



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KUAT TARIK MORTAR YANG MENGANDUNG ABU
SEKAM PADI (*RHA*) DAN LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*)
DENGAN KOMPOSISI SEMEN BERBANDING AGREGAT
HALUS 1 : 3**

SKRIPSI

ARYA IMAM H.

0906.605.473

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

DEPOK

JUNI 2012

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KUAT TARIK MORTAR YANG MENGANDUNG ABU SEKAM
PADI (*RHA*) DAN LIMBAH ADUKAN BETON (*CSW*) DENGAN
KOMPOSISI SEMEN BERBANDING AGREGAT HALUS 1 : 3**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ARYA IMAM H.

0906.605.473

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

DEPOK

JUNI 2012

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Arya Imam

NPM : 0906.605.473

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Juni 2012

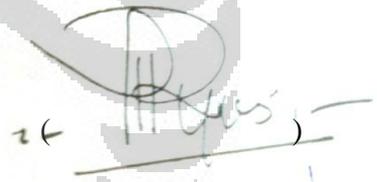
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Ini Diajukan Oleh :
Nama : Arya Imam
NPM : 0906.605.473
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Kuat Tarik Mortar Yang Mengandung Abu Sekam Padi (*RHA*) Dan Limbah Adukan Beton (*CSW*) Dengan Komposisi Semen Berbanding Agregat Halus 1 : 3

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

DEWAN PENGUJI

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



Penguji I : Ir. Madsuri, MT.



Penguji II : Ir. Bambang Setiadi



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

KATA PENGANTAR

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

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

1. Allah SWT atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya.
2. Teristimewa, kepada Kedua Orang Tua ku tercinta, Adikku yang telah memberikan doa, bantuan, dorongan semangat dan pengertian yang tulus, baik material dan spiritual kepadaku, sehingga aku dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Essy Ariyuni PhD selaku dosen pembimbingku, yang telah memberikan banyak masukan dan nasehat sehingga penulisan skripsi ini dapat selesai.
4. Teman-teman seperjuanganku dalam skripsi ini, Marchin, Vian, Imam, Sheba, Andi, Wahyu serta Dhika, yang telah berjuang bersama dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
5. Dosen Penguji, atas saran dan kritiknya sehingga terselesaikan penulisan skripsi ini.
6. PT Holcim, Tbk yang sudah membantuku dalam penyediaan bahan limbah beton sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.
7. Prof. Irwan Katili selaku Kepala Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
8. Bpk Ir. Madsuri MT selaku Pembimbing Akademik selama kuliah.
9. Semua staff laboratorium dan staff departemen Universitas Indonesia (Pak Apri, Pak Agus, Mas Soni, Babeh, Bang J dll), dosen-dosen Departemen

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTS-FTUI) yang banyak membantu dalam memberi ilmu dan masukan baik selama kuliah maupun skripsi ini sendiri yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

10. Semua teman-teman sekelas Teknik Sipil Ekstensi 2009 FTUI yang satu perjuangan dan satu penderitaan yang tidak bisa disebutkan satu per satu.
11. Pihak-pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan naskah Tugas Akhir ini.

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

Depok, Januari 2012



Penulis

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

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

Nama : Arya Imam
NPM : 0906.605.5473
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**STUDI KUAT TARIK MORTAR YANG MENGANDUNG ABU SEKAM
PADI (RHA) DAN LIMBAH ADUKAN BETON (CSW) DENGAN
KOMPOSISI SEMEN BERBANDING AGREGAT HALUS 1 : 3**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 17 Juni 2012
Yang Menyatakan



(Arya Imam)

ABSTRAK

Nama : Arya Imam
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Kuat Tarik Mortar Yang Mengandung Abu Sekam Padi (*RHA*) Dan Limbah Adukan Beton (*CSW*) Dengan Komposisi Semen Berbanding Agregat Halus 1 : 3

Dalam penelitian ini meninjau penggunaan bahan limbah adukan beton siap pakai atau *Concrete Sludge Waste (CSW)* sebagai substitusi pasir untuk agregat halus dan penggunaan abu sekam padi *Rice Husk Ash (RHA)* sebagai substitusi perekat semen dalam campuran mortar yang diharapkan dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *paving block*. *CSW* itu sendiri yaitu limbah sisa adukan beton yang sama sekali tidak terpakai dan menjadi suatu masalah bagi perusahaan produsen *ready mix* dalam hal tempat pembuangan akhirnya. Sifat mekanik campuran mortar yang diuji dengan total benda uji sebanyak 125 buah. Yang meliputi kuat tarik langsung 75 benda uji sesuai standar ASTM C 307-03, modulus elastisitas sebanyak 25 benda uji sesuai standar ASTM C 580-02, dan kuat geser sebanyak 25 benda uji. Pengujian sifat mekanis mortar dibagi kedalam 5 variasi campuran mortar dengan penambahan komposisi *CSW* sebanyak 30%,40%,50%,60%,70% untuk setiap masing-masing variasi campuran. Dalam pengujian ini didapatkan nilai kekuatan terbesar untuk campuran mortar dengan komposisi semen, agregat halus 1:3, yang terdiri dari 92% Semen, 8% *RHA*, 70% Pasir, 30% *CSW* mencapai nilai kuat tarik optimum sebesar 4.98 MPa, modulus elastisitas sebesar 10299.224 MPa, dan nilai kuat geser sebesar 1.09 MPa .

Kata Kunci : *Rice Husk Ash, Concrete Sludge Waste*, sifat mekanik mortar, kuat tarik, modulus elastisitas, kuat geser.

ABSTRACT

Nama : Arya Imam
Program Studi : Civil Engineering
Judul : Study on Tensile Strength of Cement Mortar Containing Rice Husk Ash (RHA) and Concrete Sludge Waste (CSW) Using Composition Cement Proportionate Fine Aggregate 1: 3

In this research reviewed the use of waste material concrete ready mix or Concrete Sludge Waste (CSW) as a substitute sand for fine aggregate and the use of Rice Husk Ash (RHA) as a substitute for cement adhesive in the mix mortar that is expected to be utilized in the manufacture of paving blocks . CSW's own residual waste concrete that is completely unused and become a problem for ready mix manufacturers company in landfills. Mechanical properties of mortar mixtures were tested with a total 125 specimens. Which includes 75 direct tensile test specimens according to ASTM C 307-03, modulus of elasticity with 25 test specimens according to ASTM C 580-02, and the shear strength with 25 specimens. Testing the mechanical properties of mortar mixtures were divided into five variations of the composition mortar with the addition of CSW as much as 30%, 40%, 50%, 60%, 70% for each variation of mixture. In this test the value obtained for the greatest strength of mortar mixed with the composition of cement, fine aggregate ratio 1:3, which consists of 92% cement, 8% RHA, 70% sand, 30% CSW getting optimum tensile strength value 4.98 MPa, modulus of elasticity 10299.224 MPa, and shear strength 1.09 MPa.

Keywords : *Rice Husk Ash, Concrete Sludge Waste*, the mechanical properties of mortar, tensile strength, modulus of elasticity, shear strength

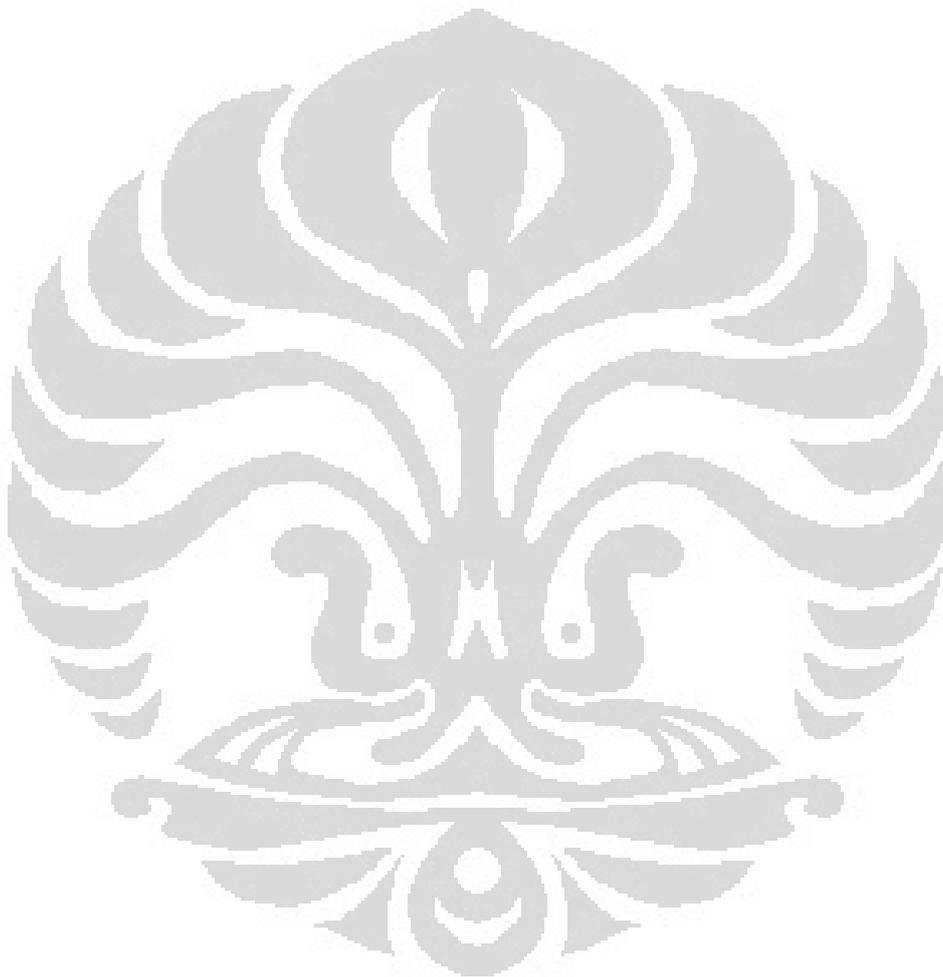
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PEGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Hipotesa	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mortar	5
2.2 Bahan Pembentuk Mortar.....	6
2.2.1 Semen Portland	6
2.2.2 Limbah Beton	12
2.2.3 Agregat	14
2.2.3.1 Agregat Halus.....	15
2.2.3.2 Agregat Kasar.....	16
2.2.4 Abu Sekam Padi	17
2.2.5 Air	18

2.3	Sifat Mekanis Mortar	20
2.3.1	Kuat Tarik Langsung	20
2.3.2	Kuat Tarik Lentur	21
2.3.3	Modulus Elastisitas	22
BAB III METODELOGI PENELITIAN		23
3.1	Rancangan Penelitian	23
3.2	Bahan dan Peralatan yang Digunakan	24
3.2.1	Bahan Utama Pembentuk Mortar Semen	24
3.2.2	Peralatan yang Digunakan	24
3.3	Diagram Alir Metode Penelitian	26
3.4	Pengujian Bahan Pembentuk Mortar	27
3.4.1	Pengujian Konsolidasi Untuk Mendapatkan Faktor Air Semen	27
3.4.2	Pengujian Agregat Halus	29
3.4.3	Pengujian Limbah Beton	36
3.5	Pembuatan Benda Uji	39
3.6	Pengujian Mekanis Mortar	41
3.6.1	Pengujian Konsistensi	41
3.6.2	Pengujian Waktu Ikat (<i>Setting Time</i>)	45
3.6.3	Uji Kuat Tarik Langsung	48
3.6.4	Pengujian Modulus Elastisits	49
3.6.5	Pengujian Geser	52
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Pengujian Pendahuluan.....	53
4.1.1	Pengujian Sifat Agregat Halus, CSW dan RHA	53
4.1.1.1	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	53
4.1.1.2	Berat isi	54
4.1.1.3	Analisa Ayak	55
4.1.1.4	Kadar Air.....	56
4.1.1.5	Kadar Lumpur	56

4.1.1.6	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan air <i>Concrete Sludge Waste</i> (CSW)	57
4.1.1.7	Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Berat Isi Padat CSW	57
4.1.1.8	Hasil Pengujian Analisa Ayak	58
4.1.1.9	Hasil Pengujian Kadar Lumpur.....	60
4.1.1.10	Hasil Pengujian Kadar Air	61
4.1.2	Pengujian Konsistensi	61
4.1.3	Nilai <i>Setting Time</i>	64
4.2	Kebutuhan Bahan Desain Campuran Mortar.....	75
4.3	Hasil Pengujian Kuat Tarik Mortar	77
4.3.1	Hasil Pengujian Campuran 30% CSW 70% Pasir (Kode : CHWM131)	78
4.3.2	Hasil Pengujian Campuran 40% CSW 60% Pasir (Kode : CHWM132)	79
4.3.3	Hasil Pengujian Campuran 50% CSW 50% Pasir (Kode : CHWM133)	80
4.3.4	Hasil Pengujian Campuran 60% CSW 40% Pasir (Kode : CHWM134)	81
4.3.5	Hasil Pengujian Campuran 70% CSW 30% Pasir (Kode : CHWM135)	82
4.4	Pengujian Lentur Dan Modulus Elastisitas	84
4.5	Pengujian Kuat Geser	91
4.6	Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Mortar	94
4.7	Pengaruh Penambahan <i>Concrete Sludge Waste</i> (CSW)	96
4.7.1	Pengaruh Terhadap Kuat Tarik	96
4.7.3	Pengaruh Terhadap Kuat Geser	98
4.8	Pengujian SEM Pada Mortar	99
4.9	Pemanfaatan CSW Sebagai Material Bahan Bangunan	103
4.9.1	Kebutuhan Bahan Untuk Pembuatan Paving Blok Mutu C	104

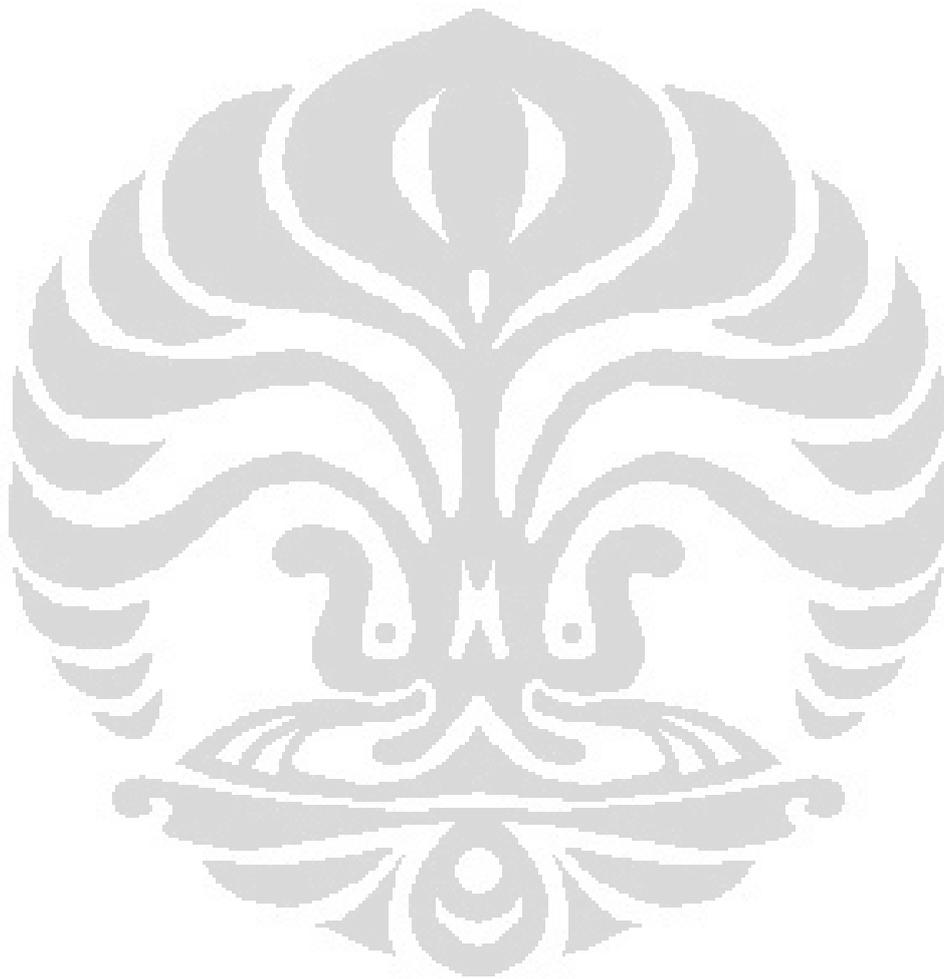
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	103
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	xvii
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

