



**UNIVERSITAS INDONESIA**

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

**SKRIPSI**

**IMAM MUHID**

**0906605662**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI KUAT TARIK 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**

**IMAM MUHID**

**0906605662**

**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 : Imam Muhid**

**NPM : 0906605662**

**Tanda Tangan:**

**Tanggal : 3 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Imam Muhid

NPM : 0906605662

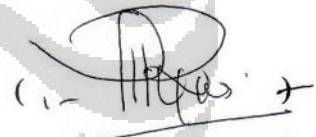
Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Kuat Tarik 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 1 : Ir. Essy Ariyuni, Ph.D



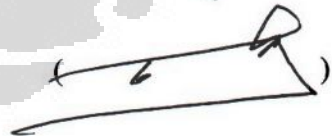
Pembimbing 2 : Ir. Madsuri, MT



Penguji : Dr.-Ing.Ir. Hengki W. Ashadi



Penguji : Ir. Setyo Supriyadi



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmad-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Essy Ariyuni, Ph.D selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ir. Madsuri, MT. Selaku dosen pembimbing 2 yang telah membantu membimbing dalam penyusunan skripsi ini
3. PT. Holcim yang telah memberikan bahan data yang saya butuhkan pada penelitian skripsi ini.
4. PT. Hakiki yang telah membantu dalam usaha memperoleh bahan dan data yang saya butuhkan.
5. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
6. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 4 Juli 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Imam Muhid  
NPM : 0906605662  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : 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 Tarik Beton Normal Mutu Sedang Dengan Campuran Abu Sekam Padi (RHA) dan Limbah Adukan Beton (CSW)**

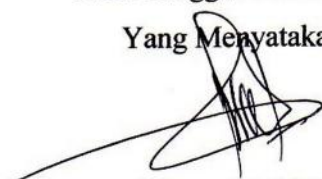
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Depok

Pada Tanggal 4 Juni 2012

Yang Menyatakan



( Imam Muhid )

## ABSTRAK

Nama : Imam Muhid  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Kuat Tarik Beton Normal Mutu Sedang Dengan Campuran Abu Sekam Padi (RHA) dan Limbah Adukan Beton (CSW)

Skripsi ini membahas tentang penggunaan Abu Sekam Padi (RHA) sebagai bahan substitusi perekat semen dan penggunaan Limbah Adukan Beton (CSW) sebagai agregat halus untuk mengurangi penggunaan jumlah pasir pada beton. Penelitian dilakukan dengan membuat *mix design* dari beton normal  $f_c' 35$  MPa dan dikembangkan pada lima variasi campuran dengan jumlah CSW 30%, 40%, 50%, 60% dan 70% dengan penggunaan RHA tetap yaitu 8% dari total pemakaian semen. Sifat mekanis beton yang diuji meliputi: kuat tarik lentur, kuat tarik belah, kuat geser dan susut. Pengujian dilakukan pada umur 28, 56 dan 90 hari terhadap lima benda uji pada setiap umur pengujian. Pada pengujian kuat tarik lentur, kuat tarik belah dan kuat geser nilai optimum terjadi pada campuran dengan jumlah CSW 30%, sedangkan prosentase susut terbesar terjadi pada beton dengan campuran CSW 70%. Dari penelitian ini diharapkan beton dengan campuran RHA dan CSW dapat diaplikasikan untuk perkerasan jalan.

Kata Kunci : Abu Sekam Padi, Limbah Adukan Beton, kuat tarik beton kuat tarik lentur, kuat tarik belah, kuat geser, susut

## ABSTRACT

Name : Imam Muhid  
Study Program : Civil Engineering  
Title : The Study on Tensile Strength of Normal Concrete Containing Rice Husk Ash (RHA) and Concrete Sludge Waste (CSW) Designed for Moderate Strength

The focus of the study is observing the use of Rice Husk Ash (RHA) as a substitute of portland cement and Concrete Sludge Waste (CSW) to reduce of sand in concrete. Refers to the mix design of normal concrete  $f_c' 35$  MPa the mechanical properties tested in five variations with a percentage of CSW 30%, 40%, 50%, 60%, 70% and using fixed number 8% of RHA. The concrete were tested in flexural tensile strength, split tensile strength, shear strength and shrinkage at the age of 28,56 and 90 days for five specimens at each age of test. From the testing of flexural tensile strength, split tensile strength and shear strength obtained an optimum number of CSW 30%. And the largest percentage of shrinkage occurred in CSW 70%. From the result has been obtained, the concrete with RHA and CSW could be applied to the road pavement.

Key words :

Rice Husk Ash, Concrete Sludge Waste, tensile strength, flexural tensile strength, split tensile strength, shear strength, shrinkage

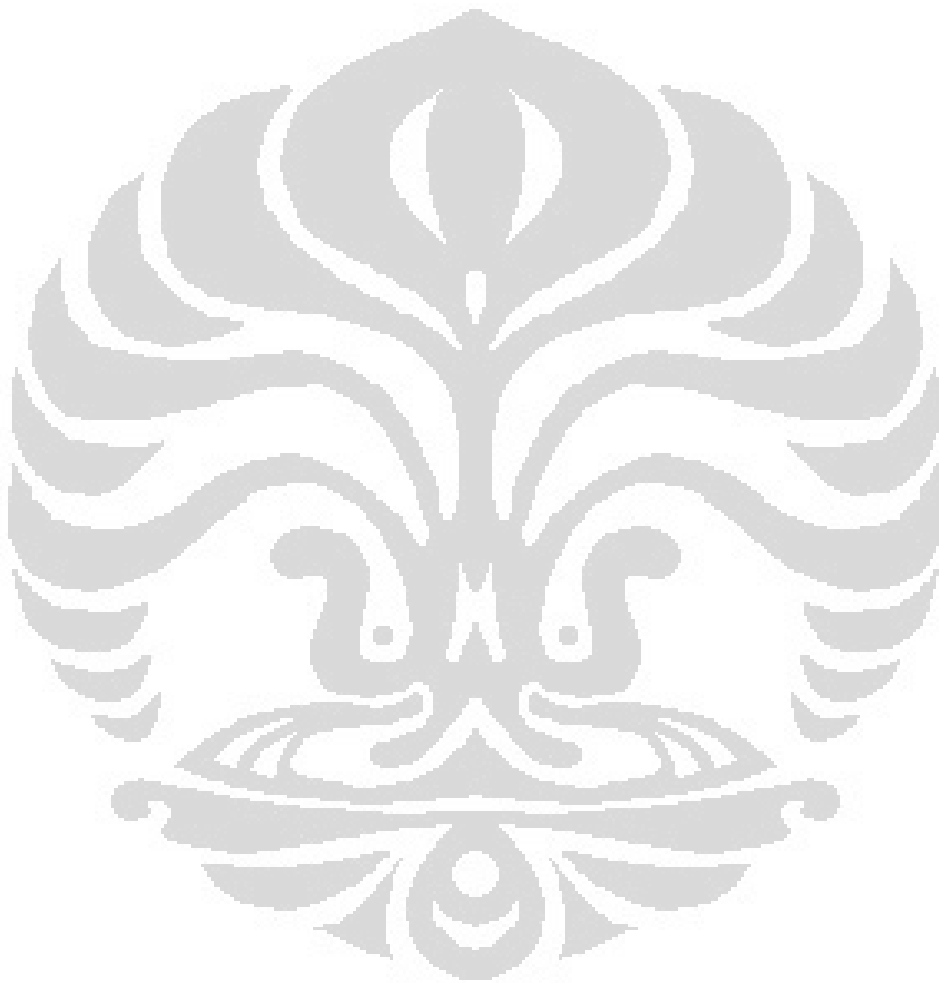


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Hipotesa .....	4
1.5. Metode Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penelitian .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Beton .....	6
2.1.1 Beton Segar .....	6
2.1.2 Beton Keras .....	7
2.1.2.1 Kuat Tarik Lentur .....	7
2.1.2.2 Kuat Tarik Belah .....	8
2.1.2.3 Kuat Geser .....	8
2.1.2.4 Susut .....	9
2.2. Material Pembentuk Beton .....	9
2.2.1. Semen Portland .....	9
2.2.2 Agregat .....	10
2.2.2.1 Agregat Halus .....	11
2.2.2.2 Agregat Kasar .....	12
2.2.3 Air .....	14
2.2.4 Abu Sekam Padi .....	14
2.2.5 Limbah Adukan Beton .....	15
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	18
3.2 Diagram Alir Metode Penelitian .....	19
3.3 Pengujian Agregat Halus .....	20
3.3.1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus .....	20
3.3.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Halus .....	22
3.3.3 Uji Analisa Ayak Agregat Halus .....	23
3.3.4 Uji Kadar Air Agregat Halus .....	24
3.3.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Halus .....	25
3.4 Pengujian Agregat Kasar .....	26
3.4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar .....	26

3.4.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Kasar .....	28
3.4.3 Uji Analisa Ayak Agregat Kasar .....	30
3.4.4 Uji Kadar Air Agregat Kasar .....	31
3.5 Pengujian Beton Segar .....	32
3.5.1 Pembuatan Benda Uji .....	32
3.5.2 Pengujian Slump .....	33
3.5.3 Pengujian Berat Isi Beton .....	34
3.5.4 Pengujian Waktu Ikut Awal .....	35
3.6 Pengujian Beton Keras .....	37
3.6.1 Pengujian Kuat Tarik Lentur .....	37
3.6.2 Pengujian Kuat Tarik Belah .....	37
3.6.3 Pengujian Kuat Geser .....	38
3.6.4 Pengujian Susut .....	39
<b>4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA .....</b>	<b>40</b>
4.1 Hasil Pengujian Pendahuluan .....	40
4.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus .....	40
4.1.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air .....	40
4.1.1.2 Berat Isi .....	40
4.1.1.3 Analisa Ayak .....	41
4.1.1.4 Kadar Air .....	43
4.1.1.5 Kadar Lumpur .....	43
4.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar .....	44
4.1.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air .....	44
4.1.2.2 Berat Isi .....	44
4.1.2.3 Analisa Ayak .....	45
4.1.2.4 Kadar Air .....	47
4.1.3 Hasil Pengujian Sifat Agregat CSW .....	47
4.1.3.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air CSW ...	47
4.1.3.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Berat Isi Padat CSW	48
4.1.3.3 Hasil Pengujian Analisa Ayak CSW .....	48
4.1.3.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur CSW .....	49
4.1.3.5 Hasil Pengujian Kadar Air CSW .....	50
4.2 Rancang Campur Kebutuhan Beton .....	51
4.2.1 Rancang Campur Beton Mutu Sedang .....	51
4.2.2 Kebutuhan Bahan .....	52
4.3 Hasil Pengujian Beton Segar .....	52
4.3.1 Hasil Pengujian Slump .....	52
4.3.2 Hasil Pengujian Berat Isi Beton .....	54
4.3.3 Hasil Pengujian Waktu Pengikatan .....	54
4.4 Hasil Pengujian Beton Keras .....	57
4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur .....	57
4.4.1.1 Perbandingan Kuat Tarik Lentur Dengan Kuat Tekan ....	60
4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah .....	62
4.4.2.1 Perbandingan Nilai Kuat Belah Dengan Lentur .....	66
4.4.2.2 Perbandingan Nilai Kuat Belah Dengan Kuat Tekan ....	68
4.4.3 Hasil Pengujian Kuat Geser .....	69
4.4.3.1 Perbandngan Kuat Geser Dengan Kuat Tekan .....	70

4.4.4 Hasil Pengujian Susut .....	71
4.4.4.1 Hubungan Penggunaan CSW Susut .....	74
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>76</b>
5.1 Kesimpulan .....	76
5.2 Saran .....	77
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>78</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas Gradasi Agregat Halus .....	10
Tabel 2.2	Batas Gradasi Agregat Kasar .....	11
Tabel 2.3	Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar .....	12
Tabel 2.4	Komposisi Kimia Abu Sekam Padi .....	14
Tabel 2.5	Kandungan Senyawa Kimia CSW .....	16
Tabel 3.1	Ukuran Butiran Maksimum Agregat Halus .....	24
Tabel 3.2	Banyaknya Benda Uji Butir Maksimum Agregat Halus .....	30
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus .....	39
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus .....	40
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus .....	40
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus .....	41
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus .....	42
Tabel 4.6	Hasil pengujian Kadar Air Agregat Halus .....	42
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar .....	43
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar .....	43
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar .....	44
Tabel 4.10	Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar .....	44
Tabel 4.11	Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar .....	46
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Berat Jenis CSW .....	46
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Berat Isi Lepas CSW .....	47
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Analisa Ayak CSW .....	47
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Kadar Lumpur CSW .....	49
Tabel 4.16	Hasil Pengujian Kadar Air CSW .....	49
Tabel 4.17	Rancang Campur Beton Mutu Sedang .....	50
Tabel 4.18	Rencana Volume Pekerjaan .....	51
Tabel 4.19	Kebutuhan Bahan Sekali Pengadukan .....	51
Tabel 4.20	Hasil Pengujian Slump .....	51
Tabel 4.21	Hasil Pengujian Berat Isi Beton .....	53
Tabel 4.22	Hasil Bacaan Penetrometer .....	53
Tabel 4.23	Hasil Pengujian Waktu Ikut Awal .....	56
Tabel 4.24	Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur .....	57
Tabel 4.25	Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan ...	60
Tabel 4.26	Perbedaan Kuat Tarik Lentur Teoritis dengan Penelitian .....	61
Tabel 4.27	Nilai Konstanta Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur .....	61
Tabel 4.28	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah .....	62
Tabel 4.29	Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan .....	68
Tabel 4.30	Hasil Pengujian Kuat Geser .....	69
Tabel 4.31	Prosentase Nilai Kuat Geser Terhadap Kuat Tekan .....	70
Tabel 4.32	Hasil Pengujian Susut .....	71
Tabel 4.33	Hubungan Penggunaan CSW dengan Nilai Susut Beton .....	74

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembuatan Abu Sekam Padi .....	14
Gambar 2.2	Bak Penampungan Limbah Adukan Beton .....	15
Gambar 2.3	Proses Pengangkutan dan Pengeringan CSW .....	15
Gambar 2.4	Proses Pengayakan CSW .....	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian .....	18
Gambar 4.1	Grafik Gradasi Agregat Halus Zona 2 .....	41
Gambar 4.2	Grafik Gradasi Agregat Kasar Zona 2 .....	45
Gambar 4.3	Grafik Gradasi Analisa Ayak CSW .....	48
Gambar 4.4	Perbandingan Tinggi Slump Rata-rata .....	52
Gambar 4.5	Bacaan Penetrometer Beton Normal .....	54
Gambar 4.6	Bacaan Penetrometer Beton CHWC-131 .....	54
Gambar 4.7	Bacaan Penetrometer Beton CHWC-132 .....	55
Gambar 4.8	Bacaan Penetrometer Beton CHWC-133 .....	55
Gambar 4.9	Bacaan Penetrometer Beton CHWC-134 .....	55
Gambar 4.10	Bacaan Penetrometer Beton CHWC-135 .....	56
Gambar 4.11	Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Semua Variasi .....	58
Gambar 4.12	Grafik Kuat Tarik Lentur Umur Benda Uji .....	58
Gambar 4.13	Grafik Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari .....	58
Gambar 4.14	Grafik Kuat Tarik Lentur Umur 56 Hari .....	59
Gambar 4.15	Grafik Kuat Tarik Lentur Umur 90 Hari .....	59
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Kuat Lentur dan Kuat Tekan .....	60
Gambar 4.17	Grafik Kuat Tarik Belah Gabungan Semua Variasi .....	63
Gambar 4.18	Grafik Kuat Tarik Belah Umur 28 Hari .....	63
Gambar 4.19	Grafik Kuat Tarik Belah Umur 56 Hari .....	64
Gambar 4.20	Grafik Kuat Tarik Belah Umur 90 Hari .....	64
Gambar 4.21	Grafik Kuat Tarik belah Gabungan Semua Umur .....	65
Gambar 4.22	Grafik Hubungan Kuat Belah dan Lentur 28 Hari .....	66
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Kuat Belah dan Lentur 56 Hari .....	66
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Kuat Belah dan Lentur 90 Hari .....	67
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan ...	68
Gambar 4.26	Grafik Kuat Geser Semua Variasi .....	69
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Kuat Geser dengan Kuat Tekan 28 Hari	70
Gambar 4.28	Grafik Susut Beton Campuran CHWC-131 .....	72
Gambar 4.29	Grafik Susut Beton Campuran CHWC-132 .....	72
Gambar 4.30	Grafik Susut Beton Campuran CHWC-133 .....	73
Gambar 4.31	Grafik Susut Beton Campuran CHWC-134 .....	73
Gambar 4.32	Grafik Susut Beton Campuran CHWC-135 .....	73
Gambar 4.33	Grafik Susut Beton Semua Variasi .....	74

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai alternatif bahan bangunan masih banyak digunakan di dunia konstruksi. Selain murah dan mudah didapatkan kelebihan lain dari beton adalah dapat dibuat di tempat dan dibentuk atau dicor sesuai dengan kehendak. Salah satu cara yang digunakan pada proyek pengecoran dengan skala besar adalah dengan menggunakan beton siap pakai (*ready-mixed concrete*). Selain untuk menjamin mutu beton penggunaan beton siap pakai bisa mempercepat waktu pengecoran dibandingkan dengan pembuatan beton secara manual. Beton siap pakai dapat dipesan pada perusahaan penyedia jasa *ready mix* yang ada di sekitar lokasi proyek. Selanjutnya dikirim menggunakan *truck mixer* sampai dengan lokasi proyek.

Setelah pelaksanaan pengecoran, proses pencucian *truck mixer* menghasilkan limbah berupa sisa adukan beton atau *Concrete Sludge Waste* (CSW). Pembuangan CSW yang berasal dari dalam *truck mixer* harus menjadi perhatian bagi kalangan pelaksana konstruksi dan pemerhati lingkungan. Penanganan yang dilakukan selama ini adalah pembuangan CSW pada lokasi proyek atau pada suatu lahan kosong. Hal ini bisa mengakibatkan dampak negatif bagi lingkungan, salah satu dampak yang terjadi adalah tertutupnya lahan serapan air dan pemicu timbulnya debu pada pembuangan sisa beton setelah mengering.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi timbunan CSW antara lain dengan memanfaatkan kembali sebagai bahan pengganti sumber baku konstruksi. Pemanfaatan kembali CSW ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan proporsi campuran yang baik agar didapatkan nilai sifat mekanik yang maksimal, untuk itu peneliti mencoba untuk melakukan penelitian dengan benda uji limbah adukan beton siap pakai sebagai pengganti agregat halus dengan campuran abu sekam padi.

Abu sekam padi atau *rice husk ash* (RHA) adalah limbah pembakaran sekam padi yang memiliki sifat pozolan dan mengandung silika yang sangat tinggi, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang

lebih tinggi. Pada penelitian sebelumnya ternyata penambahan RHA pada prosentase tertentu dapat meningkatkan kekuatan semen melalui reaksi antara silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan kalsium hidrosilika ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada mortar semen. (Kusumantara, Diah, 2009)

Berlatar belakang tersebut diatas maka penambahan RHA pada beton yang mengandung CSW diharapkan mampu memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton sesuai dengan yang diharapkan.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis beton yang meliputi kuat tarik lentur, kuat tarik belah, kuat geser dan susut pada beton mutu  $f_c' 35$  MPa yang mengandung CSW dan RHA serta untuk mengetahui penggunaan campuran beton dengan prosentase CSW yang dapat menghasilkan kuat tarik dan kuat geser optimum.

### 1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi permasalahan pengujian pada hal – hal di bawah ini:

1. Pengujian dilakukan berdasarkan SNI dan ASTM.
2. Pengujian beton segar meliputi: slump, berat isi dan waktu ikat awal.
3. Limbah beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah beton siap pakai dari segala mutu beton yang berasal dari PT. Holcim pada *batching plant* Kampung Rambutan.
4. Semen yang digunakan pada pengujian ini adalah semen portland komposit yang sesuai dengan standar SNI 15-7064-2004, sehingga sifat fisis dan mekanis semen dianggap telah sesuai dengan standar.
5. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu sekam padi yang diproduksi oleh PT. Hakiki
6. Membuat *mix design* acuan beton normal mutu sedang dengan besar kuat tekan antara  $f_c' 30$  MPa sampai dengan  $f_c' 35$  MPa.

