetakan kubus ukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm sebanyak 5 buah, dan akan diuji kuat tekan pada umur 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari. Benda uji beton campuran RHA dan CSW yang dibuat akan diuji Kuat tekan pada umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari, sedangkan pada umur 28 hari diuji Modulus Elastisitas, Permeabilitas, dan Density.

Jumlah benda uji kuat tekan masing-masing 5 buah ukuran kubus 100 mm x 100 mm x 100 mm, 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.

Tabel 3.1. Kebutuhan total volume beton untuk pembuatan benda uji

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 & Densitas	Kubus	10	10	10		175	0.1750
2	Modulus Elastisitas	Silinder			30	15	25	0.1325
3	Permeabilitas	Silinder			15	15	25	0.0662
							Total	0.3737
							Total + 10%	0.4111

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

#### A. Alat

1. Cetakan kubus, 100 mm x 100 mm x 100 mm
2. Cetakan silinder D=15 cm, t=30 cm
3. 1 Set Alat Uji Slump
4. 1 Set Alat Uji Waktu Ikut
5. Molen ( Mesin Pengaduk Beton )
6. Mesin tekan
7. Timbangan

#### B. Bahan

1. Agregat kasar : Batu Pecah (PT. Holcim)
2. Agregat halus : Pasir Alam (Ex Cimangkok)
3. Semen : Semen Tipe PCC ( Tiga Roda )
4. Air : Air Tanah ( Lab UI )
5. RHA : Bahan Pengganti Sebagian Semen (PT. Hakiki)
6. CSW : Bahan Pengganti Sebagian Pasir (PT. Holcim)

#### C. Kebutuhan Bahan

Dalam penelitian ini kami merencanakan membuat sejumlah benda uji beton berbentuk kubus ukuran 100 mm x 100 mm x 100 mm 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 :

Tabel 3.2. Volume beton untuk 1 x pengadukan

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 & Densitas	Kubus	10	10	10		35	0.0350
2	Modulus Elastisitas	Silinder			30	15	5	0.0265
3	Permeabilitas	Silinder			15	15	5	0.0132
							Total	0.0747
							Total + 10%	0.0822

$$\text{Total} = 0.0822 \text{ m}^3$$

Keterangan :  $\text{Volume Kubus} = P \times L \times T$

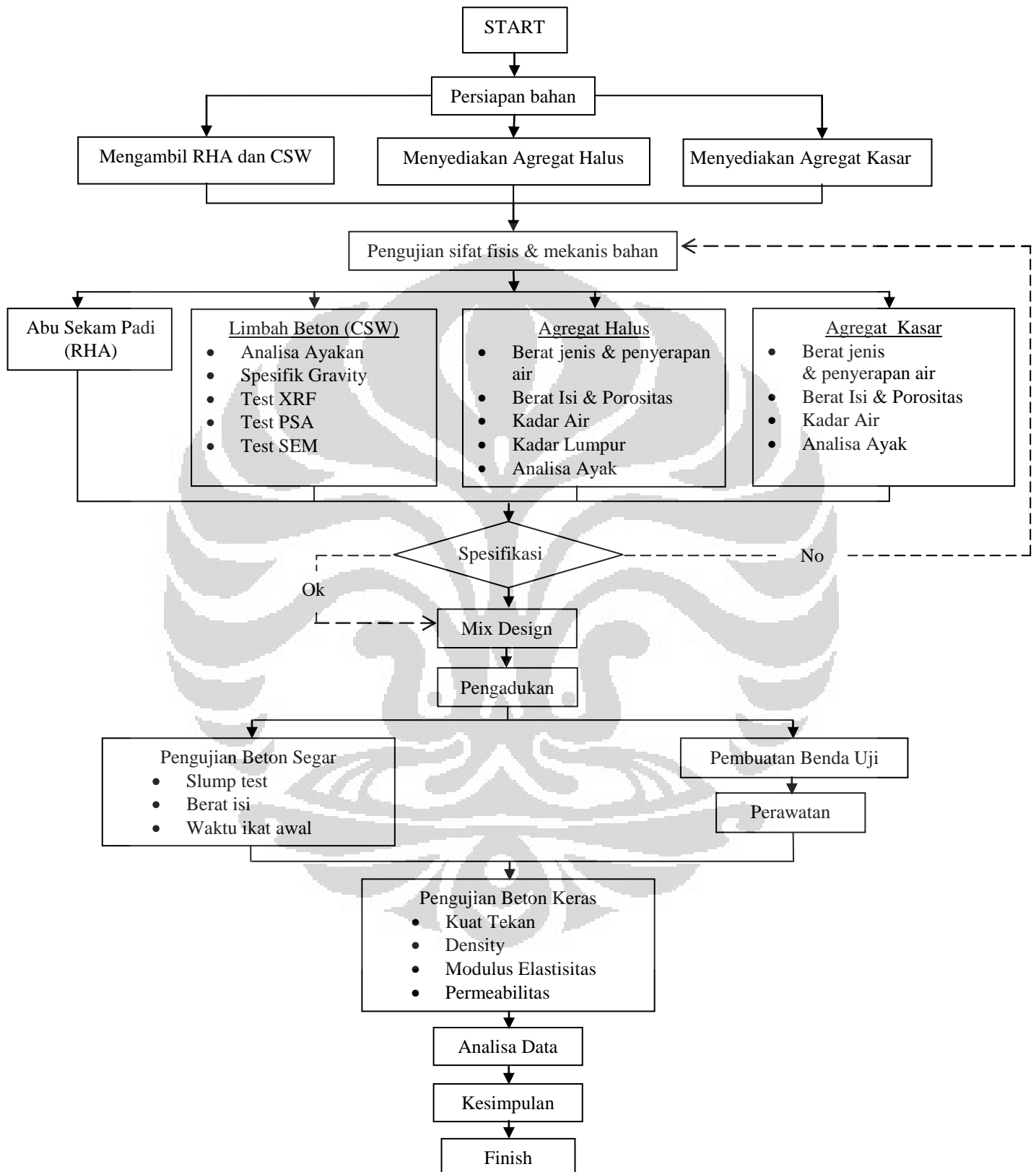
$$\text{Volume Silinder} = \frac{1}{4} \times \pi \times D \times T$$

#### D. Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



### 3.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



### 3.3 Pengujian Agregat Kasar

#### 3.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (ASTM C127-01)

Untuk menentukan berat jenis dan prosentase air yang dapat diserap oleh agregat kasar.

##### 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  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .
- e. Alat pemisah contoh.
- f. Saringan No. 4 (4,75 mm).

##### 2. Bahan

Benda uji adalah agregat yang tertahan saringan no.4 yang diperoleh dari alat pemisah contoh. Kurang lebih 5 kg.

##### 3. Prosedur Pengujian

- a. Pertama – tama benda uji dicuci untuk menghilangkan lumpur atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu  $105 ^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.
- c. Keluarkan benda uji dari oven, lalu benda uji didinginkan pada suhu kamar selama 1 - 3 jam.
- d. Kemudian benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,5 gr (Bk). Selanjutnya rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama  $24 \pm 4$  jam.
- e. 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.

- f. Kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (BJ<sub>ssd</sub>).
- g. 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.

#### 4. Perhitungan

$$a. \text{ Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a}$$

$$b. \text{ Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)} = \frac{B_{ssd}}{B_{ssd} - B_a}$$

$$c. \text{ Berat Jenis Semu (Apparent Surface Dry)} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$d. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{B_{ssd} - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan :

B<sub>k</sub> = 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 Berat Isi dan Porositas Agregat Kasar (ASTM C 29M – 97)

Pengujian bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi dan voids pada agregat, dan membandingkan dengan spesifikasi.

#### 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 :

Tabel 3.3. Macam – Macam Wadah Baja Silinder

Kapasitas	Diameter	Tinggi	Tebal Tempat		Ukuran Butir max
			Minimum	Dasar Sisi	
(liter)	(mm)	(mm)	Dasar	Sisi	(mm)
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

## 2. Bahan

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

## 3. Prosedur Pengujian

### a. Berat Isi Lepas :

- Langkah pertama adalah silinder ditimbang kosong dan dicatat beratnya (W1).
- 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 (W2). Selanjutnya dihitung berat benda uji ( $W3 = W2 - W1$ ).

### b. Berat Isi Padat :

- Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya (W1).
- 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)

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

#### 3.3.3 Analisa Ayak Agregat Kasar (ASTM C 136 – 01)

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan pembagian butir / gradasi agregat dengan menggunakan saringan.

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 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

- a. Langkah pertama benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
- b. Kemudian benda uji ditimbang sesuai dengan berat yang disyaratkan.
- c. 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.
- d. Selanjutnya susunan saringan diletakan dalam mesin penggetar saringan (*sieve shaker*). Lalu mesin penggetar saringan dijalankan selama  $\pm 15$  menit.
- e. 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.

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

### 3.3.4 Kadar Air Agregat Kasar (SNI 03 – 1971 – 1990)

Pengujian dilakukan untuk mendapat nilai kadar air yang dikandung oleh agregat, membandingkan kadar air dan penyerapan air pada agregat, dan menghitung kelebihan dan kekurangan air untuk mencapai SSD

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.

Tabel 3.4. Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Kasar

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

3. Prosedur

- a. Timbang berat talam kosong dan catat (W1). Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W2).
- b. Lalu dihitung berat benda ujinya ( $W3 = W2 - W1$ ). Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam didalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
- c. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W4).
- d. 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 Pengujian Agregat Halus

#### 3.4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air (ASTM C 128 - 01)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dan prosentase air yang dapat diserap oleh agregat halus.

##### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram mempunyai kapasitas 5 kg.
- b. Keranjang kawat ukuran 3,35 mm atau 2,36 mm dengan kapasitas 1 kg.
- c. Picnometer dengan kapasitas 500 ml.
- d. Kerucut terpancung.
- e. Batang penumbuk.
- f. Saringan 4 mm.
- g. Oven.
- h. Pengukur suhu dengan ketelitian 1°C.
- i. Talam.
- j. Bejana tempat air.
- k. Pompa hampa udara (vacuum pump).
- l. Air suling.
- m. 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 1kg.

##### 3. Prosedur

- a. Pertama benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.
- b. Dinginkan benda uji pada suhu ruang, kemudian direndam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.



- c. Buang air bekas perendam 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).
  - d. Periksa dalam keadaan JPK dengan mengisi benda uji ke dalam kerucut terpancung dalam tiga bagian, kemudian dipadatkan sebanyak 25 kali, lalu angkat kerucut. Keadaan JPK tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi tingginya masih tetap.
  - e. 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 diguncang-guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya dapat keluar.
  - f. 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.
  - g. Picnometer berisi air dan benda uji ditimbang sampai ketelitian 0,1 gram (BT).
  - h. Keluarkan benda uji, kemudian 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).
  - i. Tentukan berat picnometer berisi air penuh dan ukur suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$  (B).
4. Perhitungan

$$\text{a. Berat jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{Bk}{B + Bssd - BT}$$

$$\text{b. Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{Bssd}{B + Bssd - BT}$$

$$\text{c. Berat jenis semu (Apparent Surface Dry)} = \frac{Bk}{B + Bk - BT}$$

$$d. \text{ Penyerapan Air} = \frac{B_{ssd} - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan :

B<sub>k</sub> = Berat benda uji kering oven (gram)

B<sub>ssd</sub> = 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 Berat Isi dan Porositas Agregat Halus (ASTM C 29M – 97)

Pengujian bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi dan voids pada agregat, dan membandingkan dengan spesifikasi.

1. Peralatan
  - a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 g.
  - 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 dengan kapasitas serupa dengan wadah baja pengujian agregat kasar.
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 (W1).
    - 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 (W2). Selanjutnya dihitung berat benda uji ( $W_3 = W_2 - W_1$ ).
- b. Berat Isi Padat :
  - Langkah pertama adalah silinder kosong ditimbang dan dicatat beratnya (W1).
  - 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 ( $W_5 = W_4 - W_1$ ).

#### 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)

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

#### 3.4.3 Analisa Ayak Agregat Halus (ASTM C 136 – 01)

Pengujian dilakukan untuk menentukan pembagian butir / gradasi agregat dengan menggunakan saringan. Pengujian ini selain dilakukan untuk pasir, digunakan juga untuk pengujian limbah adukan beton (CSW)

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. Bahan  
Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak 1 kg.
3. Ukuran Saringan
  - a. Ukuran maksimum no.4 : berat minimum 500 gram.
  - b. Ukuran maksimum no.8 : berat minimum 100 gram.
4. Prosedur Pengujian
  - a. Benda uji dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
  - b. Timbang benda uji 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 selama 15 menit agar hasil ayakan terpisah merata.
  - c. Kemudian berat agregat yang terdapat pada masing-masing saringan ditimbang.
5. 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 Kadar Air Agregat Halus (SNI 03 – 1971 – 1990)

Pengujian dilakukan untuk mendapat nilai kadar air yang dikandung oleh agregat, membandingkan kadar air dan penyerapan air pada agregat, dan menghitung kelebihan dan kekurangan air untuk mencapai SSD.

#### 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

Tabel 3.5. Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum Agregat Halus

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

#### 3. Prosedur

- a. Timbang berat talam kosong dan catat (W1).
- b. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam talam lalu ditimbang dan dicatat beratnya (W2).
- c. Lalu dihitung berat benda ujinya ( $W3 = W2 - W1$ ).
- d. Setelah itu benda uji dikeringkan beserta talam didalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai berat tetap.
- e. Setelah kering, ditimbang dan dicatat berat benda uji beserta talam (W4).
- f. 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 Kadar Lumpur Agregat Halus (ASTM C 117 – 03)**

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar lumpur pada agregat halus.

## 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

- a. Benda uji dimasukkan dengan berat 1000 gram Kemudian ditimbang ( W1 ).
- b. Lalu benda uji dimasukkan ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
- c. Wadah diguncang – guncangkan hingga kotoran – kotoran pada benda uji hilang dan diulangi pekerjaan di atas sampai air cucian menjadi bersih.
- d. Kemudian semua bahan dikembalikan kedalam wadah, lalu seluruh bahan tersebut dimasukkan kedalam talam yang telah diketahui beratnya (W2).
- e. Lalu benda uji dikeringkan dalam oven sampai berat tetap. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (W3).
- f. 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 Pembuatan Benda Uji (SK SNI T – 15 – 1990 – 03)

Material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dipersiapkan terlebih dahulu. 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 Kubus 100mm x 100mm x 100mm
- i. Cetakan Silinder  $h = 300\text{mm}$ ,  $d = 150\text{mm}$

#### 2. Bahan

- a. Agregat Halus

Dilakukan Pengecekan kebutuhan pasir dan limbah adukan beton 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 Adukan Beton (CSW)

Limbah adukan beton sudah dihaluskan, yang sudah diayak oleh saringan 4,75 mm (3/16 in), ditimbang sesuai kebutuhan rencana. Limbah adukan beton digunakan sebagai agregat halus, dengan perbandingan agregat 25 % dari berat total.

f. Abu Sekam Padi ( RHA )

ASP yang sudah diayak oleh saringan 300  $\mu$ m (0,3 mm) ditimbang sesuai kebutuhan rencana. Abu sekam diambil 8% dari berat semen.

3. Prosedur

a. Timbang atau takar semua bahan yang akan di aduk.

b. Kemudian menyiapkan mesin pengaduk beton dan peralatan yang akan digunakan, lalu nyalakan mesin pengaduk.

c. Sambil mesin pengaduk berjalan, agregat kasar, pasir dan limbah adukan beton dimasukkan, setelah itu semen. Lalu abu sekam padi dimasukkan dan diikuti air sebanyak setengahnya dari keperluan pengadukan.

d. Lakukan pengadukan hingga semua bahan merata.

e. Setelah selesai pengadukan, campuran beton terlebih dahulu diuji workabilitynya, umumnya menggunakan alat slump.

f. Setelah selesai pengujian slump, kemudian beton segar diuji Berat Isi, dan Waktu Pengikatan.



- g. Untuk pembuatan sampel Beton Keras, beton segar dimasukkan ke dalam cetakan yang terlebih dahulu dilumasi bagian dalamnya dengan bahan pelumas.
- h. Sampel dimasukkan ke dalam cetakan dalam tiga lapis, setiap lapis dipadatkan 25 kali.
- i. Kemudian permukaannya diratakan dengan mistar perata. Pada permukaannya diberi tanda, supaya sampel tidak tertukar dengan sampel lain.
- j. 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 Pemeriksaan Kualitas Beton Segar**

#### **3.6.1 Pengujian Slump (SNI 03 – 1972 – 1990)**

Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai slump pada beton segar, melihat perbandingan antara nilai slump dengan kuat tekan beton yang tercapai.

##### **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**

- a. Bagian dalam alat slump serta landasannya dilumasi dengan kain basah, supaya tidak menyerap air dari sample.
- b. 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.
- c. Selanjutnya beton dimasukkan dalam tiga lapisan.
- d. Setiap lapisan dipadatkan dengan batang pemadat sebanyak 25 kali. Kemudian diratakan permukaan atasnya, dengan

menggeserkan batang pematik secara mendatar. Apabila kelebihan beton yang menempel pada alat slump dibersihkan.

- e. Lalu secara perlahan angkat vertical keatas kerucut abrasinya.
- f. Kemudian bandingkan tinggi cetakan dengan tinggi beton, lalu hasil dari pengukurannya dicatat.

### 3.6.2 Pengujian Berat Isi Beton (ASTM C 138M – 01a)

Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai berat isi beton segar, mencari rongga dalam beton segar, mencari nilai yield dalam beton segar, dan menentukan konversi dari satuan berat ke satuan volume.

1. Peralatan
  - a. Timbangan kapasitas 25 kg, dengan ketelitian 0.1 gram.
  - b. Sekop baja.
  - c. Tongkat pematik diameter 16 mm panjang 600 mm.
  - d. Mistar Perata.
  - e. Mistar Pengukur.
  - f. Tabung silinder
2. Prosedur Pengujian
  - a. Siapkan 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 pematik, nilai slump antara 25 – 75 mm dengan tongkat atau vibrator, dan nilai slump kurang dari 25 mm harus dengan vibrator.
  - b. Kemudian menimbang tabung silinder → A gram, dan volumenya diukur.
  - c. 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). Maka didapat volume tabung adalah  $B - A$  (Liter).
- d. 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.
- e. Pemadatan dengan memakai vibrator dilakukan dengan cara sebagai berikut :
- 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 ( $\text{m}^3$ )

### 3.6.3 Pengujian Waktu Ikat Awal (ASTM C 403M – 99)

Pengujian dilakukan untuk mencari nilai waktu ikat beton segar, mencari hubungan waktu ikat pada beton segar dengan suhu pada waktu pengujian, dan mencari hubungan waktu ikat dengan penambahan bahan tambah.

#### 1. Peralatan

- Penetrometer.
- Stop watch.
- Cetakan kubus atau silinder.
- Saringan 2.36 mm.
- Skop baja.
- Alat pemadat.
- Mistar Perata

#### 2. Prosedur

- Setelah pengadukan waktu untuk pengujian waktu ikat mulai dicatat.

- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.
- e. Waktu ikat awal tercapai, apabila masuknya jarum ke dalam sampel, sedalam 1 inchi, dalam waktu 10 detik, memerlukan beban 500 psi.
- f. 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.
- g. Sejak pengadukkan dicatat pada menit ke berapa waktu ikat awal tercapai. Lalu dilanjutkan pengujian waktu ikat akhir.
- h. Waktu ikat akhir tercapai apabila masuknya jarum penetrometer sedalam 1 inch dalam waktu 30 detik memerlukan beban 500psi.
- i. Kemudian buat grafik hubungan antara waktu pengujian dengan beban yang tercapai.