GAMBAR 2.1	Proses pembuatan abu sekam padi	18
GAMBAR 2.2	<i>Stress-Strain curve</i> ASTM C 580-02.....	23
GAMBAR 3.1	<i>Flowchart</i> penelitian.....	26
GAMBAR 4.1	Grafik Gradasi Agregat Halus Pada Zona 2	55
GAMBAR 4.2	Grafik pengujian analisa ayak <i>Rice Husk Ash</i> (RHA).....	59
GAMBAR 4.3	Grafik pengujian analisa ayak <i>Concrete Sludge Waste</i> (CSW).....	60
GAMBAR 4.4	Histogram perbandingan nilai FAS berdasarkan variasi mortar	63
GAMBAR 4.5	Grafik pengujian setting time kode CHWM131.....	65
GAMBAR 4.6	Grafik pengujian setting time kode CHWM132.....	67
GAMBAR 4.7	Grafik pengujian setting time kode CHWM133.....	69
GAMBAR 4.8	Grafik pengujian setting time kode CHWM134.....	71
GAMBAR 4.9	Grafik pengujian setting time kode CHWM135.....	73
GAMBAR 4.10	Histogram perbandingan nilai setting time berdasarkan variasi mortar.....	74
GAMBAR 4.11	Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 131	78
GAMBAR 4.12	Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 132	79
GAMBAR 4.13	Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 133	80
GAMBAR 4.14	Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 134	81
GAMBAR 4.15	Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 135	82
GAMBAR 4.16	Grafik Gabungan Kuat tarik vs Umur	83
GAMBAR 4.17	Pengujian modulus elastisitas	84
GAMBAR 4.18	Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM131	84
GAMBAR 4.19	Grafik Tegangan vs Regangan CHWM131.....	85
GAMBAR 4.20	Grafik Tegangan vs Regangan CHWM132.....	86
GAMBAR 4.21	Grafik Tegangan vs Regangan CHWM133.....	87
GAMBAR 4.22	Grafik Tegangan vs Regangan CHWM134.....	88
GAMBAR 4.23	Grafik Tegangan vs Regangan CHWM135.....	89
GAMBAR 4.24	Grafik gabungan pengujian Modulus Elastisitas untuk semua campuran	90
GAMBAR 4.25	Grafik gabungan pengujian Kuat Geser untuk semua campuran	93

GAMBAR 4.26 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari	94
GAMBAR 4.27 Foto uji SEM mortar CHWM-131.....	99
GAMBAR 4.28 Foto uji SEM mortar CHWM-133.....	100
GAMBAR 4.29 Foto uji SEM mortar CHWM-134.....	101
GAMBAR 4.30 Foto uji SEM mortar CHWM-135.....	102



DAFTAR TABEL

TABEL 2.1	Susunan Unsur Kimia Semen Portland	7
TABEL 2.2	Syarat fisik semen portland komposit	12
TABEL 2.3	Komposisi kimia limbah adukan beton	14
TABEL 2.4	Batas – batas gradasi agregat halus menurut SNI 03-2834-1992.....	16
TABEL 2.5	Batas – batas gradasi agregat kasar menurut SNI 02-2384-1992	17
TABEL 2.6	Persyaratan kekerasan agregat kasar	17
TABEL 2.7	Komposisi Kimia Abu Sekam Padi.....	18
TABEL 2.8	Batas dan izin kandungan air untuk campuran beton/mortar	19
TABEL 3.1	Komposisi campuran mortar semen yang akan dibuat	23
TABEL 3.2	Macam – Macam Wadah Baja Silinder	32
TABEL 3.3	Banyaknya benda uji berdasarkan ukuran butir maksimum agregat halus.....	35
TABEL 4.1	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	53
TABEL 4.2	Hasil pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus	54
TABEL 4.3	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus.....	54
TABEL 4.4	Hasil Pengujian Analisa Ayak Agregat Halus Spesifikasi Zona	55
TABEL 4.5	Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	56
TABEL 4.6	Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	56
TABEL 4.7	Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air (CSW)	57
TABEL 4.8	Hasil pengujian berat isi lepas dan berat isi padat CSW	57
TABEL 4.9	Pengujian analisa ayak <i>Rice Husk Ash</i> (sumber: skripsi Abdul latief, 2011).....	58
TABEL 4.10	Pengujian analisa ayak <i>Concrete Sludge Waste</i> (CSW).....	59
TABEL 4.11	Hasil pengujian kadar lumpur CSW.....	60
TABEL 4.12	Hasil pengujian kadar air CSW	61
TABEL 4.13	Nilai flow table hasil pengujian konsistensi	62
TABEL 4.14	Nilai faktor air semen	62
TABEL 4.15	Nilai setting time CHWM131	64
TABEL 4.16	Nilai setting time CHWM132	66
TABEL 4.17	Nilai setting time CHWM133	68
TABEL 4.18	Nilai setting time CHWM134	70

TABEL 4.19	Nilai setting time CHWM135	72
TABEL 4.20	Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian kuat tarik).....	75
TABEL 4.21	Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian modulus elastisitas).....	75
TABEL 4.22	Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian geser)	76
TABEL 4.23	Total kebutuhan bahan	76
TABEL 4.24	Hasil pengujian kuat tarik gabungan	77
TABEL 4.25	Hasil pengujian kuat tarik CHWM 131.....	78
TABEL 4.26	Hasil pengujian kuat tarik CHWM 132.....	79
TABEL 4.27	Hasil pengujian kuat tarik CHWM 133.....	80
TABEL 4.28	Hasil pengujian kuat tarik CHWM 134.....	81
TABEL 4.29	Hasil pengujian kuat tarik CHWM 135.....	82
TABEL 4.30	Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM131, komposisi 30% CSW, 70% Pasir	84
TABEL 4.31	Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM132, komposisi 40% CSW, 60% Pasir	85
TABEL 4.32	Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM133, komposisi 50% CSW, 50% Pasir	86
TABEL 4.33	Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM134, komposisi 60% CSW, 40% Pasir	87
TABEL 4.34	Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM135, komposisi 70% CSW, 30% Pasir	88
TABEL 4.35	Hasil gabungan pengujian Modulus Elastisitas rata – rata	89
TABEL 4.36	Hasil pengujian Kuat Geser CHWM131	91
TABEL 4.37	Hasil pengujian Kuat Geser CHWM132	91
TABEL 4.38	Hasil pengujian Kuat Geser CHWM133	92
TABEL 4.39	Hasil pengujian Kuat Geser CHWM134	92
TABEL 4.40	Hasil pengujian Kuat Geser CHWM135	93
TABEL 4.41	Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan	94
TABEL 4.42	Perbedaan Kuat Lentur Teoritis dengan Penelitian	95
TABEL 4.43	nilai C yang didapatkan dari nilai f_c' dan f_r pengujian	95

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Laju pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat berakibat pada tingginya akan kebutuhan akan sarana hunian. Pengembangan kawasan-kawasan hunian lebih lanjut akan memacu meningkatnya kebutuhan bahan bangunan. Bahan-bahan tersebut harus disediakan dalam jumlah besar dari alam maupun buatan. Peningkatan akan kebutuhan bahan bangunan harus disikapi dengan pemanfaatan dan penemuan bahan bangunan yang mampu memberikan alternatif kemudahan pengerjaan, hemat biaya serta berwawasan lingkungan.

Penggunaan limbah menjadi bahan dasar pembentukan mortar dan beton, merupakan suatu jawaban terhadap pembangunan yang berwawasan lingkungan. Limbah adukan beton siap pakai dan bahan tambah abu sekam padi sebagai bahan kontruksi menjawab perihal wawasan lingkungan tersebut, dimana disatu sisi limbah adukan beton sama sekali tidak terpakai dan menjadi suatu masalah bagi perusahaan produsen *ready mix* dalam hal tempat pembuangan akhirnya. Limbah adukan beton siap pakai (*Concrete Sludge Waste*) merupakan bahan yang banyak tertimbun dan cenderung menjadi sampah serta berakibat tertutupnya lahan serapan air dan pemicu timbulnya debu pada pembuangan sisa beton setelah mengering.

karena pemanfaatannya yang masih sedikit / relatif kecil, sehingga perlu ditangani secara serius. Dilain sisi penggunaan limbah padat tersebut dapat menggantikan atau mengurangi penggunaan batu alam sebagai agregat halus maupun kasar dalam campuran beton, sehingga aspek wawasan lingkungan terpenuhi.

Bahan tambah lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah Abu sekam padi (*Rice Husk Ash*) yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi. Belakangan ini banyak peneliti yang memanfaatkan abu sekam padi dalam membuat suatu bahan seperti pembuatan keramik, pembuatan batu bata, campuran beton dan lain-lain.

Dari penelitian yang pernah dilakukan didapatkan bahwa sekitar 20% dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi dari 13% sampai 29% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar (Hara,1996; Krishnarao, et al., 2000).

Nilai paling umum kandungan silika (SiO_2) dalam abu sekam padi adalah 94%-96% dan apabila nilainya mendekati atau dibawah 90% kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah (Houston, 1972; Prasad, et al., 2000).

Penambahan abu sekam padi dalam persentase tertentu dapat meningkatkan kekuatan mortar semen melalui reaksi antara silika (SiO_2) dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada mortar semen. Abu sekam padi diperoleh dengan menghaluskan abu sekam sampai lolos saringan 200. Sekam padi yang sudah dihaluskan tersebut dibakar sampai temperatur $400-800^\circ\text{C}$ sesuai dengan kemampuan tungku (*furnace*) yang ada sehingga menjadi abu sekam padi (Kusumantara, Diah, 2009).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penggunaan Limbah adukan beton siap pakai (CSW) dengan bahan tambah Abu sekam padi (RHA) pada mortar semen diharapkan mampu memberikan nilai kekuatan yang optimal dari mortar semen. Sehingga campuran limbah adukan beton siap pakai (CSW) dan Abu sekam padi (RHA) diharapkan dapat menjadi bahan alternatif dalam pembuatan mortar semen.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat mekanis pada mortar semen, yang menggunakan campuran Limbah beton siap pakai (CSW) dan Abu Sekam Padi (ASP) dengan komposisi : 25% (Portland Pozzolan Cement + Abu Sekam Padi) : 75% (Limbah Beton + pasir)

Adapun sifat-sifat mekanis yang diamati adalah :

- a. Kuat tarik langsung mortar
- b. Kuat tarik lentur mortar

- c. Modulus Elastisitas
- d. Kuat Geser

Serta hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan dan digunakan oleh masyarakat sehingga diperlukan teknologi yang ramah lingkungan, harga relatif lebih murah, mutu tinggi, dan pelaksanaan yang mudah.

1.3. Batasan Masalah

Lingkup pembahasan dalam penelitian ini dibatasi dan difokuskan pada hal-hal dibawah ini :

1. Pengujian dilakukan berdasarkan **SNI** dan **ASTM**.
2. Limbah beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah sisa beton siap pakai dari PT. Holcim untuk *batching plant* Kampung Rambutan.
3. 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.
4. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu sekam padi yang diproduksi oleh PT. Hakiki
5. Faktor air semen dipakai nilai maksimum dengan cara *trial and error*.
6. Suhu yang digunakan dianggap sama yaitu 28°C.
7. Pengujian kuat tarik langsung dilakukan pada umur 28, 56 dan 90 hari sedangkan pengujian modulus elastisitas dan kuat geser dilakukan pada umur 28 hari

1.4. Hipotesa

Pada penelitian ini mortar dengan campuran RHA dan CSW, diharapkan dapat mampu menghemat pemakaian semen dan pasir sebagai bahan pembentuk mortar yang mampu menghasilkan nilai kuat tarik langsung, kuat lentur, modulus elastisitas dan kuat geser sesuai dengan standar sebagai bahan bangunan yang ramah lingkungan dan 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 Observasi

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*.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

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 cara kerjanya, pengumpulan data maupun dalam menganalisa.