7. Sampel yang dibuat adalah beton keras dengan perbandingan komposisi campuran didapat dari hasil *mix design* beton normal, kemudian ditambah dengan bahan RHA dan CSW sebagai berikut :
  - a. Bahan pengikat hidrolis dengan komposisi 92 % semen (PCC) dan 8 % RHA.
  - b. 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
  - c. Agregat Kasar (100 % screened split 10 – 15 mm)
8. Sifat-sifat mekanik beton keras yang diamati meliputi: pengujian kuat tarik lentur, kuat tarik belah, kuat geser dan susut
9. Pengujian kuat tarik lentur dan kuat tarik belah dilakukan pada umur 28, 56 dan 90 hari sedangkan pengujian kuat geser dilakukan pada umur 28 hari dan susut dilakukan pada umur 1 hingga 28 hari.
10. Pengujian sifat fisik beton segar meliputi pengujian *slump* dan pengujian waktu ikat awal (*setting time*).

#### 1.4. Hipotesa

Pada penelitian ini penggunaan campuran RHA dan CSW diharapkan mampu menghemat pemakaian semen dan pasir sebagai pembentuk beton keras yang mampu menghasilkan nilai kuat tarik lentur, kuat tarik belah, kuat geser dan susut sesuai dengan standar sebagai bahan bangunan ramah lingkungan tepat guna.

#### 1.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pengumpulan data
  - a. Studi perpustakaan/literatur.
  - b. Studi dokumenter.



2. Metode eksperimental

Dilakukan dengan cara mendapatkan data – data secara langsung dari hasil pengujian laboratorium.

3. Metode *trial and error*

Adapun metode yang digunakan untuk menentukan faktor air semen yaitu menggunakan metode *trial and error*.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

**Halaman Judul**

**Lembar Pengesahan**

**Kata Pengantar**

**Daftar Isi**

**Bab I Pendahuluan**

Berisikan tentang latar belakang permasalahan, permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penulisan, pengesahan judul, alasan pemilihan judul, pengumpulan data dan sistematika penulisan.

**BAB II Tinjauan Pustaka**

Merupakan pembahasan tentang dasar – dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan dan dilengkapi dengan sumber - sumber yang dipakai dalam penelitian.

**BAB III Metodologi Penelitian**

Dalam bab ini berisikan metode – metode yang digunakan pada pelaksanaan tugas akhir, baik dalam pengumpulan data maupun dalam menganalisa.

**BAB IV Pembahasan**

Berisikan tentang data – data yang diperoleh dan analisa dari hasil percobaan yang dilakukan.

**BAB V Kesimpulan dan Saran**

Berisi kesimpulan dan saran mengenai hasil yang diperoleh dari pengujian dan data – data yang didapatkan.

**Daftar Pustaka**

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847, 2002). Bahan penyusun beton meliputi air, semen portland, agregat kasar dan halus, serta bahan tambah. Setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan. Bila kuat tekannya tinggi, maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton terdiri dari kualitas bahan penyusun, nilai faktor air-semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, cara pengerjaan (pencampuran, pengangkutan, pemadatan dan perawatan), serta umur beton (Tjokrodinuljo, 1996)

#### 2.1.1 Beton Segar

Beton segar merupakan campuran air, semen, agregat, dengan atau tanpa bahan tambah yang diaduk sampai homogen dan masih dalam keadaan plastis (belum terjadi pengikatan). Kualitas beton segar perlu diketahui karena sifat – sifat pada beton segar akan mempengaruhi beton kerasnya, maka perlu dilakukan pengujian agar menjadi beton keras sesuai yang diharapkan.

Sifat – sifat yang perlu diperhatikan pada beton segar antara lain adalah sebagai berikut:

1. Kemampuan dikerjakan (*workability*), beton segar dinyatakan mempunyai nilai *workability* yang tinggi apabila beton tersebut mudah diaduk, mudah dicor dan mudah dipadatkan, sifat ini sangat dipengaruhi antara lain banyaknya air dalam campuran beton, bentuk butiran agregat, kadar semen dalam beton, dan adanya bahan tambah pada beton seperti super plasticizer.
2. Berat isi beton, yaitu berat beton dibagi dengan isi (volume) alat, berat isi ini bertujuan untuk konversi dari satuan berat ke satuan volume dan untuk koreksi rancangan campuran dan kadar udara dalam beton.

3. Waktu ikat, pengujian ini perlu dilakukan karena beton dengan perekat semen mempunyai waktu ikat yang bervariasi, tergantung dengan jenis semen, bahan tambah dan suhu lingkungan. Waktu ikat pada beton dibagi menjadi dua yaitu waktu ikat awal dan waktu ikat akhir. Waktu ikat awal adalah waktu yang dibutuhkan oleh beton mulai dari plastis menjadi tidak plastis. Beton yang sudah mulai saling mengikat (stabil) sudah tidak boleh dikerjakan lagi. Sedangkan waktu ikat akhir adalah waktu mulai dari bahan beton diaduk dalam keadaan plastis menjadi keras.

### 2.1.2 Beton Keras

Sifat yang diutamakan pada pembuatan beton adalah kuat tekannya. Beton dianggap tidak memikul beban tarik oleh karena itu dialihkan pada besi tulangan. Tetapi beton sebenarnya mampu menerima beban tarik kira – kira sepersepuluh dari kemampuan memikul beban tekannya. Sifat mekanis beton yang dibahas dalam penelitian ini adalah kuat tarik lentur, kuat tarik belah, modulus elastisitas dan permeabilitas.

#### 2.1.2.1 Kuat Tarik Lentur

Kuat lentur adalah kekuatan tarik beton dalam keadaan lentur akibat momen. Kekuatan tarik pada beton dikenal dengan istilah modulus runtuh (*modulus of rupture*). Nilai ini ditentukan berdasarkan percobaan pada sebuah balok beton sederhana tanpa tulangan yang diberi beban pada titik di tengah bentang sampai benda uji patah. ASTM C 293-00 menetapkan nilai kuat tekan lentur sebagai berikut:

$$R = 3 PL/2bd^2$$

Dimana:

R = modulus runtuh (modulus of rupture), psi atau MPa

P = beban maksimum, lbf, N

L = jarak steel rod, inch, mm

b/d = lebar dan tinggi benda uji, inch, mm

untuk menguji kuat tarik pada beton dapat pula diuji dengan menghitung tegangan lenturnya. Seperti diketahui balok yang mengalami lentur pada serat bawahnya akan menerima tegangan tarik. Benda uji yang dibutuhkan yaitu berbentuk balok dengan dimensi 10 x 10 x 50 cm atau 15 x 15 x 75 cm.

### 2.1.2.2 Kuat Tarik Belah

Umumnya kekuatan tarik pada beton relatif rendah, karena bahan – bahan pembuatan beton seperti semen dan agregat yang umumnya dari batu alam memiliki sifat kuat tarik yang kecil, sehingga mempengaruhi pula kuat tarik pada betonnya. Oleh sebab itu struktur yang terbuat dari beton harus diperkuat dengan besi tulangan untuk memperbesar nilai kuat tarik pada beton.

Pengujian kuat tarik belah pada penelitian ini menggunakan acuan peraturan ASTM C 496-04. Secara teoritis kuat tarik belah berkisar antara 10% sampai dengan 20% dari kuat tekan karakteristiknya, dan menurut ACI besarnya kuat tarik belah pada beton normal berkisar antara  $0,5\sqrt{f'c}$  sampai  $0,6\sqrt{f'c}$ . Kekuatan tarik belah dari benda uji dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma_{tr} = \frac{2P}{f.l.d} \text{ kg/cm}^2 \text{ atau N/mm}^2$$

Dimana:

- P = Beban maksimum (kg)
- l = Panjang benda uji (cm)
- d = Diameter benda uji (cm)

### 2.1.2.3 Kuat Geser

Dalam pengujian kuat geser, standar pengujian yang digunakan dalam pengujian ini belum memiliki standar secara umum, namun merujuk pada penelitian-penelitian yang pernah dilakukan. Penelitian geser langsung ini pernah dilakukan oleh Mattock dan Walraven. Sampel “*push-off specimen*” Mattock dan Walraven dianggap cukup representatif untuk uji geser langsung sehingga pada penelitian-penelitian selanjutnya tentang uji geser langsung banyak menggunakan jenis sampel ini. Sampel yang digunakan dalam penelitian terdahulu adalah sampel geser penampang double-L.

### 2.1.2.4 Susut

Susut adalah sifat beton yang berupa mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan air. Akan sangat berpengaruh terhadap beton masal (volume besar).

Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton, sedangkan faktor – faktor lain yang mempengaruhi besarnya susut (Nawy, Edward.G.,1990) adalah sebagai berikut:

1. Agregat

Beton dengan kandungan agregat yang lebih banyak maka susut yang terjadi lebih sedikit.

2. Rasio air/semen

Semakin tinggi rasio air/semen maka semakin besar susut yang terjadi.

3. Ukuran elemen beton

Durasi susut akan lebih lama untuk komponen struktur yang lebih besar, karena lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan untuk mencapai daerah dalam.

4. Kondisi kelembaban sekitar

Kelembaban pada lingkungan sekitar sangat berpengaruh terhadap besarnya susut, laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban yang tinggi.

5. Banyaknya tulangan

Beton bertulangan menyusut lebih sedikit dibandingkan dengan beton polos.

6. Jenis semen

Semen yang cepat mengering akan mengalami susut lebih banyak dibandingkan dengan jenis semen lainnya.

## 2.2. Material Pembentuk Beton

### 2.2.1 Semen Portland

Semen adalah material pengikat yang mengikat material lain (mortar) untuk membentuk suatu benda padat (beton). Semen atau biasa disebut semen portland merupakan bahan dasar pembuatan beton yang mempunyai sifat menyatu

dan mengeras bila bercampurair karena adanya reaksi kimia.<sup>1</sup> Semen Portland merupakan pengikat hidrolis hasil penggiligan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozzolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6 - 35 % dari massa semen portland komposit (SNI 15-7064, 2004).

### 2.2.2 Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama – sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolis atau adukan (SNI T 15-1991-03). Komposisi agregat dalam beton kurang lebih sebesar 70 % dari volume mortar atau beton. Fungsi agregat pada beton adalah sebagai berikut:

1. Menghemat penggunaan semen Portland.
2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3. Mengurangi Penyusutan pada beton.
4. Menghasilkan beton yang padat bila gradasinya baik.

Sedangkan ukuran agregat dapat digolongkan menjadi:

1. Batu, jika ukuran butiran lebih dari 40 mm.
2. Kirikil jika ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm.
3. Pasir, jika ukuran butiran 0,15 mm sampai 5 mm.
4. Butiran yang lebih kecil dari 0,15 mm, dinamakan silt atau tanah.

(Tjokrodinuljo,1996).

Hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah gradasi atau distribusi ukuran butir agregat. Apabila butir – butir agregat mempunyai ukuran yang seragam dapat menimbulkan volume pori yang lebih besar. Tetapi jika ukuran butirnya bervariasi maka volume pori akan menjadi lebih kecil.

---

<sup>1</sup> Portland Cement, wikipedia-the free encyclopedia

### 2.2.2.1 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-1992 ukuran butiran agregat halus (pasir) diklasifikasikan berdasarkan ukuran butiran menjadi 4 zona yaitu, zona I (kasar), zona II (agak kasar), zona III (agak halus) dan zona IV (halus), seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

*Tabel 2.1 Batas – batas gradasi agregat halus menurut SNI 03-2834-1992*

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan			
	Gradasi Zona I	Gradasi Zona II	Gradasi Zona III	Gradasi Zona IV
9,60 mm	100	100	100	100
4,80 mm	90 - 100	90 - 100	90 - 100	90 - 100
2,40 mm	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,20 mm	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,60 mm	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30 mm	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15 mm	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Syarat - Syarat agregat halus menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F adalah sebagai berikut:

1. Agregat halus harus terdiri dari butir – butir yang tajam dan keras dengan indeks kekerasan 2.2
2. Butir – butir agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
3. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat.  
Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.  
Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
4. Kadar Lumpur tidak boleh melebihi 5 % dari berat pasir, apabila kadar lumpur melebihi 5 % maka pasir sebelum digunakan harus dicuci terlebih dahulu.
5. 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.

6. 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.
7. Untuk beton dengan tingkat keawetan yang tinggi reaksi pasir terhadap alkali harus negatif.
8. Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton kecuali dengan petunjuk – petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan – bahan yang diakui.
9. Agregat halus yang digunakan untuk maksud spesi plesteran dan spesi terapan harus memenuhi persyaratan diatas.

#### 2.2.2.2 Agregat Kasar

Umumnya campuran beton yang menggunakan agregat kasar berupa batu pecah (split) akan menghasilkan kualitas beton yang lebih baik dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat kasar alami (kerikil), karena batu pecah memiliki permukaan bersudut sehingga akan saling mengisi/mengunci pada saat dipadatkan.

Batasan agregat kasar yang baik untuk ukuran butir agregat menurut SNI 02-2384-1992 ditunjukkan pada tabel dibawah.

*Tabel 2.2 Batas – batas gradasi agregat kasar menurut SNI 02-2384-1992*

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 19 mm
38 mm	90 - 100	100
19 mm	35 - 70	90 - 100



9,6 mm	10 – 40	50 - 85
4,8 mm	0 - 5	1 - 10

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia perlu pengujian terhadap keausan. Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan dengan tabel berikut.

*Tabel 2.3 Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar*

<b>Kekuatan Beton</b>	<b>Maksimum bagian yang hancur dengan mesin Los Angeles</b>
	Lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10MPa)	50
Kelas II (10MPa-20MPa)	40
Kelas III (diatas 20MPa)	27

Agregat kasar yang akan dipakai untuk membuat campuran beton harus memenuhi persyaratan menurut SK SNI S – 04 – 1989 – F antara lain sebagai berikut:

1. 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 penguji Rudolff dengan beban penguji 20 ton.
2. Agregat yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya.
3. Butir – butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti matahari dan hujan.
4. Sifat kekal, diuji dengan larutan garam sulfat
5. Jika dipakai Natrium Sulfat, bagian hancur maksimum 12 %.
6. Jika dipakai Magnesium Sulfat, bagian hancur maksimum 10 %.
7. Tidak boleh mengandung bahan yang reaktif terhadap alkali .
8. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (terhadap berat kering) dan apabila mengandung lebih dari 1%, agregat kasar tersebut harus dicuci.

9. 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 :
  - a. Sisa diatas ayakan 38 mm harus maksimum 0% berat.
  - b. Sisa diatas ayakan 4.8 mm harus berkisar antara 90 dan 98 % berat.
  - c. Selisih antara sisa – sisa kumulatif diatas 2 ayakan berurutan adalah maksimum 60% dan minimum 100%.

### 2.2.3 Air

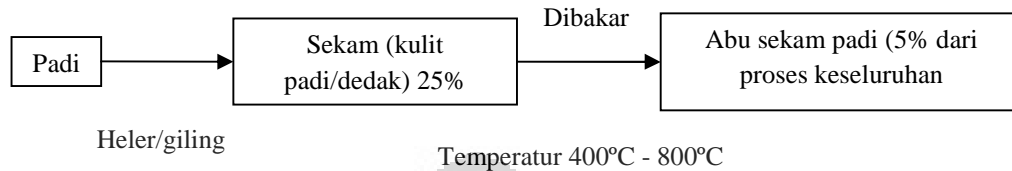
Penggunaan air pada campuran beton berfungsi agar terjadi proses hidrasi yaitu proses reaksi kimiawi antara semen dengan air. Penggunaan air pada campuran beton harus memenuhi syarat – syarat antara lain:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung lumpur, minyak, benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
3. Tidak mengandung benda – benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung garam – garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam – asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
5. Bila air meragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya menurut pemakaiannya.

### 2.2.4 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi atau *Rice Husk Ash* (selanjutnya disebut RHA) merupakan hasil pembakaran sekam atau kulit padi. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan terbesar dalam RHA adalah silikat. Penambahan RHA pada campuran beton dimaksudkan agar meningkatkan kekuatan beton melalui reaksi antara silika ( $\text{SiO}_2$ ) pada ASP dengan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada beton. Selain itu penggunaan RHA juga untuk mengurangi jumlah pamaiakan semen.

Abu sekam padi diperoleh dengan menghaluskan abu sekam sampai lolos saringan 200. Sekam padi yang sudah dihaluskan tersebut dibakar sampai temperatur 400° – 800° C sesuai dengan kemampuan tungku sehingga menjadi abu sekam padi. Proses pembuatannya dapat digambarkan pada diagram berikut:



Gambar 2.1. Proses pembuatan abu sekam padi

Analisis kimia yang dilakukan laboratorium material Universitas Indonesia pada abu sekam padi menunjukkan kandungan silika oksida yang tinggi seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

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

### 2.2.5 Limbah Adukan Beton

Limbah adukan beton (*Concrete Sludge Waste*) yang kemudian disebut dengan CSW adalah limbah dari sisa adukan beton yang berasal dari pencucian truck mixer, limbah dari pencucian ini masih berupa lumpur yang masih mengandung bahan campuran beton.



*Gambar 2.2 Bak penampungan limbah adukan beton masih berupa lumpur.*

Lumpur kemudian diendapkan dan dipisahkan dari genangan air menjadi bongkahan limbah yang sudah mengeras. Setelah diambil dari tempat pembuangan CSW kemudian dikeringkan dan digiling/abrasi untuk mendapatkan ukuran butiran yang diperlukan.



*Gambar 2.3 Proses pengangkutan dan pengeringan CSW.*

Limbah yang telah kering kemudian di ayak menggunakan ayakan 3/16 untuk mendapatkan ukuran standar agregat halus.



*Gambar 2.4 Proses pengayakan CSW.*

Pada penelitian ini limbah beton digunakan sebagai agregat halus untuk mengurangi penggunaan pasir.

Dari hasil analisis yang dilakukan di laboratorium kimia Universitas Indonesia CSW memiliki kandungan kimia seperti pada tabel berikut:

*Tabel 2.5 Kandungan Senyawa Kimia CSW*

No	Senyawa	Persentase (%)
1	MgO	1,82
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,56
3	SiO <sub>2</sub>	35,57
4	S	0,57
5	K <sub>2</sub> O	0,71
6	CaCO <sub>3</sub>	48,07
7	TiO <sub>2</sub>	0,59
8	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11
9	MnO <sub>2</sub>	0,19
10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,75

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian langsung di laboratorium sesuai dengan data – data yang dibutuhkan dan mengacu standar SNI dan ASTM.