### **3.7 Pemeriksaan Kualitas Beton Keras**

#### **3.7.1 Kuat Tekan Beton (SNI 03 – 1974 – 1990)**

Pengujian kuat tekan dilakukan untuk membandingkan kuat tekan hasil pengujian dengan kuat tekan rencana yang sesuai dengan standarisasi, dan melakukan koreksi terhadap rancangan campuran.

1. Peralatan
  - a. Mesin Kuat Tekan.
  - b. Timbangan kapasitas 25 kg dengan ketelitian minimum 0.01 kg.
  - c. Mistar ukur
2. Prosedur
  - a. 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.
  - b. Timbang benda uji, 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.
  - c. Mesin tekan disiapkan dengan cara menyambungkan kabel antara bagian penekan dengan bagian kontrol. Kabel listrik dihubungkan antara mesin tekan dengan sumber arus.
  - d. 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.
  - e. Atur jarum penunjuk sampai menunjukkan angka 0 (nol) dengan cara memutarinya.
  - f. 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.
  - g. Lepas tombol rapid approach, sehingga mesin bergerak sendiri. Kecepatan pembebanan diatur dengan memutar *load rate* antara 0.14 – 0.34 Mpa / detik.
  - h. Bila beban sudah mencapai maksimum, jika jarum penunjuk berhenti dan kembali ke angka nol. Pada saat tersebut dicatat besar beban maksimum P maks (KN).

- i. Segera mesin pengujian dihentikan dengan menekan tombol stop sampai sampel dapat diambil dari mesin tekan.

### 3. Perhitungan

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

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

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 menggunakan alat uji Non Destruktif yaitu PUNDIT model PC1006. Untuk menentukan modulus elastisitas, maka perlu diinput data-data: panjang rambatan, faktor koreksi (jika diperlukan), berat jenis (density), serta poisson's rasionya. Hasil pembacaan pada saat pengujian adalah *transit time (second)*, *Velocity (m/s)*, *modulus elasticity (GN/m<sup>2</sup>)*.

Untuk melihat modulus elastisitas, pilih option 5 dari menu utama.

- a. Input data-data yang diperlukan.
- b. Tentukan letak titik yang akan diuji, pada sampel beton silinder diusahakan pada saat penempatan transmitter dan receiver harus sejajar lurus agar didapat perambatan yang getaran yang baik.
- c. Pakai gel ke transducer dan tempatkan 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 kali, 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 moda tunggal)
- g. Untuk menyimpan pembacaan, tekan “ENTER”. Untuk keluar dari menu ini, tekan tombol “MENU”.
- h. Lakukan langkah – langkah a – g hingga 4 kali pengujian dan pembacaan data pada satu benda uji beton.

### 3.7.3 Permeabilitas (DIN 1048 Part 5)

Pada pengujian permeabilitas, benda uji dibuat dengan bentuk silinder beton yang dipotong menjadi ukuran dengan tinggi 15 cm dan diameter 15 cm. Prosedur pengujian permeabilitas adalah sebagai berikut:

- a. Permukaan benda uji dikasarkan di bagian tengahnya dengan bentuk lingkaran berdiameter 10 cm
- b. Benda uji diletakan dengan permukaan yang dikasarkan menempel pada lubang bertekanan.
- c. Mesin uji penetrasi dijalankan dengan tekanan 5 bar selama 72 jam atau selama 3 hari.
- d. Air pada tabung air tidak boleh dibiarkan kosong dan harus selalu terisi penuh.
- e. Benda uji diangkat setelah total 72 jam penetrasi air, kemudian dipatahkan pada bagian tengahnya menjadi dua bagian
- f. Pada bagian patahan beton, diukur kedalaman penetrasi air, dan pengujian selesai.



### 3.7.4 Densitas (ASTM C 642 – 97)

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. Pengujian density pada penelitian ini mengacu pada peraturan ASTM C 642 – 97 dengan langkah – langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Benda uji kering harus diketahui dengan mengukur berat dalam keadaan kering setelah dikeringkan dalam oven selama  $\pm 24$  jam.
- b. Setelah dikeluarkan dari oven, biarkan sampai kering udara sekitar  $20^{\circ}$  -  $25^{\circ}$  C kemudian baru kita dapat mengukur berat benda uji kering oven.
- c. Namun jika benda uji yang pertama masih terlihat basah maka dilakukan pengeringan kedua selama 24 jam kemudian ukur kembali berat benda uji tersebut.
- d. 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.
- e. Setelah itu rendam benda uji, setelah pengeringan akhir, pendinginan, dan penentuan massa, di air pada sekitar  $21^{\circ}\text{C}$  selama tidak kurang dari 48 jam dan sampai dua berturut-turut nilai massa dari sampel permukaan kering di interval dari 24 jam menunjukkan peningkatan massa kurang dari 0,5% dari nilai yang lebih besar. Permukaan kering benda uji dengan menghapus permukaan air dengan handuk, dan menentukan massa. Tentukan massa permukaan kering akhir setelah perendaman B.
- f. Tempatkan benda uji, dalam suatu wadah yang cocok, ditutupi dengan air, dan didihkan selama 5 jam. Biarkan hingga dingin oleh hilangnya alam panas selama tidak kurang dari 14 jam ke suhu akhir  $20$  untuk  $25^{\circ}\text{C}$ . Lepaskan kelembaban permukaan dengan handuk dan menentukan massa benda uji. Tentukan, direbus direndam, permukaan kering massal C.

- g. Berat jenuh dengan digantungkan dengan kawat dalam air maka didapatkan berat jenuh benda uji sebagai D.
- h. Berikut perhitungan yang dibutuhkan untuk menentukan density pada beton keras ( $\text{g/cm}^3$ ) :

$$\text{Densitas} = [A/(C-D)] \cdot \rho = (\text{g/cm}^3)$$

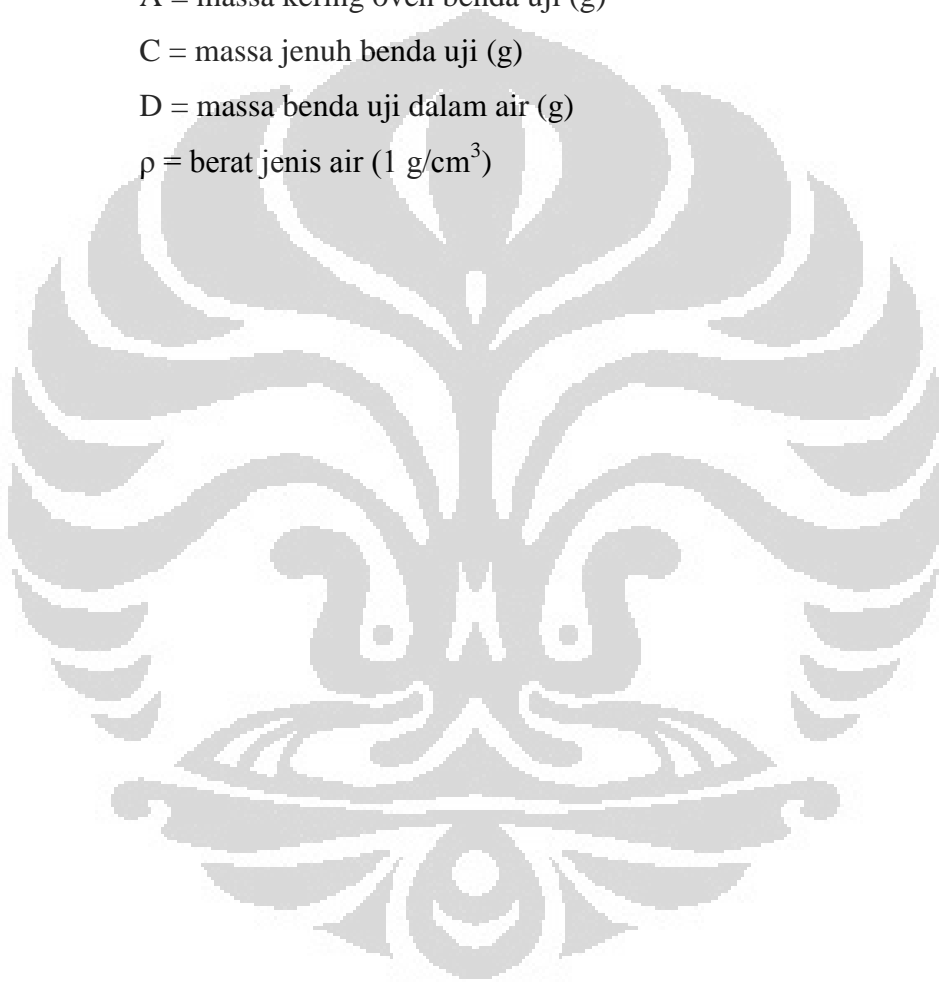
Dimana :

A = massa kering oven benda uji (g)

C = massa jenuh benda uji (g)

D = massa benda uji dalam air (g)

$\rho$  = berat jenis air ( $1 \text{ g/cm}^3$ )



## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

#### 4.1 Hasil Dan Analisa Pengujian Agregat Kasar

##### 4.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat SSD (Bj)	gr	5035	5055	5045
2	Berat dalam Air (Ba)	gr	3062	3083	3072,50
3	Berat Kering Oven (Bk)	gr	5002	5000	5001
4	BJ Bulk = $Bk/(Bj - Ba)$		2,54	2,54	2,54
5	BJ SSD = $Bj/(Bj - Ba)$		2,55	2,56	2,56
6	BJ Semu = $Bk/(Bk - Ba)$		2,58	2,61	2,59
7	Penyerapan Air = $(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	%	0,66	1,10	0,88

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.

##### 4.1.2 Berat Isi

###### 1. Berat Isi Lepas

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	17585	17524	17555
3	Berat Agregat (W3)	gr	12541	12480	12511
4	Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	9401,17	9401,17	9401,17
5	Berat Isi Lepas = $W3/V$	gr/cm <sup>3</sup>	1,334	1,327	1,331
6	Void = $[(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\%$	%	47,38	47,63	47,50
7	Voids Rata-Rata	%		47,50	

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 47,50 %.

## 2. Berat Isi Padat

*Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar*

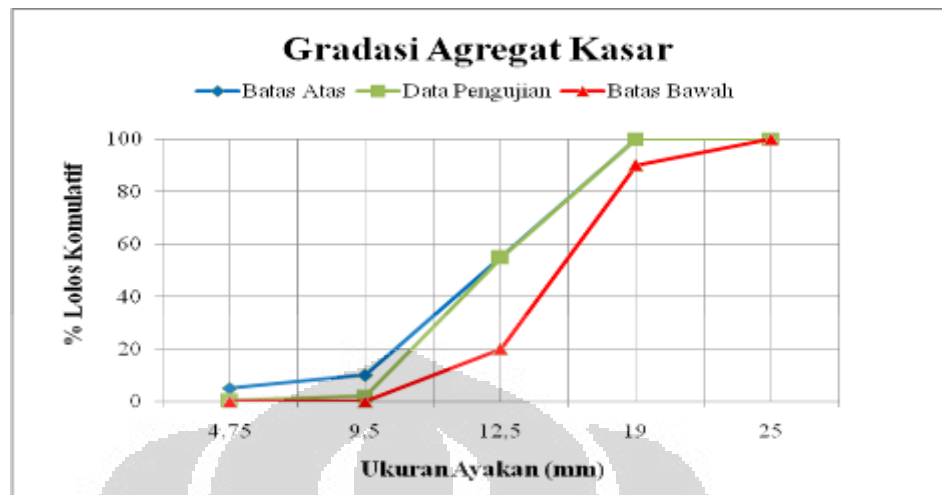
No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	18500	18435	18468
3	Berat Agregat (W3)	gr	13456	13391	13424
4	Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	9401,17	9401,17	9401,17
5	Berat Isi Padat = W3/V (M)	gr/cm <sup>3</sup>	1,43	1,42	1,425
6	Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	43,54	43,81	43,67
7	Voids Rata-Rata	%		43,67	

Didapat 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 43,67 %.

### 4.1.3 Analisa Ayak

*Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar*

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Spesifikasi ASTM C-33-78
25	0	0,00	0,00	100	100
19	0	0,00	0,00	100	90 - 100
12,5	13	0,52	0,52	99,48	20 - 55
9,5	1118	44,76	45,28	54,72	0 - 10
4,75	1317	52,72	98,00	2,00	0 - 5
2,36	44	1,76	99,76	0,24	-
Pan	6	0,24	100	0,00	0
Jumlah	2498		-	-	-



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sesuai (ASTM C 33 – 78)

$$\begin{aligned}
 FM &= \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \\
 &= \frac{100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 99,76 + 98,00 + 45,28 + 0,52}{100} \\
 &= \frac{743,56}{100} = 7,44
 \end{aligned}$$

Didapat nilai Dari hasil pengujian analisa ayak agregat kasar didapat nilai FM = 7,44 %. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan ASTM C 33 - 93, yaitu 6 - 7 % sehingga gradasi agregat tersebut cenderung kasar.

#### 4.1.4 Kadar Air

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Agregat	Gr	1000	1000	1000
2	Berat Kering Oven	Gr	986	985	985,5
3	Kadar Air	%	1,42	1,523	1,471

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.

## 4.2 Hasil dan Analisa Pengujian Agregat Halus

### 4.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat SSD (Bj)	gr	500	500	500
2	Berat Pic + Air (B)	gr	700	700	700
3	Berat Pic + Air + Agr (Bt)	gr	968	973	970,50
4	Berat Kering Oven (Bk)	gr	475	484	479,50
5	BJ Bulk = $Bk/(B+Bj-Bt)$		2,047	2,132	2,0895
6	BJ SSD = $Bj/(B+Bj-Bt)$		2,155	2,203	2,179
7	BJ Semu = $Bk/(B+Bk-Bt)$		2,295	2,294	2,2945
8	Penyerapan Air = $(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	%	5,26%	3,31%	4,28%

Dari hasil uji berat jenis didapat Berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,179 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 %. 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.

### 4.2.2 Berat Isi

#### 1. Berat Isi Lepas

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	2184	2184	2184
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	6043	6027	6035
3	Berat Agregat (W3)	gr	3859	3843	3851
4	Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	2590	2590	2590
5	Berat Isi Lepas = $W3/V$	gr/cm <sup>3</sup>	1,490	1,484	1,487
6	Void = $[(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\%$	%	28,71	28,99	38,82
7	Voids Rata-Rata	%		<b>28,85</b>	

Didapat berat isi lepas rata - rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,487 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 28,85 %.

## 2. Berat Isi Padat

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

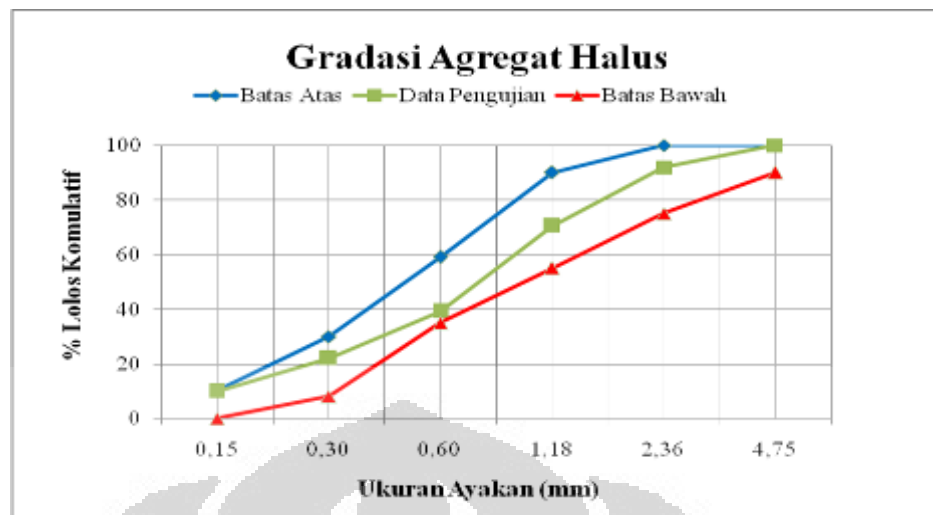
No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	2184	2184	2184
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	6384	6363	6373,50
3	Berat Agregat (W3)	gr	4200	4179	4189,50
4	Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	2590	2590	2590
5	Berat Isi Padat = W3/V	gr/cm <sup>3</sup>	1,622	1,614	1,618
6	Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	22,39	22,78	22,585
7	Voids Rata-Rata	%		<b>22,585</b>	

Didapat berat isi padat rata - rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,618 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 22,585 %.

### 4.2.3 Analisa Ayak

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus Spesifikasi Zona 2

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Spesifikasi Zona 2
4,75	0	0,00	0	100,00	90-100
2,36	40	8,08	8,08	91,92	60-95
1,18	106	21,41	29,49	70,51	30-70
0,60	155	31,31	60,81	39,19	15-34
0,30	85	17,17	77,98	22,02	5-20
0,15	60	12,12	90,10	9,90	0-10
Pan	49	9,90	100,00	0,00	-
Jumlah	495	100,00	-	-	-



Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Halus Pada Zona 2 (Menurut SK SNI S – 04 –1989-F)

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

Dari hasil pengujian didapat hasil FM sebesar 2,665 %. Nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu 1,5 – 3,8 % (Menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F). Agregat tersebut berada di Zone 2.

#### 4.2.4 Kadar Air

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Agregat	Gr	500	500	500
2	Berat Kering Oven	Gr	437,5	442,5	440
3	Kadar Air	%	14,286	12,994	13,64

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.



#### 4.2.5 Kadar Lumpur

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Agregat	gr	441	445	443
2	Berat Agr di Atas No. 200	gr	420	431	426
3	Kadar Lumpur	%	4,76	3,15	3,96

Dari hasil uji Kadar Lumpur didapat prosentase kadar lumpur rata – rata 3,96%. 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.

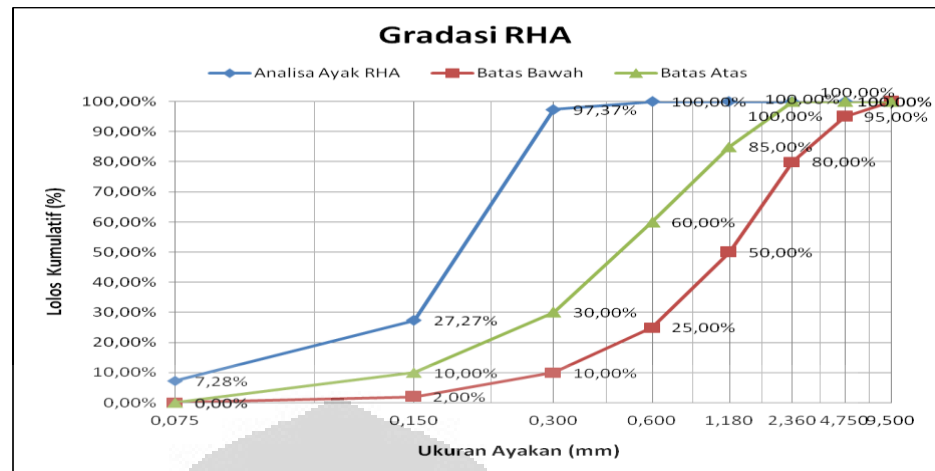
#### 4.3 Hasil Dan Analisa Pengujian Sifat RHA

##### 4.3.1 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 pengujia analisa ayak pada RHA :

Tabel 4.12 Hasil Pengujian analisa ayak RHA (sumber: skripsi Abdul latief, 2011)

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Standar ASTM
9,5	0,00	0,00	0,00	100	100
4,75	0,00	0,00	0,00	100	95-100
2,36	0,00	0,00	0,00	100	80-100
1,18	0,00	0,00	0,00	100	50-85
0,6	0,00	0,00	0,00	100	25-60
0,3	6,50	2,63	2,63	97,37	10-30
0,15	173,50	70,11	72,73	27,27	2-10
0,075	49,50	19,99	92,72	7,28	-
Pan	18,00	7,28	100	0,00	-
Jumlah	247,50	100	-	-	-



Gambar 4.3 Grafik pengujian analisa ayak RHA

$$\begin{aligned}
 FM &= \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \\
 &= \frac{72,73 + 2,63}{100} = \frac{75,36}{100} = 0,7536
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian didapat hasil FM sebesar 0,7536 %. Nilai gradasi RHA berada di luar dari batas maximum menurut batas standar ASTM, hasil ini disebabkan butiran RHA yang sangat halus dibandingkan dengan agregat halus normal.