BAB IV Pembahasan

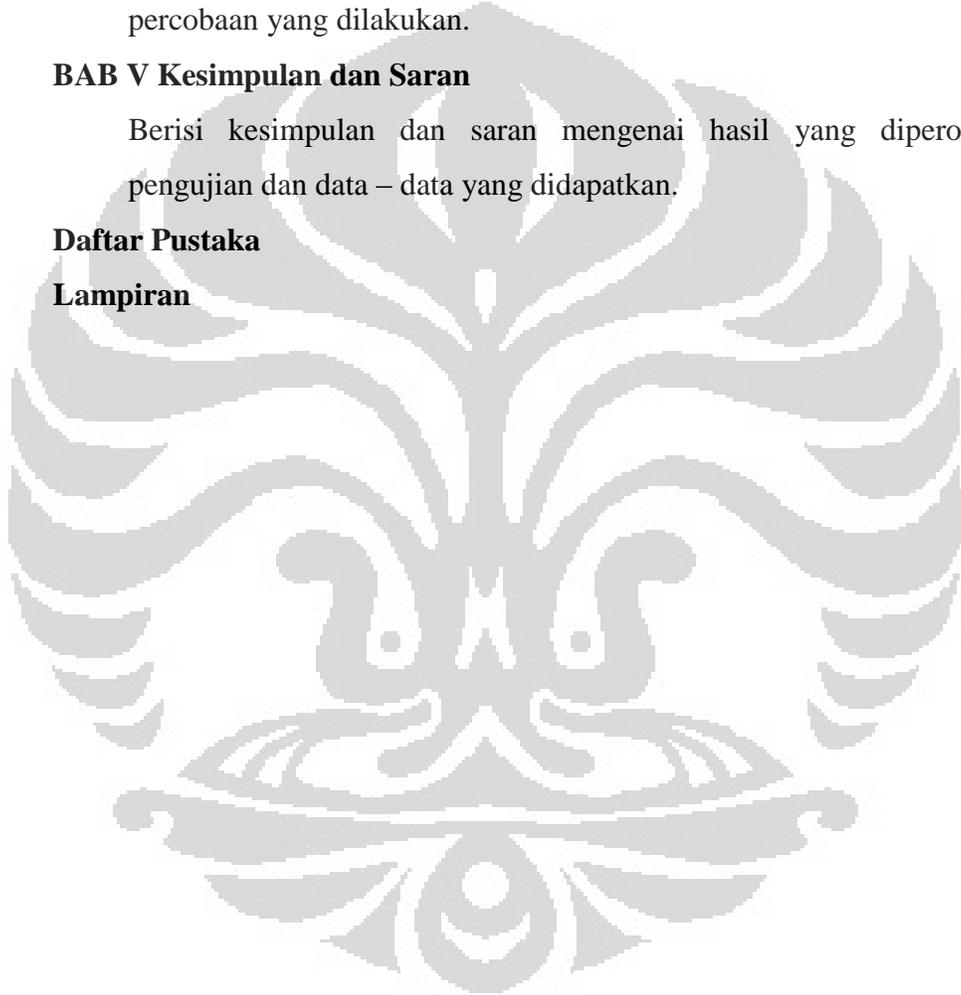
Berisikan tentang data – data yang diperoleh dan analisa dari hasil percobaan yang dilakukan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

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

Daftar Pustaka

Lampiran



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mortar

Mortar adalah campuran plastis yang dibuat dengan campuran semen, air dan pasir yang digunakan sebagai material pengikat dan material pengisi dalam konstruksi blok. Menurut SK SNI-111-1990-03 mendefinisikan mortar sebagai campuran semen, air dan agregat halus. Bahan perekat yang digunakan dapat bermacam-macam, yaitu dapat berupa tanah liat, kapur, semen merah (bata merah yang dihaluskan), maupun semen portland. Ada beberapa jenis mortar antara lain sebagai berikut :

A. Mortar semen

Mortar semen portland (sering dikenal hanya sebagai mortar semen) dibuat dari semen Portland mencampur dengan pasir dan air. Mortar semen lebih sering digunakan karena lebih cepat kering dibandingkan mortar kapur yang dapat mempercepat pada proses konstruksi.

B. Mortar Polimer (Polimer semen mortar)

mortar semen Polimer (PCM) adalah bahan yang dibuat dengan menggantikan semen hidrat pengikat semen mortar konvensional dengan polimer. Pencampuran polimer termasuk lateks atau emulsi, bubuk redispersible polimer, polimer yang larut dalam air, resin cair dan monomer. Memiliki permeabilitas rendah, dan mengurangi kejadian retak susut pengeringan, terutama dirancang untuk memperbaiki struktur beton.

C. Mortar Kapur (Kapur mortar)

Mortar Kapur (Kapur mortar) dibuat dengan mencampur pasir, kapur dan air. Proses pembuatan mortar kapur sederhana. Kapur dibakar dalam sebuah tungku untuk membentuk kapur tohor. kapur tersebut kemudian dicampur dengan air untuk membentuk kapur mati, dan membentuk dempul kapur atau serbuk kapur terhidrasi. Hal ini kemudian dicampur dengan pasir dan air untuk membentuk mortar.

D. (Mortar Pozzolan) Pozzolana mortar

Pozzolan halus, abu vulkanik berpasir, awalnya ditemukan dan digali di Italia di Pozzuoli di wilayah sekitar Gunung Vesuvius. Vitruvius seorang arsitek Romawi kuno berbicara tentang empat jenis pozzolana yang ditemukan di semua wilayah gunung berapi di Italia dalam berbagai warna: hitam, putih, abu-abu dan merah. Pozzolan yang halus apabila dicampur dengan kapur memberikan sifat seperti semen Portland dan membentuk mortar yang kuat yang juga dapat mengeras didalam air air.

2.2 Bahan Pembentuk Mortar

Bahan dasar pembentuk mortar semen dalam penelitian ini terdiri dari semen Portland, CSW, agregat halus, abu sekam padi, dan air

2.2.1 Semen Portland

Fungsi semen adalah sebagai material pengikat yang mengikat material lain untuk membentuk suatu benda padat (beton). Semen Portland adalah suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozzolan.

Sedangkan Pozolan adalah bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen (SNI 15-2049- 2004).

Tabel 2.1. Susunan Unsur Kimia Semen Portland

Susunan Unsur Semen Portland	
Oksida	Presentase (%)
Kapur (CaO)	60 – 67
Silika (SiO ₂)	17 – 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3 – 8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5 – 6
Magnesium (MgO)	0.1 – 4
Alkalis	0.2 – 1.3
Sulfur (SO ₃)	1 – 3

Sumber : Neville A M, 1981, P11

Perbedaan semen yang satu dengan yang lainnya dapat dibedakan dari susunan kimianya maupun kehalusan butirnya. Selain dari itu, perbedaan semen juga dapat ditinjau dari sifat fisiknya. Sifat Fisik semen Portland antara lain :

1. Kehalusan butir

Kehalusan butir semen mempengaruhi proses hidrasi, sehingga lamanya waktu ikat menjadi lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan penggilingan butir semen dinamakan penampang spesifik, yaitu luas butir permukaan semen. Jika seluruh permukaan penampang semen lebih besar, semen akan memperbesar bidang kontak dengan air semakin besar.

Sehingga semakin halus butiran semen, proses hidrasinya akan semakin cepat, artinya kekuatan awal tinggi, sehingga kekuatan akhir akan berkurang karena hidrasi awal oleh kelembaban air.

Kehalusan butir semen yang tinggi-pun dapat mengurangi terjadinya bleeding, yaitu naiknya air ke permukaan, akan tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

2. Waktu ikat

Waktu ikat adalah lamanya waktu yang diperlukan semen dari saat mulai bereaksi dengan air menjadi pasta semen sampai dengan pasta semen cukup kaku menahan tekanan. Waktu ikat semen dibagi menjadi dua, waktu ikat awal (*initial setting time*) yaitu waktu dari pencampuran semen dengan air menjadi pasta semen sampai terjadi kehilangan sifat keplastisan dan waktu ikatan akhir (*final setting time*) yaitu, waktu terjadi pasta semen sampai beton mengeras atau massa mengeras. Pada semen Portland *initial setting time* sekitar 1,0 – 2,0 jam tetapi tidak boleh kurang dari 1,0 jam, dan *final setting time* tidak boleh lebih dari 8,0 jam.

Waktu ikatan awal sangat penting dalam kontrol pekerjaan beton, untuk kasus-kasus tertentu *initial setting time* terkadang diperlukan lebih dari dua jam, agar waktu untuk terjadinya ikatan awal lebih panjang. Waktu yang panjang dibutuhkan untuk transportasi, penuangan, pemadatan dan penyelesaiannya. Proses ikatan ini disertai perubahan temperatur dari ikatan awal dan mencapai puncaknya pada waktu berakhirnya ikatan akhir. Waktu ikatan yang pendek akibat naiknya temperatur sekitar 30°C dan lebih besar. Waktu ikatan ini sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang dipakai dan lingkungan sekitarnya.

3. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram. Jumlah panas yang dibentuk antara lain tergantung dari jenis semen yang dipakai dan kehalusan butir semen. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat membentuk masalah yakni retakan yang terjadi pada saat pengerasan. Pada struktur beton, retakan ini tidak diinginkan, terutama pada struktur beton mutu tinggi. Pembentukan panas ini sangat besar sehingga dalam masa pelaksanaan perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (*curing*).

4. Perubahan volume (kekekalan)

Kekekalan pasta semen yang telah mengeras merupakan suatu ukuran dari kemampuan pengembangan dari bahan-bahan campurannya dan kemampuan untuk mempertahankan volume setelah mengikat. Ketidak-kekekalan semen disebabkan karena terlalu banyaknya jumlah kapur bebas yang pembakarannya tidak sempurna serta magnesia yang terdapat dalam campuran tersebut. Kapur bebas itu mengikat air dan kemudian menimbulkan gaya-gaya ekspansi.

5. Kekuatan tekan

Pasta semen sebagai bahan perekat pada beton harus memiliki kekuatan yang memenuhi syarat, karena untuk beton struktural, apabila mutu semennya tidak memenuhi standard, maka mutu beton juga tidak memenuhi syarat. Kekuatan pada semen timbul karena reaksi antara C_3S dan C_2S dengan air membentuk Kalsium Silikat Hidrat ($C_3S_2H_3$) atau dalam semen disebut *Tobermorin*. Sifat dari *Tobermorin* adalah keras dan tidak mudah larut dalam air, sifat inilah yang diharapkan dalam bahan perekat untuk beton.

a) Jenis – jenis semen portland

Presentase senyawa kimia semen akan menyebabkan perbedaan semen. Kandungan senyawa kimia semen yang ada pada semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Dilihat dari susunan senyawanya, portland semen di bagi menjadi lima jenis, yaitu :

1. Semen type 1, semen yang ada di alamnya penggunaannya tidak secara khusus (pemakaian secara umum). Biasanya di gunakan pada bangunan-bangunan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus.

2. Semen type 2, mengandung kadar $C_3A < 8\%$. Semen yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Semen ini digunakan untuk bangunan dan konstruksi beton yang selalu berhubungan dengan air kotor, air tanah atau pondasi yang tertanam di dalam tanah yang mengandung garam sulfat dan saluran air limbah atau bangunan yang berhubungan langsung dengan air rawa.
3. Semen type 3, memiliki kadar C_3S dan C_3A yang tinggi dan butirannya di giling sangat halus sehingga cepat mengalami proses hidrasi. Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase pengikatan terjadi. Biasanya di gunakan untuk bangunan di daerah bertemperatur rendah (musim dingin).
4. Semen type 4, kadar C_3S maksimum 35% dan C_3A maksimum 5%. Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah. Digunakan pada pekerjaan beton volume besar (beton massa) dan masif, misalnya bendungan.
5. Semen type 5, Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Biasanya digunakan pada bangunan yang selalu berhubungan dengan air laut, saluran limbah industri bangunan yang berpengaruh oleh uap kimia dan gas agresif serta untuk pondasi yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat tinggi.

b) Jenis semen yang ada di pasaran

Meningkatnya permintaan material beton untuk dijadikan sebagai elemen struktural pada berbagai konstruksi bangunan modern, sering kali tidak hanya tertuju pada tercapainya kinerja kekuatan, tetapi juga diperlukan kinerja-kinerja lain yang dapat memberikan nilai tambah pada beton tersebut. Tercapainya kinerja kekuatan beton yang diharapkan selalu harus dibarengi dengan tingkat kemudahan pengerjaan dan pemompaan yang baik namun dengan menggunakan jumlah air yang lebih sedikit serta memiliki keawetan jangka panjang.

Beberapa diantaranya, juga sekaligus membutuhkan panas hidrasi rendah dan penundaan waktu ikat akibat pengaruh cuaca yang panas, jarak pengangkutan yang jauh, kondisi medan atau karena kondisi volume massa beton yang cukup besar.

Upaya untuk mencapai kinerja-kinerja tersebut adalah dengan menggunakan tipe semen yang lambat mengeras atau dengan mensubstitusikan bahan-bahan tambah mineral yang bersifat pozolanik pada semen dan bahkan ada yang menggunakan produk semen yang dicampur secara khusus. Penggunaan bahan-bahan admixture yang dapat mereduksi penggunaan air (*water reducing*) namun memperbaiki *workability* campuran dan sekaligus menunda waktu pengikatan (*retarding*) juga sering menjadi alternatif. Beberapa tipe semen yang ada di pasaran, antara lain :

- *Portland Pozzoland Cement* (PPC)
- *Portland Composit Cement* (PCC)
- *Ordinary Portland Cement* (OPC)

Namun Pada penelitian kali ini, Semen yang digunakan yaitu *Portland Composit Cement* (PCC). Semen portland komposit adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6%-35% dari massa semen portland komposit.

Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti: pekerjaan beton, pemasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti beton pracetak, beton pratekan, panel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya.

Semen portland komposit ini memiliki persyaratan mengenai sifat kimia dan fisiknya, adapun syarat kimia untuk semen portland komposit adalah mempunyai kandungan SO_3 maksimum 4.0%. Sedangkan untuk syarat fisika dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Syarat fisik semen portland komposit.

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Kehalusan dengan alat blaine	m ² /kg	Min. 280
2.	Kekekalan bentuk dengan autoclave : - Pemuaiian - Penyusutan	% %	Maks. 0,80 Maks. 0,20
3.	Waktu pengikatan dengan alat vicat : - Pengikatan Awal - Pengikatan akhir	Menit Menit	Min. 45 Maks. 375
4.	Kuat Tekan : - Umur 3 hari - Umur 7 hari - Umur 28 hari	Kg/cm ² Kg/cm ² Kg/cm ²	Min. 125 Min. 200 Min. 250
5.	Pengikatan Semu : - Penetrasi akhir	%	Min. 50
6.	Kandungan udara dalam mortar	% Volume	Maks. 12

Sumber : SNI-15-7064-2004 (Semen Portland Komposit).

2.2.2 Limbah Beton Siap Pakai (*Concrete Sludge Waste*)

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga) yang belum memiliki nilai ekonomis. Limbah berdampak luas dalam penyebarannya, bila tidak diatasi dengan baik dapat menimbulkan kerugian terutama terhadap lingkungan dan kehidupan.

Sisa material yang timbul selama proses konstruksi berdasarkan asalnya dapat dikategorikan menjadi dua bagian (Tchobanoglous et al,1976), yaitu :

- a. *Demolition Waste*, adalah sisa material yang timbul dari hasil pembongkaran atau penghancuran bangunan lama.
- b. *Construction Waste*, adalah sisa material konstruksi yang berasal dari pembangunan baru atau renovasi bangunan milik pribadi, komersil, dan struktur lainnya. Sisa material tersebut berupa sampah yang terdiri dari limbah beton, batu-bata, plesteran, kayu, sirap, pipa, dan komponen listrik.

Limbah beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah sisa beton siap pakai dari PT. Holcim untuk *batching plant* Kampung Rambutan. Limbah adukan beton ini berasal dari sisa beton yang melekat di dalam drum truk mixer dan dibersihkan dengan proses pencucian bagian dalam truk mixer setiap hari. Maka CSW merupakan komposisi campuran dari semen, agregat halus, fly ash, dan air hasil pencucian dari truck mixer, dan masih berbentuk lumpur. Pada penelitian sebelumnya dicoba dengan metode trial and error dari campuran OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan limbah beton yang masih berbentuk lumpur dengan perbandingan campuran 1:12; 1:10; 1:8; 1:6. Kuat tekan dievaluasi pada usia 7 hari didapat 1.18MPa, 2.35MPa, 4.71 MPa, dan 5.89MPa. Dimana terdapat perbandingan kuat tekan ≥ 5 MPa mutu beton rendah yang dapat dipakai sebagai bahan bangunan seperti bata, paving blok, dinding partisi dll (*Kusumantara, Diah, holcim*).