Sampel yang dibuat adalah beton keras dengan menggunakan campuran semen dan RHA agregat halus (pasir dan CSW) dan agregat kasar yang mengacu 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 bahan RHA dan CSW sebagai berikut:

- a. 25 % Bahan pengikat hidrolis dengan komposisi 92 % semen (PCC) dan 8 % RHA.
- b. 25 % 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
- c. 50 % Agregat Kasar (100 % screened split 10 – 15 mm)

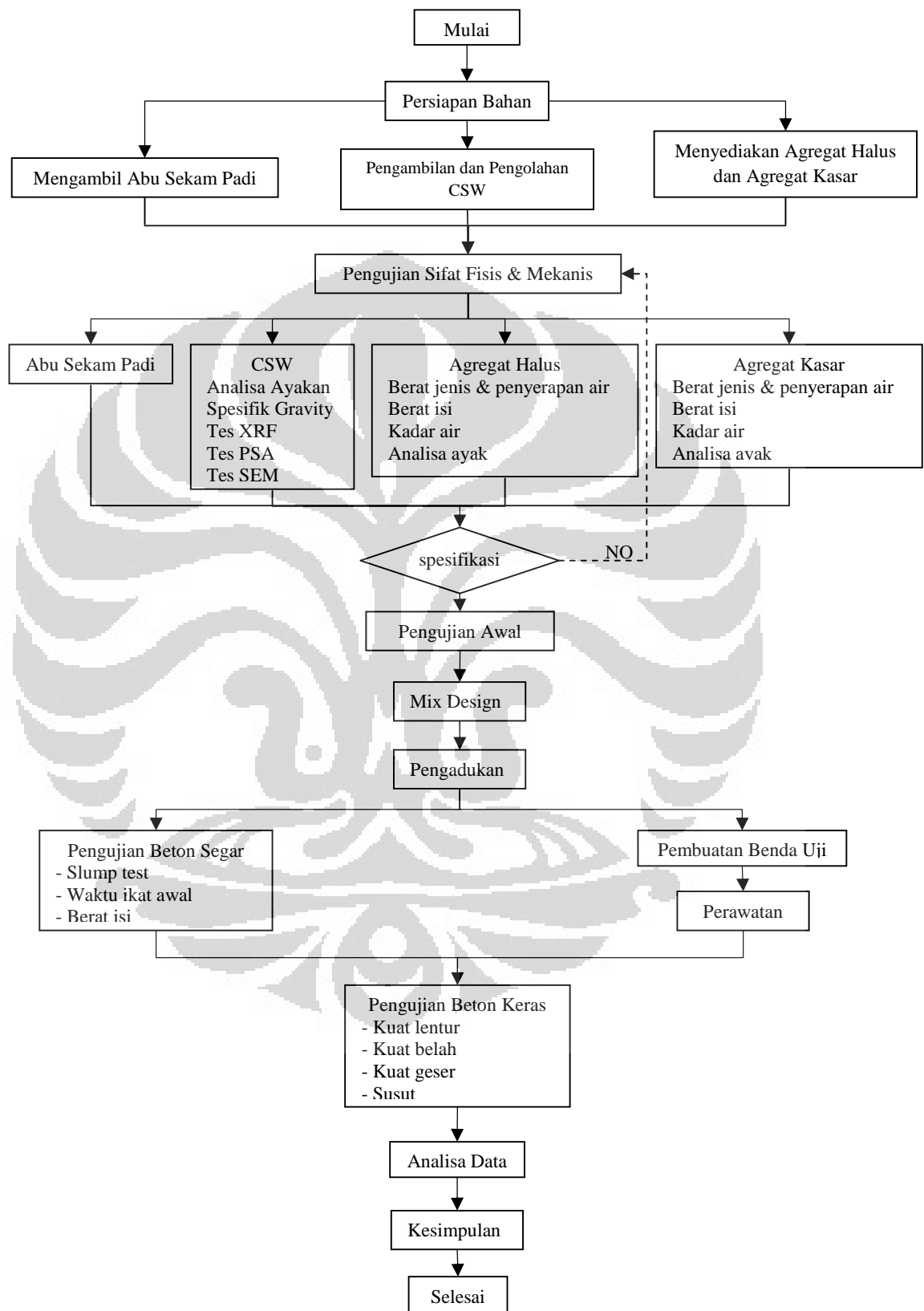
#### A. Bahan

1. Agregat kasar : Batu pecah (split) ukuran 10-15 mm
2. Agregat halus : Pasir dan CSW
3. Semen : Semen PCC merk Tiga Roda
4. Abu sekam padi : RHA produksi PT. Hakiki
5. Air

#### B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di laboratorium material jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok

### 3.2. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.3. Pengujian Agregat Halus

#### 3.3.1 Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dan prosentase air yang dapat diserap oleh agregat halus. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus ini mengacu pada SNI 03-1970-90.

##### 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 ke dalam 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

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

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

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

$$\text{d. Penyerapan air} = \frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\%$$

### 3.3.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi dan voids pada agregat kemudian dibandingkan dengan spesifikasi. Pengujian ini mengacu pada peraturan ASTM C 29M-91a.

#### 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 dioven 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 ( $W3 = W2 - W1$ ).

##### 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

$$\text{Berat Isi Lepas} = \frac{W_3}{V}$$

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

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

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 Uji Analisa Ayak Agregat Halus

Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk menentukan pembagian butir/gradasi agregat dengan menggunakan saringan. Pengujian ini selain dilakukan untuk pasir, digunakan juga untuk pengujian limbah adukan beton (CSW). Pengujian analisa ayak agregat halus ini berdasarkan peraturan ASTM C 136-01.

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
- b. Satu Set Saringan
- c. Oven untuk memanaskan bahan
- d. Alat pemisah contoh
- e. Talam

- f. Kuas, sikat halus, sikat kuningan
  - g. Sendok dan alat-alat lainnya
2. Ukuran Saringan
    - a. Ukuran maksimum no.4 : berat minimum 500 gram.
    - b. Ukuran maksimum no.8 : berat minimum 100 gram
  3. Prosedur Pengujian

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

4. Perhitungan

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

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

### 3.3.4 Uji Kadar Air Agregat Halus

Pengujian uji kadar air pada penelitian ini menggunakan acuan SNI 03-1971-90 yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar air yang dikandung oleh agregat halus, membandingkan kadar air dan penyerapan air pada agregat halus 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 butiran maksimum sesuai dengan daftar di bawah ini:

Tabel 3.1 Ukuran Butiran Maksimum Agregat Halus

Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh	Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh
mm	inch	kg	mm	inch	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 Pengujian

Timbang berat talam kosong (W1), masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang (W2). Hitung berat benda uji (W3) = (W1)-(W2) keringkan benda uji beserta talam ke dalam oven dengan suhu 110±5°C sampai berat tetap. Timbang benda uji beserta talam (W4). Hitung berat benda uji kering (W5)=(W4)-(W1).

### 4. Prosedur Pengujian

$$\text{Kadar Air Agregat} = \frac{W3-W5}{W5} \times 100\%$$

### 3.3.5 Uji Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur agregat halus bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar lumpur pada agregat halus. Prosedur pengujian ini berdasarkan persyaratan dari ASTM C 117-95.

#### 1. Peralatan

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

## 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 talem 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.

W2 = Berat agregat di atas saringan nomor 200 dan nomor 16

## 3.4. Pengujian Agregat Kasar

### 3.4.1 Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah mengacu pada ASTM C127-01 yang bertujuan 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  $(110 \pm 5)$  oC.
- 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

- 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 oC 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 (BJssd).
- 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. Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) =  $\frac{Bk}{Bssd - Ba}$
- b. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*SSD*) =  $\frac{Bssd}{Bssd - Ba}$
- c. Berat Jenis Semu (*Apparent Surface Dry*) =  $\frac{Bk}{Bk - Ba}$
- d. Penyerapan Air (*Absorption*) =  $\frac{Bssd - Bk}{Bk} \times 100\%$

Keterangan:

Keterangan :

BK = Berat benda uji kering oven (gr).

Bssd = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr).

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr).

#### 3.4.2 Berat Isi dan Porositas Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat isi dan voids pada agregat dan membandingkan dengan spesifikasi. Metode yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada standar ASTM C29M-91a.

##### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr.
- b. Talam dengan kapasitas besar.
- c. Tongkat pemadat diameter 15 mm dan panjang 60 cm.
- d. Mistar perata (straight edge).
- e. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang.

##### 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 ( $W3 = W2 - W1$ ).

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 (W4). Kemudian dihitung berat benda uji ( $W5 = W4 - W1$ ).

4. Perhitungan

a. Berat isi agregat lepas =  $\frac{W_3}{V}$

b. Berat isi agregat padat =  $\frac{W_5}{V}$

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

Keterangan:

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

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

V = Volume Tabung Silinder (lt)

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

M = Berat Isi Agregat (Kg/lit)

W = *Density* (kerapatan) air = 998 kg/lit = 0,998 gr/lit.

### 3.4.3 Uji Analisa Ayak Agregat Kasar

Metode analisa ayak yang digunakan dalam pengujian ini mengacu pada ASTM C 135-95a yang bertujuan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat dengan menggunakan saringan.

#### 1. Peralatan

- a. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr.
- b. Satu set saringan.
- c. Oven.
- d. Talam.
- e. Kuas dan sikat halus.
- f. Sendok dan alat-alat lain.

#### 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 Pengujian

Benda uji dikeringkan ke dalam oven dengan suhu  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap. Timbang sesuai dengan berat yang disyaratkan. Susun saringan dan letakkan pan dibagian paling bawah. Masukkan agregat ke dalam saringan dan tutup. Masukkan satu set saringan pada mesin penggetar dan dijalankan selama  $\pm 15$  menit. Timbang berat agregat pada masing – masing saringan.

#### 4. Perhitungan

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

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

### 3.4.2 Uji Kadar Air Agregat Kasar

Metode pengujian kadar air agregat kasar ini mengacu pada SNI 03-1971-90 yang bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar air yang terkandung oleh agregat kasar dan membandingkan dengan kadar air dan penyerapan airnya, serta 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 di bawah ini:

*Tabel 3.2 Banyaknya Benda Uji Berdasarkan Ukuran Butir Maksimum Agregat Halus*

Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh	Ukuran Butir Maksimum		Berat Contoh
mm	inch	kg	mm	inch	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 Pengujian

Timbang berat talam kosong (W1), masukkan benda uji ke dalam talam kemudian timbang (W2). Hitung berat benda uji (W3) = (W1)-(W2) keringkan benda uji beserta talam ke dalam oven dengan suhu 110±5°C sampai berat tetap. Timbang benda uji beserta talam (W4). Hitung berat benda uji kering (W5)=(W4)-(W1).

#### 4. Perhitungan

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

### 3.5. Pengujian Beton Segar

#### 3.5.1 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian ini mengacu pada SK SNI T-15-1990-03. Data – data yang dibutuhkan pada perancangan campuran beton meliputi jenis semen, jenis agregat kasar dan agregat halus, gradasi dan besar butiran maksimum. Pengadukan bahan untuk campuran beton dilakukan dengan cara perbandingan dengan cara mengkonversi satuan berat bahan dengan nilai berat isinya. Banyaknya bahan untuk pengadukan tergantung dari volume sampel yang akan dibuat, serta banyaknya pengujian yang akan dilakukan.

##### 1. Peralatan

- a. Mesin pengaduk beton
- b. Timbangan kapasitas 100 kg dengan ketelitian 100 gr
- c. Ember besar
- d. Alat penakar bahan
- e. Satu set alat pengujian slump
- f. Satu set alat pengujian berat isi
- g. Satu set alat pengujian waktu pengikatan
- h. Cetakan silinder
- i. Cetakan balok

##### 2. Bahan

- a. Agregat Halus

Dilakukan pengecekan kebutuhan campuran 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 dan abu sekam padi

Dilakukan pengecekan takaran berat semen dan kondisi fisik semen. Cek apakah semen yang disyaratkan masuk ke dalam persyaratan dan spesifikasi. Cek komposisi campuran semen dan abu sekam padi.

d. Air

Menyiapkan jumlah kebutuhan air yang akan digunakan sesuai dengan jumlah air yang direncanakan.

3. Prosedur

Timbang dan takar semua bahan yang akan diaduk. Siapkan peralatan dan mesin pengaduk yang akan dipakai. Nyalakan mesin pengaduk, sambil mesin pengaduk berjalan masukkan agregat kasar dan agregat halus kemudian masukkan campuran semen dan abu sekam padi dan diikuti air lakukan pengadukan hingga semua bahan merata. Setelah selesai pengadukan, lakukan pengujian slump pada campuran beton dilanjutkan dengan pengujian berat isi dan waktu pengikatan.

Untuk pembuatan sampel beton keras, masukkan campuran beton ke dalam yang telah diolesi dengan bahan pelumas. Sampel dimasukkan kedalam cetakan dalam tiga lapis, setiap lapis dipadatkan 25 kali. Kemudian permukaannya diratakan dengan mistar perata. Beri tanda pada setiap benda uji. Simpan di tempat perawatan atau curing tank atau di tempat teduh dan lembab. Jika udara panas sampel ditutup dengan karung lembab.

### 3.6.2 Pengujian Slump

Metode yang digunakan dalam pengujian slump pada beton segar menggunakan SNI 03-1972-90 yaitu sebagai berikut:

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

## 2. Prosedur Pengujian

Lumasi bagian dalam alat slump dengan kain basah agar alat tidak menyerap air dari benda uji. Kemudian alat slump diletakan di tempat datar atau landasan yang sudah disiapkan. Tahan kerucut terpancung dengan cara menekannya pada bagian atas agar tidak terangkat pada saat beton dimasukkan. Selanjutnya beton dimasukkan dalam tiga lapisan. Setiap lapisan dipadatkan dengan batang pemadat sebanyak 25 kali. Ratakan permukaan atas kerucut dengan menggeserkan batang pemadat secara mendatar. Bersihkan beton yang menempel pada alat slump. Angkat vertikal keatas kerucut abrams. Kemudian bandingkan tinggi cetakan dengan tinggi beton, catat hasil pengukuran.

### 3.6.3 Pengujian Berat Isi Beton

Metode yang digunakan pada pengujian ini mengacu pada standar ASTM C 138-92 yaitu sebagai berikut:

#### 1. Peralatan

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

#### 2. Prosedur Pengujian

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 pemadat, nilai slump antara 25 – 75 mm dengan tongkat atau vibrator, dan nilai slump kurang dari 25 mm harus dengan vibrator. Kemudian menimbang tabung silinder (A) gram, dan volumenya diukur. Pengukuran volume dapat diperoleh dengan cara diukur biasa atau diisi dengan air. Dengan

cara diisi air yaitu tabung diletakkan di atas timbangan yang datar, dan memasukkan air ke dalam tabung sampai penuh, lalu catat beratnya (B) gram. Volume tabung dapat dihitung dengan cara mengkonversi berat air dengan berat isi air (= 1 Kg/Liter), jadi volume tabung adalah (B) – (A) (Liter).

masukkan beton segar ke dalam tabung padatkan beton dengan aturan sebagai berikut:

Pemadatan dengan tongkat pemadat dilakukan dengan cara memasukkan beton segar ke dalam tabung dalam tiga lapisan yang sama volumenya. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali, untuk tabung berukuran kurang dari 14 liter. Sedangkan yang berukuran lebih dari 28 liter banyaknya pemadatan 50 kali per lapis. Kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat secara saling silang. Pada lapis pertama pemadatan sampai lapis bawah, tapi jangan sampai dasar tabung, pada lapis kedua dan ketiga, tongkat pemadat harus masuk sedalam 25 mm pada lapis dibawahnya.

Pemadatan memakai vibrator dilakukan dengan cara mengisi tabung dengan beton dalam dua lapisan yang sama. Beton lapis pertama diisi, kemudian menyalakan vibrator, dan menyusukkannya 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 dibawahnya. 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 (C) gram.

#### **3.6.4 Pengujian Waktu Ikat Awal**

Pengujian waktu ikat awal pada penelitian ini menggunakan metode ASTM C 403M-95 yang bertujuan untuk menentukan nilai waktu ikat awal beton segar,

mencari hubungan waktu ikat awal beton dengan suhu pada waktu pengujian dan mencari hubungan waktu ikat awal dengan penambahan bahan tambah.

1. Peralatan
  - a. Penetrometer
  - b. Stop watch
  - c. Cetakan kubus atau silinder
  - d. Saringan 2.36 mm
  - e. Skop baja
  - f. Alat pemadat
  - g. Mistar perata
2. Prosedur Pengujian

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



### 3.6. Pengujian Beton Keras

Pengujian beton keras yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian kuat tarik lentur, pengujian kuat tarik belah, pengujian modulus elastisitas dan pengujian permeabilitas.

#### 3.6.1 Pengujian Kuat Tarik Lentur

Pengujian kuat tarik lentur pada penelitian ini mengacu pada peraturan ASTM C 293-00 dengan benda uji berbentuk balok dengan panjang 70 cm lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. Langkah – langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Peralatan
  - a. Testing Machine, dapat dioperasikan dengan pompa tangan atau pompa elektrik.

2. Prosedur Pengujian

Siapkan benda uji beton berbentuk balok, lap permukaan agar kering, beri nomor pada masing – masing benda uji. Lakukan pengukuran panjang, lebar dan tinggi, catat panjang benda uji yang akan di tes. Pasang peralatan untuk pengujian lentur, atur jarak dua steel rod pada bagian bawah, catat jarak kedua steel rod. Letakkan benda uji di atas dua steel rod tersebut, pasang steel rod lainnya pada bagian atas mesin tekan, atur jarak steel rod bagian atas harus terletak di tengah- tengah benda uji. Atur jam penunjuk sampai menunjukkan angka 0. Jalankan mesin tekan, dan catat beban maksimum yang terjadi.

#### 3.6.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dalam penelitian ini mengacu pada peraturan ASTM C 496-04 adapun langkah – langkah pengujiannya sebagai berikut:

1. Peralatan
  - a. Mesin kuat tekan
  - b. Timbangan kapasitas 25 kg dengan ketelitian 0,01 kg
  - c. Alat perletakan benda uji *Auxiliary Platen Assembly*
2. Peosedur Pengujian

Pengujian kuat tarik belah dilakukan dengan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang telah berumur 28, 56 dan 90 hari. Benda uji diletakkan dengan alat *Auxiliary Platen Assembly* kemudian ditekan dengan menggunakan mesin tekan sampai mencapai beban maksimum.

### 3.6.3 Pengujian Kuat Geser

Sampel yang digunakan untuk melakukan uji geser langsung belum memiliki standar secara umum, namun merujuk pada penelitian-penelitian yang pernah dilakukan. Penelitian geser langsung ini pernah dilakukan oleh Mattock dan Walraven. Sampel "*push-off specimen*" Mattock dan Walraven dianggap cukup representatif untuk uji geser langsung sehingga pada penelitian-penelitian selanjutnya tentang uji geser langsung banyak menggunakan jenis sampel ini. Sampel yang digunakan dalam penelitian terdahulu adalah sampel geser penampang *double-L*.

Sampel geser *double-L* memiliki ukuran 30 cm x 20 cm x 7,5 cm. Penampang diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos SNI bediameter 8 mm. Selimut beton yang digunakan adalah 20 mm sehingga diharapkan agregat dapat terdistribusi merata.

#### 1. Prosedur Pengujian

- a. Siapkan benda uji geser *double-L* (30 cm x 20 cm x 7.5 cm) yang akan diuji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
- b. Melakukan penimbangan benda uji *double-L* sebelum dilakukan pengujian.
- c. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris.
- d. Menjalankan mesin uji tekan beton.
- e. Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
- f. Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji *double-L*.

### 3.6.4 Pengujian Susut

Benda uji yang digunakan untuk pengujian susut mengacu pada standar ASTM C 490-93a berbentuk balok pesegi panjang dengan ukuran 10x10x27 cm, sebanyak 5 buah untuk masing – masing variasi campuran. Prosedur pengujian pada pengujian adalah:

1. Peralatan
  - a. Length Comparator
  - b. Dial dengan ketelitian 0,001 mm

2. Prosedur Pengujian

Pengukuran awal dilakukan setelah benda uji berumur  $24 \pm 0,5$  jam, pasang benda uji pada length comparator. Baca angka pada micrometer sebagai bacaan awal. Lakukan pengamatan susut setiap 5 menit dalam 24 jam, kemudian lanjutkan pengamatan setiap 30 menit selama 24 jam. Pastikan length comparator dijaga agar tetap pada posisi ukur yang sama, dan tidak berubah. Lakukan pengukuran perubahan panjang setiap hari selama umur 28 hari.

3. Perhitungan

Perubahan panjang dinyatakan dalam persen terhadap benda uji

$$\text{Perubahan panjang} = \frac{(L_1 - L_0) \times \text{Skala dial (mm)}}{\text{panjang benda uji (mm)}} \times 100 \%$$

Dimana:

L1 = Pembacaan length comparator pada tiap umur pengujian.