#### 4.4 Hasil Dan Analisa Pengujian Sifat CSW

##### 4.4.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan air

Tabel 4.13 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengukuran	Sample I	Sample II	Rata-rata
Berat Agregat SSD (Gram)	500	500	500
Berat Agregat + Air + Picnometer (gram)	944	948.5	946.25
Berat Agregat kering oven (gram)	482	470	476
Berat piknometer + Air (gram)	643	646	644.5
<b>Berat Jenis</b>	<b>2.422</b>	<b>2.380</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>

Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, pada pengujian berat jenis SSD sebesar 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 %.

#### 4.4.2 Pengujian Berat Isi CSW

Tabel 4.14 Hasil pengujian berat isi lepas dan berat isi padat CSW

No.	Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
1	W1	1039	1039
2	W2	3173	3175
3	W3 (Berat Isi Lepas)	2134	2136
4	W4	3523	3522
5	W5 (Berat Isi Padat)	2484	2483
<b>Berat Isi Lepas Rata-rata</b>		<b>2135.0</b>	
<b>Berat Isi Padat Rata-rata</b>		<b>2483.5</b>	
<b>Faktor W5 terhadap W3</b>		<b>1.163</b>	

W1 = Berat Silinder

W2 = Berat Silinder + Benda uji keadaan Lepas

W3 = Berat Isi Lepas

W4 = Berat Silinder + Benda uji Keadaan Padat

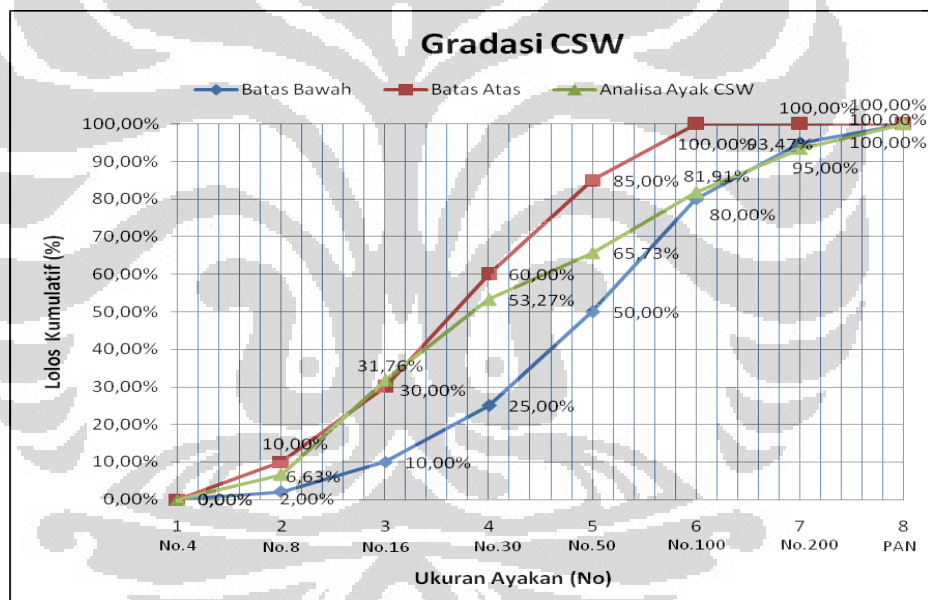
W5 = Berat Isi Padat

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.

### 4.4.3 Analisa Ayak

Tabel 4.15 Pengujian analisa ayak CSW

Ukuran Ayakan (NO)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Standar ASTM
4	0,00	0,00	0,00	100	100
8	32,50	6,53	6,53	93,47	95-100
16	57,50	11,56	18,09	81,91	80-100
30	80,50	16,18	34,27	65,73	50-85
50	62,00	12,46	46,73	53,27	25-60
100	107,00	21,51	68,24	31,76	10-30
200	125,00	25,12	93,37	6,63	2-10
Pan	33,00	6,63	100	0,00	-
Jumlah	497,50	100	-	-	-



Gambar 4.4 Grafik pengujian analisa ayak Concrete Sludge Waste (CSW)

$$\begin{aligned}
 FM &= \frac{\sum \% \text{ tertahan kumulatif mulai dari saringan } 0,15 \text{ mm}}{100} \\
 &= \frac{93,37 + 68,24 + 46,73}{100} = \frac{208,34}{100} = 2,083
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian didapat hasil FM sebesar 2,083 %. Nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu 1,5 – 3,8 % (Menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F) CSW berada di Zone 2.

#### 4.4.4 Kadar Lumpur

Berikut ini adalah hasil penelitian Kadar lumpur yang sudah dilakukan terhadap CSW.

Tabel 4.16 Hasil pengujian 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>	

Keterangan:

W1 = Berat kering oven (tetap)

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

W3 = Berat benda uji + talam

W4 = Berat talam

#### 4.4.5 Kadar Air

Tabel 4.17 Hasil pengujian 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>	

Keterangan:

W1 = Berat talam

W2 = Berat benda uji + talam

W3 = Berat benda uji (W2-W1)

W4 = Berat benda uji + talam setelah di oven sampai berat tetap

W5 = Berat benda uji setelah di oven (W4-W1)

## 4.5 Rancang Campur Dan Kebutuhan Bahan

### 4.5.1 Mix Design Beton Normal Mutu Sedang

Mix design beton normal mutu sedang mengacu pada metode SNI 03 – 2834 – 2000.

Tabel 4.18 Perencanaan Campuran Beton Normal Mutu Sedang

No	Uraian	Tabel / Grafik / Perhitungan	Nilai
1	Kuat tekan yang diisyaratkan	Ditetapkan	35 MPa
2	Jenis Semen	Ditetapkan	Semen Portland Type I
3	Jenis Agregat : - Kasar - Halus	Ditetapkan	Batu Pecah Pasir Alam (Ex Cimangkok)
4	Faktor air semen bebas	Ditetapkan	0,45
5	Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,45
6	Slump	Ditetapkan	60 - 180 mm
7	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20 mm
8	Kadar air Bebas	Lampiran 1.4 dari tabel 1.1	225 kg/m <sup>3</sup>
9	Kadar semen	9 : 5	225 kg/m <sup>3</sup> : 0,45 = 500 kg/m <sup>3</sup>
10	Kadar semen maksimum	Ditetapkan	-
11	Faktor air semen yang disesuaikan	Ditetapkan	-
12	Susunan besar butir agregat halus	Lampiran Grafik 1.3 s/d 1.6	Daerah Gradasi Susunan Butir 2 atau Zona II
13	Susunan agregat kasar atau gabungan	Lampiran Tabel 1.6, Grafik 1.7 s/d 1.12	-
14	Persen agregat halus	Lampiran Grafik 1.11	40%
15	Berat Jenis relatif Agregat	$(\% \text{ Ag.hls} \times \text{Bj hls}) + (\% \text{ Ag.ksr} \times \text{Bj ksr})$	2,37 ~ 2,4
16	Berat Isi Beton	Grafik 1.13	2190 kg/m <sup>3</sup>
17	Kadar agregat gabungan	16 - 9 - 8	1465 kg/m <sup>3</sup>
18	Kadar agregat halus	14 x 17	586 kg/m <sup>3</sup>
19	Kadar agregat kasar	17 - 18	879 kg/m <sup>3</sup>

Tabel 4.19 Volume Pekerjaan untuk 1 campuran

No.	Jenis Uji	Jenis Benda Uji	Ukuran				Jumlah Benda Uji	Volume Total (cm <sup>3</sup> )
			p (cm)	l (cm)	t (cm)	Ø (cm)		
1	Kuat Tekan & Densitas	Kubus	10	10	10		35	35.000
2	Modulus Elastisitas	Silinder			30	15	5	26.493,75
3	Permeabilitas	Silinder			15	15	5	13.246,88

$$\text{Total Volume Bahan} = 74.740,63 \text{ cm}^3$$

$$= 0,07474063 \text{ m}^3$$

$$\text{Toleransi 10 \%} = \frac{10}{100} \times 0,07474063 \text{ m}^3 = 0,007474063 \text{ m}^3$$

$$= \mathbf{0,082215 \text{ m}^3}$$

#### 4.5.2 Kebutuhan Bahan

Berdasarkan hasil mix design beton normal mutu sedang maka kebutuhan bahan untuk 1 m<sup>3</sup> sebagai berikut :

- PC = 500 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregat Kasar = 879 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregat Halus = 586 Kg/m<sup>3</sup>
- Air = 225 Kg/m<sup>3</sup>

Sedangkan kebutuhan bahan untuk 1 x pengadukan sesuai dengan kapasitas mesin pengaduk maksimum adalah 0,04 m<sup>3</sup>, maka jika volume 1 campuran didapat =  $0,082215 \text{ m}^3 / 0,04 \text{ m}^3 = 2,05 \sim 2$  kali pengadukan, sehingga didapat kebutuhan bahan 1 x pengadukan sebagai berikut :

Tabel 4.20 Kebutuhan Bahan Berbagai Variasi Campuran

Kode	Volume 1 x Pengadukan Kapasitas Mesin (m <sup>3</sup> )	Komposisi Bahan						Total Komposisi Bahan (kg)
		Semen + RHA		Agregat Halus		Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	
		Semen (PCC) (kg)	RHA (kg)	Pasir (kg)	CSW (kg)			
CHWC131	0,04	92% 18,40	8% 1,60	70% 16,41	30% 7,03	35,16	9,00	87,60
CHWC132	0,04	92% 18,40	8% 1,60	60% 14,06	40% 9,38	35,16	9,00	87,60
CHWC133	0,04	92% 18,40	8% 1,60	50% 11,72	50% 11,72	35,16	9,00	87,60
CHWC134	0,04	92% 18,40	8% 1,60	40% 9,38	60% 14,06	35,16	9,00	87,60
CHWC135	0,04	92% 18,40	8% 1,60	30% 7,03	70% 16,41	35,16	9,00	87,60

Contoh perhitungan pada campuran beton CHWC131, sebagai berikut :

- Semen (92%) =  $\frac{92}{100} \times 500\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 18,40 \text{ kg}$ .
- RHA (8%) dari berat semen =  $\frac{8}{100} \times 500\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 1,60 \text{ kg}$ .
- Pasir (70%) =  $\frac{70}{100} \times 586\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 16,41 \text{ kg}$ .
- CSW (30%) dari berat agregat halus =  $\frac{30}{100} \times 586\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 7,03\text{kg}$ .
- Agregat kasar =  $879\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 35,16 \text{ kg}$ .
- Air =  $225\text{kg} \times 0,04\text{m}^3 = 9 \text{ kg}$ .

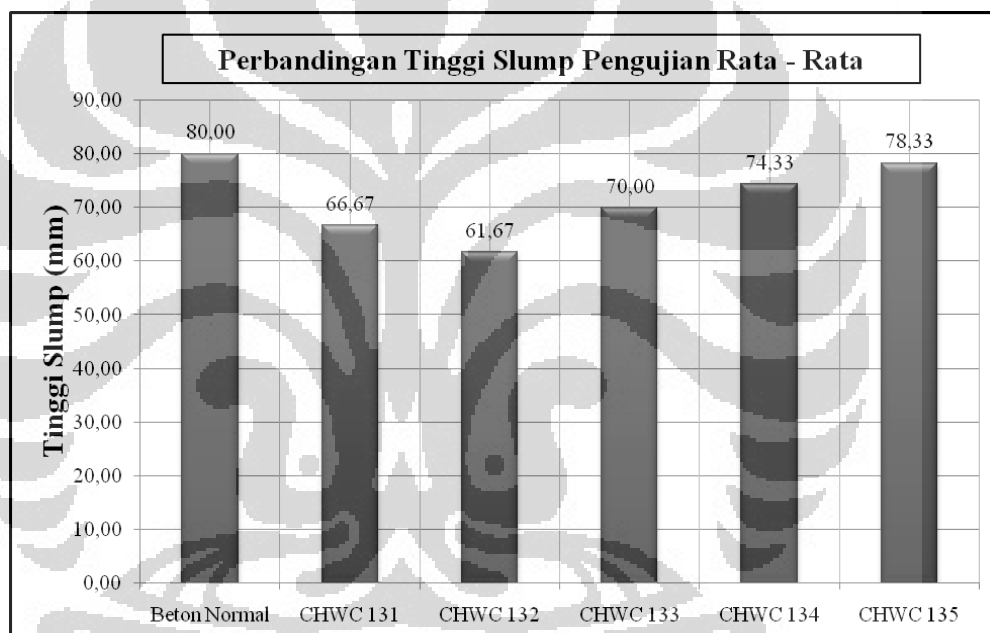


## 4.6 Hasil Dan Analisa Pengujian Beton Segar

### 4.6.1 Pengujian Slump (Slump Rencana 60 – 180 mm)

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Slump

Variasi Campuran	Tinggi Slump (mm)			Slump Rata - rata (mm)	Air 1 x Adukan (Liter)
	1	2	3		
Beton Normal	75	80	85	80,00	9
CHWC 131	65	60	75	66,67	11,5
CHWC 132	60	60	65	61,67	12
CHWC 133	65	75	70	70,00	12,5
CHWC 134	76	75	72	74,33	12,8
CHWC 135	70	82	83	78,33	13



Gambar 4.5 Grafik Slump Rata - rata

Berdasarkan data hasil pengujian tersebut, nilai rata – rata slump campuran beton normal, CHWC131, CHWC132, CHWC133, CHWC134, CHWC135 yaitu, 80mm, 66,67mm, 61,67mm, 70mm, 74,33mm, 78,33mm. Didapat bahwa nilai slump seluruh campuran masuk kedalam slump rencana yaitu 60 – 180 mm.

#### 4.6.2 Berat Isi Beton

Berat Isi Rencana = 2190 Kg / m<sup>3</sup>

Volume Pekerjaan 1 Campuran = 0,082215m<sup>3</sup>

Tabel 4.22 Hasil Pengujian Berat Isi Beton

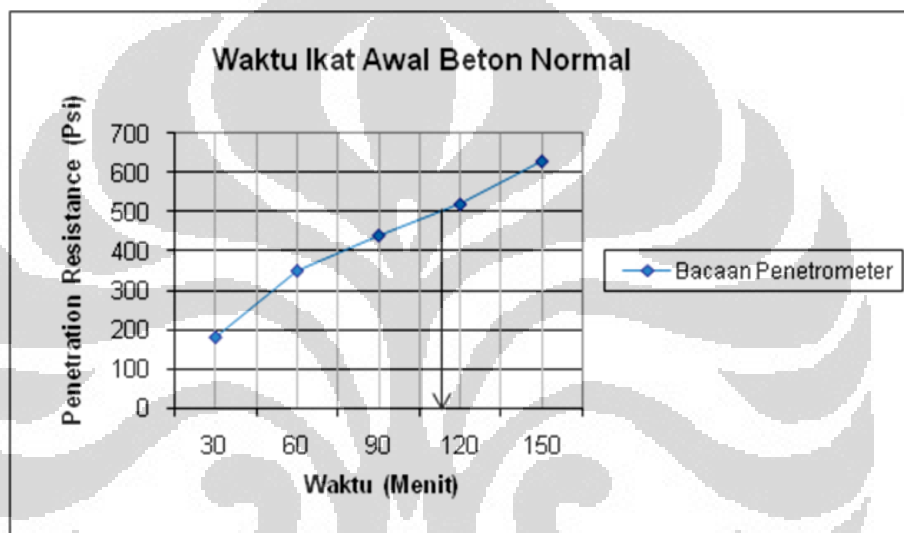
No	Pengukuran	Satuan	Variasi Campuran					
			Normal	CHWC131	CHWC132	CHWC133	CHWC134	CHWC135
1	Berat Silinder (W1)	Kg	4,998	4,998	4,998	4,998	4,998	4,998
2	Berat Silinder + Air (W2)	Kg	14,75	14,75	14,75	14,75	14,75	14,75
3	Berat Silinder + Beton (W3)	Kg	26,2	26,1	25,5	25,3	25,25	24,8
4	Berat Beton (W3 - W1)	Kg	21,20	21,10	20,50	20,30	20,25	19,80
5	Berat Isi Beton (W4) = ((W3-W1)/(W2-W1)) x 1000	Kg/m <sup>3</sup>	2174	2164	2102	2082	2077	2031
6	Berat Isi Beton Rencana (W5)	Kg/m <sup>3</sup>				2190		
7	Yield (W5/W4)		1,0073	1,0121	1,0417	1,051	1,0546	1,0785
8	Voids [(Y-1)/Y) x 100 %]	%	0,73	1,19	4,00	4,94	5,17	7,28

Berdasarkan data pengujian Berat Isi Beton untuk berbagai variasi campuran masing – masing sebesar 2174 kg/m<sup>3</sup> (Beton Normal), 2164 kg/m<sup>3</sup> (CHWC131), 2102 kg/m<sup>3</sup> (CHWC132), 2082 kg/m<sup>3</sup> (CHWC133), 2077 kg/m<sup>3</sup> (CHWC134), dan 2031 kg/m<sup>3</sup> (CHWC135) dan dapat disimpulkan berat isi beton yang dibuat tidak sesuai dengan berat isi beton rencana yaitu 2190 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan kadar udara dalam beton variasi campuran masing – masing sebesar 0,73% (Beton Normal), 1,19% (CHWC131), 4,00% (CHWC132), 4,94% (CHWC133), 5,17% (CHWC134), dan 7,28% (CHWC135). Semakin besar penggunaan CSW, maka kadar udara semakin besar pula. Kadar udara yang besar juga diakibatkan karena kurangnya pemadatan yang baik pada saat pengujian.