Pada penelitian kali ini csw tidak langsung digunakan tetapi dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk mengetahui susunan kimianya. CSW harus terlebih dahulu dalam kondisi kering udara. Setelah CSW sudah mengering atau kering udara, CSW dimasukan ke dalam mesin abrasi Los Angeles untuk dihaluskan. Fungsi CSW digunakan sebagai agregat halus yang bermanfaat untuk mengurangi jumlah pasir. Setelah CSW diabrasi, CSW diayak dengan ayakan saringan 4,75 mm (3/16 in).

Analisis kimia yang dilakukan pada limbah adukan beton yang dilakukan pada Laboratorium Material Science Universitas Indonesia memiliki kandungan kimia, seperti ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2.3. Komposisi kimia limbah adukan beton

Senyawa Kimia	Jumlah (% berat)
CaCO ₃	48,0781
SiO ₂	35,5793
Al ₂ O ₃	7,5603
Fe ₂ O ₃	4,7531
MgO	1,8284
K ₂ O	0,7181
TiO ₂	0,5984
S	0,5744
MnO ₂	0,1972
Cr ₂ O ₃	0,1169

2.2.3 Agregat

Dalam struktur beton biasanya agregat menempati kurang lebih 70 sampai 75 % dari volume massa yang telah mengeras. Sisanya terdiri dari adukan semen yang telah mengeras, air yang belum bereaksi (yaitu, air yang tidak ikut dalam proses hidrasi dari semen) dan rongga-rongga udara. Air yang belum bereaksi dan rongga-rongga udara kenyataannya tidak memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton. Pada umumnya, semakin padat agregat-agregat tersebut tersusun, semakin kuat pula beton yang dihasilkannya, daya tahannya terhadap cuaca dan nilai ekonomis dari beton tersebut (Winter, George. 1993).

Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat mortar, akan tetapi juga mempengaruhi ketahanan (daya tahan terhadap kumunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan). Oleh karena agregat lebih murah dari semen, maka adalah

logis untuk menggunakannya dengan persentase yang setinggi mungkin. Umumnya untuk kekuatan yang maksimum, ketahanan dan ekonomis, agregat harus disemen sepadat mungkin (Kia Wang, Chu; Charles, R. Salmo. 1994).

Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan besar butirannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan kasar berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lain. Meskipun demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dengan agregat kasar.

2.2.3.1 Agregat Halus

Agregat ini biasanya disebut pasir dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 sampai 0,075 mm (ASTM). Partikel dengan ukuran lebih kecil dari 0,075 mm disebut Lumpur. 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 2.4 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

2.2.3.2 Agregat Kasar

Agregat ini mempunyai ukuran lebih besar dari 4,75 mm (ASTM) dan ukuran maksimumnya sangat bervariasi tergantung dari kebutuhan betonnya. Pada umumnya ukuran maksimum agregat kasar adalah 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 80 mm, dan 100 mm. 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 2.5 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

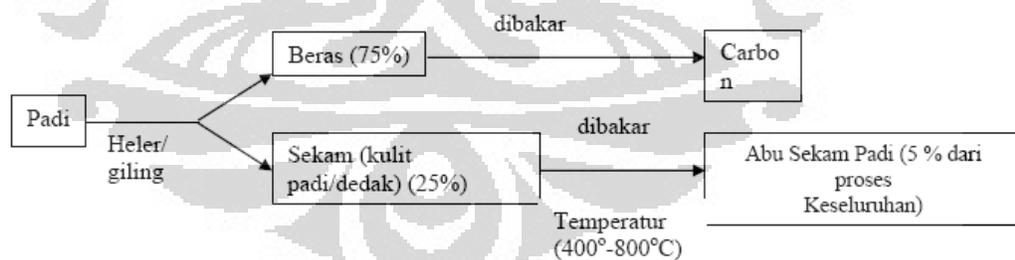
Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia perlu pengujian terhadap keausan. Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton terhadap keausan ditunjukkan dengan tabel berikut.

Tabel 2.6 Persyaratan kekerasan agregat kasar

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

2.2.4 Abu Sekam Padi

Sekam padi adalah bagian terluar dari butir padi, yang merupakan hasil sampingan saat proses penggilingan padi dilakukan. Sedangkan abu Sekam Padi atau *Rice Husk Ash* (selanjutnya disebut RHA) merupakan limbah pembakaran sekam padi memiliki unsur yang bermanfaat untuk peningkatan mutu beton, mempunyai sifat pozolan dan mengandung silika yang sangat menonjol, bila unsur ini dicampur dengan semen akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. Padahal didalam sekam padi ini terdapat unsur SiO_2 reaktif yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pozolan buatan peningkatan mutu beton (Priyosulistyo, 2001). Penambahan abu sekam padi pada mortar semen dapat meningkatkan kekuatan mortar melalui reaksi antara silika (SiO_2) pada abu sekam padi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang merupakan produk reaksi hidrasi semen untuk menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang memberikan kekuatan pada mortar (Latief, 2009). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa variasi waktu pembakaran abu sekam berpengaruh pada kuat tekan beton (Nandhari & Yusuf, 2003). Prosentase optimal penambahan (tanpa mengurangi semen) abu sekam padi sebesar 17,5% dari berat semen dan dengan prosentase tersebut abu sekam padi dapat mengantisipasi kerusakan beton akibat Magnesium Sulfat (MgSO_4).



Gambar 2.1. Proses pembuatan abu sekam padi

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

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

Tabel 2.7 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

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

Sumber: Uji sifat kimia abu sekam PT. Hakiki, Juni 2009

2.2.5 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton.

Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat beton yang dihasilkan. Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang sering disebut sebagai Faktor Air Semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton (Nawy G, Edward. 1998).

Air yang dimaksud disini adalah air sebagai bahan pembantu dalam konstruksi bangunan meliputi kegunaannya dalam pembuatan dan perawatan mortar. Air diperlukan pada pembuatan mortar untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan mortar. Kekuatan dari pasta pengerasan semen ditentukan oleh perbandingan berat antara semen dan faktor air. Persyaratan Mutu Air menurut PUBI 1982, adalah sebagai berikut:

1. Air harus bersih.
 2. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual dan tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2gr/l.
 3. Tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton/mortar.
- (Winter, George. 1993)

Tabel 2.8 Batas dan izin kandungan air untuk campuran beton/mortar

Kandungan	Batas yang diizinkan
PH	4,5 – 8,5
Bahan Padat	2000 ppm
Bahan terlarut	2000 ppm
Bahan organik	2000 ppm
Minyak	2% berat semen
Sulfat (SO ₃)	10000 ppm
Chlor (Cl)	10000 ppm

Sumber : Bahan & Praktek Beton, 1999

2.3 Sifat Mekanis Mortar Semen

Sifat mekanis bahan adalah hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Sifat mekanik berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan. Selain sifat mekanis dan komposisi bahan, yang perlu diperhatikan adalah sifat mortar pada waktu dikerjakan. Jumlah air pencampur sangat mempengaruhi sifat mudah dikerjakannya, dan mortar yang mudah dikerjakan umumnya mempunyai sifat yang baik.

Oleh karena itu sebelum mortar dipakai terlebih dahulu harus dipelajari sifat-sifatnya agar memberikan hasil yang memuaskan. Sifat mekanis yang terdapat pada mortar akan dibahas dalam pembahasan berikut ini diantaranya adalah pembahasan masalah uji uji kuat tarik langsung, kuat tarik lentur, modulus elastisitas, dan kuat geser.

2.3.1 Kuat Tarik Langsung

Adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Untuk mengetahui mutu mortar biasanya dilakukan pengujian. Uji kuat tarik dilakukan dengan membuat mortar dalam bentuk seperti angka delapan. Nilai kuat tarik yang diperoleh dihitung dari besar beban tarik maksimum (N) dibagi dengan luas penampang (m^2) (Tjokrodimulyo,1996).

Kuat tarrik mortar umumnya adalah sekitar seperdelapan kuat tekan pada waktu masih muda, dan berkisar seperduapuluh kuat tekan sesudahnya. Kelemahan struktur berbahan dasar beton/ mortar adalah kuat tarik yang rendah sehingga akan segera retak jika mendapatkan tegangan tarik. Beberapa penelitian terdahulu telah mengadakan percobaan-percobaan sifat kuat tarik yang rendah dengan cara penambahan bahan tambahan, baik yang sifat kimiawi maupun fisikal pada adukan (McCormac, 2003). Metode pengujian kuat tarik berdasarkan standar pengujian dari Departemen Pekerjaan Umum (DPU) yang ada dalam buku SNI 03-2491-1991 atau SK-SNI M-60-1990-03 menerangkan bahwa uji kuat tarik beton atau mortar dilakukan pada umur 28 hari karena umur beton atau mortar yang siap diberi beban adalah 28 hari artinya beban maksimum yang bisa diterima tanpa merusak kekuatan mortar adalah setelah 28 hari. Sedangkan perlunya pengujian sampai usia 90 hari karena menurut penelitian yang dilakukan Sharon L Wood tahun 1992, mortar masih mengalami penambahan kekuatan sampai pada usia tersebut walaupun kenaikannya sedikit.

Kuat tarik mortar langsung dapat diperoleh dengan rumus, sebagai berikut :

$$f_{ct} = \frac{F}{A}$$

Dimana :

f_{ct} = kuat tarik mortar semen (MPa)

P = beban tekan (N)

A = luas bidang tekan (mm²)

(sumber : Timoshenko, 2000)

2.3.2 Kuat Tarik Lentur

Menurut Edward G. Nawy (1990) lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah maka pada balok akan terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan retak lentur disepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya terjadi keruntuhan elemen struktur. Taraf pembebanan yang demikian disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Nilai kuat tekan lentur dihitung dari harga momen di posisi retak dibagi dengan momen statis penampang balok dengan rumus sebagai berikut :

Keruntuhan pada tengah bentang :

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{\text{Nilai momen di posisi retak}}{\text{Momen statis penampang}}$$

$$\sigma_{\text{lentur}} = \frac{M}{W} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Dimana :

σ_{lentur} = tegangan lentur (MPa)

P = beban maksimum yang terjadi (N)

L = panjang bentang (mm)

b = lebar specimen (mm)

h = tinggi specimen (mm)

2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas adalah ratio perbandingan Tegangan dan regangan pada daerah elastis. Daerah elastis pada mortar menurut **ASTM C-580-02** dibatasi sampai 50% defleksi maksimum. Pada pembebanan awal, modulus elastisitas adalah garis singgung dari kurva tegangan-regangan. Kemiringan garis singgung ini didefinisikan sebagai modulus tangen awal.

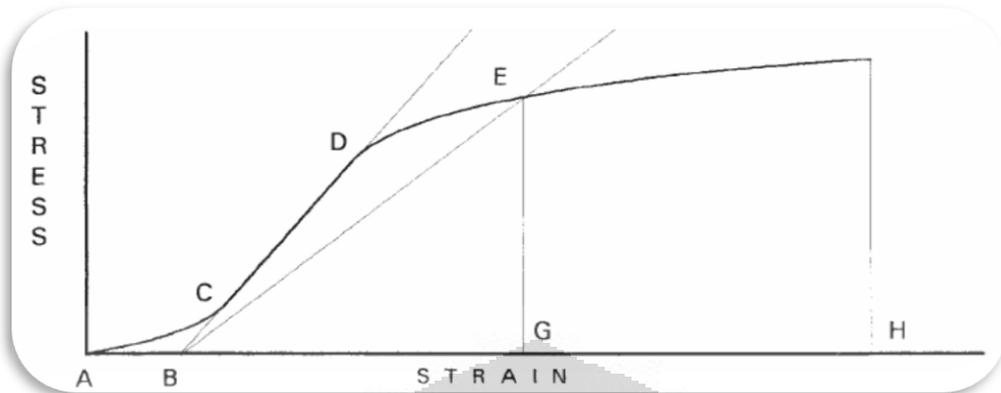
Modulus elastisitas dapat dicari dengan membuat benda uji dengan ukuran 25mm x 25mm x 270mm. Modulus elastisitas dari benda uji tersebut didapat dengan menambahkan beban dengan interval 2N sampai 5N, dan perubahan lendutan. Hubungan antara lendutan dan jari-jari lendutan.

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{\varepsilon}{y}$$
$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2v/dx^2}{\left[1 + \left(dv/dx\right)^2\right]^{3/2}}$$
$$\frac{d^2v/dx^2}{\left[1 + \left(dv/dx\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{M}{EI}$$

→ *R.C.Hibbeler Mechanic of Material*

Modulus dihitung berdasarkan dua asumsi yaitu akibat beban P dan akibat beban P dan berat sendiri benda uji. Langkah yang harus dikerjakan dalam mencari nilai modulus Elastisitas aktual adalah :

- Hitung momen dan bidang momen.
- Hitung lendutan.
- Hitung properti penampang.
- Hitung tegangan dan diagram tegangan penampang.
- Hitung regangan dan plot kedalam grafik.



Gambar 2.2 Stress-Strain curve ASTM C 580-02.

$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{L^3 \times M_2}{4bd^3}$$

Dimana :

L = panjang benda uji (mm).

b = lebar benda uji (mm).

d = tinggi benda uji (mm).

M_2 = kemiringan garis dari titik yang melalui kurva beban-lendutan dimana besarnya defleksi adalah 50% dari defleksi maksimum.

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 pada peraturan SK SNI maupun standar ASTM. Metode penelitian yang digunakan adalah mencari mix design yang paling tepat pembentuk benda uji dari mortar semen Portland Composite cement (PCC), Abu sekam padi dan Limbah adukan beton (CSW). Mix design yang akan dilakukan akan meninjau perbandingan berat semen PCC, abu sekam padi, pasir dan Limbah adukan beton sehingga menghasilkan sifat kuat tarik langsung, kuat lentur, dan geser yang baik dari mortar semen dengan komposisi perbandingan berat 1: 3 yaitu 25% (Semen PCC + Abu Sekam Padi) : 75% (Limbah Adukan Beton + Agregat halus). Masing – masing variasi campuran mortar dibuat 5 benda uji untuk 1 jenis umur dengan ukuran benda uji sesuai dengan ketentuan. Pengujian kuat tarik langsung dilakuan pada umur 28, 56 dan 90 hari. Untuk pengujian kuat lentur, modulus elastisitas, dan geser hanya dilakukan pada umur 28 hari.

Tabel 3.1 Komposisi campuran mortar semen yang akan dibuat

No	Code	Perbandingan Berat					Air Slump Ideal
		Semen + RHA (1 = 25 %)		Agregat Halus (3 = 75 %)		Agregat Kasar (0 %)	
		Semen	RHA	CSW	Pasir	Screened Split	
		%	%	%	%	%	
1	CHWM131	90	10	30	70	0	110
2	CHWM132	90	10	40	60	0	112
3	CHWM133	90	10	50	50	0	105
4	CHWM134	90	10	60	40	0	115
5	CHWM135	90	10	70	30	0	117

Sebelum pembuatan benda uji dimulai, maka terlebih dahulu akan dilakukan pengujian workability untuk mendapatkan nilai faktor air semen (FAS) yang sesuai standar. Setelah didapatkan kadar FAS (faktor air semen) yang sesuai maka dilakukan pembuatan benda uji untuk pengujian pengujian kuat tarik langsung, kuat tarik lentur, modulus elastistas, dan kuat geser. Benda uji akan di test sesuai dengan umur pengujiannya, yang kemudian akan dianalisa dan dibuat kesimpulannya.