L0 = pembacaan length comparator pada umur 24 jam.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

#### 4.1. Hasil Pengujian Pendahuluan

Sebelum melakukan pengujian sifat mekanik beton, dilakukan pengujian pendahuluan yang meliputi pengujian pada agregat halus, agregat kasar, CSW dan RHA, adapun hasil pengujiannya antara lain:

##### 4.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

###### 4.1.1.1 Berat jenis dan Penyerapan Air

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat SSD (Bj)	gr	500	500	500
Berat Pic + Air (B)	gr	700	700	700
Berat Pic + Air + Agr (Bt)	gr	968	973	970,50
Berat Kering Oven (Bk)	gr	475	484	479,50
$BJ\ Bulk = Bk / (B + Bj - Bt)$		2,047	2,132	2,0895
$BJ\ SSD = Bj / (B + Bj - Bt)$		2,155	2,203	2,179
$BJ\ Semu = Bk / (B + Bk - Bt)$		2,295	2,294	2,2945
$Penyerapan\ Air = (Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	%	5,26%	3,31%	4,28%

Dari hasil uji berat jenis didapat berat jenis SSD didapatkan nilai berat jenis rata-rata sebesar 2,179 nilai ini dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 sampai 2,7. Sedangkan nilai yang didapatkan dari uji penyerapan air adalah 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.

###### 4.1.1.2 Berat Isi

Pada pengujian berat isi agregat halus dilakukan dua pengujian, yaitu berat isi lepas dan berat isi padat.

### 1. Berat Isi Lepas

Dari hasil pengujian berat isi lepas didapatkan nilai pengujian pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
Berat Silinder + Agr (W2)	gr	17585	17524	17554,50
Berat Agregat (W3)	gr	12541	12480	12510,50
Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	9401,17	9401,17	9401,17
Berat Isi Lepas = W3/V	gr/cm <sup>3</sup>	1,334	1,327	1,331
Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	38,66	38,98	38,82
Voids Rata-Rata	%		38,82	

Dari tabel diatas diketahui berat isi lepas rata – rata adalah 1,331 gr/cm<sup>3</sup>, nilai tersebut masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm<sup>3</sup> ( SII No.52-1980 ). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 38,82%.

### 2. Berat Isi Padat

*Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
Berat Silinder + Agr (W2)	gr	18500	18435	18467,50
Berat Agregat (W3)	gr	13456	13391	13423,50
Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	9401,17	9401,17	9401,17
Berat Isi Padat = W3/V	gr/cm <sup>3</sup>	1,431	1,424	1,4275
Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	34,20	34,52	34,36
Voids Rata-Rata	%		34,36	

Dari tabel diatas didapatkan nilai berat isi padat rata – rata sebesar 1,4275, nilai ini masih berada pada batas yang diijinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm<sup>3</sup> ( SII No.52-1980 ). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 34,36%.

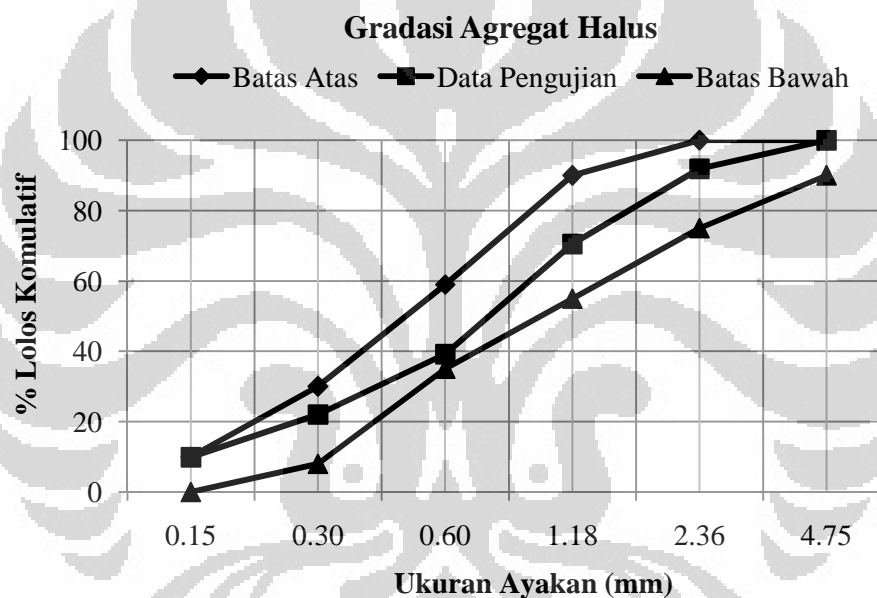
#### 4.1.1.3 Analisa Ayak

Pada pengujian analisa ayak agregat halus didapatkan nilai seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.4 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	-	-	-

Dari data pengujian di atas dapat digambarkan pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Pada Zona 2 (SK SNI S-04-1989-F)

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

$$FM = \frac{90,1 + 77,98 + 60,81 + 29,49 + 8,08}{100} = \frac{266,46}{100} = 2,665$$

Dari hasil pengujian analisa ayak agregat halus diperoleh nilai FM sebesar 2,66% nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu antara 1,5 sampai dengan 3,8%.

#### 4.1.1.4 Kadar Air

Hasil pengujian kadar air pada agregat halus dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat	Gr	500	500	500
Berat Kering Oven	Gr	437,5	442,5	440
Kadar Air	%	14,286	12,994	13,64

Dari hasil pengujian kadar air pada agregat halus didapatkan nilai rata rata kadar air sebesar 13,64% nilai ini lebih besar dibandingkan nilai penyerapan airnya yaitu 4,28%, maka untuk mencapai SSD air dalam campuran beton harus dikurangi sebesar  $(13,64\% - 4,28\%) = 9,36\%$  dari berat agregat halus.

#### 4.1.1.5 Kadar Lumpur

Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus*

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

Dari hasil uji kadar lumpur pada agregat halus didapatkan nilai prosentase kadar lumpur rata-rata sebesar 3,96%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimum 5% (SK SNI S-04-1989-F) sehingga agregat tidak perlu dicuci sebelum pengadukan.

## 4.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

### 4.1.2.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat SSD (Bj)	gr	5035	5055	5045
Berat dalam Air (Ba)	gr	3062	3083	3072,50
Berat Kering Oven (Bk)	gr	5002	5000	5001
BJ Bulk = $Bk/(Bj - Ba)$		2,54	2,54	2,54
BJ SSD = $Bj/(Bj - Ba)$		2,55	2,56	2,56
BJ Semu = $Bk/(Bk - Ba)$		2,58	2,61	2,59
Penyerapan Air = $(Bj - Bk)/Bk \times 100\%$	%	0,66	1,10	0,88

Dari tabel di atas didapatkan nilai berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,56 sehingga agregat ini dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilai berat jenisnya masuk ke dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 sampai dengan 2,7.

Dari hasil pengujian penyerapan air didapatkan nilai 0,88% angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering permukaan sebesar 0,88% dari berat kering agregat itu sendiri.

### 4.1.2.2 Berat Isi

Pada pengujian berat isi agregat kasar dilakukan dua pengujian, yaitu berat isi lepas dan berat isi padat.

#### 1. Berat Isi Lepas

Dari hasil pengujian berat isi lepas didapatkan nilai pengujian pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Kasar*

Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
Berat Silinder + Agr (W2)	gr	17585	17524	17555
Berat Agregat (W3)	gr	12541	12480	12511
Volume Silinder (V)	cm <sup>3</sup>	9401,17	9401,17	9401,17
Berat Isi Lepas = $W3/V$	gr/cm <sup>3</sup>	1,334	1,327	1,331



Void = $[(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\%$	%	47,38	47,63	47,50
Voids Rata-Rata	%		47,50	

Dari tabel diatas didapatkan nilai berat isi lepas agregat kasar rata-rata sebesar  $1,331 \text{ gr/cm}^3$  nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu minimal  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  (SII No.52-1980). Sedangkan nilai voids yang didapatkan sebesar 47,50%.

## 2. Berat Isi Padat

Dari hasil pengujian berat isi padat pada agregat kasar didapatkan nilai pengujian pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
Berat Silinder + Agr (W2)	gr	18500	18435	18468
Berat Agregat (W3)	gr	13456	13391	13424
Volume Silinder (V)	$\text{cm}^3$	9401,17	9401,17	9401,17
Berat Isi Padat = $W3/V$ (M)	$\text{gr/cm}^3$	1,43	1,42	1,425
Void = $[(S \times W) - M] / (S \times W) \times 100\%$	%	43,54	43,81	43,67
Voids Rata-Rata	%		43,67	

Dari tabel diatas didapatkan nilai berat isi padat agregat kasar rata-rata sebesar  $1,425 \text{ gr/cm}^3$  nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu minimal  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  (SII No.52-1980). Sedangkan nilai voids yang didapatkan sebesar 43,67%.

### 4.1.2.3 Analisa Ayak

Dari hasil analisa ayak pada agregat kasar dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Kasar

Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	% Berat Tertahan	% Tertahan Kumulatif	% Lolos Kumulatif	Spesifikasi Zona 2
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

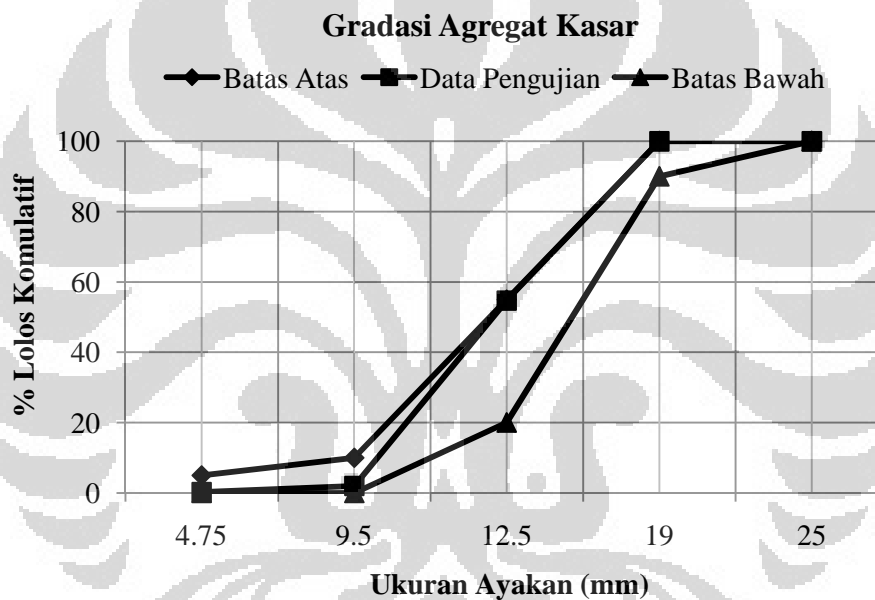
4,75	1317	52,72	98,00	2,00	0 - 5
2,36	44	1,76	99,76	0,24	-
Pan	6	0,24	100	0,00	0
Jumlah	2498		-	-	-

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

$$FM = \frac{100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 99,76 + 98,00 + 45,28 + 0,52}{100}$$

$$= \frac{743,56}{100} = 7,44$$

Dari data pengujian di atas dapat digambarkan pada grafik di bawah ini:



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

Dari hasil pengujian analisa ayak agregat kasar didapatkan nilai FM sebesar 7,44%. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan ASTM C 33-93 yaitu berkisar antara 6 sampai dengan 7%.

#### 4.1.2.4 Kadar Air

Dari hasil pengujian kadar air agregat kasar didapatkan nilai seperti terlihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.11 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar*

Pengukuran	Satuan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat	gr	1000	1000	1000
Berat Kering Oven	gr	986	985	985,5
Kadar Air	%	1,42	1,523	1,471

Dari tabel diatas nilai kadar air rata-rata pada agregat kasar adalah sebesar 1,471% nilai ini lebih besar dari nilai penyerapan air yaitu 0,88% maka dapat dikatakan bahwa agregat berada dalam keadaan basah.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Sifat Agregat CSW

##### 4.1.3.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air CSW

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan pada CSW dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 4.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air CSW*

Pengukuran	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat Agregat SSD (gram)	500	500	500
Berat Agregat+Air+Picnometer (gr)	944	948.5	946.25
Berat Agregat Kering Oven (gr)	482	470	476
Berat Piknometer+ Air (gr)	643	646	644.5
Berat Jenis	2.422	2.380	2.401
Berat Jenis SSD	2.513	2.532	2.522
Berat Jenis Semu	2.663	2.806	2.732
Penyerapan Air (%)	3.734	6.383	5.042

Dari hasil pengujian berat jenis didapatkan nilai berat jenis SSD CSW sebesar 2.522 yang dapat dikategorikan sebagai agregat normal, yaitu suatu agregat yang mempunyai berat jenis antara 2.400 – 2.900. Sedangkan dari hasil pengujian penyerapan air didapatkan nilai penyerapan air pada CSW sebesar 5.042 % melebihi batas maksimal prosentase penyerapan air sebesar 3 %.

#### 4.1.3.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Berat Isi Padat CSW

Hasil pengujian berat isi lepas dan berat isi padat pada CSW dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Berat Isi Padat CSW

Keterangan	Sampel 1 (gram)	Sampel 2 (gram)
W1	1039	1039
W2	3173	3175
W3 (Berat Isi Lepas)	2134	2136
W4	3523	3522
W5 (Berat Isi Padat)	2484	2483
Berat Isi Lepas Rata-rata		2135
Berat Isi Padat Rata-rata		2483.5
Faktor W5 terhadap W3		1.163

Keterangan:

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 nilai berat isi lepas yaitu 2135 gram, sedangkan berat isi padat diperoleh 2483.5 gram, dengan demikian berat isi padat 1.163 kali lebih padat terhadap berat isi lepas CSW.

#### 4.1.3.3 Hasil Pengujian Analisa Ayak CSW

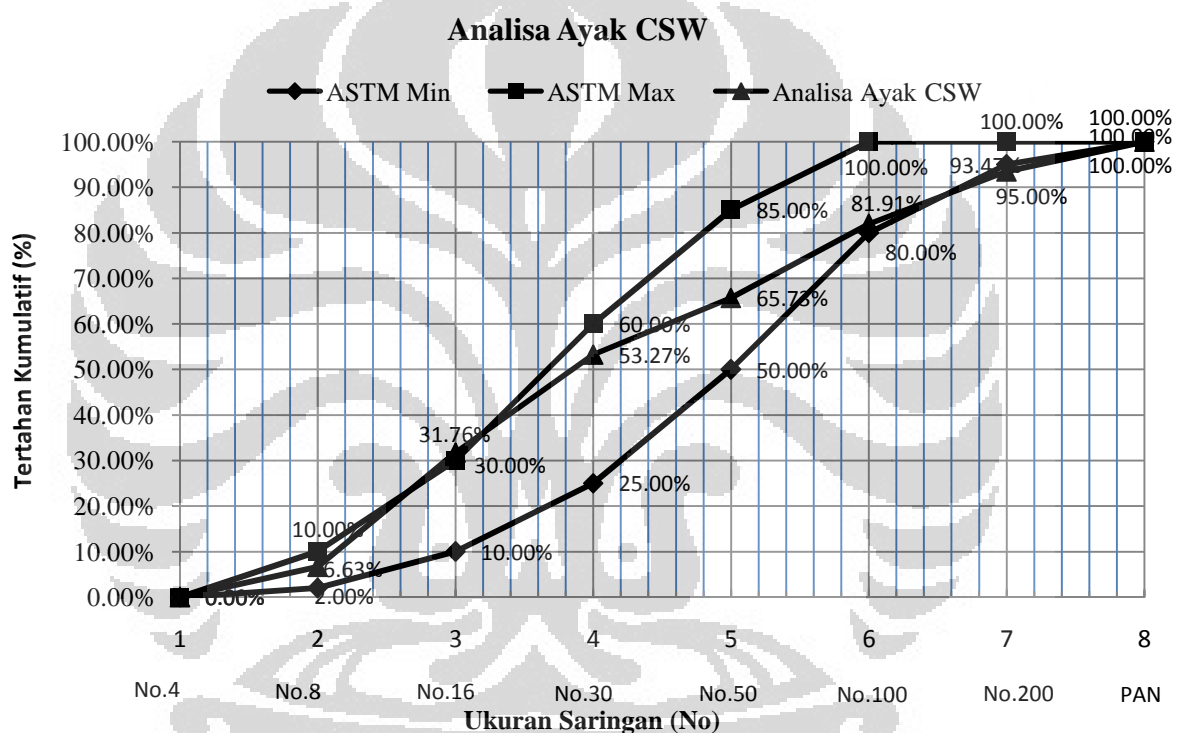
Dari hasil pengujian analisa ayak CSW didapatkan data nilai rata-rata tertahan kumulatif yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Analisa Ayak CSW

Ukuran Saringan (No)	Tertahan	Rata-Rata		Persen Kumulatif Tertahan ASTM	
		Kumulatif	Lolos Kumulatif	Min	Max
4	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
8	6.53%	6.53%	93.47%	95.00%	100.00%

16	11.56%	18.09%	81.91%	80.00%	100.00%
30	16.18%	34.27%	65.73%	50.00%	85.00%
50	12.46%	46.73%	53.27%	25.00%	60.00%
100	21.51%	68.24%	31.76%	10.00%	30.00%
200	25.12%	93.37%	6.63%	2.00%	10.00%
Pan	6.63%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Jumlah	100.00%	208.34%	FM	2.083	

Dari Tabel di atas dapat digambarkan dalam sebuah grafik analisa ayak CSW di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik Gradasi Analisa Ayak CSW

#### 4.1.3.4 Hasil Pengujian Kadar Lumpur CSW

Hasil pengujian laboratorium kadar lumpur pada CSW dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kadar Lumpur CSW

Keterangan	Sampel 1 (gram)	Sampel 2 (gram)
W1	441	445
W2	437.5	442.5
W3	861	876
W4	420	431
Kadar Lumpur	0.79 %	0.56 %
<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

Dari hasil pengujian kadar lumpur didapatkan nilai kadar lumpur rata-rata pada CSW yaitu sebesar 0.678 %.

#### 4.1.3.5 Hasil Pengujian Kadar Air CSW

Hasil pengujian kadar air pada CSW dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kadar Air CSW

Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
W1	214	1384
W2	714	1884
W3	500	500
W4	681	1850
W5	467	466
Kadar Air	6.60 %	6.80 %
<b>Kadar Air Rata-rata</b>	<b>6.70 %</b>	

Dari hasil pengujian kadar air didapatkan nilai kadar air rata-rata pada CSW yaitu sebesar 6.70 %.