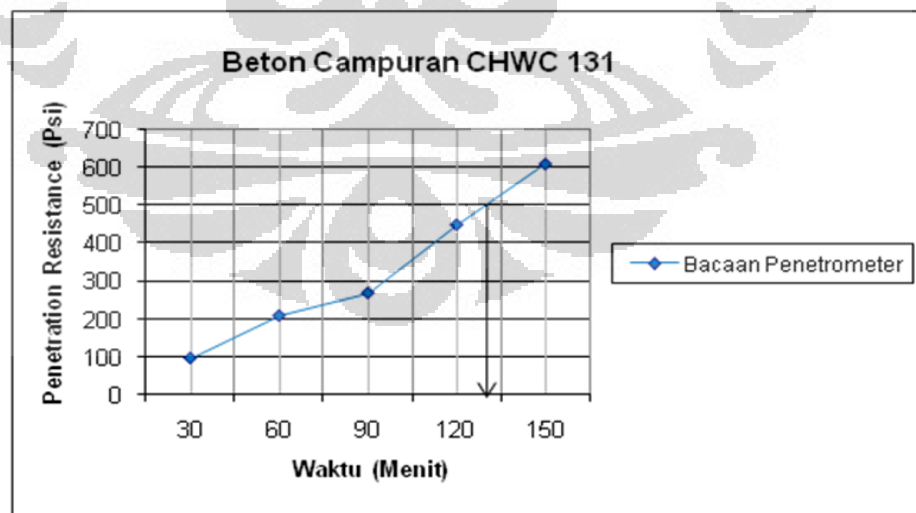
### 4.6.3 Waktu Ikat Awal

Tabel 4.23 Hasil Pengujian Waktu Ikat Awal untuk masing – masing variasi campuran

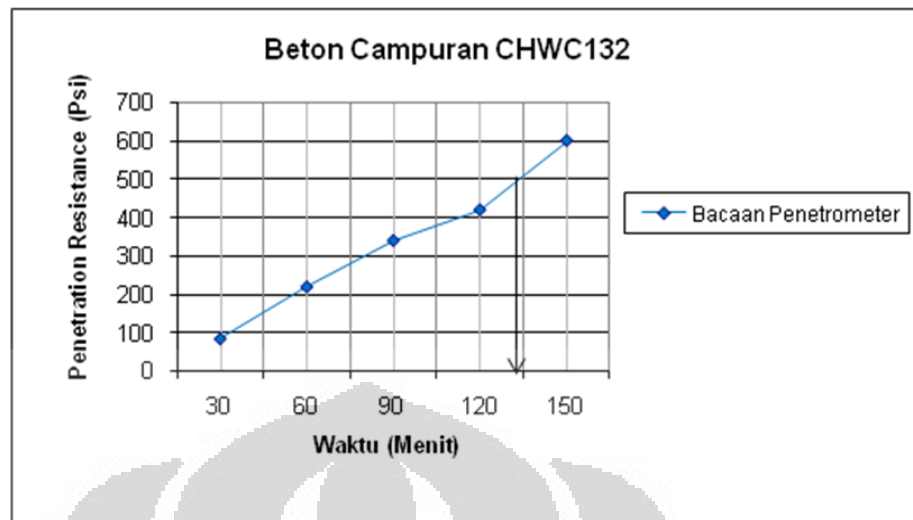
No.	Interval Waktu (Menit)	Waktu Komulatif (Menit)	Bacaan Pernerometer (Psi)					
			Beton Normal	CHWC 131	CHWC 132	CHWC 133	CHWC 134	CHWC 135
1	30	30	180	98	85	80	90	92
2	30	60	350	210	220	240	280	200
3	30	90	440	270	340	300	380	270
4	30	120	520	450	420	450	420	440
5	30	150	630	610	600	550	530	520



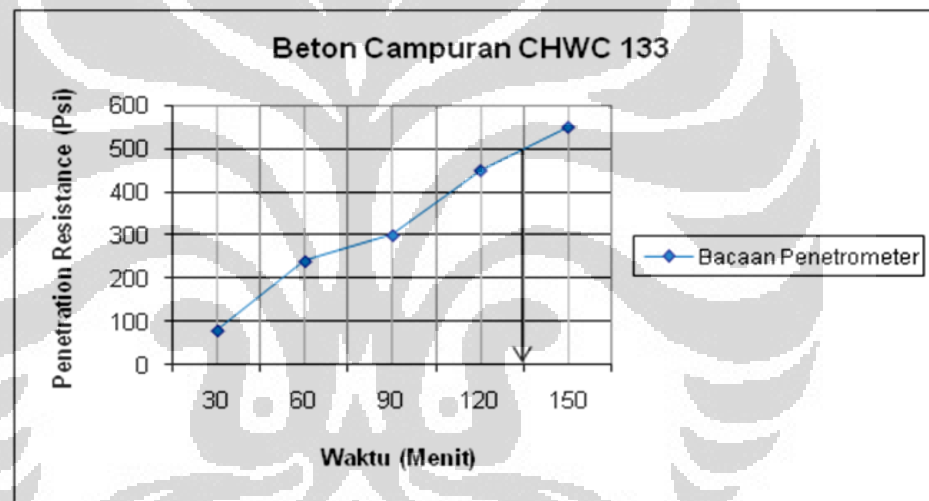
Gambar 4.6 Grafik Waktu Ikat Beton Normal Mutu Sedang.



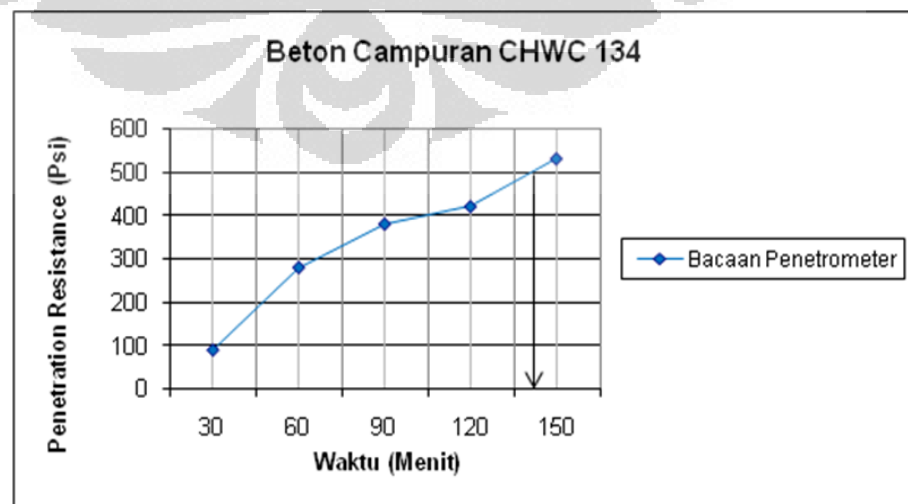
Gambar 4.7 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC 131.



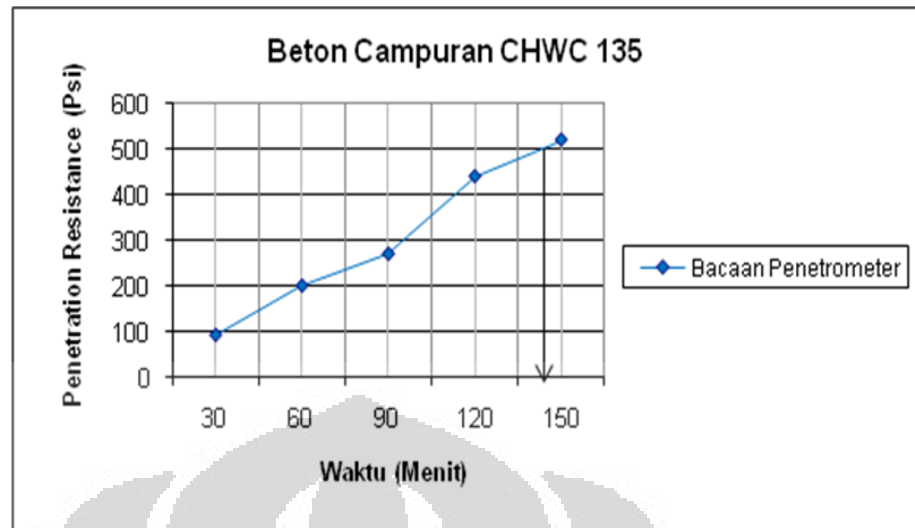
Gambar 4.8 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC 132.



Gambar 4.9 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC 133.



Gambar 4.10 Grafik Waktu Ikat Beton Campuran CHWC 134.



Gambar 4.11 Grafik Waktu Ikut Beton Campuran CHWC 135.

Tabel 4.24 Resume Hasil Pengujian Waktu Ikut Awal untuk masing – masing variasi campuran

Pengujian	Beton Normal	CHWC 131	CHWC 132	CHWC 133	CHWC 134	CHWC 135
Waktu Ikut Awal (Menit)	117,4	134,3	135,2	142,4	145,2	146,8

Waktu Ikut Awal beton normal didapat selama 117,4 menit. Sedangkan beton dengan campuran CHWC131, CHWC132, CHWC133, CHWC134, CHWC135 masing – masing memiliki waktu ikut awal selama 134,3 menit, 135,2 menit, 142,4 menit, 145,2 menit, 146,8 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah CSW yang digunakan semakin lama waktu ikut awal yang dicapai.

#### 4.7 Hasil Pengujian Beton Keras

##### 4.7.1 Kuat Tekan Beton

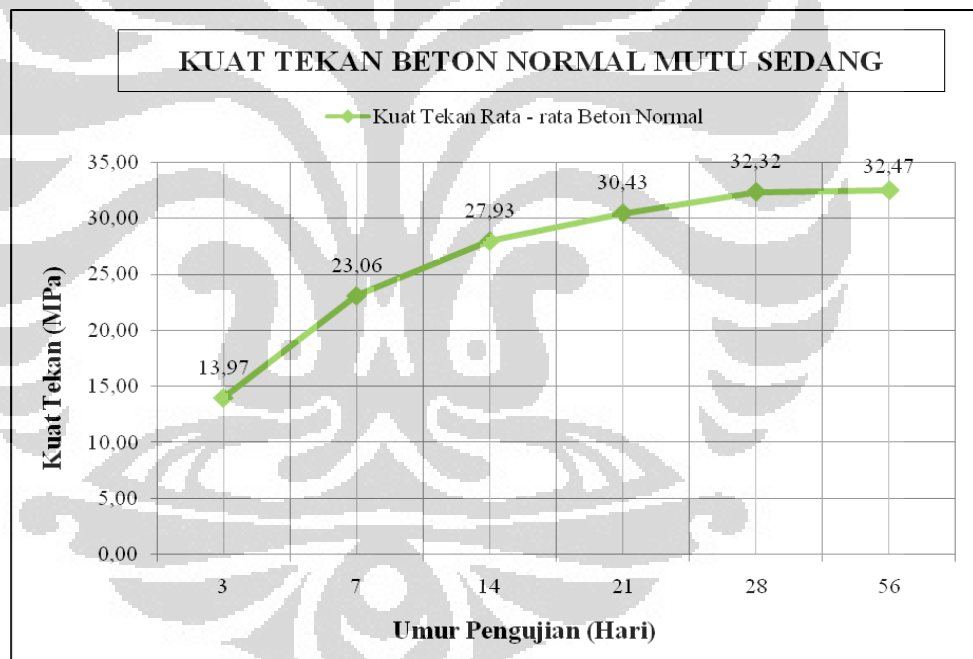
Pengujian kuat tekan pada penelitian ini menggunakan kubus beton berukuran 100mm x 100mm x 100mm. Hasil kuat tekan yang didapat dikonversikan menjadi kuat tekan  $f_c'$  kubus beton 150mm x 150mm x 150mm yaitu ( $f_c'$  kubus 100mm / 1,04), kemudian dikonversikan lagi menjadi kuat tekan silinder 150mm x 300mm yaitu ( $f_c'$  kubus 150mm x 0,83), (Neville, A.M, Properties of Concrete, Fourth Edition, hal 607).

#### 4.7.1.1 Kuat Tekan Beton Normal Mutu Sedang

Beton normal mutu sedang merupakan sebagai acuan komposisi campuran dengan besar kuat tekan  $f_c'$  30 MPa sampai dengan  $f_c'$  35 Mpa, yang kemudian ditambah dengan bahan RHA dan CSW.

Tabel 4.25 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Normal Mutu Sedang

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata - rata (gram)	Beban Rata - rata (Kg)	$f_c'$ k 100 mm (MPa)	$f_c'$ k 150 mm (MPa)	$f_c'$ s 150x300 mm (MPa)
1	Normal	3	100	2.236,40	17.600,00	17,60	16,92	13,97
2	Normal	7	100	2.273,40	28.115,00	28,12	27,03	23,06
3	Normal	14	100	2.286,60	34.800,00	34,80	33,46	27,93
4	Normal	21	100	2.289,20	37.250,00	37,25	35,82	30,43
5	Normal	28	100	2.285,60	40.200,00	40,20	38,65	32,32
6	Normal	56	100	2.304,20	39.550,00	39,55	38,03	32,47



Gambar 4.12 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Normal Mutu Sedang

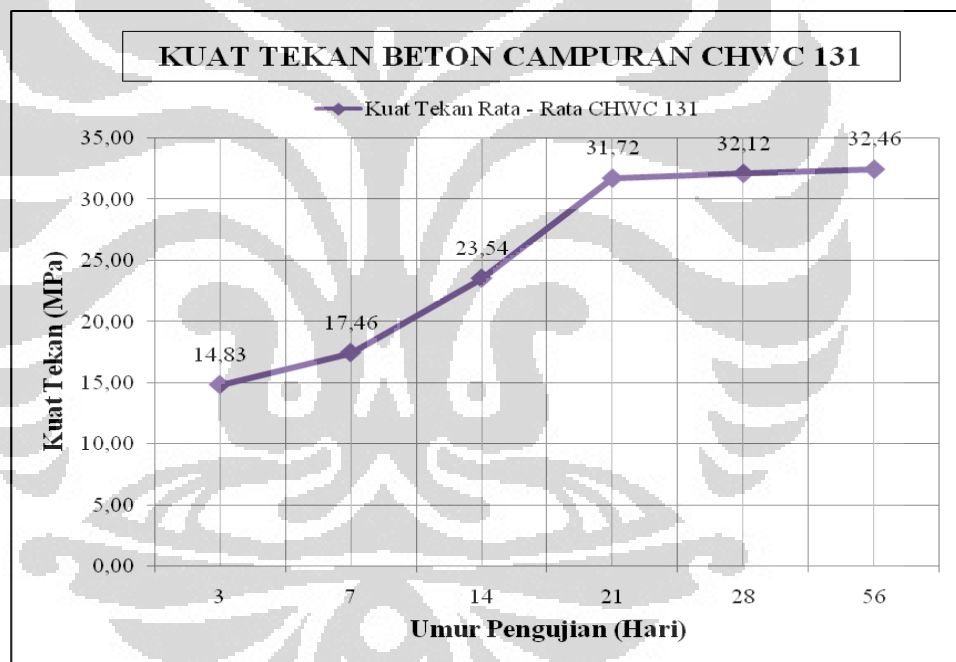
Didapat kuat tekan  $f_c'$  untuk kubus beton yang sudah dikonversikan, yaitu pada umur 28 hari sebesar 32,32 MPa. Dimana besar kuat tekan sudah mencapai dengan kuat tekan beton mutu sedang rencana yaitu antara  $f_c'$  30 Mpa sampai dengan  $f_c'$  35 Mpa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa peningkatan terus terjadi hingga umur 90 hari, yaitu mencapai 38,44 MPa.

#### 4.7.1.2 Kuat Tekan Beton Campuran CHWC131

Beton campuran CHWC131 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 70%, dan CSW 30%.

Tabel 4.26 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Campuran CHWC131

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata – rata (gram)	Beban Rata – rata (Kg)	fc'k 100 mm (MPa)	fc'k 150 mm (MPa)	fc's 150x300 mm (MPa)
1	CHWC131	3	100	1.966,60	18.850,00	18,85	18,13	14,83
2	CHWC131	7	100	2.194,60	21.000,00	21,00	20,19	17,46
3	CHWC131	14	100	2.188,60	29.650,00	29,65	28,51	23,54
4	CHWC131	21	100	2.210,40	39.650,00	39,65	38,13	31,72
5	CHWC131	28	100	2.176,00	40.300,00	40,30	38,75	32,12
6	CHWC131	56	100	2.240,20	40.750,00	40,75	39,18	32,46



Gambar 4.13 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Campuran CHWC131

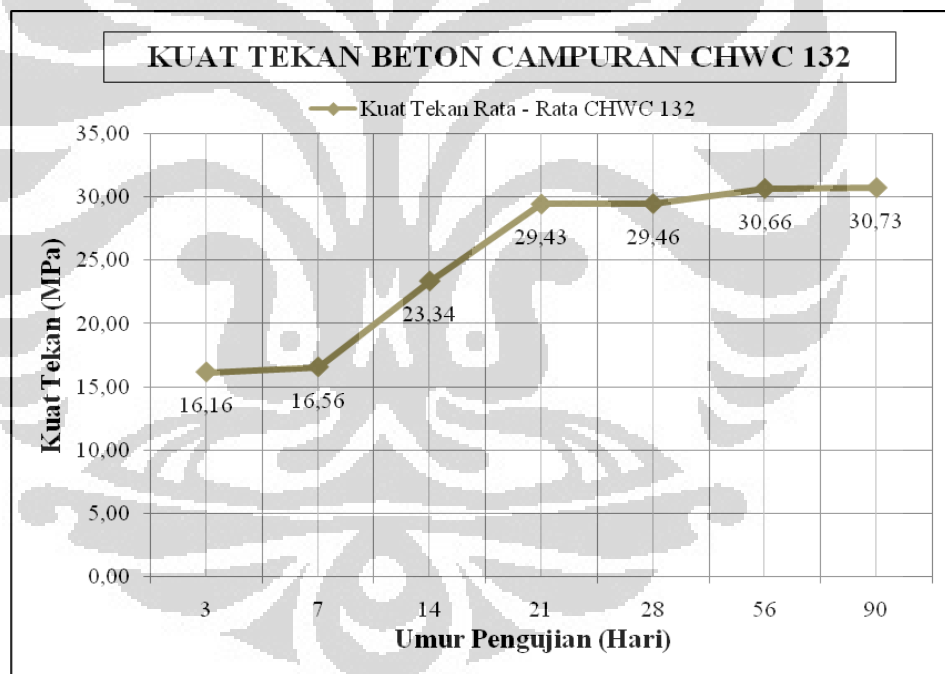
Dari tabel diatas kuat tekan pada umur 28 hari mencapai 32,12 Mpa, dimana kuat tekan beton sudah mencapai kuat tekan beton mutu sedang yang direncanakan yaitu fc' 30 MPa sampai dengan 35 MPa. Peningkatan kuat tekan beton hanya terjadi hingga umur 56 hari yaitu 32,46 MPa.

#### 4.7.1.3 Pengujian Kuat Tekan Beton Campuran CHWC132

Beton campuran CHWC 131 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 60%, dan CSW 40%.

Tabel 4.27 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Campuran CHWC132

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata – rata (gram)	Beban Rata – rata (Kg)	fc'k 100 mm (MPa)	fc'k 150 mm (MPa)	fc's 150x300 mm (MPa)
1	CHWC132	3	100	2.043,40	20.250,00	20,25	19,47	16,16
2	CHWC132	7	100	2.135,80	20.700,00	20,70	19,90	16,56
3	CHWC132	14	100	2.203,80	29.050,00	29,05	27,93	23,34
4	CHWC132	21	100	2.235,20	35.050,00	35,05	33,70	29,43
5	CHWC132	28	100	2.230,40	37.450,00	37,45	36,01	29,46
6	CHWC132	56	100	2.244,00	38.150,00	38,15	36,68	30,66
7	CHWC132	90	100	2.259,40	38.700,00	38,70	37,21	30,73



Gambar 4.14 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Campuran CHWC132

Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC132 pada umur 28 hari mencapai 29,46 MPa. Maka kuat tekan CHWC132 masih belum mencapai kuat tekan mutu sedang yang direncanakan yaitu fc' 30 MPa sampai dengan 35 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 30,73 MPa.

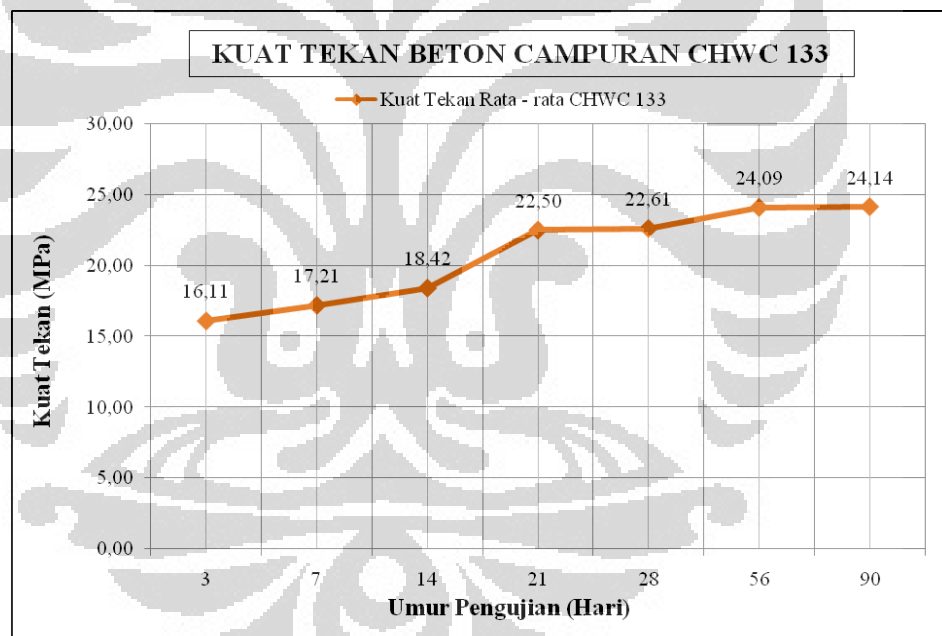


#### 4.7.1.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Campuran CHWC133

Beton campuran CHWC133 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 50%, dan CSW 50%.