3.2. Bahan dan Peralatan yang Digunakan

3.2.1 Bahan Utama Pembentuk Mortar Semen

- a. Semen
 - Jenis : Semen PCC
 - Merk : Semen Tiga Roda
- b. Abu sekam padi
 - Asal : Indramayu
 - Sumber : PT. HAKIKI
- c. Agregat halus (Pasir + Limbah adukan beton)
 - Sumber : PT. Holcim untuk *batching plant*
- d. Air
 - Jenis : Air PAM
 - Sumber : Laboratorium Stuktur dan Material

3.2 Peralatan yang Digunakan

- a. Cetakan mortar

Cetakan persegi mortar dengan ukuran 75 mm x 50 mm x 25 mm yang digunakan untuk pengujian kuat tarik langsung, cetakan persegi ukuran 40 mm x 40 mm x 200 mm untuk uji kuat lentur.

- b. Mesin aduk mortar

Mesin dengan motor listrik, digunakan untuk mengaduk mortar segar.

- c. Ayakan

Ayakan dengan diameter 0,075 mm dengan saringan No. 200, untuk pemeriksaan agregat halus dan limbah beton yang akan digunakan sebagai bahan campuran mortar semen.

d. Timbangan

Timbangan kapasitas 10 kg, digunakan untuk mengukur berat.

e. Gelas ukur

Gelas ukur volume 50 ml, 100 ml, 250 ml, 1000 ml, digunakan untuk mengukur volume air yang dibutuhkan untuk adukan mortar semen.

f. Sendok spesi

Sendok spesi digunakan untuk mengaduk mortar semen

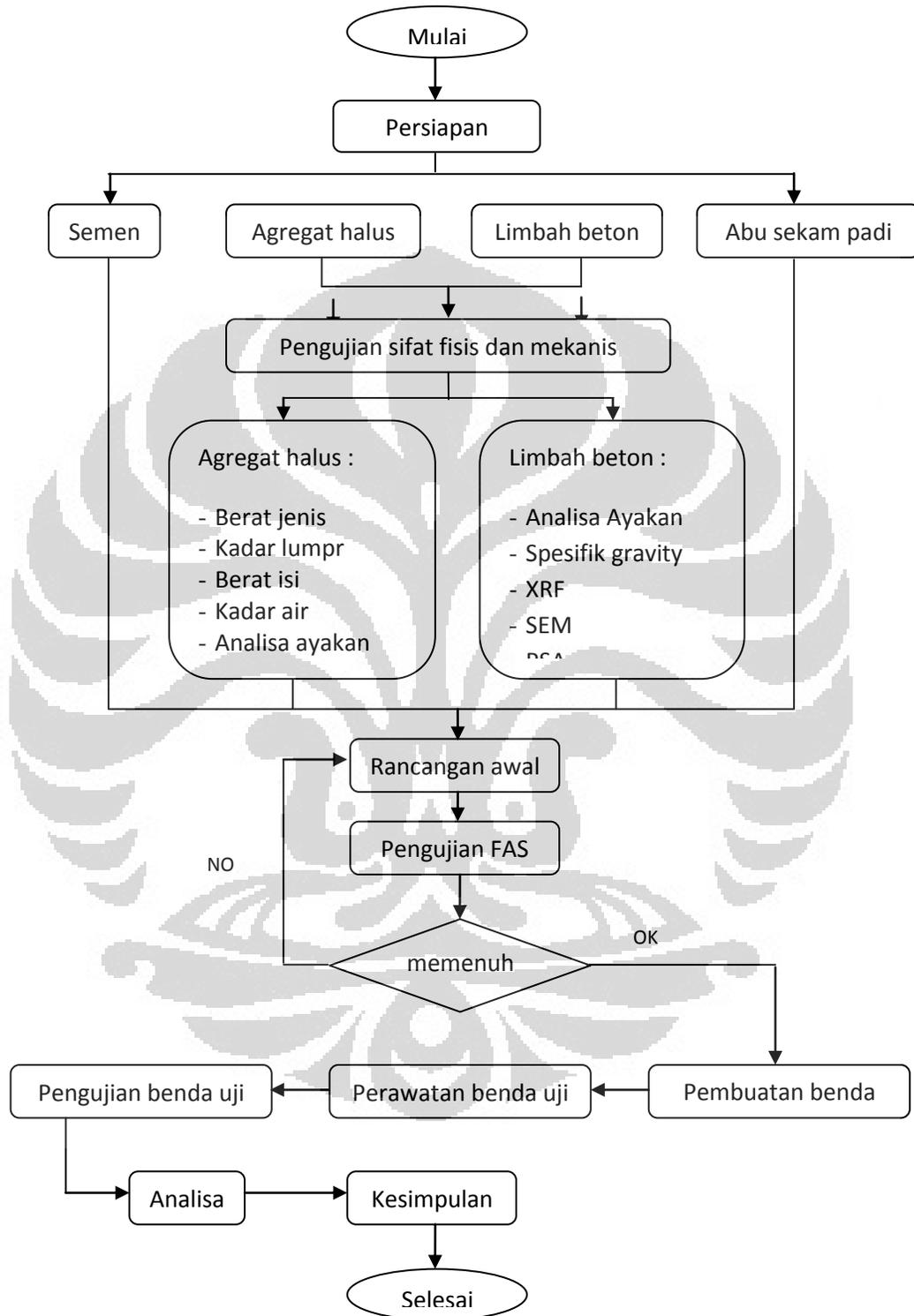
g. Jangka sorong.

Jangka sorong, digunakan untuk mengukur semua dimensi benda uji

h. Alat uji tarik langsung, tarik lentur

Alat uji tarik langsung yang digunakan adalah Cement Briquettes. Untuk pengujian tarik lentur digunakan Mesin Uji tarik Lentur (*Flexural Strength Testing Machine*) Beton dengan kapasitas 100 kN yang terdapat di Laboratorium Bahan dan Struktur Universitas Indonesia

3.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart penelitian.

3.4 Pengujian Bahan Pembentuk Mortar

Sebelum benda uji dibuat, terlebih dahulu dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat bahan – bahan campuran. Pengujian dilakukan terhadap agregat halus dan liyah beton, uji konsistensi untuk mendapatkan faktor air semen (FAS) sesuai **ASTM C-305-82** yang digunakan untuk menentukan jumlah air yang optimum agar menghasilkan mortar yang mudah dikerjakan dan uji setting time untuk mengetahui waktu ikat yang terjadi pada campuran mortar.

3.4 Pengujian Konsolidasi (Flow Test) Untuk Mendapatkan Faktor Air Semen

Pada penelitian ini dilakukan pengujian konsistensi normal dengan flow table sesuai **ASTM C-305-82** yang digunakan untuk menentukan jumlah air yang optimum dengan cara trial and error agar menghasilkan mortar yang mudah dikerjakan. Karena konsistensi/keleccakan mortar tergantung dari kadar air yang terkandung dalam mortar itu sendiri. Mortar dengan bahan dan campuran yang berbeda akan membutuhkan jumlah air yang berlainan untuk mencapai sifat keleccakan (konsistensi normal) Untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal dalam suatu mortar, perlu dilakukan suatu pengujian.

Di dalam laboratorium pengujian konsistensi/ keleccakan ini biasanya diukur dengan suatu alat tertentu yang sering disebut dengan flow table, dimana mortar itu harus memiliki derajat kecairan (flow) yang tertentu. Alat yang dipakai berupa suatu plat datar dari logam, yang dapat diangkat dan dijatuhkan bebas setinggi kurang lebih $\frac{1}{2}$ inchi, sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Diameter mortar sebelum dan sesudah plat tadi dijatuhkan 25 kali diukur kembali. Mortar yang sifat leccaknya baik, perlu memilki derajat kecairan (flow) antara 105%-115%. Di dalam praktek, biasanya flow dari mortar yang dipakai berkisar antara 120%-130%.

1. Alat – alat yang digunakan :

1. Mesin pengaduk mortar
2. Timbangan dengan ketelitian 1 gram
3. Gelas ukur
4. Peralatan flow table lengkap dengan jangka sorong

5. Stopwatch
6. Cawan
7. Sendok aduk
8. Spatula
9. Sarung tangan

2. Prosedur

Persiapkan flow table, cetakan, penumbuk, stopwatch, dan jangka sorong. Segera setelah selesai pengadukan, mortar diisikan ke dalam cetakan dalam 2 lapis. Tiap lapis ditumbuk 20 kali. Ratakan permukaan mortar sama dengan permukaan cetakan. Cetakan diangkat tegak lurus secara perlahan-lahan. Gerakkan flow table dengan cara memutar tuas penggerak sehingga terjadi ketukan 25 kali dalam waktu 15 detik. Karena ketukan ini mortar akan melebar pada permukaan flow table. Ukur pelebaran mortar dengan jangka sorong pada tempat-tempat yang telah ditentukan pada flow table.

3. Perhitungan

10. Menggunakan jangka sorong :

Ukur diameter mortar setelah pengujian (diketuk), pada 4 (empat) tempat, lalu di rata-ratakan $D1$ mm

$$\text{Nilai Flow} = \frac{D1 - D0}{D0} \times 100\%$$

$$D1 = \frac{Da + Db + Dc + Dd}{4} \text{ (mm)}$$

Da - Dd = diameter mortar pada empat posisi.

$D0$ = Diameter awal (dasar kerucut/cetakan) (mm)

11. Menggunakan Caliper khusus :

Ukur diameter mortar setelah pengujian (diketuk), pada 4 (empat) tempat, lalu dijumlahkan

$$\text{Nilai Flow} = Da + Db + Dc + Dd \quad (\%)$$

Catatan :

Konsistensi mortar tercapai apabila pelebaran yang diukur dengan jangka sorong khusus berkisar $110\pm 5\%$. Apabila belum tercapai, ulangi lagi percobaan dengan jumlah air yang berbeda.

3.4.2 Pengujian Agregat Halus**A. Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 03 – 1970 – 90)**

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

2. Bahan

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

3. Prosedur

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

4. Perhitungan

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

Keterangan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

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

B = Berat piknometer + air (gram)

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

B. Uji Berat Isi dan Porositas (Unit Weight and Voids) Agregat Halus (ASTM C 29M – 91a)

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

Tabel 3.2 Macam – Macam Wadah Baja Silinder

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

2. Bahan

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

3. Prosedur

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/lt)

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

C. Uji Analisa Ayak Agregat Halus (SK SNI M 08 – 1989 – F)

1. Peralatan

- Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
- Satu Set Saringan
- Oven untuk memanaskan bahan
- Alat pemisah contoh
- Talam
- Kuas, sikat halus, sikat kuningan
- Sendok dan alat-alat lainnya

2. Ukuran Saringan

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

3. Prosedur Pengujian

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.

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

D. Uji Kadar Air Agregat Halus (SK SNI M 11 – 1989 – F)

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 3.3 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. Prosedur Pengujian

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

E. Uji Kadar Lumpur Agregat Halus (ASTM C 117 – 95)

1. Peralatan

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

2. Prosedur

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

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

3. Perhitungan

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

Keterangan :

W1 = Berat Agregat

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

3.4.3 Pengujian Limbah Beton

A. Uji Analisa Ayak Limbah Beton (ASTM C 135 – 95a)

1. Peralatan

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

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

4. Perhitungan

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

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

B. Uji XRF Limbah Beton (X-RAY Fluorance)

1. Peralatan

- a. Mesin XRF

2. Prosedur

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

Pada penelitian ini saya melakukan uji XRF untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa apa saja yang dimiliki oleh limbah beton sisa adukan beton siap pakai yang berasal dari pabrik beton siap pakai PT. Holcim Indonesia. Berdasarkan uji XRF yang dilakukan di Laboratorium Uji XRF di Kampus Universitas Indonesia Salemba, maka kita akan mengetahui unsur kima dan senyawa kimia yang dikandung didalamnya.

C. Uji PSA Limbah Beton (Particle Size Analysis)

1. Peralatan

- a. Mesin Particle Size Analyzer
- b. Mesin alat pemecah ultrasonic
- c. Aquades/ alkohol
- d. Gelas ukur
- e. Gelas katalis untuk PSA

2. Prosedur Pengujian

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

D. Uji SEM Limbah Beton (Scanning Electron Microscope)

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

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

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

3.5 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian ini mengacu pada SK SNI T-15-1990-03. Data – data yang dibutuhkan pada perancangan campuran mortar meliputi jenis semen, jenis agregat halus, gradasi dan besar butiran maksimum. Pengadukan bahan untuk campuran mortar dilakukan dengan cara perbandingan dan 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. Persiapan dan Penakaran

- a. Alat-alat yang akan digunakan disiapkan untuk pengujian.
- b. Bahan baku disiapkan dan ditakar sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan

2. Pengadukan

- a. Pada mortar dengan campuran abu sekam dan limbah beton, terlebih dahulu semen, abu sekam padi dan limbah beton dicampur secara manual dengan menggunakan tangan sampai campuran tersebut terlihat homogen.
- b. Air dimasukkan sedikit ke dalam mesin aduk sebelum mesin aduk dihidupkan.
- c. Mesin dihidupkan lalu masukkan lagi sisa air ke dalam mesin pengaduk sedikit demi sedikit.

- d. Selama pengadukan ada aturan yang berlaku yaitu campuran diaduk selama 5 menit dengan ketentuan 2,5 menit untuk pengadukan dengan kecepatan satu, 1 menit dengan pengadukan pada kecepatan dua dan kembali lagi dengan kecepatan satu selama 1,5 menit.
- e. Sisa adukan dibersihkan dari mesin mixer, kemudian mesin mixer tersebut dipersiapkan untuk pengadukan selanjutnya.

3. Penuangan

- a. Dinding bagian dalam cetakan harus sudah dilumasi dengan pelumas
- b. Adukan mortar dimasukkan kedalam cetakan dalam tiga tahapan, setiap tahap dilakukan pemadatan dengan cara ditusuk-tusuk.
- c. Penusukkan dilakukan sebanyak 25 kali pada setiap lapis hingga menembus ketebalan lapisannya
- d. Pada tahap akhir ditambahkan adukan mortar semen lalu ratakan permukaannya dan bagian sisanya dibuang hingga didapatkan permukaan mortar semen yang rata/ licin.

4. Perawatan

- a. Untuk memudahkan identifikasi, benda uji diberikan tanda dan tanggal.
- b. Setelah pekerjaan pengecoran diselesaikan, cetakan benda uji dibuka esok harinya (± 24 jam).
- c. Kemudian di rendam pada bak perawatan. Model perawatan adalah benda uji direndam seluruhnya di bawah air.
- d. Kira-kira 1 hari sebelum pengujian dilakukan, benda uji dikering-udarkan

3.6 Pengujian Mekanis Mortar

Pengujian pendahuluan yang dilakukan yaitu untuk mendapatkan kadar FAS yang optimum sesuai syarat *workability* dan waktu ikat mortar. Stelah itu dilakukan pembuatan benda uji untuk pengujian kuat tarik, kuat geser, dan pengujian modulus elastisitas.