## 4.2. Rancang Campur Kebutuhan Beton

### 4.2.1 Rancang Campur Beton Mutu Sedang

Hasil rancang campur (*mix design*) beton mutu sedang dilakukan dengan mengacu pada metode SNI 03-2834-2000. Adapun hasil dari mix design campuran beton mutu sedang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.17 Rancang Campur Beton Mutu Sedang

Uraian	Tabel/Grafik/ Perhitungan	Nilai
Kuat tekan yang diisyaratkan	Ditetapkan	35 MPa
Jenis Semen	Ditetapkan	Semen Portland Type I
Jenis Agregat : - Kasar - Halus	Ditetapkan	Batu Pecah Pasir Alam (Ex Cimangkok)
Faktor air semen bebas	Ditetapkan	0,45
Faktor air semen maksimum	Ditetapkan	0,45
Slump	Ditetapkan	60 - 180 mm
Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	20 mm
Kadar air Bebas	Lampiran 1.4 dari tabel 1.1	225 kg/m <sup>3</sup>
Kadar semen	9 : 5	225 kg/m <sup>3</sup> : 0,45 = 500 kg/m <sup>3</sup>
Kadar semen maksimum	Ditetapkan	-
Faktor air semen yang disesuaikan	Ditetapkan	-
Susunan besar butir agregat halus	Lampiran Grafik 1.3 s/d 1.6	Daerah Gradasi Susunan Butir 2 atau Zona II
Susunan agregat kasar atau gabungan	Lampiran Tabel 1.6, Grafik 1.7 s/d 1.12	-
Persen agregat halus	Lampiran Grafik 1.11	40%
Berat Jenis relatif Agregat	( % Ag.hls x Bj hls ) + ( % Ag.ksr x Bj ksr )	2,37 ~ 2,4
Berat Isi Beton	Grafik 1.13	2190 kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat gabungan	16 - 9 - 8	1465 kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat halus	14 x 17	586 kg/m <sup>3</sup>
Kadar agregat kasar	17 - 18	879 kg/m <sup>3</sup>

Dari tabel rancang campur diatas maka kebutuhan volume pekerjaan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.18 Rencana Volume Pekerjaan

Jenis Uji	Benda Uji	Ukuran (cm)				Jumlah Sampel	Volume Total
		p	l	t	Ø		
Kuat Tarik Belah	Silinder	-	-	30	15	15	0,397
Kuat Tarik Lentur	Persegi panjang	70	15	15	-	15	1,181
Kuat Geser	Dobel L	30	20	7,5	-	5	0,112
Susut	Pesegi Panjang	50	10	10	-	5	0,125

#### 4.2.2 Kebutuhan Bahan

Dari hasil mix design kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan bahan untuk sekali pengecoran dengan volume 0,04 m<sup>3</sup> sesuai dengan volume maksimum mesin pengaduk beton. Kebutuhan bahan untuk sekali pengecoran pada pengujian semua variasi campuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.19 Kebutuhan Bahan Semua Variasi Campuran Untuk Sekali Pengadukan

Kode	Komposisi Bahan (Kg)						Total (Kg)	
	Semen+RHA		Agregat Halus			Agregat Kasar		Air
	Semen (PCC)	RHA	Pasir	CSW				
	92%	8%	70%	30%				
CHWC-131	18,40	1,60	16,41	7,03	35,16	9,00	87,60	
CHWC-132	18,40	1,60	14,06	9,38	35,16	9,00	87,60	
CHWC-133	18,40	1,60	11,72	11,72	35,16	9,00	87,60	
CHWC-134	18,40	1,60	9,38	14,06	35,16	9,00	87,60	
CHWC-135	18,40	1,60	7,03	16,41	35,16	9,00	87,60	

#### 4.3. Hasil Pengujian Beton Segar

##### 4.3.1 Hasil Pengujian Slump

Hasil pengujian slump pada setiap campuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

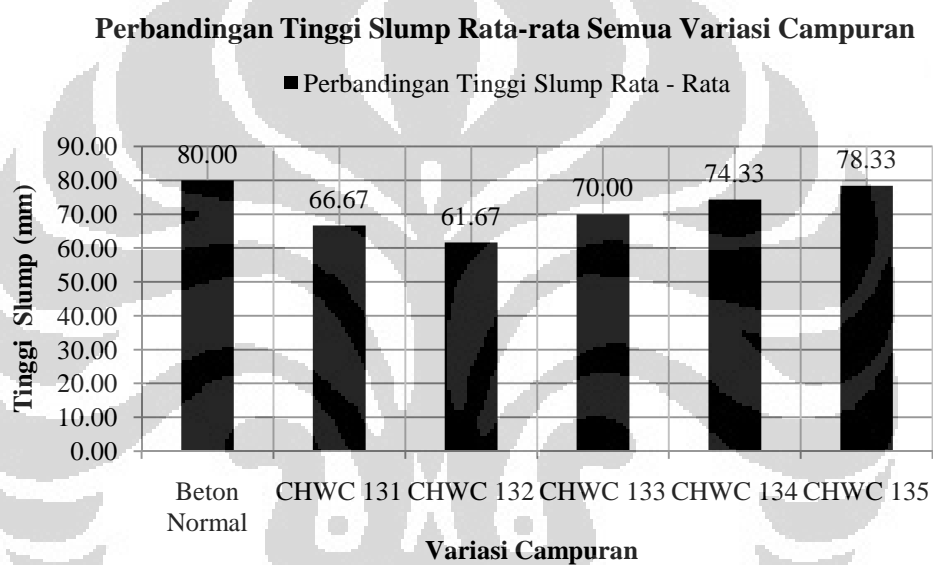
Tabel 4.20 Hasil Pengujian Slump

Variasi Campuran	Tinggi Slump (mm)			Nilai Slump Rata-rata (mm)
	1	2	3	
Beton Normal	75	80	85	80,00



CHWC-131	65	60	75	66,67
CHWC-132	60	60	65	61,67
CHWC-133	65	75	70	70,00
CHWC-134	76	75	72	74,33
CHWC-135	70	82	83	78,33

Dari hasil pengujian slump, di dapatkan nilai rata-rata slump pada semua campuran telah sesuai dengan nilai slump rencana yaitu 60 – 180 mm dan disajikan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4.4 Perbandingan Tinggi Slump Rata-rata Semua Variasi Campuran

Berdasarkan hasil pengujian slump semua variasi, semua campuran memiliki nilai slump yang sesuai dengan nilai rata-rata slump rencana yaitu antara 60 mm sampai dengan 180 mm.

### 4.3.2 Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Hasil pengujian berat isi beton pada setiap campuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Pengukuran	Satuan	Variasi Campuran				
		CHWC-131	CHWC-132	CHWC-133	CHWC-134	CHWC-135
Berat Silinder (W1)	Kg	5,044	5,044	5,044	5,044	5,044
Berat Silinder+Air (W2)	Kg	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45
Berat Silinder+beton (W3)	Kg	25,3	26,1	27,3	25,25	24,4
Berat Beton (W3-W1)	Kg	20,26	21,06	22,26	20,21	19,36
Berat Isi Beton (W4) = ((W3-W1)/(W2-W1))x1000	Kg/m <sup>3</sup>	2155	2240	2367	2149	2059
Berat Isi Beton Rencana (W5)	Kg/m <sup>3</sup>			2190		
Yield (W5/W4)		1,02	0,98	0,93	1,02	1,06
Voids [(Y-1/Y)x100%]	%	1,62	2,27	2,27	1,86	5,99

Dari pengujian berat isi beton dari semua variasi campuran didapatkan nilai berat isi yang tidak sesuai dengan berat isi rencana yaitu 2190. Sedangkan pada pengujian kadar udara dalam beton didapatkan nilai minimum pada campuran CHWC-131 yaitu 1,62% sedangkan nilai maksimum pada campuran CHWC-135 yaitu sebesar 5,99 %. Kurangnya pemadatan yang terjadi pada saat pengujian menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai kadar udara dalam beton.

### 4.3.3 Hasil Pengujian Waktu Pengikatan

Hasil pengujian waktu ikat awal pada setiap campuran dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.22 Hasil Bacaan Penetrometer Semua Variasi Campuran

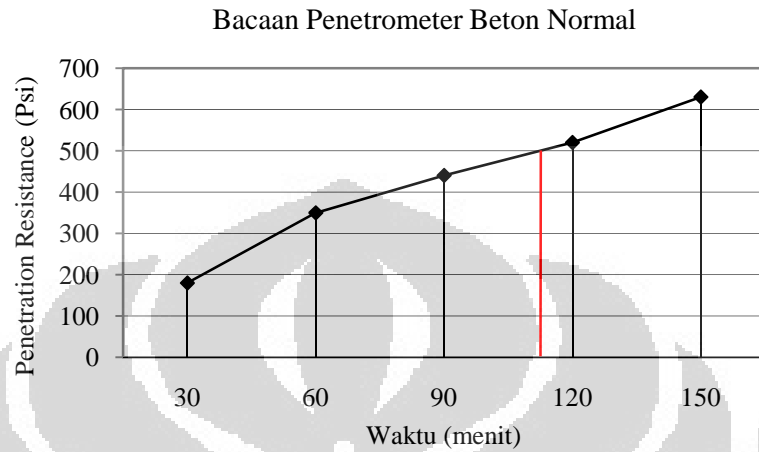
Interval Waktu (menit)	Waktu Kumulatif (menit)	Bacaan Penetrometer (Psi)				
		CHWC-131	CHWC-132	CHWC-133	CHWC-134	CHWC-135
30	30	98	85	80	90	92
30	60	210	220	240	280	200
30	90	270	340	300	380	270
30	120	450	420	450	420	440

---

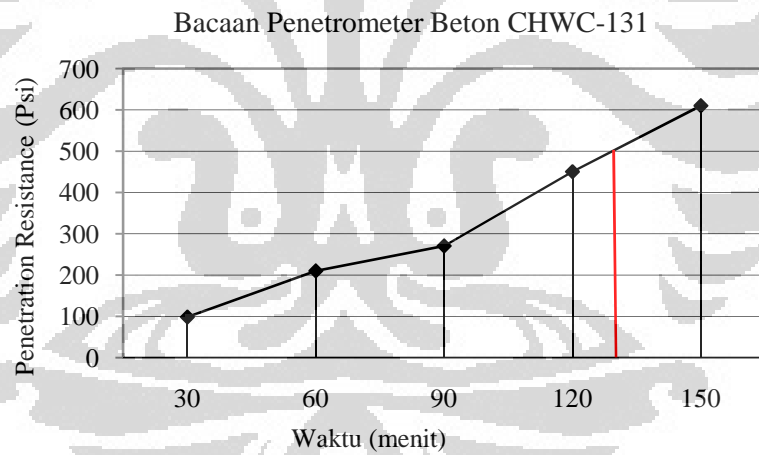
30                      150                      610                      600                      550                      530                      520

---

Dari tabel hasil pengujian waktu ikat awal di atas dapat digambarkan dalam bentuk grafik di bawah ini.

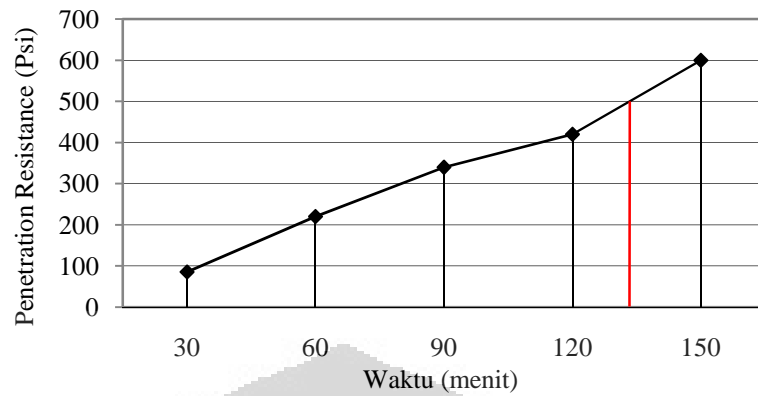


*Gambar 4.5 Bacaan Penetrometer Beton Normal*



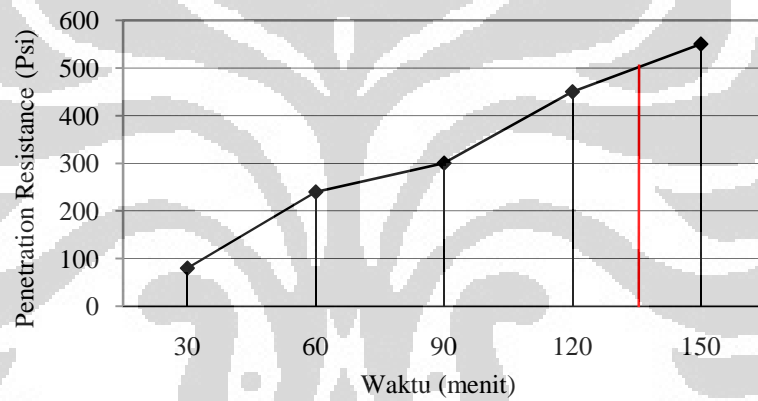
*Gambar 4.6 Bacaan Penetrometer Beton CHWC-131*

Bacaan Penetrometer Beton CHWC-132



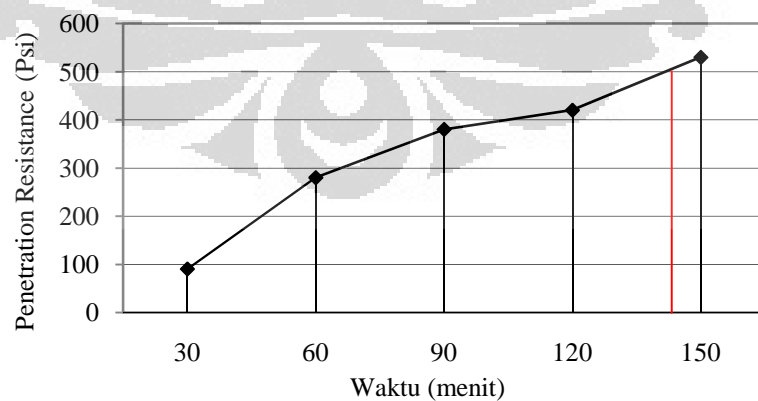
Gambar 4.7 Bacaan Penetrometer Beton CHWC-132

Bacaan Penetrometer Beton CHWC-133

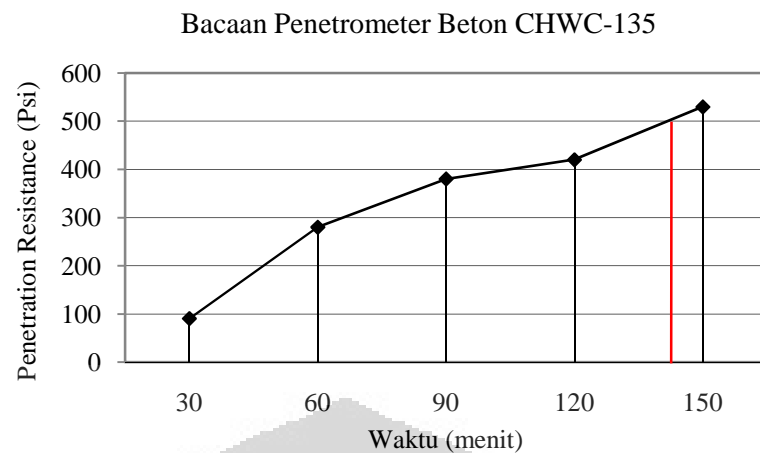


Gambar 4.8 Bacaan Penetrometer Beton CHWC-133

Bacaan Penetrometer Beton CHWC-134



Gambar 4.9 Bacaan Penetrometer Beton CHWC-134



*Gambar 4.10 Bacaan Penetrometer Beton CHWC-135*

Dari grafik bacaan penetrometer di atas dapat diketahui nilai waktu ikat awal untuk semua variasi campuran beton. Nilai waktu ikat awal dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

*Tabel 4.23 Hasil Pengujian Waktu Ikat Awal Semua Variasi Campuran*

Variasi Campuran	Waktu Ikat Awal (menit)
Beton Normal	117,4
CHWC-131	134,3
CHWC-132	135,2
CHWC-133	142,4
CHWC-134	145,2
CHWC-135	146,8

Dari hasil pengujian waktu ikat awal dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah CSW dalam campuran beton, maka semakin lama waktu ikat awal yang tercapai.

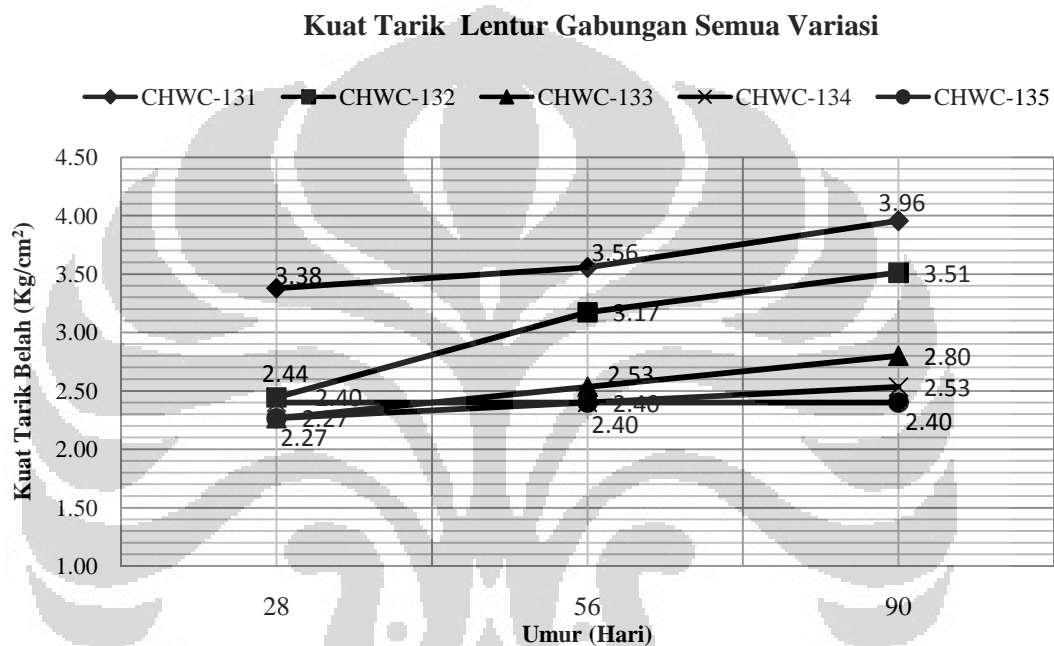
#### **4.4. Hasil Pengujian Beton Keras**

##### **4.4.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur**

Dari hasil pengujian kuat tarik lentur gabungan semua variasi campuran didapatkan nilai kuat lentur rata-rata yang dapat dilihat pada tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Lentur

Kode	Nilai Rata-rata Kuat Tarik Lentur (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
CHWC-131	3.38	3.56	3.96
CHWC-132	2.44	3.17	3.51
CHWC-133	2.27	2.53	2.80
CHWC-134	2.40	2.40	2.53
CHWC-135	2.27	2.40	2.40

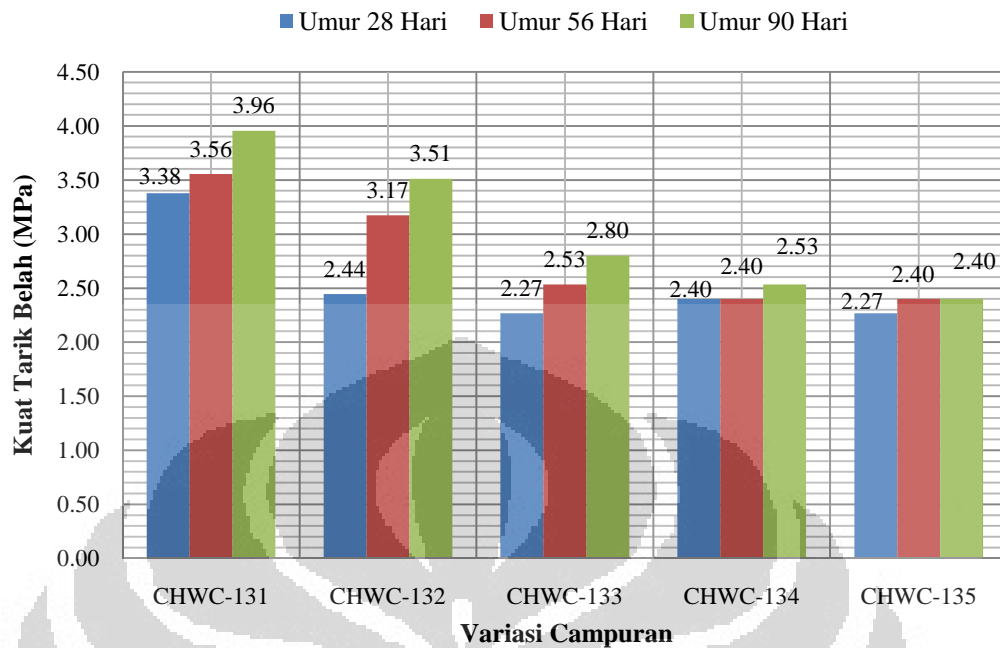


Gambar 4.11 Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Semua Variasi

Dari grafik di atas terlihat bahwa campuran CHWC-131 memiliki nilai kuat lentur rata-rata tertinggi diantara semua campuran. Sedangkan nilai terendah didapatkan pada campuran CHWC-135. Dari grafik di atas juga terlihat bahwa semakin besar campuran CSW yang dipakai dalam beton, maka semakin kecil kuat tarik lentur yang dihasilkan.

Peningkatan nilai kuat tarik lentur cenderung mengalami kenaikan pada umur 56 dan 90 hari nilai ini dapat digambarkan pada grafik kuat tarik lentur berdasarkan umur benda uji di bawah ini.