Tabel 4.28 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Campuran CHWC133

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata - rata (gram)	Beban Rata - rata (Kg)	fc'k 100 mm (MPa)	fc'k 150 mm (MPa)	fc's 150x300 mm (MPa)
1	CHWC133	3	100	2.145,80	19.450,00	19,45	18,70	16,11
2	CHWC133	7	100	2.145,40	21.800,00	21,80	20,96	17,21
3	CHWC133	14	100	2.150,00	23.050,00	23,05	22,16	18,42
4	CHWC133	21	100	2.147,40	26.800,00	26,80	25,77	22,50
5	CHWC133	28	100	2.130,80	28.250,00	28,25	27,16	22,61
6	CHWC133	56	100	2.163,20	29.150,00	29,15	28,03	24,09
7	CHWC133	90	100	2.134,40	30.700,00	30,70	29,52	24,14



Gambar 4.15 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Campuran CHWC133

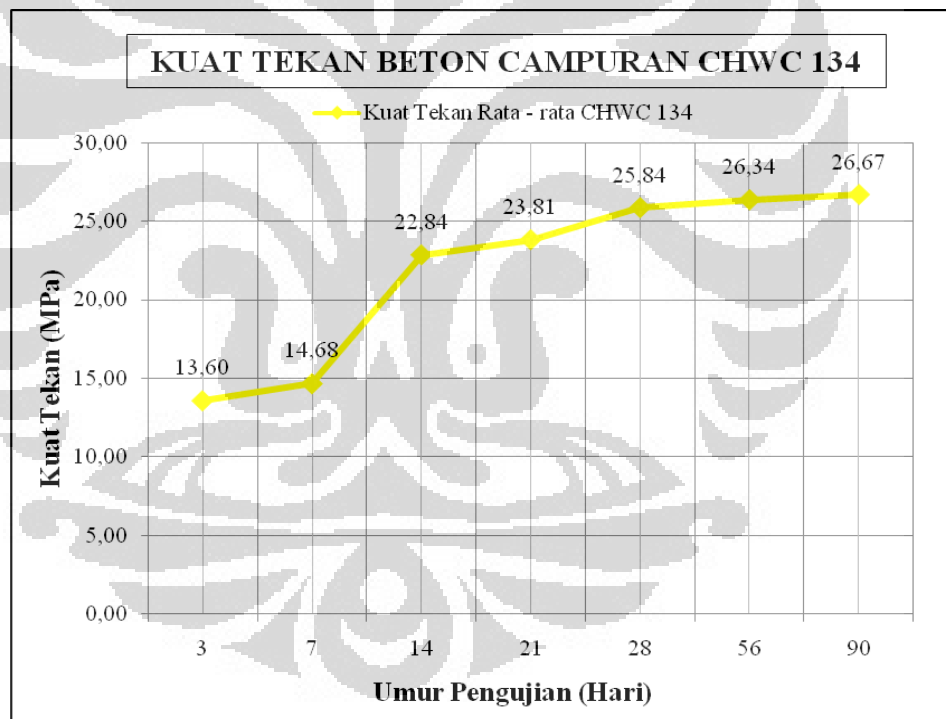
Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC133 pada umur 28 hari mencapai 22,61 MPa. Maka kuat tekan CHWC133 masih belum mencapai kuat tekan mutu sedang yang direncanakan yaitu fc' 30 MPa sampai dengan 35 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 24,14 MPa.

#### 4.7.1.5 Pengujian Kuat Tekan Beton Campuran CHWC134

Beton campuran CHWC134 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 40%, dan CSW 60%.

Tabel 4.29 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Campuran CHWC134

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata - rata (gram)	Beban Rata - rata (Kg)	fc'k 100 mm (MPa)	fc'k 150 mm (MPa)	fc's 150x300 mm (MPa)
1	CHWC134	3	100	2.104,60	16.514,00	16,51	15,88	13,60
2	CHWC134	7	100	2.116,40	19.076,00	19,08	18,34	14,68
3	CHWC134	14	100	2.094,60	29.950,00	29,95	28,80	22,84
4	CHWC134	21	100	2.154,20	29.750,00	29,75	28,61	23,81
5	CHWC134	28	100	2.125,80	30.750,00	30,75	29,57	25,84
6	CHWC134	56	100	2.131,20	32.700,00	32,70	31,44	26,34
7	CHWC134	90	100	2.138,40	33.300,00	33,30	32,02	26,67



Gambar 4.16 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Campuran CHWC134

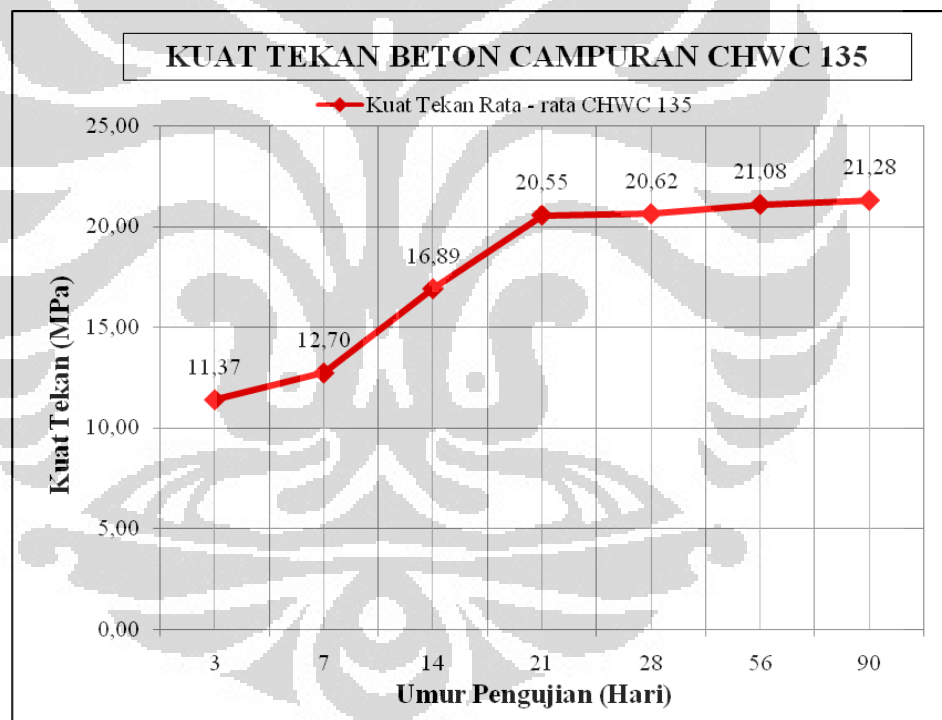
Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC134 pada umur 28 hari mencapai 25,84 MPa. Maka kuat tekan CHWC134 masih belum mencapai kuat tekan mutu sedang yang direncanakan yaitu  $f_c'$  30 MPa sampai dengan 35 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 26,67 MPa.

#### 4.7.1.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Campuran CHWC135

Beton campuran CHWC 134 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 30%, dan CSW 70%.

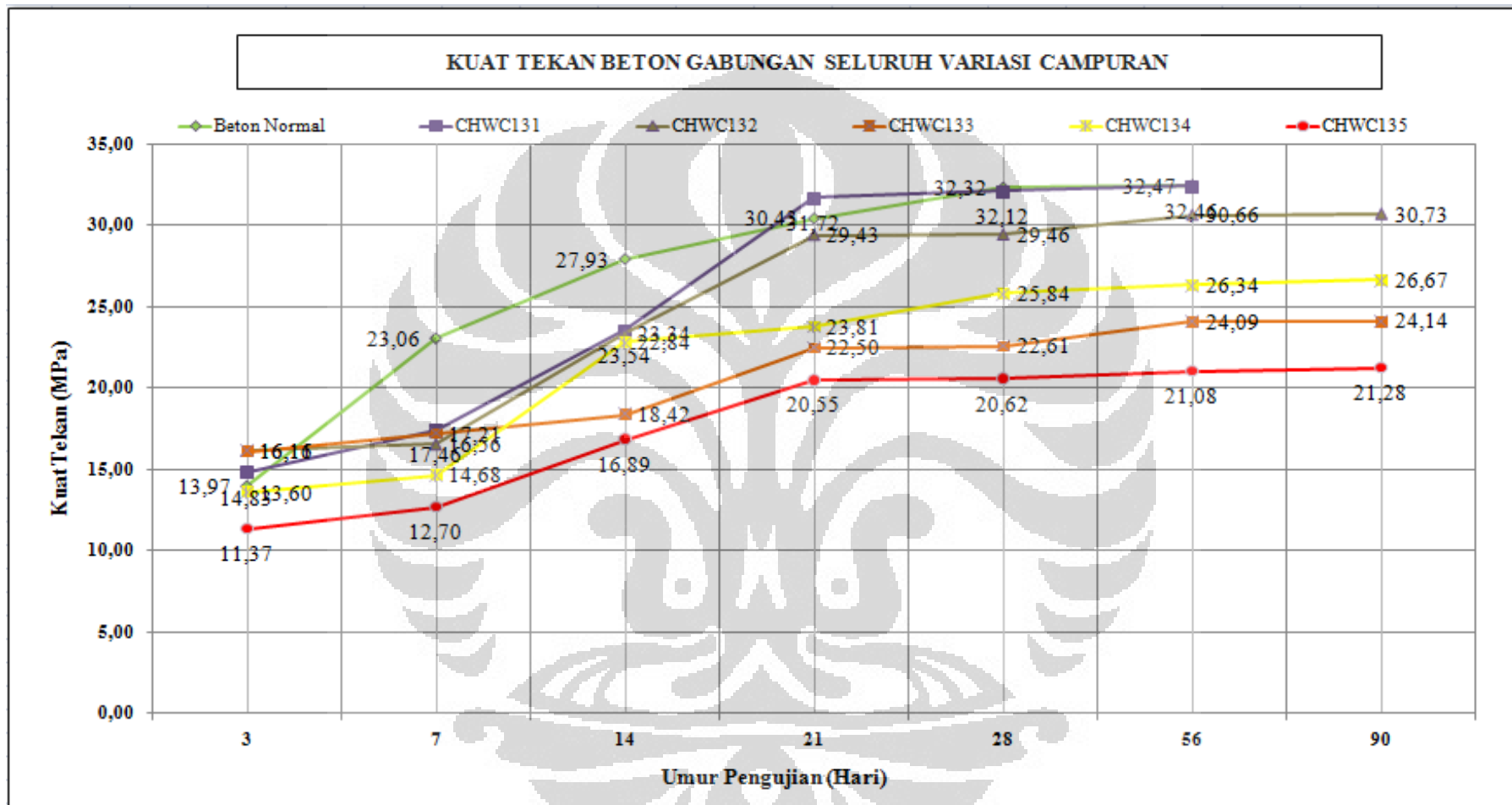
Tabel 4.30 Kuat Tekan Rata –Rata Beton Campuran CHWC135

No.	Kode Beton	Umur Benda Uji	Luas (Cm <sup>2</sup> )	Berat Rata - rata (gram)	Beban Rata - rata (Kg)	fc'k 100 mm (MPa)	fc'k 150 mm (MPa)	fc's 150x300 mm (MPa)
1	CHWC135	3	100	2.125,80	14.200,00	14,20	13,65	11,37
2	CHWC135	7	100	2.123,00	15.550,00	15,55	14,95	12,70
3	CHWC135	14	100	2.087,60	21.200,00	21,20	20,38	16,89
4	CHWC135	21	100	2.129,60	25.000,00	25,00	24,04	20,55
5	CHWC135	28	100	2.117,00	25.850,00	25,85	24,86	20,62
6	CHWC135	56	100	2.149,20	26.000,00	26,00	25,00	21,08
7	CHWC135	90	100	2.163,00	26.450,00	26,45	25,43	21,28



Gambar 4.17 Grafik Kuat Tekan Rata – Rata Beton Campuran CHWC 135

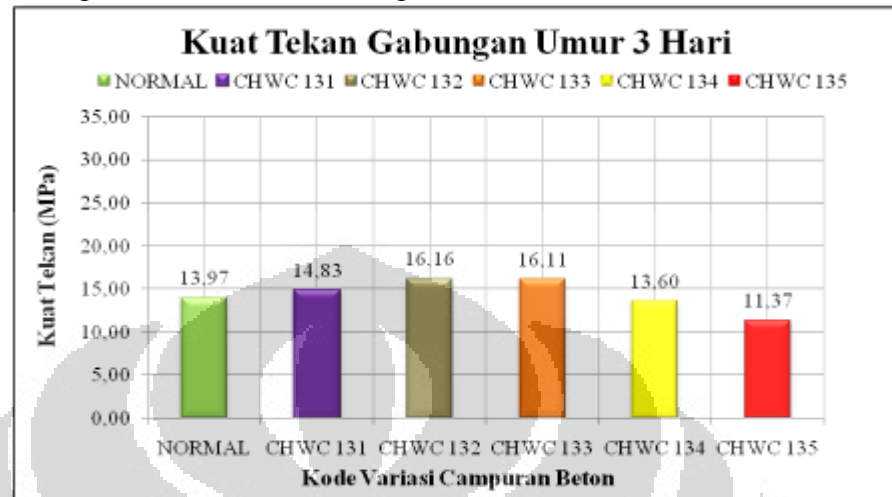
Dari tabel diatas diketahui kuat tekan beton campuran CHWC135 pada umur 28 hari mencapai 20,62 MPa. Maka kuat tekan CHWC135 masih belum mencapai kuat tekan mutu sedang yang direncanakan yaitu fc' 30 MPa sampai dengan 35 MPa. Pada grafik peningkatan kuat tekan terjadi disetiap umur benda uji, hingga pada umur 90 hari kuat tekan mencapai 21,28 MPa.



Gambar 4.18 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Gabungan Seluruh Variasi Campuran

#### 4.7.1.7 Histogram Perbandingan Kuat Tekan Gabungan Pada Setiap Umur Pengujian.

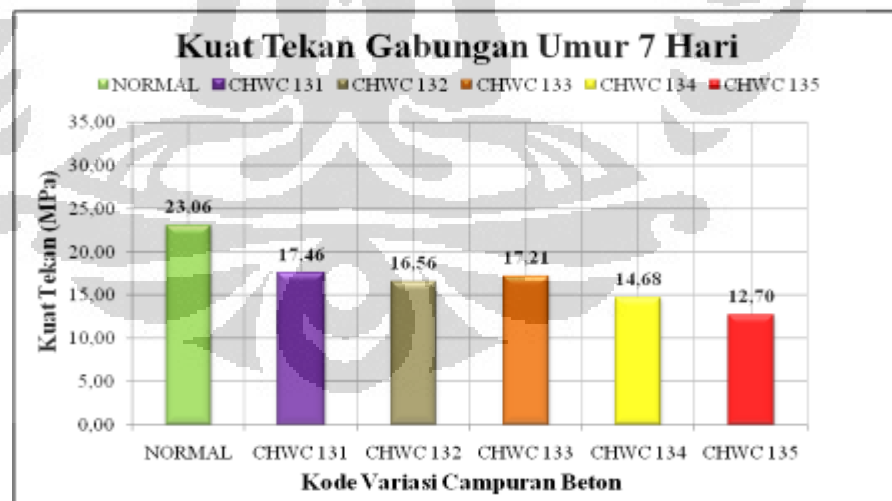
- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 3 Hari



Gambar 4.19 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 3 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 3 hari, kuat tekan terbesar adalah CHWC132 dengan nilai sebesar 16,16 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 11,37 MPa.

- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 7 Hari

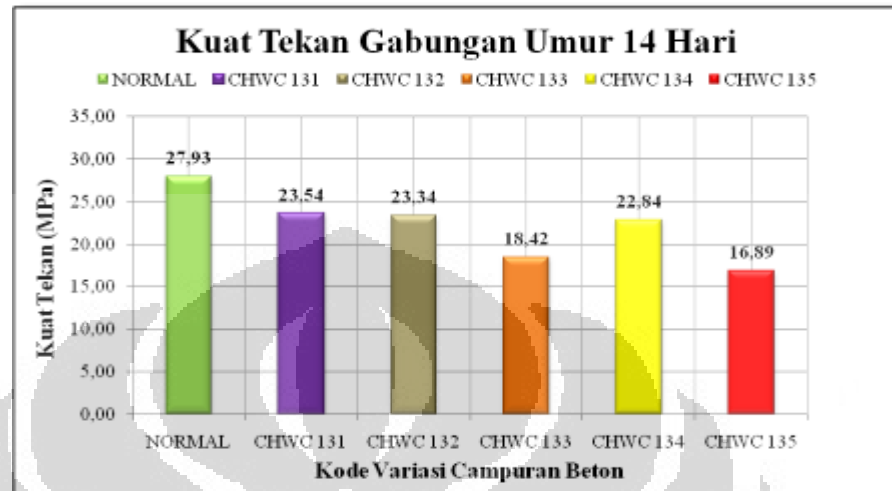


Gambar 4.20 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 7 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 7 hari, kuat tekan pada beton normal yaitu sebesar 23,06 MPa, sedangkan untuk kuat tekan terbesar pada kelima beton campuran adalah CHWC131 dengan nilai

sebesar 17,46 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 12,70 MPa.

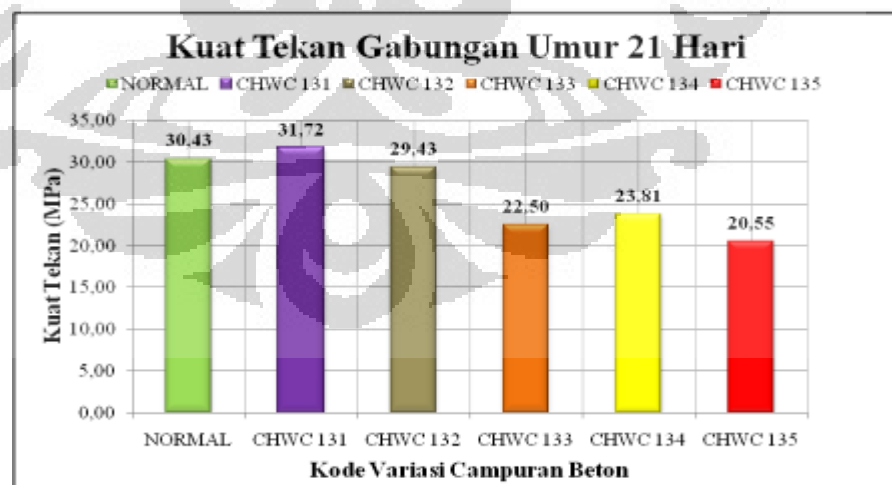
- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 14 Hari



Gambar 4.21 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 14 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 14 hari, kuat tekan pada beton normal yaitu sebesar 27,93 MPa, sedangkan untuk kuat tekan terbesar pada kelima beton campuran adalah CHWC131 dengan nilai sebesar 23,54 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 16,89 MPa.

- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 21 Hari

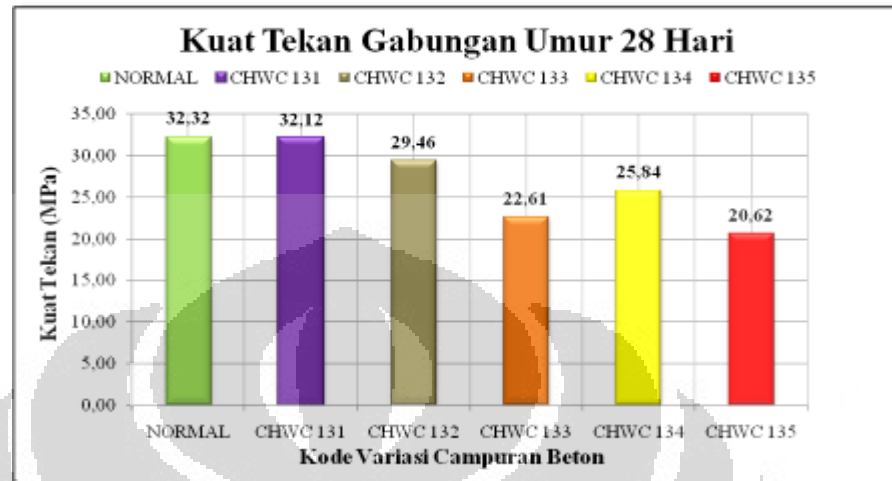


Gambar 4.22 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 21 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 21 hari, kuat tekan terbesar adalah CHWC131 dengan nilai sebesar 31,72 MPa sedangkan

nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 20,55 MPa.

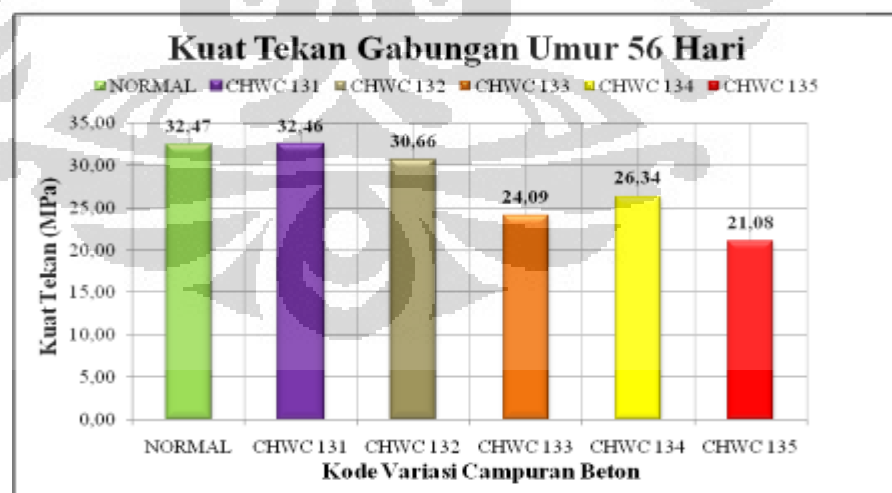
- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 28 Hari



Gambar 4.23 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 28 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 28 hari, kuat tekan pada beton normal yaitu sebesar 32,32 MPa, sedangkan untuk kuat tekan terbesar pada kelima beton campuran adalah CHWC131 dengan nilai sebesar 32,12 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 20,62 MPa.

- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 56 Hari

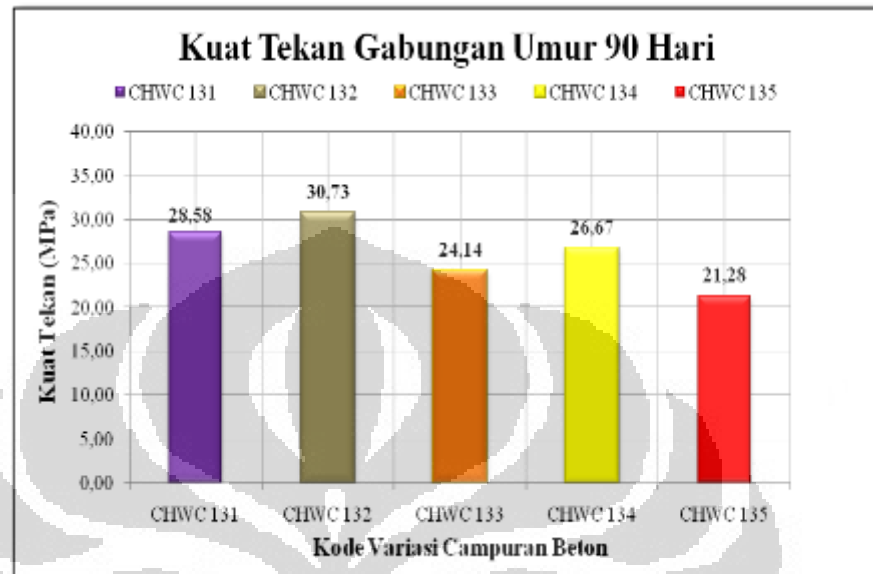


Gambar 4.24 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 56 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 56 hari, kuat tekan pada beton normal yaitu sebesar 32,47 MPa, sedangkan untuk kuat tekan terbesar pada kelima beton campuran adalah CHWC131 dengan nilai

sebesar 32,46 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 21,08 MPa.

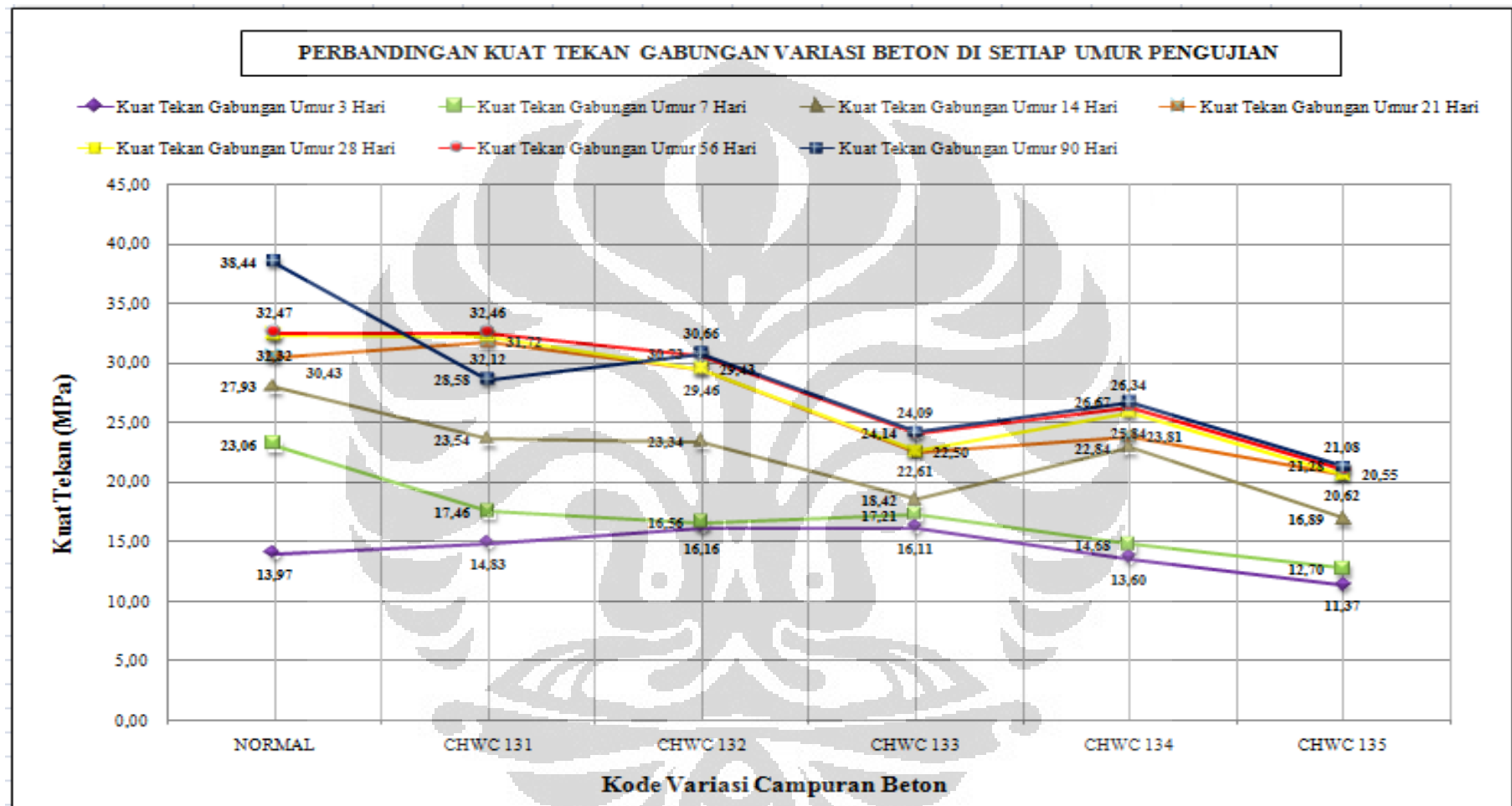
- Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 90 Hari



Gambar 4.25 Histogram Kuat Tekan Gabungan Umur 90 Hari

Pada Histogram diatas, diketahui pada saat umur 90 hari, kuat tekan terbesar pada kelima beton campuran adalah CHWC132 dengan nilai kuat tekan sebesar 30,73 MPa sedangkan nilai kuat tekan terendah adalah CHWC135 dengan nilai sebesar 21,28 MPa. Pada CHWC131 mengalami penurunan kuat tekan pada umur 90 hari, penurunan kuat tekan terjadi dikarenakan kurang homogenya campuran bahan pada saat pengecoran yang mengakibatkan benda uji keropos dan kesalahan pengujian tekan dalam menempatkan posisi kubus beton pada mesin test tekan (*Crushing Test*).





Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Gabungan Variasi Beton Di setiap Umur Pengujian.

#### 4.7.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Pada pengujian modulus elastisitas digunakan alat non destruktive yaitu PUNDIT (*Portable Ultrasonik Non-Destructive Digital Indicating Tester*) yang menggunakan gelombang ultrasonik yang dilakukan pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian pada alat PUNDIT dilakukan perbandingan dengan nilai hubungan antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton pada umur 28 hari menurut SKSNI 1991, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$$

Tabel 4.31 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC131 Dengan Alat PUNDIT

NO	Kode Beton	Berat (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Transit Time Rata - rata (s)	Velocity Rata - rata (m/s)	ME Rata - rata Dari 4 titik (MPa)
1	CHWC131	11,547	0,005304	2.177	81,65	3.674	32.350,00
2	CHWC131	11,675	0,005304	2.201	81,38	3.686	32.525,00
3	CHWC131	11,435	0,005304	2.156	82,08	3.650	31.925,00
4	CHWC131	11,524	0,005304	2.173	82,40	3.640	31.750,00
5	CHWC131	11,458	0,005304	2.160	81,80	3.667	32.125,00
<b>Rata – rata</b>							<b>32.135,00</b>
<b>Rata - rata Sta. Deviasi</b>							<b>32.133,33</b>

Tabel 4.32 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC132 Dengan Alat PUNDIT

NO	Kode Beton	Berat (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Transit Time Rata - rata (s)	Velocity Rata - rata (m/s)	ME Rata - rata Dari 4 titik (MPa)
1	CHWC132	11,467	0,005304	2.162	81,85	3.665	32.175,00
2	CHWC132	11,563	0,005304	2.180	84,23	3.560	29.850,00
3	CHWC132	11,528	0,005304	2.174	82,48	3.632	31.600,00
4	CHWC132	11,482	0,005304	2.165	83,63	3.587	30.825,00
5	CHWC132	11,458	0,005304	2.160	83,35	3.599	31.025,00
<b>Rata – rata</b>							<b>31.095,00</b>
<b>Rata - rata Sta. Deviasi</b>							<b>31.150,00</b>

Tabel 4.33 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC133 Dengan Alat PUNDIT

NO	Kode Beton	Berat (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Transit Time Rata - rata (s)	Velocity Rata - rata (m/s)	ME Rata - rata Dari 4 titik (MPa)
1	CHWC133	11,487	0,005304	2.166	80,20	3.743	30.100,00
2	CHWC133	11,428	0,005304	2.155	80,63	3.739	29.775,00
3	CHWC133	11,349	0,005304	2.140	79,90	3.758	30.325,00
4	CHWC133	11,458	0,005304	2.160	80,95	3.708	29.675,00
5	CHWC133	11,368	0,005304	2.143	80,30	3.754	30.025,00
<b>Rata – rata</b>							<b>29.980,00</b>
<b>Rata - rata Sta. Deviasi</b>							<b>29.966,67</b>

Tabel 4.34 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC134 Dengan Alat PUNDIT

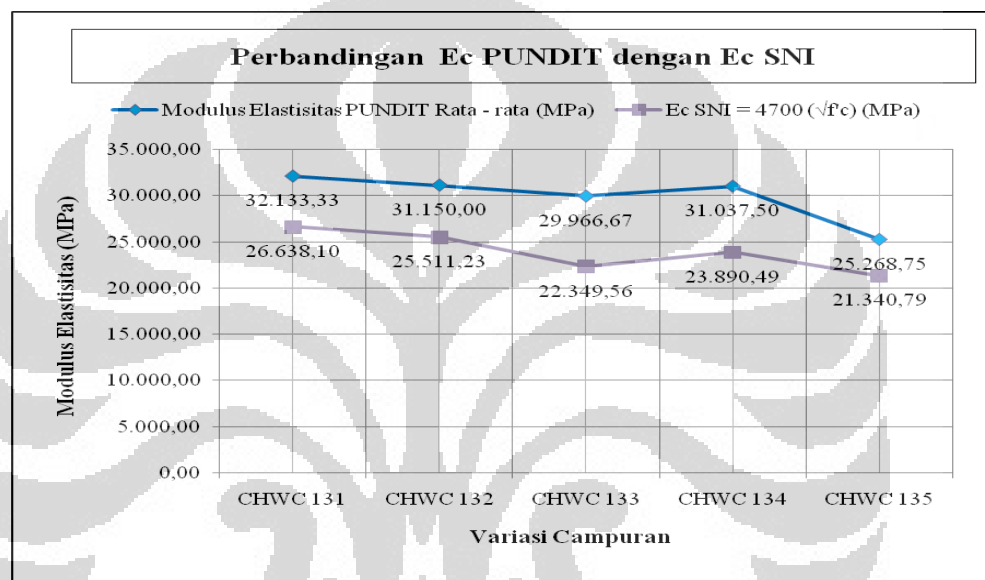
NO	Kode Beton	Berat (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Transit Time Rata - rata (s)	Velocity Rata - rata (m/s)	ME Rata - rata Dari 4 titik (MPa)
1	CHWC134	11,112	0,005304	2.095	79,83	3.815	30.900,00
2	CHWC134	10,428	0,005304	1.966	79,48	3.842	31.175,00
3	CHWC134	10,592	0,005304	1.997	80,03	3.798	30.225,00
4	CHWC134	10,422	0,005304	1.965	79,08	3.887	31.200,00
5	CHWC134	10,448	0,005304	1.970	79,55	3.837	30.875,00
<b>Rata – rata</b>							<b>30.875,00</b>
<b>Rata - rata Sta. Deviasi</b>							<b>31.037,50</b>

Tabel 4.35 Modulus Elastisitas Beton Campuran CHWC135 Dengan Alat PUNDIT

NO	Kode Beton	Berat (Kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Density (Kg/m <sup>3</sup> )	Transit Time Rata - rata (s)	Velocity Rata - rata (m/s)	ME Rata - rata Dari 4 titik (MPa)
1	CHWC135	10,994	0,005304	2.073	85,85	3.494	25.250,00
2	CHWC135	10,933	0,005304	2.061	86,10	3.484	24.975,00
3	CHWC135	11,127	0,005304	2.098	86,20	3.480	25.325,00
4	CHWC135	10,979	0,005304	2.070	85,65	3.503	25.325,00
5	CHWC135	10,947	0,005304	2.064	86,18	3.481	25.175,00
<b>Rata – rata</b>							<b>25.210,00</b>
<b>Rata - rata Sta. Deviasi</b>							<b>25.268,75</b>

Tabel 4.36 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata – rata Dengan Alat PUNDIT

Campuran Beton	Umur (Hari)	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Poisson Ratio	Kuat Tekan (MPa)	ME PUNDIT (MPa)	Ec SKSNI (MPa)	Perbandingan
<b>CHWC131</b>	28	15	30	0,22	32,12	32.133,33	26.638,10	1,206
<b>CHWC132</b>	28	15	30	0,22	29,46	31.150,00	25.511,23	1,221
<b>CHWC133</b>	28	15	30	0,22	22,61	29.966,67	22.349,56	1,341
<b>CHWC134</b>	28	15	30	0,22	25,84	31.037,50	23.890,49	1,229
<b>CHWC135</b>	28	15	30	0,22	20,62	25.268,75	21.340,79	1,184
<b>Rata - rata</b>								<b>1,250</b>



Gambar 4.27 Grafik Modulus Elastisitas Pada Masing – masing Campuran

Dari grafik pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan alat PUNDIT terlihat jelas nilai modulus elastisitas terbesar adalah campuran CHWC131 yaitu sebesar 32.133,33 MPa, dan nilai modulus elastisitas yang terkecil adalah campuran CHWC135 yaitu sebesar 25.268,75 MPa. Berdasarkan tabel di atas perbedaan rata-rata perbandingan nilai modulus elastisitas pengujian dengan alat PUNDIT dengan nilai modulus elastisitas teoritis menurut SNI adalah sebesar 1,25 artinya nilai modulus elastisitas PUNDIT lebih besar 1,25 kali dari nilai modulus elastisitas teoritis.

Hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan berdasarkan persamaan  $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$  tidak lagi berlaku untuk beton dengan campuran CSW. Untuk mendapatkan persamaan baru dari hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan digunakan persamaan  $E_c = C\sqrt{f_c'}$  dimana C adalah konstanta hasil

bagi antara modulus elastisitas pengujian dengan akar kuadrat kuat tekan yang didapat dari hasil penelitian. Dari hasil pengujian nilai C dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.37 Nilai Konstanta Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kuat Tekan

Variasi Campuran	ME PUNDIT (MPa)	$\sqrt{f'c}$ (MPa)	Nilai Konstanta
CHWC 131	32.133,33	5,67	5667
CHWC 132	31.150,00	5,43	5737
CHWC 133	29.966,67	4,76	6296
CHWC 134	31.037,50	5,08	6110
CHWC 135	25.268,75	4,54	5566
			<b>5875</b>

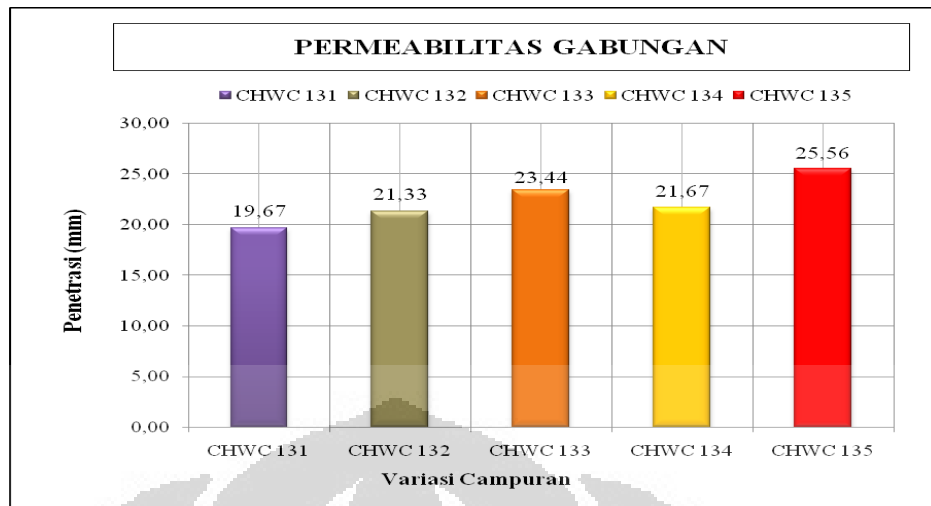
Berdasarkan tabel di atas maka dapat ditentukan persamaan hubungan antara modulus elastisitas dengan kuat tekan pada beton dengan campuran RHA dan CSW pada umur 28 hari yaitu  $E_c = 5875\sqrt{f'c}$ .