Selanjutnya dilakukan perawatan benda uji. Benda uji akan di test sesuai dengan umur pengujiannya, yang kemudian akan dianalisa dan dibuat kesimpulannya.

3.6.1 Pengujian Konsistensi

a. Data Teknis

Jenis Percobaan : Konsistensi Normal dengan *Flow Table*

Referensi : ASTM C-305-82

b. Tujuan

Untuk menentukan jumlah air yang optimum agar menghasilkan mortar yang mudah dikerjakan.

c. Dasar Teori

Jumlah air yang digunakan untuk campuran mortar erat sekali hubungannya dengan sifat kemudahan dan keenakan untuk dikerjakan. Karena konsistensi/keleccakan mortar tergantung dari kadar air yang terkandung dalam mortar itu sendiri.

Mortar dengan bahan dan campuran yang berbeda akan membutuhkan jumlah air yang berlainan untuk mencapai sifat keleccakan (konsistensi normal) Untuk mengetahui jumlah air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi normal dari suatu mortar, perlu dilakukan suatu pengujian.

Di dalam laboratorium pengujian konsistensi/keleccakan ini biasanya diukur dengan suatu alat tertentu yang sering disebut dengan *flow table*, dimana mortar itu harus memiliki derajat kecairan (*flow*) yang tertentu. Alat yang dipakai berupa suatu plat datar dari logam, yang dapat diangkat dan dijatuhkan bebas setinggi kurang lebih $\frac{1}{2}$ inchi, sebanyak 25 kali dalam waktu 15 detik. Diameter mortar sebelum dan sesudah plat tadi dijatuhkan 25 kali diukur kembali. Mortar yang sifat leccaknya baik, perlu memiliki derajat kecairan (*flow*) antara 105%-115%.

d. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan :

12. Mesin pengaduk mortar

13. Timbangan dengan ketelitian 1 gram
14. Gelas ukur
15. Peralatan *flow table* lengkap dengan jangka sorong
16. *Stopwatch*
17. Cawan
18. Sendok aduk
19. Spatula
20. Sarung tangan

Bahan yang digunakan :

1. Bahan perekat hidrolis/semen PCC
2. *Concrete Sludge Waste (CSW)*
3. *Rice Husk Ask (RHA)*
4. Air
- 5.

e. Prosedur Pengujian

- Pembuatan Mortar

1. Timbang campuran semen, *Rice Husk Ask (RHA)*, dan *Concrete Sludge Waste (CSW)* sesuai perbandingan volume, kemudian tambahkan air dengan persentasi FAS yang akan dicoba (*trial & error*).
2. Letakkan mangkuk pengaduk dan pengaduk pada posisinya dalam mesin pengaduk.
3. Masukkan semua air pengaduk ke dalam mangkuk pengaduk.
4. Tambahkan semen ke dalam mangkuk pengaduk.
5. Jalankan pengaduk pada kecepatan rendah (140 ± 5 rpm) selama 30 detik.
6. Tanpa mematikan mesin masukkan pasir perlahan-lahan selama 30 detik. Hentikan mesin pengaduk lalu pindah kekecepatan sedang (285 ± 5 rpm) dan jalankan selama 30 detik.

7. Hentikan mesin pengaduk biarkan mortar dalam mangkuk pengaduk selama 90 detik. Bersihkan mortar yang menempel pada dinding mangkuk.
 8. Aduk kembali mortar dengan kecepatan sedang selama 60 detik. Mortar yang menempel pada dinding mangkuk di dorong ke bawah.
- Penentuan Konsistensi
1. Persiapkan *flow table*, cetakan, penumbuk, *stopwatch*, dan jangka sorong.
 2. Segera setelah selesai pengadukan, mortar diisikan ke dalam cetakan dalam 2 lapis. Tiap lapis ditumbuk 20 kali. Ratakan permukaan mortar sama dengan permukaan cetakan.
 3. Cetakan diangkat tegak lurus secara perlahan-lahan.
 4. Gerakkan *flow table* dengan cara memutar tuas penggerak sehingga terjadi ketukan 25 kali dalam waktu 15 detik. Karena ketukan ini mortar akan melebar pada permukaan *flow table*.
 5. Ukur pelebaran mortar dengan jangka sorong pada tempat-tempat yang telah ditentukan pada *flow table*.

f. Perhitungan

1. Menggunakan jangka sorong :

Ukur diameter mortar setelah pengujian (diketuk), pada 4 (empat) tempat, lalu di rata-ratakan D_1 mm

$$\text{Nilai Flow} = \frac{(D_1 - D_0)}{D_0} \times 100\%$$

$$D_1 = \frac{(D_a + D_b + D_c + D_d)}{4} \text{ (mm)}$$

D_a - D_d = diameter mortar pada empat posisi.

D_0 = Diameter awal (dasar kerucut/cetakan) (mm)

2. Menggunakan Caliper khusus :

Ukur diameter mortar setelah pengujian (diketuk), pada 4 (empat) tempat, lalu dijumlahkan

$$\text{Nilai Flow} = D_a + D_b + D_c + D_d \quad (\%)$$

g. Catatan :

Konsistensi mortar tercapai apabila pelebaran yang diukur dengan jangka sorong khusus berkisar $110 \pm 5\%$. Apabila belum tercapai, ulangi lagi percobaan dengan jumlah air yang berbeda.

3.6.2 Pengujian *Setting Time*

a. Data Teknis

Jenis Percobaan : Pengujian Waktu Ikat

Referensi : ASTM C-1117-89

b. Tujuan

Tujuannya adalah untuk mengetahui kapan semen mulai mengikat sehingga setelah waktu tersebut dilalui, semen tidak boleh diganggu lagi ataupun dirubah kembali kedudukannya.

c. Dasar Teori

Waktu ikat pada semen ada dua macam, yaitu awal dan akhir. Waktu ikat awal yaitu mulai semen bereaksi dengan air dalam keadaan plastis menjadi bentuk tidak plastis, sedangkan waktu ikat akhir yaitu mulai semen bereaksi dengan air dalam keadaan plastis menjadi keras. Keras disini artinya relatif karena seperti diketahui pengerasan semen berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

Arti keras disini ialah bahwa jika semen telah mencapai waktu ikat akhir cetakan untuk membuat benda yang dibuat dari semen sudah boleh dibongkar, tetapi tidak boleh dibebani, baik oleh berat sendiri ataupun berat lainnya. Dari kedua pengujian waktu ikat yang paling penting adalah waktu ikat awal, karena jika kita mengetahui waktu ikat awal maka setelah waktu

ikat awal tercapai semen tersebut sudah tidak boleh digetar ataupun diubah kembali bentuknya.

Waktu ikat pada semen sangat dipengaruhi oleh sifat kimia pada semen tersebut. Di dalam semen terdapat empat senyawa utama yaitu C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF . Jika semen terlalu banyak mengandung C_3S dibandingkan dengan senyawa C_2S maka semen tersebut akan cepat mengeras. Selain sifat kimia sifat fisik juga mempengaruhi, makin halus butiran suatu semen maka makin cepat bereaksi dengan air, sehingga pengikatanpun akan lebih cepat pula. Selain dipengaruhi oleh bahan, pengikatan juga dipengaruhi oleh faktor luar yaitu suhu lingkungan, kecepatan angin serta kelembaban udara disekitarnya.

Waktu ikat pada semen sangat mempengaruhi pengerjaan pada semennya ataupun pada betonnya. Waktu ikat yang terlalu cepat akan menyulitkan pekerjaan, demikian pula pengikatan yang terlalu lama akan memperlambat pekerjaan.

d. Peralatan

1. Saringan logam 4.75 mm
2. Cawan dari logam
3. Sendok aduk, sarung tangan karet yang tidak menyerap air
4. Penetrometer
5. Cetakan kubus
6. Alat pemadat
7. *Stopwatch*
8. Mistar perata

e. Prosedur Pengujian

1. Persiapan alat dan bahan yang diperlukan. Lumasi cetakan dengan minyak pelumas
2. Dengan memakai sarung tangan, ambil pasta semen dan dikepal-kepalkan membentuk seperti bola supaya plastis.

3. Lempar-lemparkan dari satu tangan ke tangan lain sebanyak 6 kali dengan jarak lemparan kira-kira 15 cm.
4. Isikan pasta semen tadi ke dalam cincin konik dari bagian bawahnya, kemudian tekan dengan plat kaca, sehingga mengisi seluruh cincin konik.
5. Ratakan permukaan pasta semen sama dengan permukaan atas cincin konik dengan cara mengikis memakai spatula.
6. Letakkan cincin konik yang berisi pasta semen di dalam ruang yang lembab selama 30 menit tanpa terjadi kerusakan.
7. Tempatkan cincin konik berisi benda uji di bawah jarum vicat $\text{Ø}1$ mm dan sentuhkan jarum vicat tadi dengan permukaan benda uji, kemudian atur skala pada pesawat vicat pada kedudukan nol (0).
8. Lepaskan pemegang jarum, sehingga jarum vicat jatuh bebas menembus benda uji selama 30 detik. Hitung penurunannya berdasarkan angka yang tertera pada skala.
9. Lakukan langkah 7 dan 8 berulang-ulang dengan interval waktu 30, 15, 10, dan 5 menit sampai didapat penetrasi jarum $\text{Ø} 1$ mm sedalam 25 mm pada benda uji. Pada saat itu waktu ikat awal semen dinyatakan tercapai, catat waktunya dimulai dari pengadukan, sebagai waktu ikat awal semen. Jika pada waktu pengujian penetrasi jarum $\text{Ø} 1$ mm mendekati 25 mm maka interval waktu pengujian dapat dikurangi.
10. Lakukan pengujian 3 kali dengan letak titik penetrasi yang berbeda-beda pada interval waktu tertentu yang sama. Jarak antar titik minimal 6,4 mm dan jarak dari tepi cincin konik ke titik terdekat minimal 9,5 mm. Apabila penetrasi 25 mm terlewati, tentukan waktu ikat awal semen menggunakan grafik.
11. Jika waktu ikat awal sudah tercapai, ganti jarum $\text{Ø} 1$ mm dengan jarum $\text{Ø} 1$ mm “bersepatu” untuk mendapatkan waktu ikat akhir.
12. Tempatkan cincin konik berisi benda uji di bawah jarum vicat $\text{Ø} 1$ mm “bersepatu” dan sentuhkan jarum vicat tadi dengan permukaan benda uji, kemudian atur skala pada pesawat vicat pada kedudukan nol (0).

13. Lepaskan pemegang jarum, sehingga jarum vicat jatuh bebas menembus benda uji selama 30 detik. Hitung penurunannya berdasarkan angka yang tertera pada skala.
 14. Lakukan 2 langkah sebelumnya berulang-ulang dengan letak titik penetrasi yang berbeda-beda sampai permukaan sepatu tidak membekas pada permukaan semen. Pada saat itu waktu ikat akhir semen dianggap tercapai. Catat waktunya dimulai dari pengadukan, sebagai waktu ikat akhir semen.
- f. Perhitungan
- Waktu ikat awal tercapai jika setelah 30 detik jarum \varnothing 1 mm masuk ke dalam pasta semen sedalam 25 mm. Waktu ikat akhir tercapai apabila setelah jarum \varnothing 1 mm “bersepatu” turun 30 detik di atas permukaan pasta semen tidak tercetak bekas jarum. Catatlah waktu terjadinya waktu ikat awal dan waktu ikat akhir.

3.6.3 Uji kuat tarik langsung

Pengujian kuat tarik langsung mortar semen dilakukan pada saat mortar semen telah berumur 28 hari. Pengujian kuat tarik dilakukan pada 5 buah benda uji untuk masing-masing variasi. Uji kuat tarik langsung mortar semen dilakukan dengan membuat mortar dalam bentuk seperti angka delapan. Benda uji setelah keras kemudian ditarik dengan alat uji *Cement Briquettes*. Pengujian kuat tarik langsung, bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik mortar pada perbandingan sesuai rencana, pengujian dilakukan menurut ASTM C-307-03.

1. Persiapan pengujian
 - a. Ambil benda uji dan bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
 - b. Tentukan berat dan ukuran benda uji.
 - c. Benda uji sudah siap untuk diperiksa.
2. Cara pengujian
 - b. Letakan benda uji pada mesin tarik
 - c. Karena mesin tarik masih manual, maka berikan beban pada mesin tarik tahap demi tahap dengan beban satu kg pada setiap penambahannya.

- d. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
- e. Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

3. Perhitungan

Nilai kuat tarik yang diperoleh dihitung dari besar beban tarik maksimum (P) dibagi dengan luas penampang yang terkecil (mm²). Besarnya kuat tarik mortar semen dihitung dengan rumus :

$$f_{ct} = \frac{P}{A}$$

Dimana :

f_{ct} = kuat tarik mortar semen (kg/cm² atau N/mm²)

P = beban tekan (N atau kg)

A = luas bidang tekan (cm² atau mm²)

3.6.4 Pengujian Modulus Elastisitas

a. Data Teknis

Jenis Percobaan : Modulus Elastisitas Mortar Semen
Referensi : ASTM C-580-02

b. Tujuan

Untuk mengetahui nilai modulus elastisitas hasil pengujian dan membandingkan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi.

c. Dasar Teori

Modulus elastisitas adalah ratio perbandingan tegangan dan regangan pada daerah elastis. Daerah elastis pada mortar menurut ASTM C-580-02 dibatasi sampai 50 % defleksi maksimum. Uji modulus elastisitas dilakukan dengan membuat mortar dengan ukuran 25 x 25 x 270 mm.

d. Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan :

1. Mesin pengaduk mortar dan perlengkapannya
2. Timbangan dengan ketelitian 1 gram
3. Gelas ukur
4. *Stopwatch*
5. Batang penumbuk
6. Spatula
7. Sendok aduk
8. Alat uji modulus elastisitas

9. Beban dengan interval 5N
10. Dial pembaca lendutan

Bahan yang digunakan :

1. Bahan perekat hidrolis/semen PCC
2. *Precious Slag Ball*
3. Abu sekam padi
4. Air

e. Prosedur Pengujian

1. Tentukan terlebih dahulu komposisi adukan sesuai kebutuhan dalam perbandingan berat. Tentukan jumlah air pencampur sesuai konsistensi normal.
2. Pembuatan benda uji :
 - ❖ Timbang bahan sesuai dengan komposisi yang direncanakan.
 - ❖ Masukkan air pencampur ke dalam mangkuk pengaduk.
 - ❖ Masukkan semen. Jalankan mesin dengan kecepatan rendah (145 ± 5 rpm) selama 30 detik.
 - ❖ Tanpa mematikan mesin masukkan abu sekam padi dan *Precious Slag Ball* perlahan-lahan selama 30 detik.
 - ❖ Hentikan mesin pengaduk lalu pindah ke kecepatan sedang (285 ± 5 rpm) dan jalankan selama 30 detik.