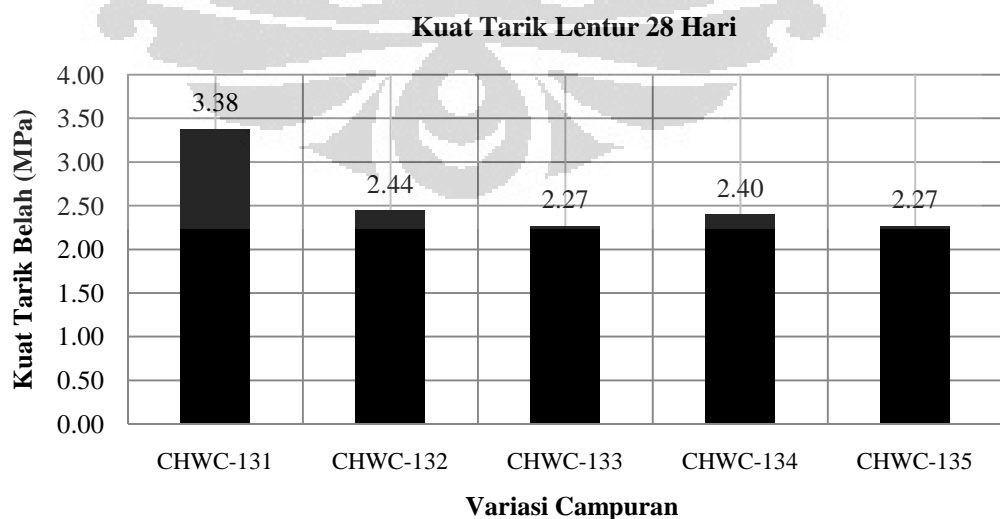
### Kuat Tarik Lentur Berdasarkan Umur Benda Uji



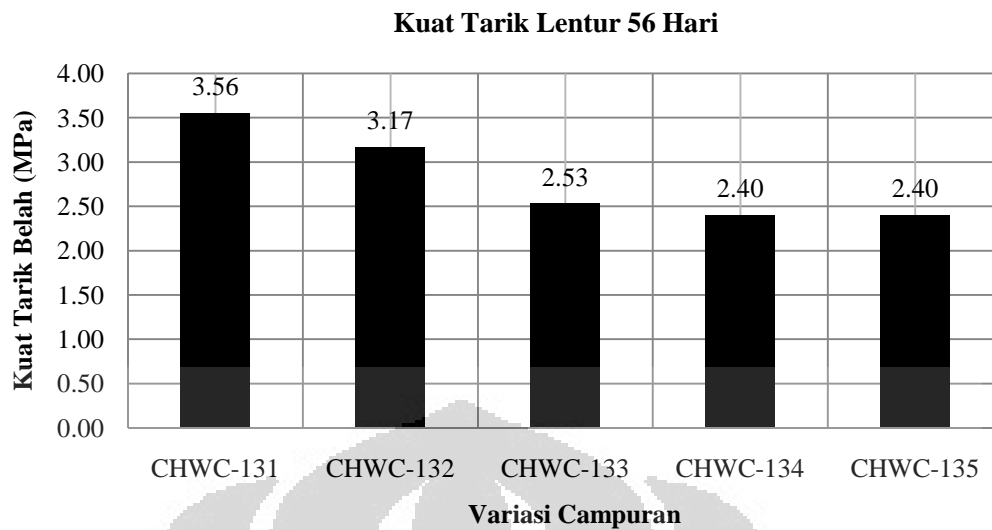
Gambar 4.12 Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Berdasarkan Umur Benda Uji

Dari grafik kuat tarik lentur gabungan berdasarkan umur benda uji terlihat bahwa benda uji memiliki nilai kuat tarik lentur yang cenderung mengalami kenaikan pada umur 56 dan 90 hari tetapi nilai kuat tarik lentur mengalami penurunan pada benda uji dengan campuran CSW yang semakin meningkat.

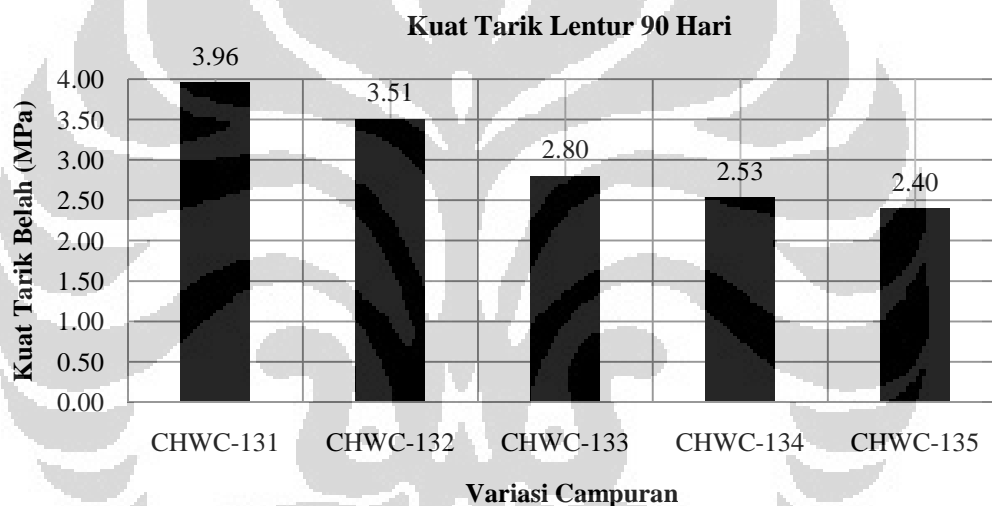
Untuk mengetahui hasil pengujian kuat tarik lentur semua variasi berdasarkan umur pengujian dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.13 Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Umur 28 Hari



*Gambar 4.14 Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Umur 56 Hari*



*Gambar 4.15 Grafik Kuat Tarik Lentur Gabungan Umur 90 Hari*

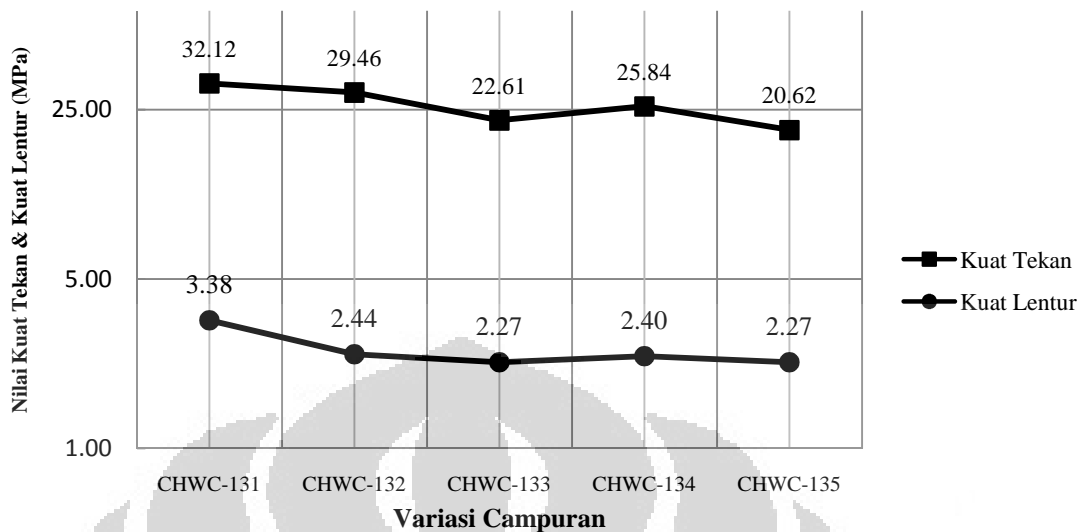
Dari grafik kuat lentur berdasarkan umur pengujian di atas, baik pada umur 28,56 dan 90 hari, terlihat bahwa semakin tinggi penggunaan campuran CSW pada beton maka kuat lentur yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan.

#### 4.4.1.1 Perbandingan Kuat Tarik Lentur Dengan Kuat Tekan Beton

Jika dibandingkan dengan kuat tekan pada variasi campuran yang sama pada umur 28 hari maka dapat digambarkan pada grafik di bawah ini.



### Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dan Kuat Tekan Umur 28 Hari



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dan Kuat Tekan Umur 28 Hari

Dari grafik perbandingan kuat tekan dan kuat tarik lentur di atas terlihat bahwa pada pengujian umur 28 hari pada semua variasi beton memiliki pola kurva yang sama. Perbandingan nilai rata-rata kuat tarik lentur dengan kuat tekan beton dengan variasi campuran yang sama dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.25 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan Beton

Kode	$f_r$ (MPa)	$f_c$ (MPa)	Perbandingan (%)
CHWC-131	3.38	32.12	10.52
CHWC-132	2.44	29.46	8.30
CHWC-133	2.27	22.61	10.02
CHWC-134	2.40	25.84	9.29
CHWC-135	2.27	20.62	10.99

Dari tabel perbandingan kuat tekan dengan kuat tarik lentur diatas didapatkan nilai rata-rata perbandingannya adalah 9,82%, nilai ini mendekati teori bahwa kuat lentur beton berkisar pada 10-15% dari kuat tekannya.

Berdasarkan persamaan pada SNI 03-1726-2002  $f_r = 0,7\sqrt{f_c'}$  nilai kuat lentur dapat dihitung. Bila dihitung dengan persamaan tersebut besarnya nilai kuat tarik lentur teoritis berbeda dengan hasil pengujian, perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.26 Perbedaan Kuat Tarik Lentur Beton Teoritis dengan Penelitian

Kode	fr (MPa)	fr teoritis (MPa)	Perbandingan
CHWC-131	3.38	3.97	1.17
CHWC-132	2.44	3.80	1.55
CHWC-133	2.27	3.33	1.47
CHWC-134	2.40	3.56	1.48
CHWC-135	2.27	3.18	1.40

Berdasarkan tabel di atas perbedaan rata-rata perbandingan nilai kuat tarik lentur teoritis dengan nilai kuat lentur hasil pengujian adalah sebesar 1,42 artinya nilai kuat tarik lentur teoritis lebih besar 1,42 kali dari hasil pengujian di laboratorium.

Hubungan antara kuat tekan ( $f_c$ ) dan kuat lentur ( $f_r$ ) berdasarkan persamaan  $f_r = 0,7\sqrt{f_c'}$  tidak lagi berlaku untuk beton dengan campuran CSW. Untuk mendapatkan persamaan baru dari hubungan kuat tekan dan kuat lentur digunakan persamaan  $f_r = C\sqrt{f_c'}$  dimana C adalah konstanta hasil bagi antara nilai kuat lentur dengan akar kuadrat kuat tekan yang didapat dari hasil penelitian. Dari hasil pengujian nilai C dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.27 Nilai Konstanta Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Hasil Pengujian

Kode	fr (MPa)	fc' (MPa)	Konstanta (C)
CHWC-131	3.38	5.67	0.60
CHWC-132	2.44	5.43	0.45
CHWC-133	2.27	4.76	0.48
CHWC-134	2.40	5.08	0.47
CHWC-135	2.27	4.54	0.50
<b>Nilai C Rata-Rata</b>			<b>0.50</b>

Berdasarkan tabel di atas maka dapat ditentukan persamaan hubungan antara kuat tekan dengan kuat lentur pada beton dengan campuran CSW dan RHA pada umur 28 hari yaitu  $f_r = 0,5\sqrt{f_c'}$ .

#### 4.4.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

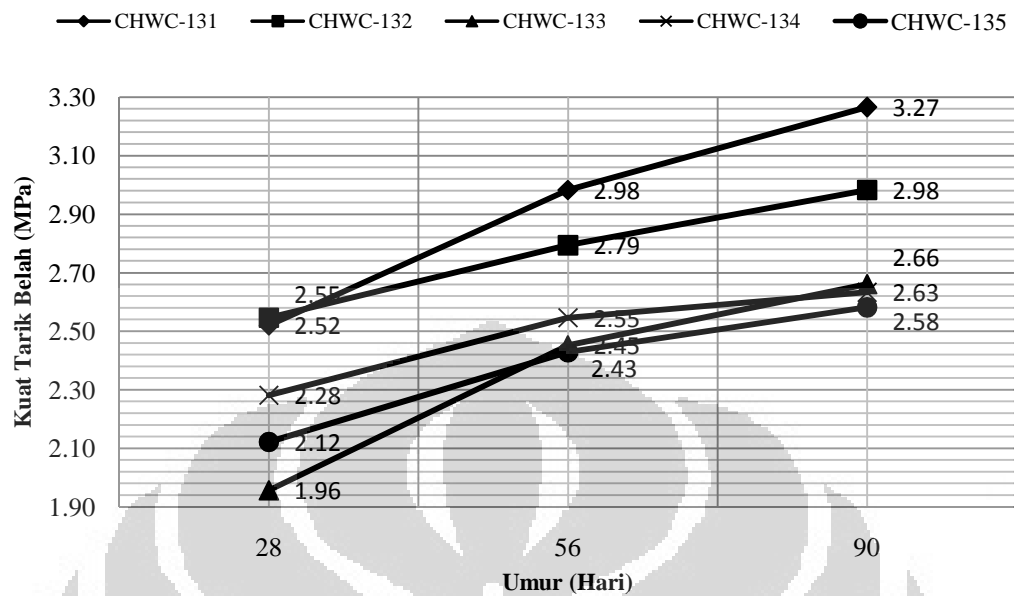
Pengujian kuat tarik belah dilakukan pada umur 28, 56 dan 90 hari pada semua variasi campuran dan menggunakan 5 sampel pengujian pada tiap variasi

campuran. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik belah yang disajikan pada tabel di bawah ini.

*Tabel 4.28 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah*

Kode	Kuat Tarik Belah (MPa)		
	28 Hari	56 Hari	90 Hari
CHWC-131	2.12	2.48	2.48
	2.30	2.83	3.01
	2.48	3.04	3.25
	3.18	3.08	3.54
	3.54	3.75	3.75
CHWC-132	2.19	2.16	2.48
	2.48	2.58	2.62
	2.55	2.86	3.01
	2.62	2.94	3.32
	2.86	3.18	3.57
CHWC-133	1.80	1.95	1.80
	1.87	2.16	2.58
	1.87	2.58	2.58
	2.12	2.62	2.62
	2.62	2.79	2.86
CHWC-134	2.12	1.87	2.55
	2.19	2.48	2.62
	2.23	2.51	2.62
	2.58	2.55	2.65
	2.65	2.65	2.65
CHWC-135	2.09	2.33	2.48
	2.09	2.41	2.55
	2.12	2.41	2.55
	2.19	2.48	2.62
	2.41	2.55	2.62

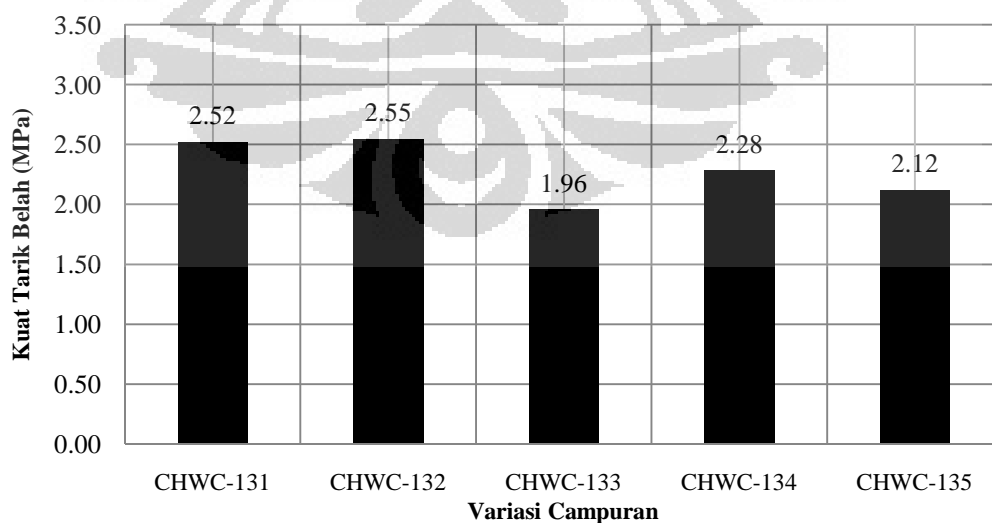
### Kuat Tarik Belah Beton Gabungan Semua Variasi



Gambar 4.17 Grafik Kuat Tarik Belah Gabungan Semua Variasi

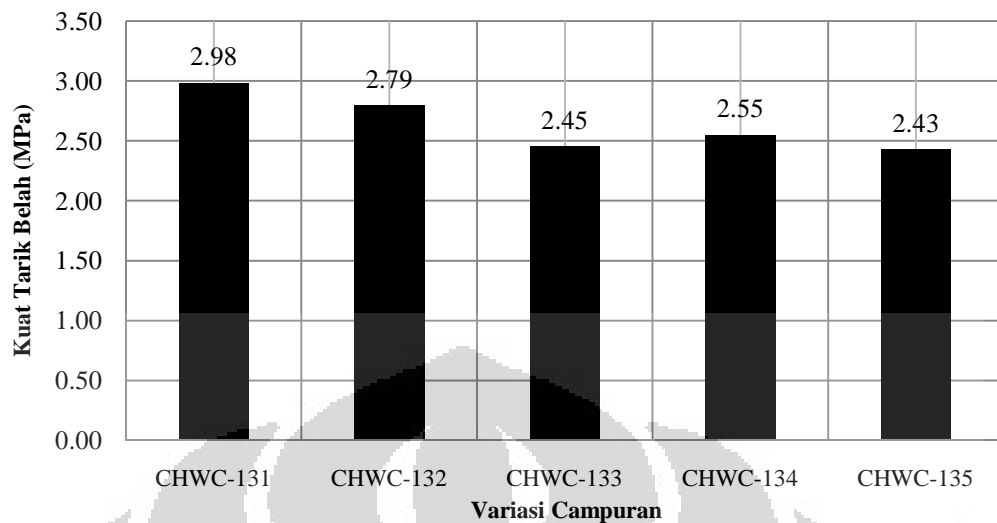
Dari grafik pengujian kuat tarik belah di atas didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata terbesar terjadi pada campuran CHWC-131 pada umur pengujian 90 hari yang mempunyai nilai kuat tarik belah sebesar 3,27 MPa, sedangkan nilai rata-rata kuat tarik belah terjadi pada campuran CHWC-133 pada umur pengujian 28 hari yaitu sebesar 1,96 MPa.