#### 4.7.3 Hasil Pengujian Permeabilitas

Pengujian permeabilitas dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan panjang 15 cm. Pengujian dilakukan dengan tekanan air sebesar 0,5 N/mm<sup>2</sup> selama 72 jam atau 3 hari setelah itu dibelah dan diukur besar nilai penetrasi air yang masuk.

Tabel 4.38 Hasil Pengujian Permeabilitas Rata - rata

Campuran Beton	Umur (Hari)	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Tekanan (MPa)	Waktu (Jam)	Kuat Tekan 28 hari (MPa)	Penetrasi Rata - rata (mm)
<b>CHWC131</b>	28	15	15	0,5	72	32,12	19,67
<b>CHWC132</b>	28	15	15	0,5	72	29,46	21,33
<b>CHWC133</b>	28	15	15	0,5	72	22,61	23,44
<b>CHWC134</b>	28	15	15	0,5	72	25,84	17,22
<b>CHWC135</b>	28	15	15	0,5	72	20,62	25,56



Gambar 4.28 Grafik Permeabilitas Pada Masing – masing Campuran

Pada pengujian permeabilitas dapat dilihat pada grafik nilai penetrasi terbesar adalah pada campuran CHWC135 yaitu sebesar 25,56 mm, sedangkan nilai penetrasi terkecil adalah pada campuran CHWC131 yaitu sebesar 19,67 mm. CHWC135 memiliki komposisi CSW yang lebih banyak dibandingkan dengan campuran yang lain yaitu 70%. Maka dapat dianalisa bahwa semakin banyak CSW semakin tinggi nilai penetrasi yang terjadi. Begitu juga dengan perbandingan besarnya nilai kuat tekan pada masing – masing campuran, bahwa semakin tinggi nilai kuat tekan semakin rendah nilai penetrasinya.

#### 4.7.4 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan benda uji kubus ukuran 100 x 100 x 100 mm. Berikut ini merupakan data pengujian densitas beton campuran yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium.

Tabel 4.39 Hasil Pengujian Densitas Beton Normal

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	Normal	100	28	1	2287	2437	1437	2,287
2	Normal	100	28	1	2240	2320	1320	2,240
3	Normal	100	28	1	2304	2374	1374	2,304
4	Normal	100	28	1	2248	2243	1243	2,248
5	Normal	100	28	1	2349	2419	1419	2,349
<b>Rata – Rata</b>					<b>2286</b>	<b>2359</b>	<b>1359</b>	<b>2,286</b>

Tabel 4.40 Hasil Pengujian Densitas CHWC131

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	CHWC131	100	28	1	2054	2205	1205	2,054
2	CHWC131	100	28	1	2048	2135	1135	2,048
3	CHWC131	100	28	1	2065	2138	1138	2,065
4	CHWC131	100	28	1	2060	2055	1055	2,060
5	CHWC131	100	28	1	2052	2130	1130	2,052
<b>Rata - Rata</b>					<b>2056</b>	<b>2133</b>	<b>1133</b>	<b>2,056</b>

Tabel 4.41 Hasil Pengujian Densitas CHWC132

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	CHWC132	100	28	1	2059	2147	1147	2,059
2	CHWC132	100	28	1	2051	2128	1128	2,051
3	CHWC132	100	28	1	2047	2123	1123	2,047
4	CHWC132	100	28	1	2038	2142	1142	2,038
5	CHWC132	100	28	1	2042	2125	1125	2,042
<b>Rata - Rata</b>					<b>2047</b>	<b>2133</b>	<b>1133</b>	<b>2,047</b>

Tabel 4.42 Hasil Pengujian Densitas CHWC133

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	CHWC133	100	28	1	1897	2057	1057	1,897
2	CHWC133	100	28	1	1961	2135	1135	1,961
3	CHWC133	100	28	1	1956	2100	1100	1,956
4	CHWC133	100	28	1	1877	2019	1019	1,877
5	CHWC133	100	28	1	1899	2048	1048	1,899
<b>Rata - Rata</b>					<b>1918</b>	<b>2072</b>	<b>1072</b>	<b>1,918</b>

Tabel 4.43 Hasil Pengujian Densitas CHWC134

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ = g1 (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	CHWC134	100	28	1	1979	2107	1107	1,979
2	CHWC134	100	28	1	1964	2084	1084	1,964
3	CHWC134	100	28	1	1910	2089	1089	1,910
4	CHWC134	100	28	1	1919	2093	1093	1,919
5	CHWC134	100	28	1	1900	2068	1068	1,900
<b>Rata - Rata</b>					<b>1934</b>	<b>2088</b>	<b>1088</b>	<b>1,934</b>

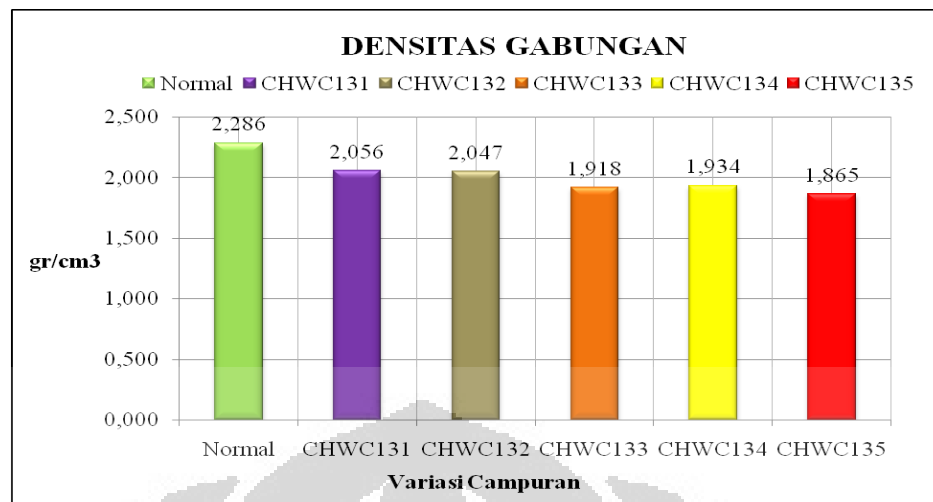
Tabel 4.44 Hasil Pengujian Densitas CHWC135

NO	Kode Beton	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Berat Kering Oven	Berat Jenuh	Berat Dalam Air	Densitas  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					A (gr)	C (gr)	D (gr)	
1	CHWC135	100	28	1	2,360	2066	1066	1,850
2	CHWC135	100	28	1	2,394	2076	1076	1,848
3	CHWC135	100	28	1	2,513	2141	1141	1,895
4	CHWC135	100	28	1	2,436	2094	1094	1,856
5	CHWC135	100	28	1	2,429	2105	1105	1,878
<b>Rata - Rata</b>					<b>1865</b>	<b>2096</b>	<b>1096</b>	<b>1,865</b>

Tabel 4.45 Hasil Pengujian Densitas Rata - rata Gabungan

NO	Kode Variasi Campuran	Luas (cm <sup>2</sup> )	Umur (Hari)	Berat Jenis Air ( $\rho$ ) (g/cm <sup>3</sup> )	Kuat Tekan 28 Hari	Densitas (Rata - rata)  (A/C-D) x $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
					(Mpa)	
1	NORMAL	100	28	1	32,32	2,286
2	CHWC131	100	28	1	32,12	2,056
3	CHWC132	100	28	1	29,46	2,047
4	CHWC133	100	28	1	22,61	1,918
5	CHWC134	100	28	1	25,84	1,934
6	CHWC135	100	28	1	20,62	1,865





Gambar 4.29 Grafik Densitas Rata – rata Gabungan Beton CHWC

## 4.8 Analisa Hasil Penelitian Beton Keras

### 4.8.1 Analisa Kuat Tekan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan di laboratorium, Sampel yang dibuat adalah beton keras dengan perbandingan komposisi campuran yang didapat sebelumnya dari hasil mix design beton normal mutu sedang yaitu dengan besar kuat tekan  $f_c'$  30 MPa sampai dengan  $f_c'$  35 MPa yang kemudian ditambah dengan bahan RHA dan CSW. Pada beton normal didapat kuat tekan umur 28 hari mencapai 32,32 MPa dan terjadi peningkatan disetiap umur pengujian hingga umur 56 hari mencapai 32,47 MPa. Sedangkan untuk beton campuran RHA dan CSW yang di bagi ke dalam 5 variasi yaitu, CHWC131 dengan komposisi 92% semen, 8% RHA, 30% CSW, dan 70% pasir, pada umur 28 hari kuat tekan mencapai 32,12 MPa terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur pengujian terkecuali pada umur 90 hari yang mengalami penurunan kuat tekan mencapai 28,58 MPa, dapat dilihat pada (Gambar 4.13). Penurunan kuat tekan terjadi dikarenakan kurang homogenya campuran bahan pada saat pengecoran yang mengakibatkan benda uji keropos dan kesalahan pengujian tekan dalam menempatkan posisi kubus beton pada mesin test tekan (*Crushing Test*). Untuk campuran CHWC132 dengan komposisi 92% semen, 8% RHA, 40% CSW, dan 60% pasir, pada umur 28 hari kuat tekan mencapai 29,46 MPa, dan terus meningkat disetiap umur pengujian hingga umur 90 hari yaitu mencapai 30,73 MPa.

Variasi campuran ke 3 dengan kode CHWC133 dengan komposisi 92% semen, 8% RHA, 50% CSW, dan 50% pasir, pada umur 28 hari kuat tekan mencapai 22,61 MPa, dan terus meningkat disetiap umur pengujian hingga umur 90 hari yaitu mencapai 24,14 MPa. Variasi campuran ke 4 dengan kode CHWC134 dengan komposisi 92% semen, 8% RHA, 60% CSW, dan 40% pasir, pada umur 28 hari memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan CHWC133 yaitu mencapai 25,84 MPa, dan terus meningkat disetiap umur pengujian hingga umur 90 hari yaitu mencapai 26,67 MPa. Variasi campuran ke 5 dengan kode CHWC135 dengan komposisi 92% semen, 8% RHA, 70% CSW, dan 30% pasir, nilai kuat tekan untuk campuran ini merupakan nilai kuat tekan yang paling terendah dibandingkan dengan kuat tekan variasi campuran yang lain. Pada umur 28 hari mencapai 20,62 MPa, dan pada umur 90 hari mencapai 21,28 MPa.

Dari grafik pengujian kuat tekan gabungan dapat dilihat pada (Gambar 4.18) terlihat jelas perbedaan komposisi pada campuran beton sangat mempengaruhi kuat tekan beton yang terjadi pada setiap umur-umur benda uji. Penambahan CSW dengan komposisi yang tinggi dapat menurunkan kuat tekan pada beton. Sedangkan penambahan CSW yang optimum dan kuat tekan paling tinggi pada umur 28 hari didapat pada campuran CHWC131 yaitu dengan komposisi 30% CSW dan 70% pasir.

#### **4.8.2 Analisa Modulus Elastisitas**

Pada hasil penelitian modulus elastisitas dengan alat PUNDIT yang dihasilkan untuk setiap variasi campuran sangat bervariasi, semakin tinggi kuat tekan yang didapat, maka akan semakin tinggi pula nilai modulus elastisitas yang dihasilkan. Dalam penelitian ini nilai modulus elastisitas rata - rata masing – masing campuran yaitu, campuran CHWC131 sebesar 32.133,33 MPa, campuran CHWC132 sebesar 31.150,00 MPa, campuran CHWC133 sebesar 29.966,67 MPa, campuran CHWC134 sebesar 31.037,50 MPa, dan untuk campuran CHWC135 sebesar 25.268,75 MPa.

Perbandingan hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan yang digambarkan pada Gambar 4.27 dimana diperhitungkan hubungan modulus elastisitas dengan kuat tekan setiap variasi campuran pada umur 28 hari, yaitu campuran CHWC131

sebesar 26.638,10 MPa, campuran CHWC132 sebesar 25.511,23 MPa, campuran CHWC133 sebesar 22.349,56 MPa, campuran CHWC134 sebesar 23.890,49 MPa, dan untuk campuran CHWC135 sebesar 21.340,79 MPa.

#### **4.8.3 Analisa Permeabilitas**

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai penetrasi pada pengujian permeabilitas pada campuran CHWC131 yaitu sebesar 19,67 mm, untuk campuran CHWC132 yaitu sebesar 21,33 mm, untuk campuran CHWC133 yaitu sebesar 23,44 mm, untuk campuran CHWC134 yaitu sebesar 21,67 mm, dan untuk campuran CHWC135 yaitu sebesar 25,56 mm.

Bila ditinjau dari hubungan kuat tekan dengan penetrasi dalam (Gambar 4.28), pada grafik menunjukkan bahwa campuran CHWC135 dengan komposisi campuran 92% semen, 8% RHA, 70% CSW, dan 30% pasir memberikan hasil penetrasi yang optimum, sedangkan pada campuran CHWC131 dengan komposisi campuran 92% semen, 8% RHA, 30% CSW, dan 70% pasir memberikan hasil penetrasi yang minimum. Dapat dianalisa bahwa semakin besar kuat tekan yang dihasilkan dan semakin besar penambahan CSW pada beton, semakin besar pula nilai penetrasi air yang membuat beton semakin porous.

#### **4.8.4 Analisa Densitas**

Dalam penelitian ini untuk nilai densitas rata – rata masing - masing campuran CHWC131, CHWC132, CHWC133, CHWC134, dan CHWC135 adalah 2,056 g/cm<sup>3</sup>, 2,047 g/cm<sup>3</sup>, 1,918 g/cm<sup>3</sup>, 1,934 g/cm<sup>3</sup>, 1,865 g/cm<sup>3</sup>. Pada (Gambar 4.29) menunjukkan bahwa nilai densitas rata - rata terbesar terjadi pada campuran CHWC131, sedangkan nilai densitas rata – rata yang terkecil adalah pada campuran CHWC135. Ditinjau dengan hubungan besar kuat tekan pada masing – masing campuran, maka dapat dianalisa bahwa semakin besar kuat tekan yang terjadi, semakin besar pula nilai (*Bulk Density Dry*) yang diperoleh.

### **4.9 Pemanfaatan CSW Sebagai Material Bahan Konstruksi**

Dalam hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa manfaat dari penggunaan CSW bisa digunakan oleh industri. Pada penelitian ini, komposisi kelima beton campuran CHWC131, CHWC132, CHWC133, CHWC134, CHWC135 pada umur 28 hari mencapai kuat tekan sebesar 32,12 MPa, 29,46 MPa, 22,61 MPa, 25,84 MPa, dan 20,62 MPa. Berikut ini adalah pada persyaratan

bata beton (Paving blok) menurut SNI 03-0691-1996 mengenai syarat mutu dan klasifikasi bata beton :

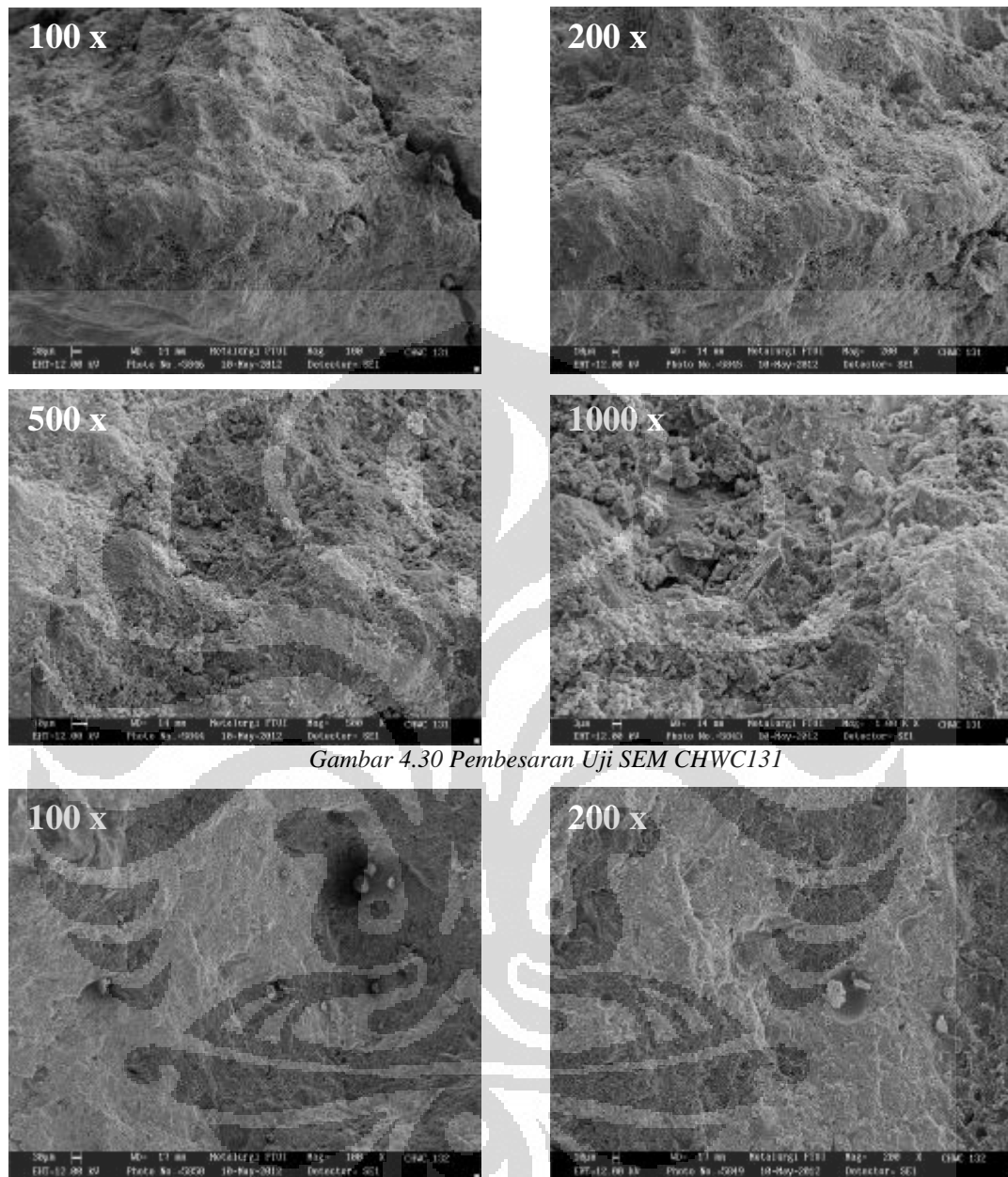
- Bata Beton Mutu A digunakan untuk jalan
- Bata Beton Mutu B digunakan untuk peralatan parkir
- Bata Beton Mutu C digunakan untuk pejalan kaki
- Bata Beton Mutu D digunakan untuk taman dan penggunaan lain

Tabel 4.46 Syarat Mutu Paving Blok Menurut SNI

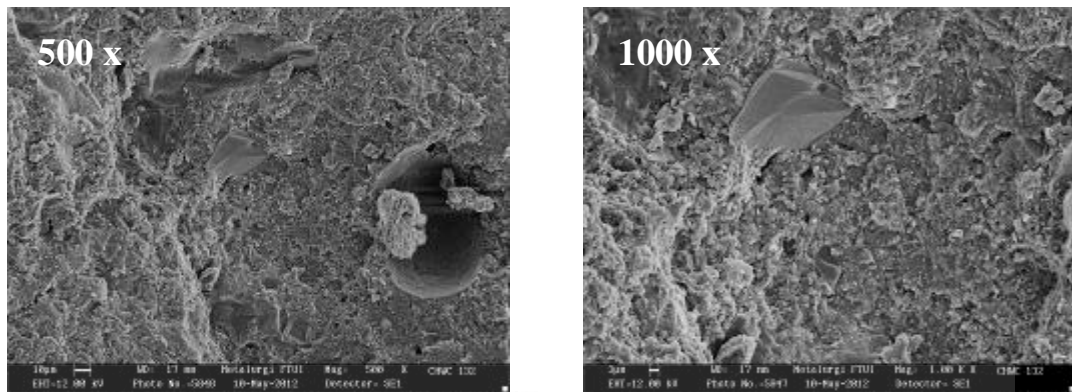
Mutu	Kuat Tekan (MPa)		Ketahanan Aus (mm/menit)		Penyerapan air rata-rata maks
	Rata-rata	min	Rata-rata	min	%
A	40	35	0.090	0.103	3
B	20	17.0	0.130	0.149	6
C	15	12.5	0.160	0.184	8
D	10	8.5	0.219	0.251	10

Dari persyaratan mutu paving blok diatas, maka setelah diteliti bahwa penggunaan CSW dapat diaplikasikan sebagai bahan bangunan karena masuk dalam klasifikasi paving blok mutu B, C, dan D yang digunakan untuk peralatan parkir, pejalan kaki dan untuk taman. Dan tentunya dengan penelitian ini, limbah yang dihasilkan oleh batching plan dapat dimanfaatkan kembali menjadi suatu produk bahan bangunan lingkungan yang tentunya dapat pula meminimalisir dampak lingkungan disekitar *batching plan*.