- ❖ Hentikan mesin pengaduk biarkan mortar dalam mangkuk pengaduk selama 90 detik. Bersihkan mortar yang menempel pada dinding mangkuk.
 - ❖ Aduk kembali mortar dengan kecepatan sedang selama 60 detik. Mortar yang menempel pada dinding mangkuk didorong ke bawah.
3. Pencetakan benda uji :
- ❖ Lumasi cetakan dengan minyak pelumas.
 - ❖ Mortar yang telah mencapai konsistensi normal segera diisikan ke dalam cetakan dalam 2 lapis.
 - ❖ Padatkan setiap lapisan dengan batang penumbuk. Sudut dan ujung cetakan dipadatkan dengan baik. Jumlah tumbukan tidak disyaratkan.
 - ❖ Isikan lapisan kedua sampai lebih dari permukaan cetakan. Padatkan seperti di atas.
 - ❖ Ratakan permukaan mortar sama dengan permukaan cetakan dengan spatula.
 - ❖ Catatan :
 - Tinggi jatuh alat pemadat 25 mm di atas permukaan mortar.
 - Pemadatan selesai dalam waktu 15 detik.
4. Penyimpanan benda uji :
- ❖ Simpan benda uji dan cetakannya di tempat lembab (RH 95%) selama 20-24 jam. Suhu berkisar 20°-27°C.
 - ❖ Setelah 24 jam, lepaskan benda uji dari cetakannya dan rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam. Suhu berkisar 23°±1,7°C.
5. Persiapan pengujian
- ❖ Ambil benda uji dan bersihkan dari kotoran yang menempel
 - ❖ Ukur benda uji sesuai kapasitas alat yang ada, panjang total benda uji (Lo) dari perletakan adalah 240 mm.
 - ❖ Garis bagian tengah benda uji yang akan diletakkan pembebanan dan 1/3 dari setiap perletakan untuk meletakkan dial pembacaan defleksi.
 - ❖ Benda uji sudah siap diperiksa.

6. Cara pengujian :

- ❖ Letakkan benda uji pada alat modulus elastisitas.
- ❖ Atur dial pembacaan tepat digaris 1/3 dari panjang bentang.
- ❖ Lakukan penambahan beban setiap interval 5N, dan penambahan beban akan berkurang bila sudah dirasa cukup dan beban diganti dengan kapasitas yang lebih kecil seperti 2 N agar pembacaan lebih detail.
- ❖ Catat besar setiap penambahan dan bacaan dial.

f. Perhitungan

$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{L^3 \times M_2}{4bd^3}$$

Dimana :

L = panjang benda uji (mm).

b = lebar benda uji (mm).

d = tinggi benda uji (mm).

M_2 = kemiringan garis dari titik yang melalui kurva tegangan regangan dimana besarnya defleksi adalah 50% dari defleksi maksimum.

Langkah yang harus dikerjakan dalam mencari nilai modulus Elastisitas aktual adalah :

- a. Hitung momen dan bidang momen.
- b. Hitung lendutan.
- c. Hitung properti penampang.
- d. Hitung tegangan dan diagram tegangan penampang.
- e. Hitung regangan dan plot kedalam grafik.

3.6.5 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 15 cm x 10 cm x 5 cm.

a. Prosedur Pengujian

1. Siapkan benda uji geser *double-L* (15 cm x 10 cm x 5 cm) yang akan diuji sesuai dengan umur perawatan diambil dari tempat perawatan satu hari sebelum pengujian dilaksanakan.
2. Melakukan penimbangan benda uji *double-L* sebelum dilakukan pengujian.
3. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan beton secara sentris.
4. Menjalankan mesin uji tekan beton.
5. Melakukan pembebanan merata hingga bidang geser benda uji menjadi hancur.
6. Mencatat beban maksimum yang mampu ditahan benda uji *double-L*.

b. Perhitungan

Kuat geser mortar dihitung dengan rumus :

$$Uji\ Geser = \frac{N}{a \cdot t} (N / mm^2)$$

dimana :

N adalah beban maksimum (N)

a adalah panjang bidang geser (mm)

t adalah lebar bidang (mm)

BAB IV ANALISA DATA & PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan merupakan kegiatan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian sifat mekanik mortar. Berikut adalah pengujian pendahuluan yang telah dilaksanakan :

- a. Pengujian sifat agregat yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, Pengujian analisa ayak, pengujian kadar lumpur, pengujian kadar air.
- b. Pengujian Konsistensi
- c. Pengujian Setting Time

4.1.1. Pengujian Sifat Agregat Halus, CSW dan RHA

4.1.1.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

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

Dari hasil uji berat jenis didapat Berat jenis SSD rata-rata sebesar 2,179 dan dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diijinkan yaitu antara 2,2 sampai 2,7. Penyerapan air (absorption) yang didapat dari hasil pengujian yaitu 4,28 %.

Angka tersebut menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air dari keadaan kering mutlak sampai jenuh kering muka sebesar 4,28 % dari berat kering agregat itu sendiri.

4.1.1.2 Berat Isi

1. Berat Isi Lepas

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas Agregat Halus

No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	504
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	17585	17524	17554,50
3	Berat Agregat (W3)	gr	12541	12480	12510,50
4	Volume Silinder (V)	cm ³	9401,17	9401,17	9401,17
5	Berat Isi Lepas = W3/V	gr/cm ³	1,334	1,327	1,331
6	Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	38,66	38,98	38,82
7	Voids Rata-Rata	%		38,82	

Didapat berat isi lepas rata - rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,331 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu min 1,2 gr/cm³ (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

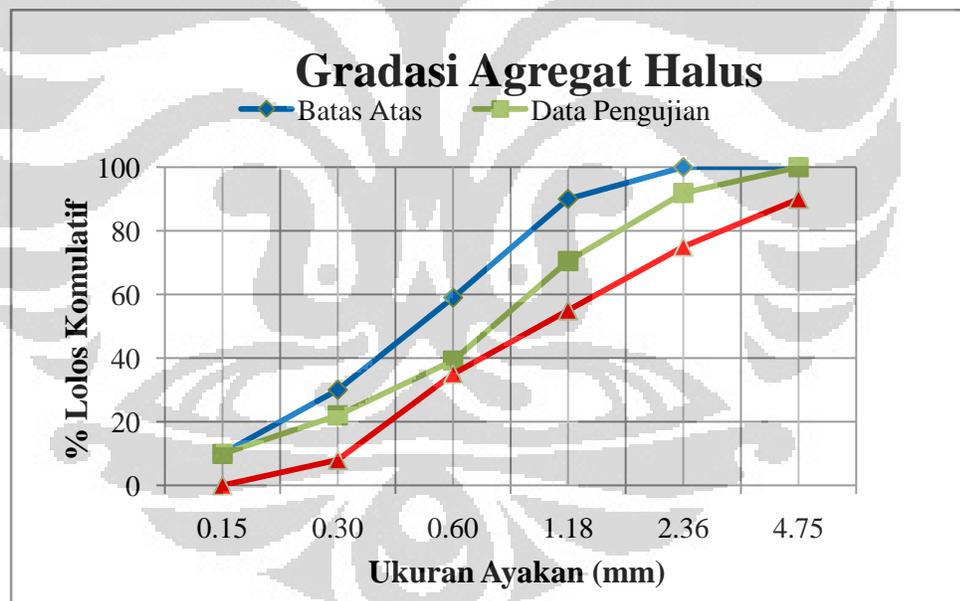
No.	Pengukuran	Satuan	Sample 1	Sample 2	Rata -Rata
1	Berat Silinder Kosong (W1)	gr	5044	5044	5044
2	Berat Silinder + Agr (W2)	gr	18500	18435	18467,50
3	Berat Agregat (W3)	gr	13456	13391	13423,50
4	Volume Silinder (V)	cm ³	9401,17	9401,17	9401,17
5	Berat Isi Padat = W3/V	gr/cm ³	1,431	1,424	1,4275
6	Void = [(SxW)-M] / (SxW)x100%	%	34,20	34,52	34,36
7	Voids Rata-Rata	%		34,36	

Didapat berat isi padat rata - rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,4275 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu min 1,2 gr/cm³ (SII No.52-1980). Sedangkan nilai voids yang didapat yaitu 34,36 %.

4.1.1.3 Analisa Ayak

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	75-100
1,18	106	21,41	29,49	70,51	55-90
0,60	155	31,31	60,81	39,19	35-59
0,30	85	17,17	77,98	22,02	8-30
0,15	60	12,12	90,10	9,90	0-10



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

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

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

4.1.1.4 Kadar Air

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

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

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

4.1.1.5 Kadar Lumpur

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

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

Dari hasil uji Kadar Lumpur didapat prosentase kadar lumpur rata – rata 3,96%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu max 5 %. (SK SNI S -04-1989-F) sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

4.1.1.6 Hasil pengujian Berat Jenis *Concrete Sludge Waste* (CSW)

Tabel 4.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengukuran	Sample I	Sample II	Rata-rata
Berat Agregat SSD (Gram)	500	500	500
Berat Agregat + Air + Picnometer (gram)	944	948.5	946.25
Berat Agregat kering oven (gram)	482	470	476
Berat piknometer + Air (gram)	643	646	644.5
Berat Jenis	2.422	2.380	2.401
BJ ssd	2.513	2.532	2.522
BJ Semu	2.663	2.806	2.732
Penyerapan Air (%)	3.734	6.383	5.042

Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, dari pengujian berat jenis SSD 2.522. suatu agregat bisa dikatakan agregat normal, adalah mempunyai berat jenis antara 2.4 – 2.9.

Dalam pengujian agregat CSW ini, diketahui agregatnya dikatagorikan sebagai agregat normal. Sedangkan penyerapan air didapatkan 5.042 %, batas maksimal persentase penyerapan air sebesar 3 %.

4.1.1.7 Hasil Pengujian Berat Isi Lepas dan Berat Isi Padat CSW

Tabel 4.8 Hasil pengujian berat isi lepas dan berat isi padat CSW

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

- W1 = Berat Silinder
W2 = Berat Silinder + Benda uji keadaan Lepas
W3 = Berat Isi Lepas
W4 = Berat Silinder + Benda uji Keadaan Padat
W5 = Berat Isi Padat

Dari hasil pengujian didapatkan data seperti dicantumkan diatas. Analisa yang bisa didapatkan, pada pengujian berat isi lepas diketahui 2135 gr sedangkan Berat isi padat sebesar 2483,5 gr. Maka dengan demikian berat isi padat 1.163 kali lebih padat terhadap berat isi lepas CSW.

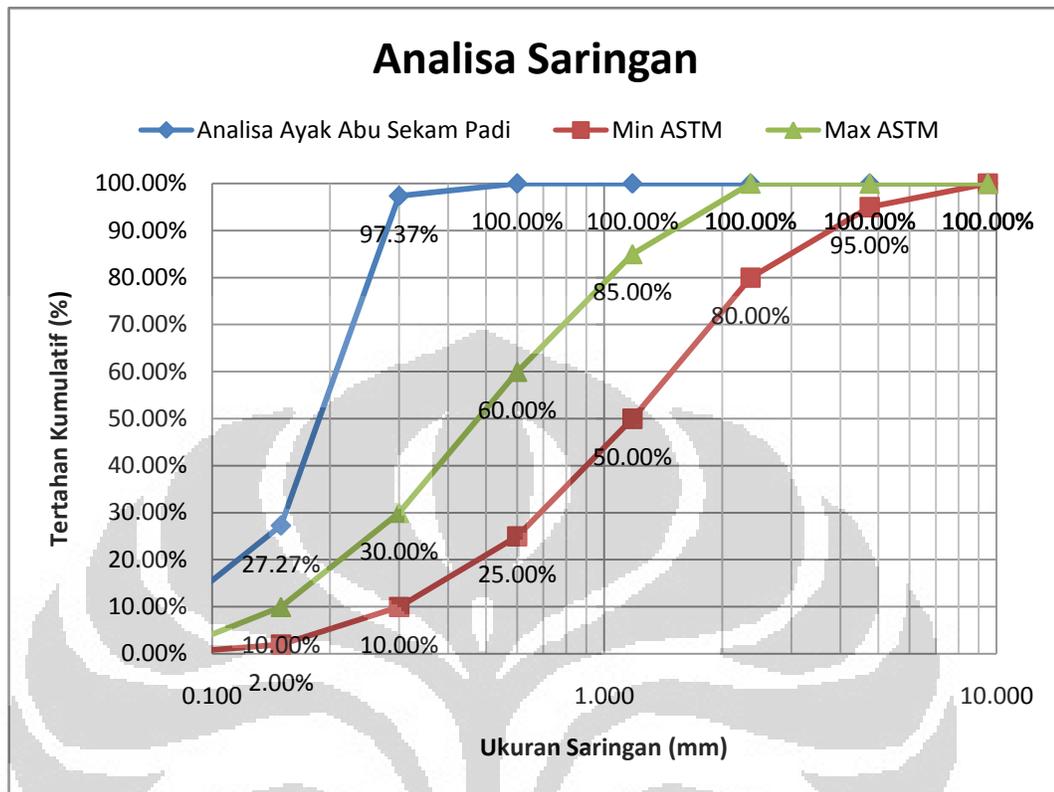
4.1.1.8 Hasil Pengujian Analisa Ayak

a. Rice Husk Ash (RHA)

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

Tabel 4.9 Pengujian analisa ayak *Rice Husk Ash* (sumber: skripsi Abdul latief, 2011)

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

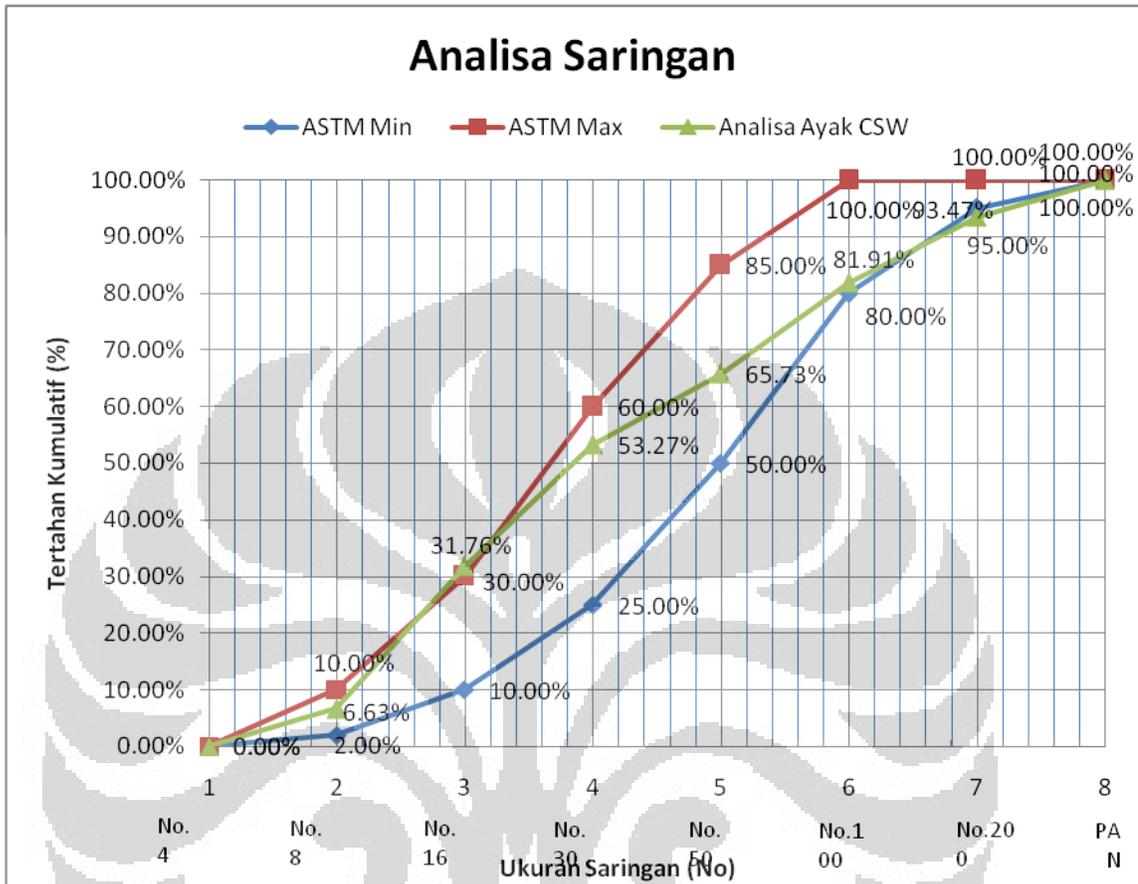


Gambar 4.2 Grafik pengujian analisa ayak *Rice Husk Ash* (RHA)

b. *Concrete Sludge Waste* (CSW)