### Kuat Tarik Belah 28 Hari



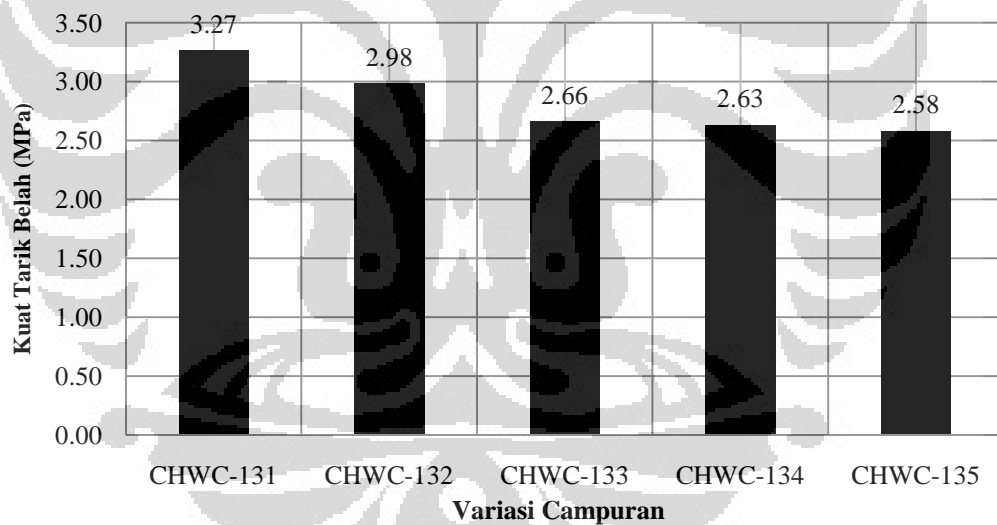
Gambar 4.18 Grafik Kuat Tarik Belah Umur Pengujian 28 Hari

### Kuat Tarik Belah 56 Hari



Gambar 4.19 Grafik Kuat Tarik Belah Umur Pengujian 56 Hari

### Kuat Tarik Belah 90 Hari

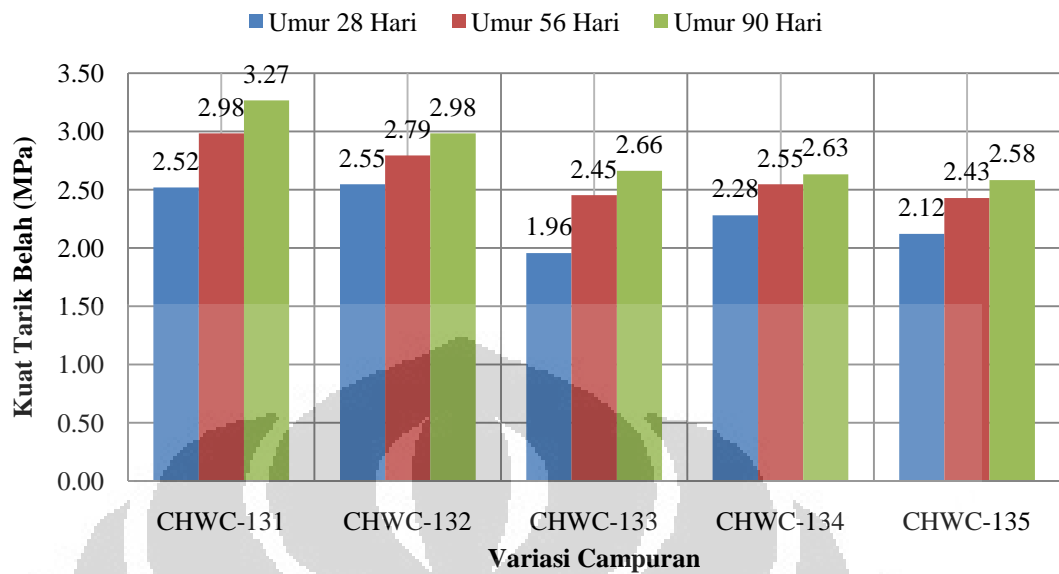


Gambar 4.20 Grafik Kuat Tarik Belah Umur Pengujian 90 Hari

Dari tiga grafik kuat tarik belah semua variasi campuran berdasarkan umur di atas dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik belah rata-rata cenderung semakin menurun artinya semakin tinggi nilai CSW yang terkandung dalam campuran beton, maka semakin kecil nilai rata-rata kuat tarik belah yang di hasilkan.

Agar lebih jelas nilai gabungan semua variasi campuran berdasarkan umur pengujian dapat digambarkan pada grafik di bawah ini.

### Kuat Tarik Belah Berdasarkan Umur Benda Uji



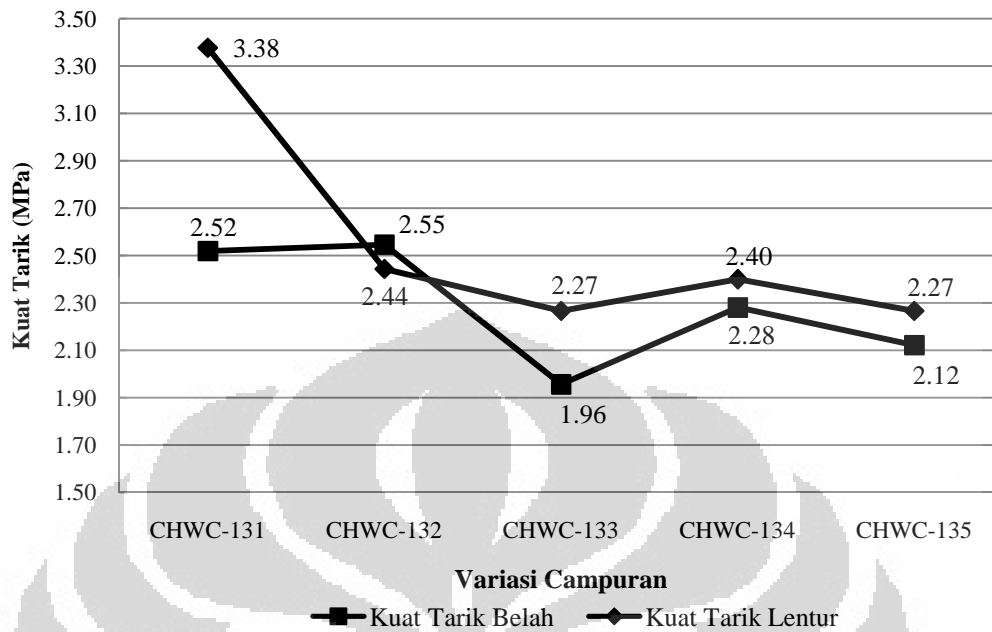
Gambar 4.21 Grafik Kuat Tarik Belah Gabungan Semua Variasi Berdasarkan Umur Pengujian

Dari grafik di atas terlihat bahwa terjadi kenaikan nilai kuat tarik belah rata-rata pada semua variasi campuran setelah umur pengujian 28 hari, akan tetapi semakin besar kandungan CSW dalam campuran beton, maka nilai rata-rata kuat tarik belah cenderung mengalami penurunan.

#### 4.4.2.1 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tarik Lentur

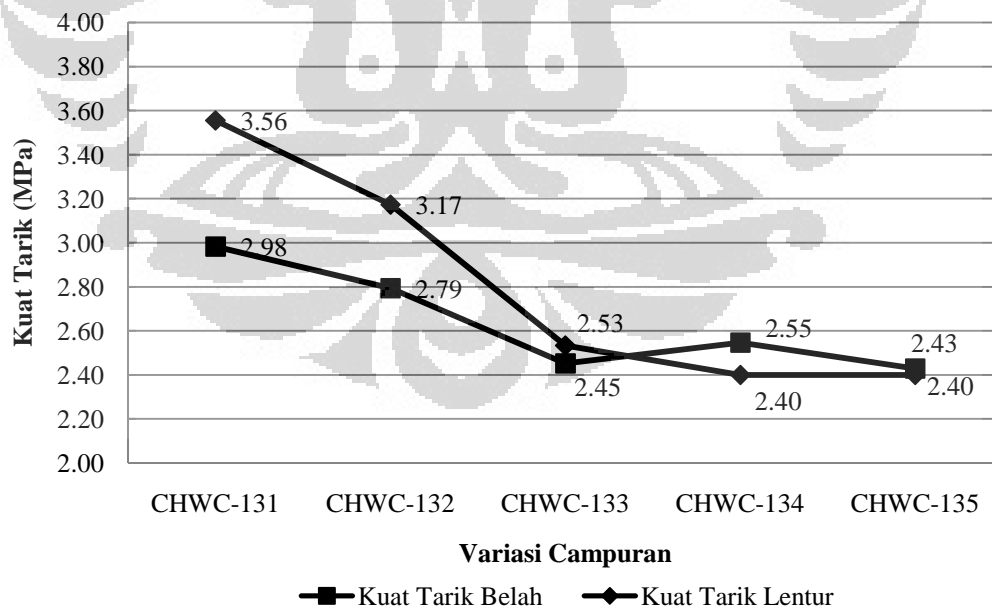
Dari hasil pengujian di laboratorium, untuk mengetahui besarnya perbandingan nilai kuat tarik belah dan kuat tarik lentur dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

### Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari

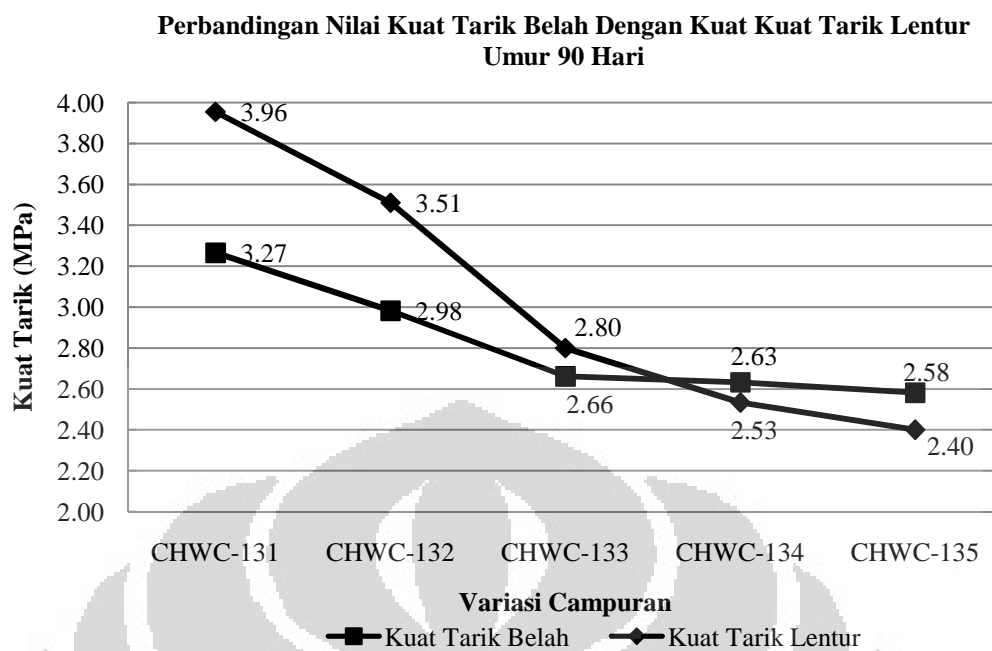


Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari

### Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Kuat Tarik Lentur Umur 56 Hari



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tarik Lentur Umur 56 Hari



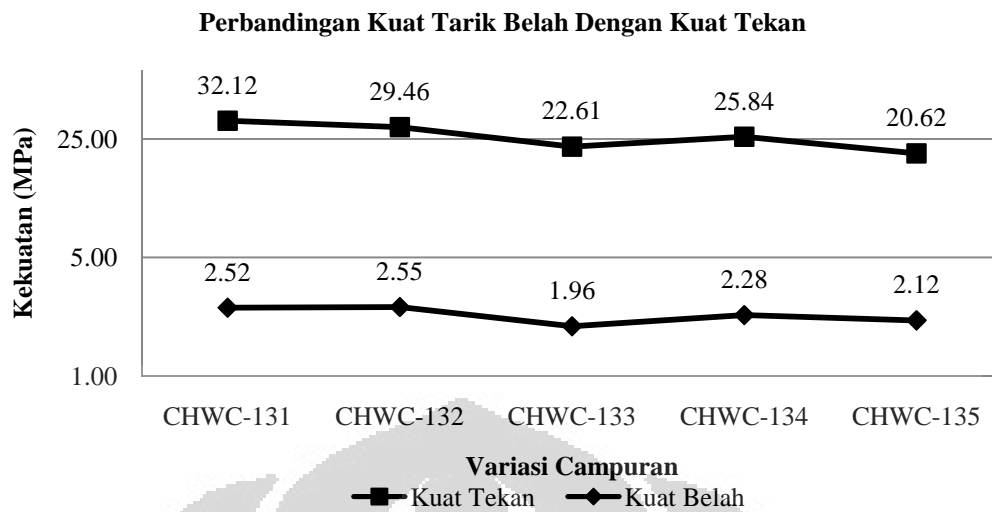
*Gambar 4.24 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tarik Lentur  
Umur 90 Hari*

Dari grafik di atas perbandingan nilai kuat tarik belah dengan nilai kuat tarik lentur mempunyai pola garis yang sama, kecuali pada umur pengujian 28 hari pada pengujian kuat tarik belah pada benda uji CHWC-131, hasil pengujian tersebut mengalami perbedaan yang cukup jauh terhadap kuat tarik lenturnya, hal ini dikarenakan pada saat pengujian benda uji silinder pada kuat tarik belah mempunyai banyak rongga di dalamnya karena kesalahan pada proses pembuatan benda uji.

#### 4.4.2.2 Perbandingan Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tekan Beton

Perbandingan nilai kuat tarik belah beton campuran RHA dan CSW dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari dapat digambarkan pada grafik di bawah ini.





Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Belah Dengan Kuat Tekan

Tabel 4.29 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Belah Dengan Nilai Kuat Tekan

Kode	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Perbandingan (%)
CHWC-131	2.52	32.12	7.84
CHWC-132	2.55	29.46	8.64
CHWC-133	1.96	22.61	8.65
CHWC-134	2.28	25.84	8.83
CHWC-135	2.12	20.62	10.29

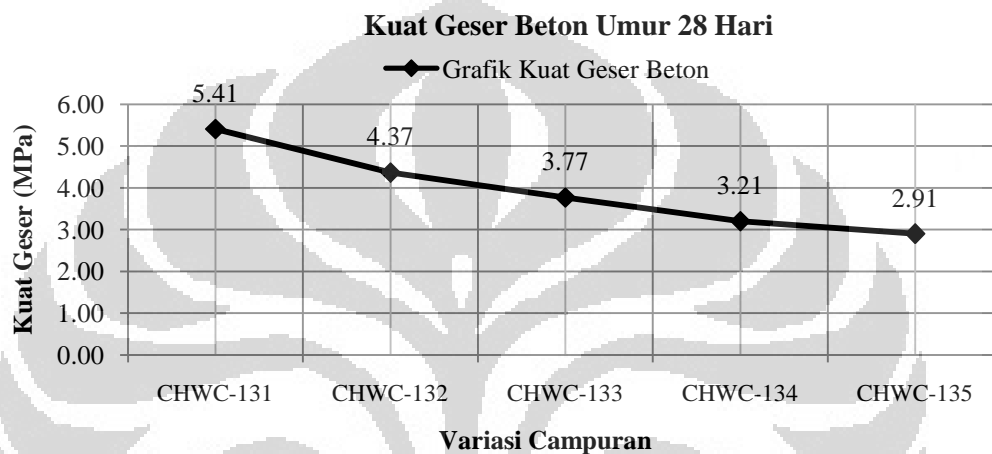
Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa rata-rata perbandingan nilai kuat tarik belah dengan kuat tekan beton adalah 8,71% artinya, beton dengan menggunakan campuran RHA dan CSW mempunyai nilai kuat tarik belah sebesar 8,71% dari nilai kuat tekannya.

#### 4.4.3 Hasil Pengujian Kuat Geser

Dari hasil pengujian kuat geser pada umur pengujian 28 hari dengan 5 variasi campuran dengan lima benda uji pada setiap campuran disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.30 Hasil Pengujian Kuat Geser

Kode	Kuat Geser					Standar	Rata-rata
	(MPa)					Deviasi	(MPa)
CHWC-131	5.56	4.70	5.13	5.98	5.56	0.49	5.41
CHWC-132	5.56	4.49	4.32	4.32	5.64	0.68	4.37
CHWC-133	4.70	3.85	3.85	3.63	2.78	0.69	3.77
CHWC-134	3.08	3.16	3.46	3.21	3.12	0.15	3.21
CHWC-135	2.82	2.82	3.16	3.85	2.82	0.45	2.91



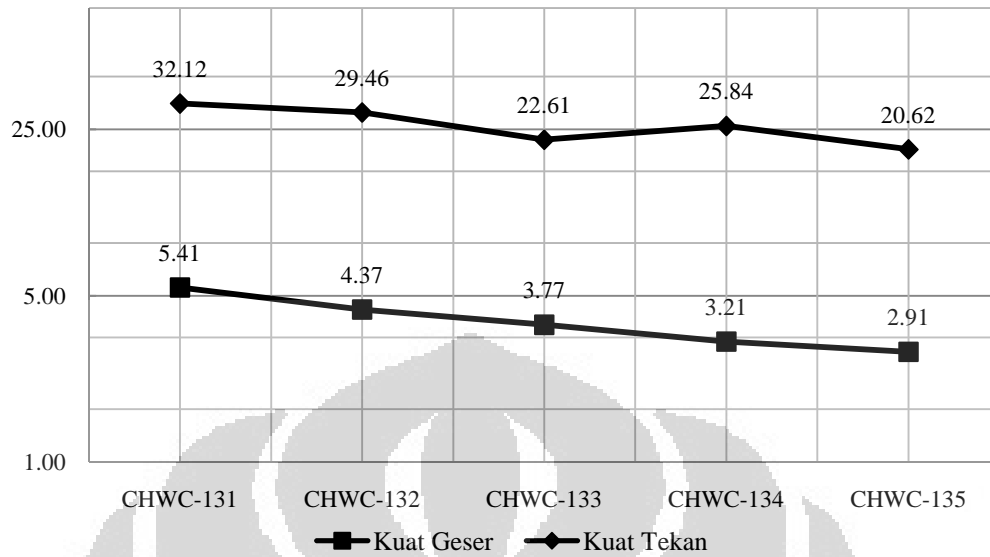
Gambar 4.26 Grafik Kuat Geser Semua Variasi Umur 28 Hari

Dari tabel di atas kuat geser maksimum pada umur 28 hari terjadi pada campuran CHWC-131, dan nilai terendah terjadi pada campuran CHWC-135. Pada grafik juga dapat dilihat bahwa semakin besar prosentase CSW pada campuran maka semakin kecil kuat geser yang dihasilkan.

#### 4.4.3.1 Perbandingan Hasil Pengujian Kuat Geser Dengan Kuat Tekan

Untuk mengetahui perbandingan nilai kuat geser dengan kuat tekan beton dapat dilihat pada grafik di bawah ini.

### Perbandingan Kuat Geser Dengan Kuat Tekan



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Geser dengan Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Dari hasil perbandingan nilai kuat geser dengan kuat tekan di atas terlihat bahwa nilai kuat geser dan kuat tekan mempunyai pola garis yang sama. Artinya dari hasil pengujian kuat geser beton dengan campuran RHA dan CSW pada semua campuran memiliki hubungan dengan hasil pengujian kuat tekannya.

Tabel 4.31 Prosentase Niali Kuat Geser Terhadap Kuat Tekan Beton

Kode	Kuat Geser (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Perbandingan (%)
CHWC-131	5.41	32.12	16.85
CHWC-132	4.37	29.46	14.84
CHWC-133	3.77	22.61	16.69
CHWC-134	3.21	25.84	12.40
CHWC-135	2.91	20.62	14.10

Dari tabel prosentase perbandingan antara kuat geser dengan kuat tekan beton pada semua variasi campuran, dapat diketahui bahwa rata-rata prosentase nilai kuat geser adalah 15,21% artinya nilai kuat geser pada pengujian beton dengan campuran RHA dan CSW mempunyai sebesar 15,21% dari nilai kuat tekannya.