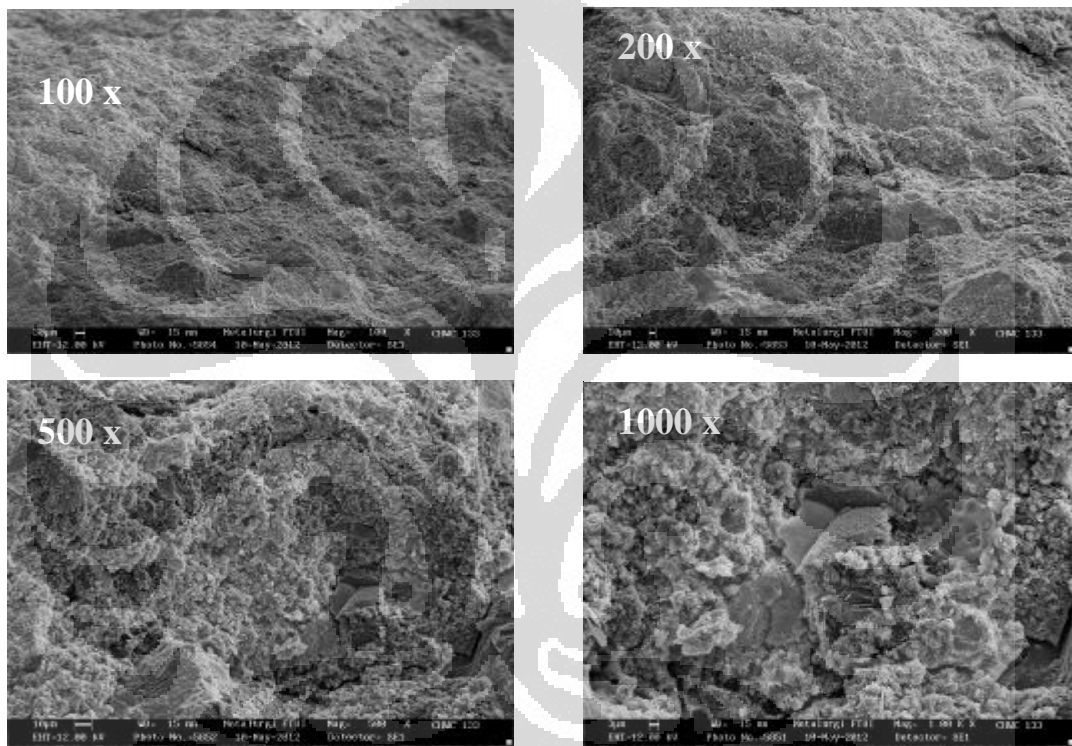
#### 4.10 Hasil Pengujian SEM Beton Campuran RHA dan CSW



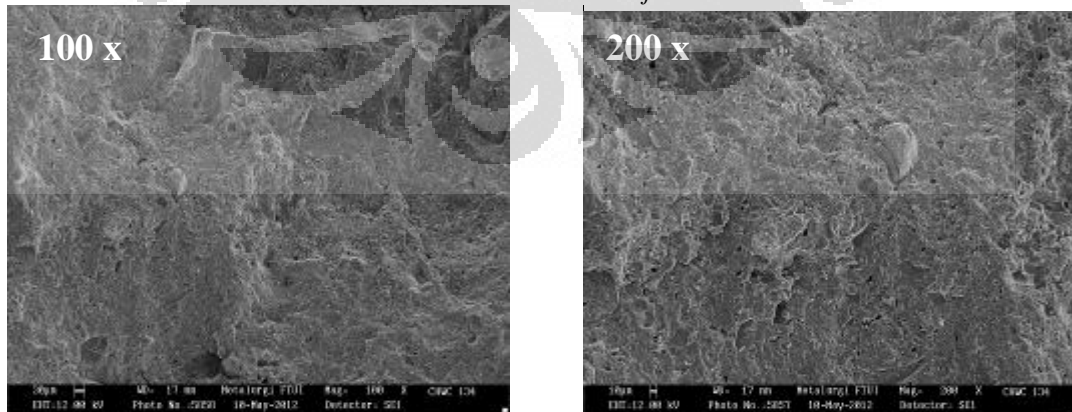
Gambar 4.30 Pembesaran Uji SEM CHWC131

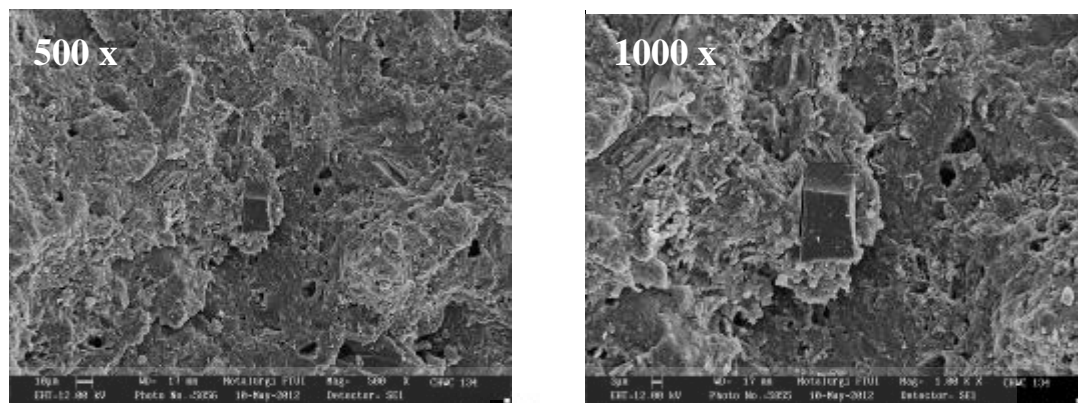


Gambar 4.31 Pembesaran Uji SEM CHWC132

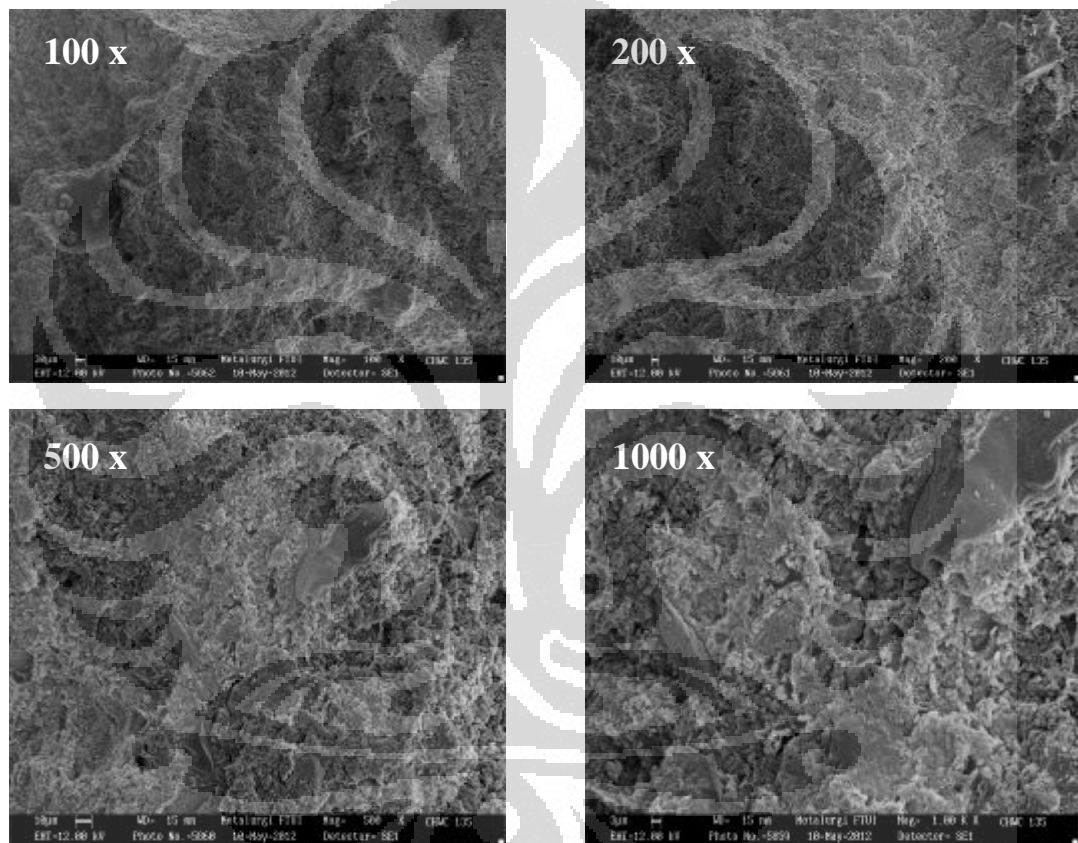


Gambar 4.32 Pembesaran Uji SEM CHWC133





Gambar 4.33 Pembesaran Uji SEM CHWC134



Gambar 4.34 Pembesaran Uji SEM CHWC135

Dari foto yang di dapat dari pengujian SEM terlihat pada campuran yang semakin besar kandungan CSW nya maka partikel-partikel material betonnya semakin besar, kasar, dan terpisah-pisah. hal ini menjadi salah satu penyebab semakin rendahnya kuat tarik lentur, belah dan geser pada campuran beton dengan kandungan CSW yg semakin besar.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan penjelasan pada bab – bab sebelumnya mengenai pemakaian *Rice Husk Ask (RHA)* dan *Concrete Sludge Waste (CSW)* terhadap pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, permeabilitas, dan densitas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Penggunaan CSW yang menggantikan sebagian agregat halus dalam campuran beton berpengaruh terhadap penurunan *workability* beton segar yang ditandai oleh menurunnya nilai slump, sehingga harus ditambahkan air pada saat pengadukan agar adukan tidak cepat kering (dapat dilihat pada gambar 4.5).
- b. Semakin banyak penggunaan CSW, semakin banyak pula rasio air terhadap semen yang mengakibatkan nilai kuat tekan menjadi turun.
- c. Semakin besar prosentase penggunaan CSW, maka semakin kecil berat isi beton sehingga kadar udara (Voids) dalam beton segar semakin besar. Berat isi yang paling kecil terjadi pada beton campuran CHWC135 dengan prosentase pasir 30% dan CSW 70% yaitu sebesar 2031 kg/m<sup>3</sup> dengan kadar udara sebesar 7,28%. Bila dibandingkan dengan beton normal yaitu sebesar 2174 kg/m<sup>3</sup> dengan kadar udara sebesar 0,73%.
- d. Semakin besar penggunaan CSW, maka semakin lama waktu ikat awal yang terjadi sehingga proses reaksi hidrasi semen berlangsung lama. Diakibatkan karena CSW memiliki penyerapan air yang sangat tinggi dibandingkan dengan pasir.
- e. Komposisi yang sesuai antara pasir dan CSW, dapat menghasilkan kuat tekan yang relatif lebih tinggi, dikarenakan butiran CSW yang lebih halus dibandingkan pasir sehingga, satu sama lainnya saling mengikat sehingga lebih padat dan menghasilkan kuat tekan optimum.



- f. Pada beton campuran CHWC 131 kuat tekan umur 90 hari mengalami penurunan, diakibatkan benda uji tidak seragam dan terjadi kesalahan selama pengujian.
- g. Pada pengujian modulus elastisitas nilai  $E_c$  sesuai SNI tidak berlaku untuk beton campuran RHA dan CSW, maka didapat nilai  $E_c$  berdasarkan hasil penelitian dinyatakan dengan perumusan  $E_c = 5875 \sqrt{f_c}$ .
- h. Manfaat dari penggunaan CSW bisa digunakan oleh industri sebagai persyaratan pembuatan bata beton (Paving blok) yang mengacu pada SNI 03-0691-1996.
- i. Limbah yang dihasilkan oleh batching plan dapat dimanfaatkan kembali menjadi suatu produk bahan bangunan lingkungan yang tentunya dapat pula meminimalisir dampak lingkungan disekitar batching plan.

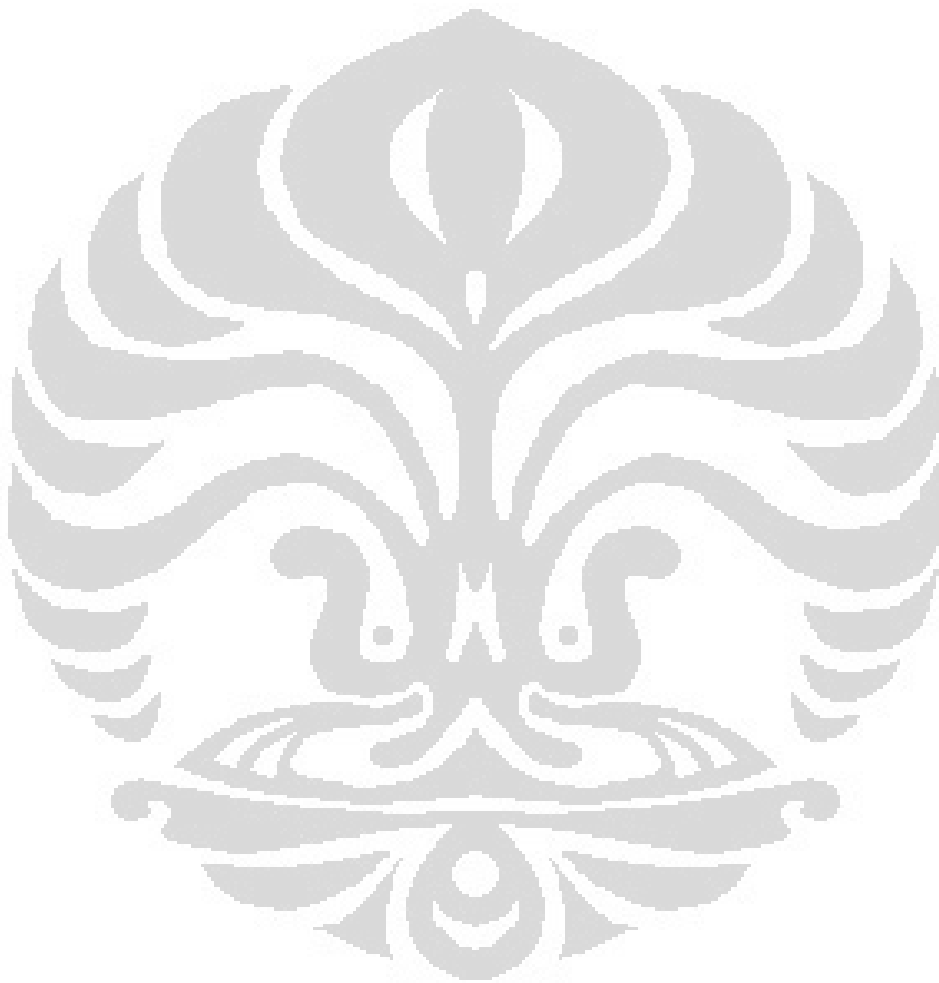
## 5.2 SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan berkaitan dengan penelitian yang dilakukan ini adalah :

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan CSW, agar didapat nilai persentase pemakaian yang maksimum terhadap sifat mekanis beton.
- b. Penggunaan CSW yang begitu besar pada campuran beton, akan menurunkan kuat tekan pada beton, sehingga untuk penelitian selanjutnya disarankan penggunaannya harus disesuaikan dengan jumlah pasir pada beton.
- c. Pada penelitian ini metode pengeringan dan penghancuran CSW dilakukan secara manual, sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap metode yang baik agar dapat menghasilkan CSW yang memenuhi standar.
- d. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang standar-standar dalam pengembangan pengolahan CSW sehingga dapat memenuhi syarat sebagai agregat halus.
- e. Perlu penggunaan bahan tambah kimia pada beton campuran RHA dan CSW, agar rasio air semen tetap sesuai dengan komposisi beton normal.
- f. Penggunaan CSW ternyata dapat digunakan sebagai campuran agregat halus pendamping pasir, maka perlu dilakukan penelitian terhadap keekonomisan dari penggunaan CSW. Sehingga penggunaannya dapat

dimanfaatkan oleh industri sebagai sebuah produk konstruksi secara komersial serta dapat mengurangi dampak pencemaran terhadap lingkungan.

- g. Jumlah pembuangan limbah beton disetiap batching plan sangat bervariasi diindonesia, sehingga perlu ada penelitian lanjutan mengenai seberapa banyak penggunaan CSW ini bisa dimanfaatkan.



## DAFTAR REFERENSI

- 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.
- ASTM C 127-01. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 128-01. *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 29M-97. *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 136-01. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 117-03. *Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 138M-01a. *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 403M-99. *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 642-97. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.

- ASTM C 403M-99. *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- ASTM C 469-02. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, United States : 2003.
- CNS Farnell Limited, *Operating Instructions of PUNDIT Plus Model PC1006*, Elstree Way, England : 2006.
- DIN 1048 Part 5. *Testing of Hardened Concrete (Water Permeability – Page 6)*, DIN-Normen-German Standards, Beuth Verlaag GmbH, Berlin : 1991.
- Houston, D.F. *Rice Chemistry And Technology*, American Association Of Cereal Chemist, Inc. Minnesota : 1972.
- <http://www.sciencedirect.com>
- <http://www.sisni.bsn.go.id>
- Krishnarao R. V., Subrahmanyam J., Kumar, T. J. *Studies On The Formation Of Black In Rice Husk Silica Ash*, J. Ceramic Society : 2000
- Kusumantara, Diah. *Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Campuran 50% Semen Dan 50% Abu Sekam Padi*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok : 2009.
- Kusumantara Diah, Basoenondo A. Essy., *Utilization of Waste From Concrete Mixer Truck To Create Low Grade Quality Concrete For Building Materials*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok : 2009.
- Laksono, Prasetyoko, Andhi. Didik. *Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik*, Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya : 2006.
- Neville, A.M, *Properties of Concrete*, Fourth Edition, The English Language Book Society And Pitman Publishing, London, 2000.

Pasaribu, Ramos. *Analisa Kemampuan Beton Ringan Abu Sekam Padi*, Jurusan Arsitektur, Universitas Tarumanegara. Jakarta : 2007.

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

SNI 03-1971-1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.

SNI 03-1972-1990. *Metode Pengujian Slump*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.

SK SNI T-15-1990-03. *Pembuatan Benda Uji*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.

SNI 03-1974-1990. *Pengujian Kuat Tekan Beton*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1990.

SNI 03-0691-1996. *Bata Beton (Paving Block)*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta : 1996.

Tjokrodimuljo,K., *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta, 1996.