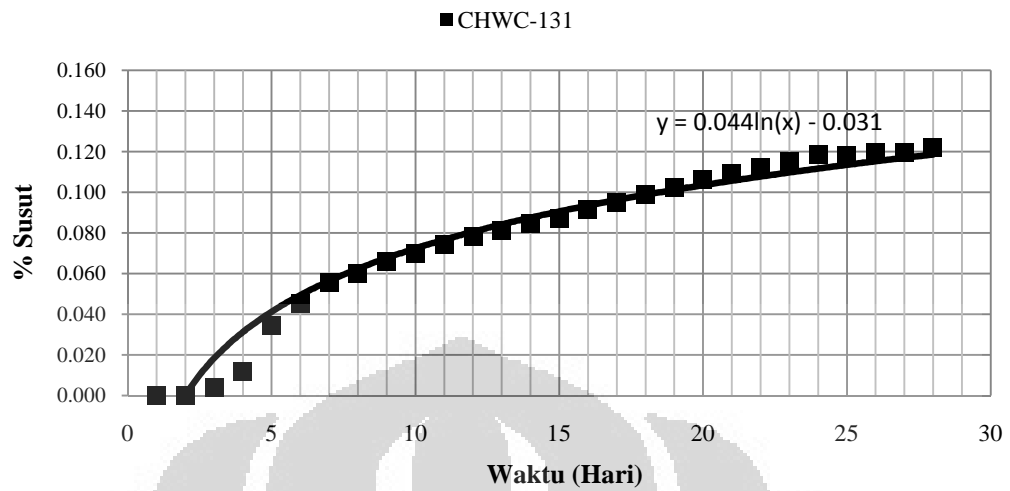
#### 4.4.4 Hasil Pengujian Susut

Pengujian susut dilakukan terhadap 5 variasi campuran, dan menggunakan 5 sampel pada setiap variasi dan diamati selama 28 hari, hasil pengujian susut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

*Tabel 4.32 Hasil Pengujian Susut*

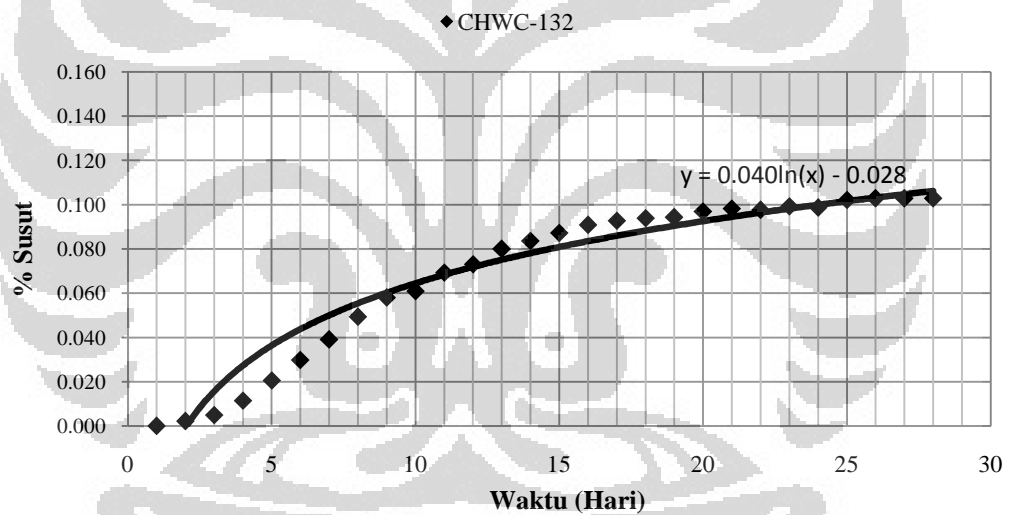
Umur (Hari)	Prosentase Susut (%)				
	CHWC-131	CHWC-132	CHWC-133	CHWC-134	CHWC-135
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.002	0.000	0.003	0.002
3	0.004	0.005	0.002	0.004	0.010
4	0.012	0.012	0.009	0.010	0.023
5	0.035	0.021	0.032	0.022	0.039
6	0.045	0.030	0.038	0.035	0.050
7	0.056	0.039	0.043	0.046	0.061
8	0.060	0.049	0.047	0.054	0.067
9	0.066	0.058	0.051	0.059	0.072
10	0.070	0.061	0.054	0.063	0.077
11	0.074	0.069	0.057	0.068	0.082
12	0.078	0.073	0.061	0.074	0.087
13	0.081	0.080	0.065	0.079	0.089
14	0.084	0.084	0.069	0.084	0.091
15	0.087	0.087	0.070	0.092	0.093
16	0.092	0.091	0.073	0.098	0.095
17	0.095	0.093	0.074	0.103	0.096
18	0.099	0.094	0.076	0.106	0.097
19	0.102	0.094	0.077	0.109	0.099
20	0.106	0.097	0.080	0.111	0.103
21	0.109	0.098	0.083	0.115	0.106
22	0.112	0.098	0.085	0.118	0.109
23	0.115	0.099	0.088	0.120	0.113
24	0.118	0.099	0.088	0.124	0.120
25	0.118	0.102	0.090	0.127	0.127
26	0.120	0.103	0.090	0.130	0.135
27	0.120	0.103	0.091	0.132	0.137
28	0.122	0.103	0.093	0.135	0.139

### Grafik Persentase Susut Beton



Gambar 4.28 Grafik Susut Beton Campuran CHWC-131

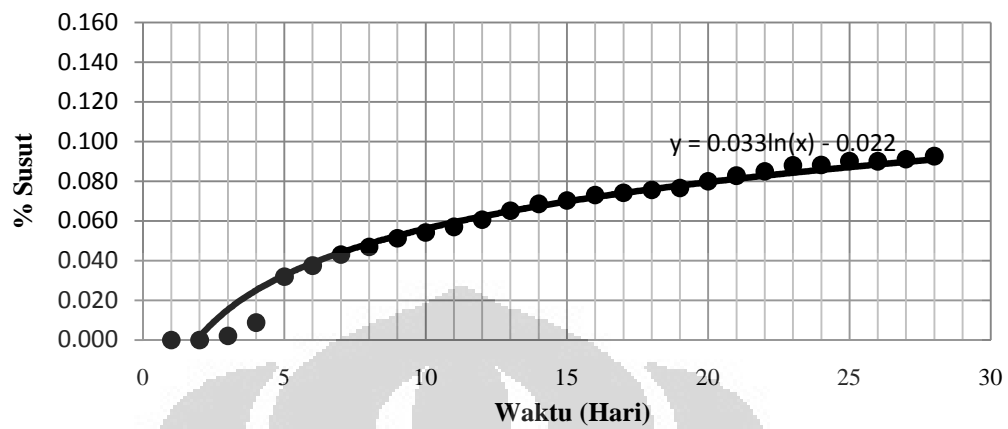
### Grafik Persentase Susut Beton



Gambar 4.29 Grafik Susut Beton Campuran CHWC-132

### Grafik Persentase Susut Beton

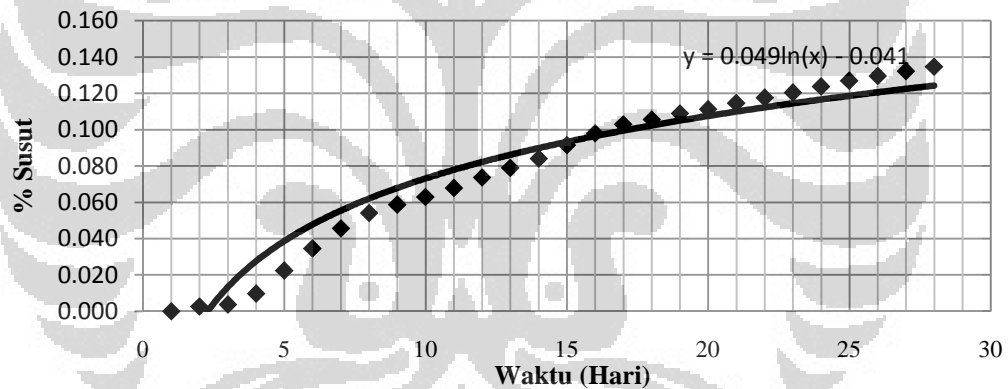
● CHWC-133



Gambar 4.30 Grafik Susut Beton Campuran CHWC-133

### Grafik Persentase Susut Beton

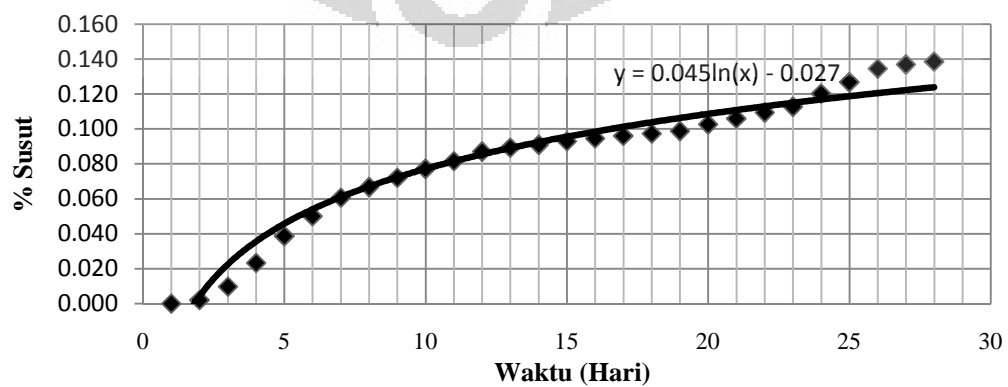
◆ CHWC-134



Gambar 4.31 Grafik Susut Beton Campuran CHWC-134

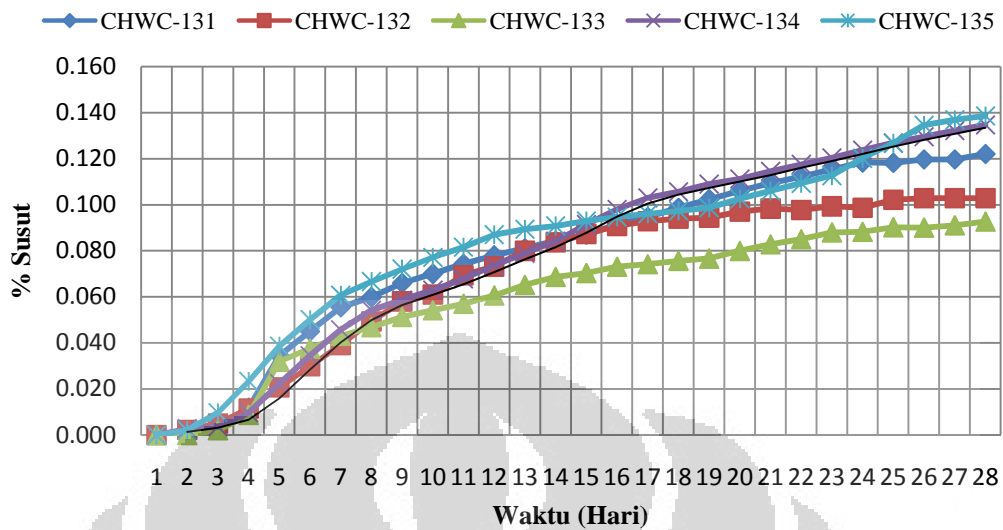
### Grafik Persentase Susut Beton

◆ CHWC-135



Gambar 4.32 Grafik Susut Beton Campuran CHWC-135

### Grafik Gabungan Persentase Susut Beton



Gambar 4.33 Grafik Susut Beton Gabungan Semua Variasi

Berdasarkan grafik pengujian susut di atas semua variasi campuran mengalami perilaku susut yang sama yaitu grafik susutnya berupa parabola tertutup yang berarti semakin bertambahnya umur pengujian prosentase susutnya semakin mengecil.

#### 4.4.4.1 Hubungan Penggunaan CSW Dengan Nilai Susut Pada Beton

Untuk mengetahui hubungan antara penggunaan bahan campuran CSW pada beton dengan nilai susut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.33 Hubungan Prosentase Penggunaan CSW dengan Nilai Susut Beton

Kode	Penggunaan	Prosentase
	CSW (%)	Susut (%)
CHWC-131	30	0,122
CHWC-132	40	0,103
CHWC-133	50	0,093
CHWC-134	60	0,135
CHWC-135	70	0,139

Prosentase susut terbesar setelah umur 28 hari terjadi pada benda uji CHWC-135 sebesar 0,139% yang merupakan benda uji dengan campuran CSW sebesar 70% dari volume total agregat halus kemudian benda uji ketiga CHWC-133 mempunyai nilai prosentase susut terkecil, yaitu 0,093%. Seharusnya

besarnya kandungan CSW yang terdapat dalam campuran beton akan mempengaruhi prosentase susut, semakin tinggi kandungan CSW semakin besar nilai prosentase susutnya karena sifat CSW yang sangat besar terhadap penyerapan air. Tetapi pada pengujian ini nilai prosentase susut terkecil terjadi pada campuran CHWC-133. Kemungkinan benda uji ini mengalami kesalahan baik pada saat perawatan maupun pembacaan. Selain itu prosentase susut beton juga dipengaruhi oleh perubahan suhu ruangan dan kelembaban udara.





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa pada bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *Concrete Sludge Waste* (CSW) yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan pasir dalam campuran beton berpengaruh terhadap workability beton segar, yang ditandai dengan menurunnya nilai slump. Hal ini terjadi karena sifat penyerapan oleh CSW dengan nilai penyerapan air sebesar 5,042% yang melebihi batas maksimal prosentase penyerapan air agregat halus yaitu sebesar 3%, sehingga pada saat pengecoran perlu ditambah air agar nilai slump dapat tercapai.
2. Penggunaan CSW juga berpengaruh terhadap waktu ikat awal yang mengakibatkan proses reaksi hidrasi semen berlangsung lama. Waktu ikat awal terbesar diperoleh dari hasil pengujian beton CHWC-135 yaitu beton dengan komposisi campuran CSW 70% dengan nilai waktu ikat awal sebesar 146,8 menit, nilai ini jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai waktu ikat awal beton normal yaitu sebesar 117,4 menit. Hal ini terjadi karena sifat penyerapan CSW lebih besar dibandingkan dengan sifat penyerapan air pada pasir.
3. Pada pengujian kuat tarik lentur pada umur 28 hari nilai kuat tarik lentur maksimum terjadi pada campuran CHWC-131 yaitu sebesar 3,38 MPa, sedangkan pengujian kuat tarik lentur dengan menggunakan persamaan SNI 03-1726-2002 pasal 11.5.3 ( $f_t=0,7 f_c'$ ) tidak lagi berlaku untuk beton dengan menggunakan campuran RHA dan CSW. Perbedaan nilai kuat lentur teoritis berdasarkan rumus tersebut terdapat perbedaan sebesar 1,42 artinya nilai kuat tarik lentur teoritis menggunakan persamaan SNI lebih besar 1,42 kali terhadap nilai dari hasil pengujian.
4. Dari hasil pengujian kuat tarik belah dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penggunaan CSW maka kuat tarik belah yang dihasilkan semakin kecil. Nilai kuat tarik belah terbesar pada umur pengujian 28 hari diperoleh dari hasil

CHWC-131 yaitu beton dengan campuran CSW sebesar 30% dengan nilai kuat tarik belah rata-rata sebesar 32,12 MPa. Sedangkan besarnya nilai kuat tarik belah diperoleh prosentase rata-rata sebesar 8,71% dari nilai kuat tekannya.

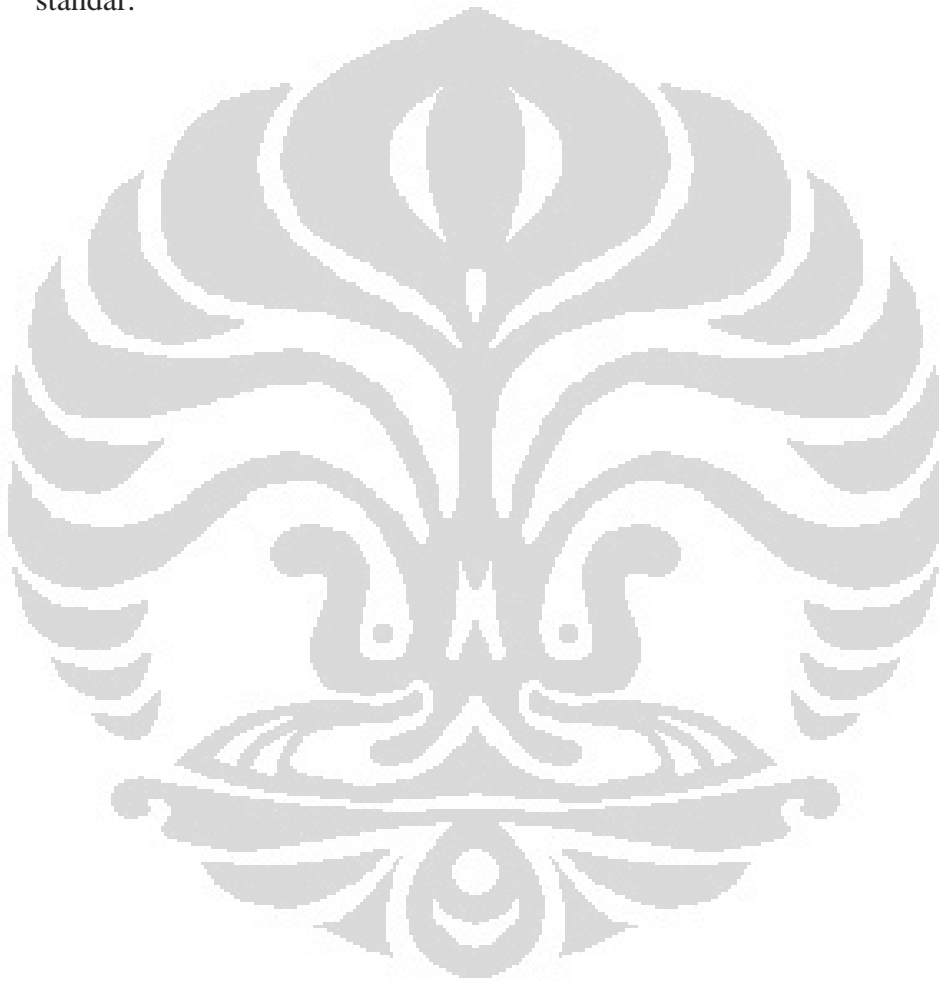
5. Nilai rata-rata kuat geser paling besar terjadi pada campuran CHWC-131 dengan komposisi 70% pasir dan 30% CSW. Dari pengujian kuat geser terhadap semua benda uji dapat disimpulkan bahwa semakin besar komposisi CSW yang terdapat pada campuran beton maka semakin menurun kuat geser yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena ukuran butiran CSW yang sangat halus dibandingkan dengan pasir, sehingga sangat mempengaruhi nilai kuat geser yang dihasilkan.
6. Penggunaan CSW sangat berpengaruh terhadap susut beton, dari hasil pengujian pada semua variasi campuran didapatkan nilai prosentase susut maksimum pada umur 28 hari terjadi pada benda uji CHWC-135 dengan komposisi 70% CSW dan 30% pasir. Hal ini terjadi karena besarnya nilai penyerapan air pada CSW yang sangat besar sehingga proses pelepasan air pada beton akan mengakibatkan penyusutan yang besar.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan CSW, agar didapatkan nilai prosentase optimum dalam pemakaian CSW sebagai bahan campuran beton pengganti agregat halus.
2. Perlu diperhatikan pada langkah-langkah pada saat pengolahan CSW, agar didapatkan ukuran butiran CSW yang seragam dan sesuai dengan ukuran butiran yang disyaratkan.
3. Material yang akan digunakan pada pelaksanaan pengecoran diupayakan dalam kondisi *ssd (saturated surface dry)* sehingga rasio air semen dapat terkontrol dengan baik.
4. Perlu adanya pengujian susut dengan jangka waktu yang panjang yaitu di atas 28 hari, sehingga didapatkan nilai prosentase susut yang cenderung tetap.

5. Perlu dilakukan penelitian terhadap beton campuran CSW dengan menggunakan bahan tambah kimia agar menghasilkan workability yang baik untuk mengurangi jumlah penggunaan air.
6. Pada penelitian ini pengolahan CSW dilakukan dengan secara manual, baik untuk pengeringan dan penghancuran. Sehingga perlu diadakan penelitian lebih lanjut tentang pengolahan CSW terhadap metode pengolahan yang baik sehingga dapat memenuhi syarat sebagai agregat halus yang sesuai dengan standar.



## DAFTAR REFERENSI

- ASTM C 138M-01a. Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: 2001
- ASTM C 293-00. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading). ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: 2000
- ASTM C 305-82. Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: 1999
- ASTM C 496-04. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: 2004
- ASTM C 469-94. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States: 2002
- SK SNI S-04-1989. Bahan Bangunan Bagian A (bahan Bangunan Bukan Logam). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: 1989
- SNI 03-1726-2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: 2002
- SNI 03-1971-90. Metode Pengujian Kadar Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: 1990
- SNI 03-1972-90. Tetode Pengujian Slump Beton. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta: 1990
- Kusumantara, Diah. Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Campuran 50% Semen Dan 50% Abu Sekam Padi, Departemen Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok : 2009

Mattock, Allan H & Neil M. Hawkins. Shear Transfer In Reinforced Concrete-  
Recent Research, PCI Journal, University of Washington: 1972

Neville, A.M. Properties of Concrete fourth and final edition, Longman Group  
Limited, Longman House, Burnt Mill, Harlow Essex CM20 2JE, England:  
1995