Tabel 4.10 Pengujian analisa ayak *Concrete Sludge Waste* (CSW)

No	Ukuran Saringan (No)	Sample 1			Sample 2			Rata-Rata			Persen Kumulatif Tertahan ASTM	
		Tertahan (gram)	Tertahan	Kumulatif	Tertahan (gram)	Tertahan	Kumulatif	Tertahan	Kumulatif	Lolos Kumulatif	Min	Max
1	4	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
2	8	31.00	6.25%	6.25%	34.00	6.81%	6.81%	6.53%	6.53%	93.47%	95.00%	100.00%
3	16	54.00	10.89%	17.14%	61.00	12.22%	19.04%	11.56%	18.09%	81.91%	80.00%	100.00%
4	30	81.00	16.33%	33.47%	80.00	16.03%	35.07%	16.18%	34.27%	65.73%	50.00%	85.00%
5	50	63.00	12.70%	46.17%	61.00	12.22%	47.29%	12.46%	46.73%	53.27%	25.00%	60.00%
6	100	112.00	22.58%	68.75%	102.00	20.44%	67.74%	21.51%	68.24%	31.76%	10.00%	30.00%
7	200	120.00	24.19%	92.94%	130.00	26.05%	93.79%	25.12%	93.37%	6.63%	2.00%	10.00%
8	Pan	35.00	7.06%	100.00%	31.00	6.21%	100.00%	6.63%	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	Jumlah	496.00	100.00%		499.00	100.00%		100.00%	208.34%	FM	2.083	



Gambar 4.3 Grafik pengujian analisa ayak *Concrete Sludge Waste* (CSW)

4.1.1.9 Hasil Pengujian Kadar Lumpur

Berikut ini adalah hasil penelitian Kadar lumpur yang sudah dilakukan terhadap *Concrete Sludge Waste* (CSW):

Tabel 4.11 Hasil pengujian kadar lumpur CSW

No.	Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
1	W1	441	445
2	W2	437.5	442.5
3	W3	861	876
4	W4	420	431
5	Kadar Lumpur	0.79%	0.56%
6	Kadar Lumpur Rata-rata	0.678%	

Keterangan:

- W1 = Berat kering oven (tetap)
 W2 = Berat benda uji setelah di cuci di oven (Tetap)
 W3 = Berat benda uji + talam
 W4 = Berat talam

4.1.1.10 Hasil Pengujian Kadar Air

Tabel 4.12 Hasil pengujian kadar air CSW

No.	Kode (Keterangan)	Sample 1 (Gram)	Sample 2 (Gram)
1	W1	214	1384
2	W2	714	1884
3	W3	500	500
4	W4	681	1850
5	W5	467	466
Kadar Air		6.60%	6.80%
Kadar Air Rata-rata		6.70%	

Keterangan:

- W1 = Berat talam
 W2 = Berat benda uji + talam
 W3 = Berat benda uji (W2-W1)
 W4 = Berat benda uji + talam setelah di oven sampai berat tetap
 W5 = Berat benda uji setelah di oven (W4-W1)

4.1.2. Pengujian Konsistensi

a. Nilai Faktor Air Semen

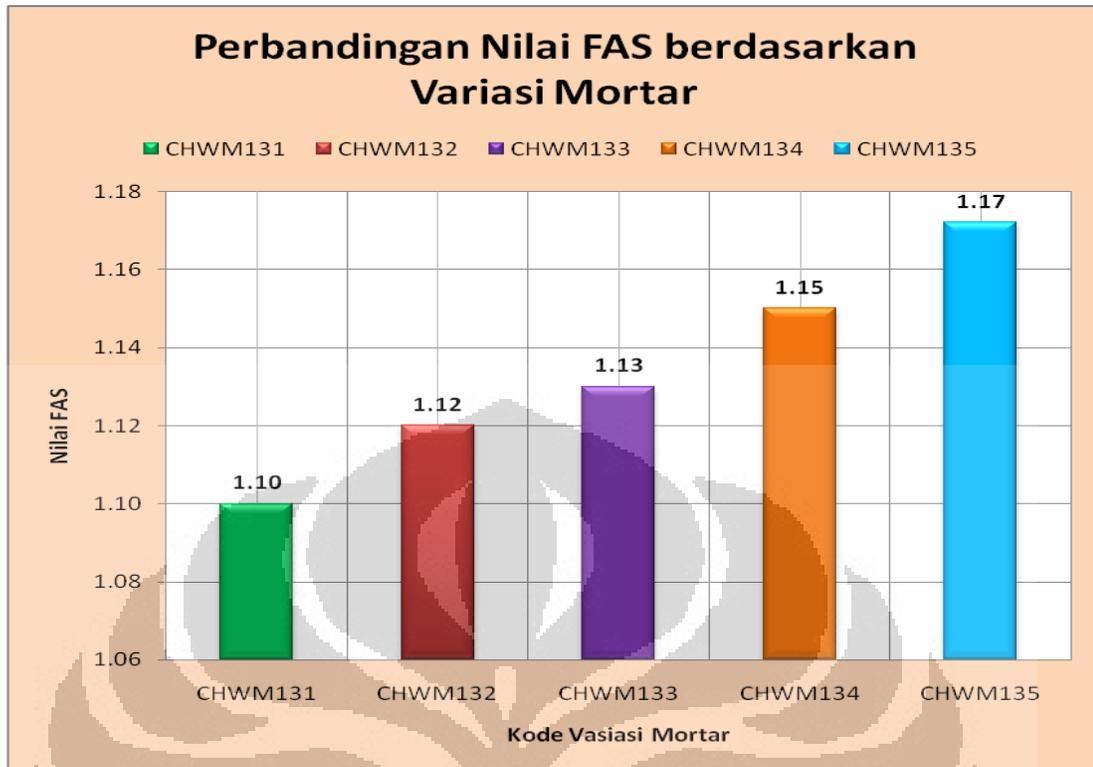
Jumlah air yang digunakan untuk campuran mortar erat sekali hubungannya dengan sifat kemudahan dan keenakan mortar semen untuk dikerjakan. Karena konsistensi/keleccakan mortar tergantung dari kadar air yang terkandung dalam mortar itu sendiri.

Tabel 4.13 Nilai flow table hasil pengujian konsistensi

Kode	Variasi				Berat Campuran (gram)						Diameter Lingkaran						Total (gram)	Nilai Flow (110 ± 5%)	Nilai FAS	
	PCC	RHA	CSW	Pasir	PCC	RHA	CSW	Pasir	% Air	Air (ml)	d-initial	d1	d2	d3	d4	drata-rata				
	25%		75%		150.00			450.00										600.00		
CHWM131	92%	8%	30%	70%	138.00	12.00	135.00	315.00	50%	69	10.00	15.00	16.70	14.50	16.00	15.55	600.00	56%	1.10	
									100%	138	10.00	18.50	19.00	19.00	20.00	19.13		91%		
										110%	152	10.00	21.00	22.00	20.50	21.50		21.25		113%
CHWM132	92%	8%	40%	60%	138.00	12.00	180.00	270.00	75%	104	10.00	15.00	15.50	16.00	16.00	15.63	600.00	56%	1.12	
									100%	138	10.00	21.00	19.50	19.50	20.00	20.00		100%		
										112%	155	10.00	20.50	21.00	21.00	21.00		20.88		109%
CHWM133	92%	8%	50%	50%	138.00	12.00	225.00	225.00	90%	124	10.00	16.00	16.50	17.00	15.00	16.13	600.00	61%	1.05	
									100%	138	10.00	19.50	20.00	20.00	20.50	20.00		100%		
										105%	145	10.00	19.50	22.00	22.00	22.00		21.38		114%
CHWM134	92%	8%	60%	40%	138.00	12.00	270.00	180.00	100%	138	10.00	19.00	19.50	20.00	19.50	19.50	600.00	95%	1.15	
										115%	159	10.00	20.00	19.00	21.50	21.50		20.50		105%
CHWM135	92%	8%	70%	30%	138.00	12.00	315.00	135.00	110%	152	10.00	18.50	18.50	20.00	19.00	19.00	600.00	90%	1.17	
										115%	159	10.00	20.00	20.00	19.00	20.00		19.75		98%
										117%	162	10.00	22.00	22.00	21.00	21.00		21.50		115%

Tabel 4.14 Nilai faktor air semen

Kode	Variasi				Berat Campuran (gram)					Total (gram)	Nilai FAS	
	PCC	RHA	CSW	Pasir	PCC	RHA	CSW	Pasir	Air			
	25%		75%		150.00			450.00			600.00	
CHWM 11	92%	8%	30%	70%	138.00	12.00	135.00	315.00	152	600.00	1.10	
CHWM 12	92%	8%	40%	60%	138.00	12.00	180.00	270.00	155	600.00	1.12	
CHWM 13	92%	8%	50%	50%	138.00	12.00	225.00	225.00	145	600.00	1.05	
CHWM 14	92%	8%	60%	40%	138.00	12.00	270.00	180.00	159	600.00	1.15	
CHWM 15	92%	8%	70%	30%	138.00	12.00	315.00	135.00	162	600.00	1.17	



Gambar 4.4 Histogram perbandingan nilai FAS berdasarkan variasi mortar

Dari percobaan dengan metode *trial & error* didapatkan nilai faktor air semen yang berbeda-beda dari setiap variasi campuran, dari hasil tersebut diketahui penyerapan CSW terhadap air cukup tinggi.

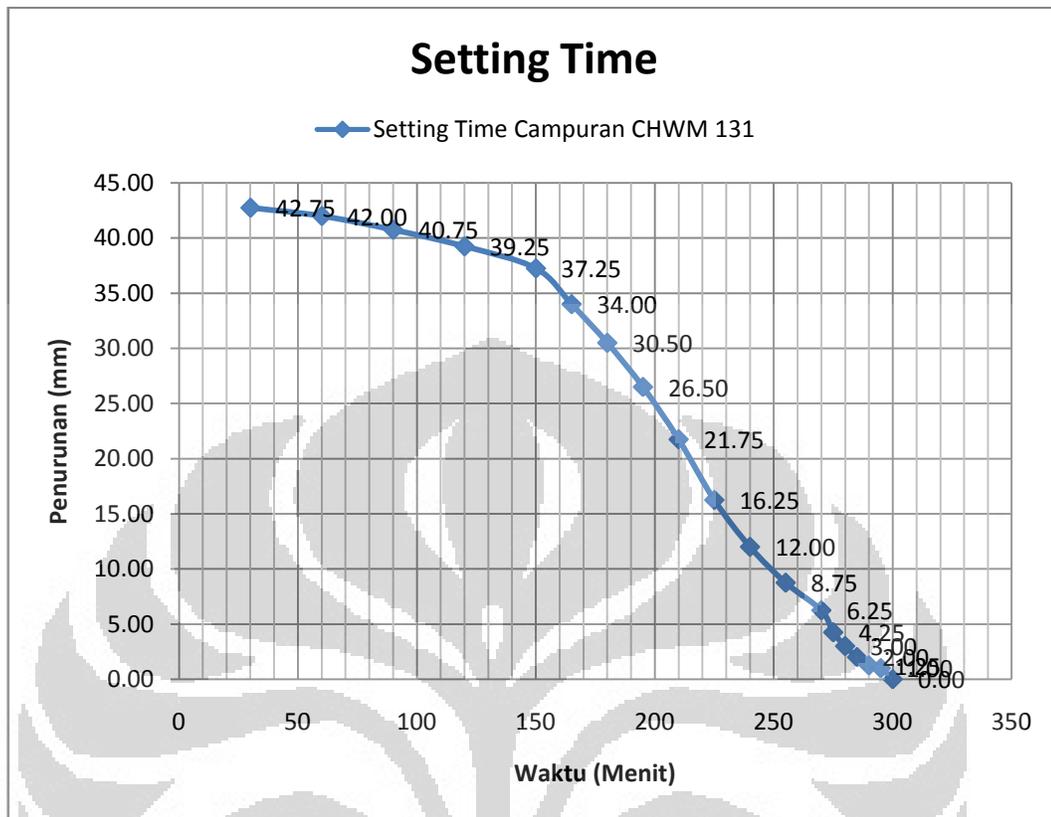
4.1.3. Nilai *Setting Time*

Tujuannya adalah untuk mengetahui kapan mortar semen tersebut mulai mengikat sehingga setelah waktu tersebut dilalui, mortar semen tidak boleh diganggu lagi ataupun diubah kembali kedudukannya. Adapun mortar semen yang dilakukan pengujian setting time adalah :

- Campuran CHWM131 (30% CSW, 70% Pasir)

Tabel 4.15 Nilai setting time CHWM131

No	Waktu (Menit)	Waktu Akumulatif (Menit)	Penurunan (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)
			1	2	
1	0	0	-	-	-
2	30	30	42.50	43.00	42.75
3	30	60	41.50	42.50	42.00
4	30	90	40.50	41.00	40.75
5	30	120	39.00	39.50	39.25
6	30	150	37.50	37.00	37.25
7	15	165	34.00	34.00	34.00
8	15	180	30.50	30.50	30.50
9	15	195	26.50	26.50	26.50
10	15	210	21.50	22.00	21.75
11	15	225	16.00	16.50	16.25
12	15	240	12.00	12.00	12.00
13	15	255	8.50	9.00	8.75
14	15	270	6.00	6.50	6.25
15	5	275	4.00	4.50	4.25
16	5	280	3.00	3.00	3.00
17	5	285	2.00	2.00	2.00
18	5	290	1.00	1.50	1.25
19	5	295	1.00	1.00	1.00
20	5	300	0.00	0.00	0.00



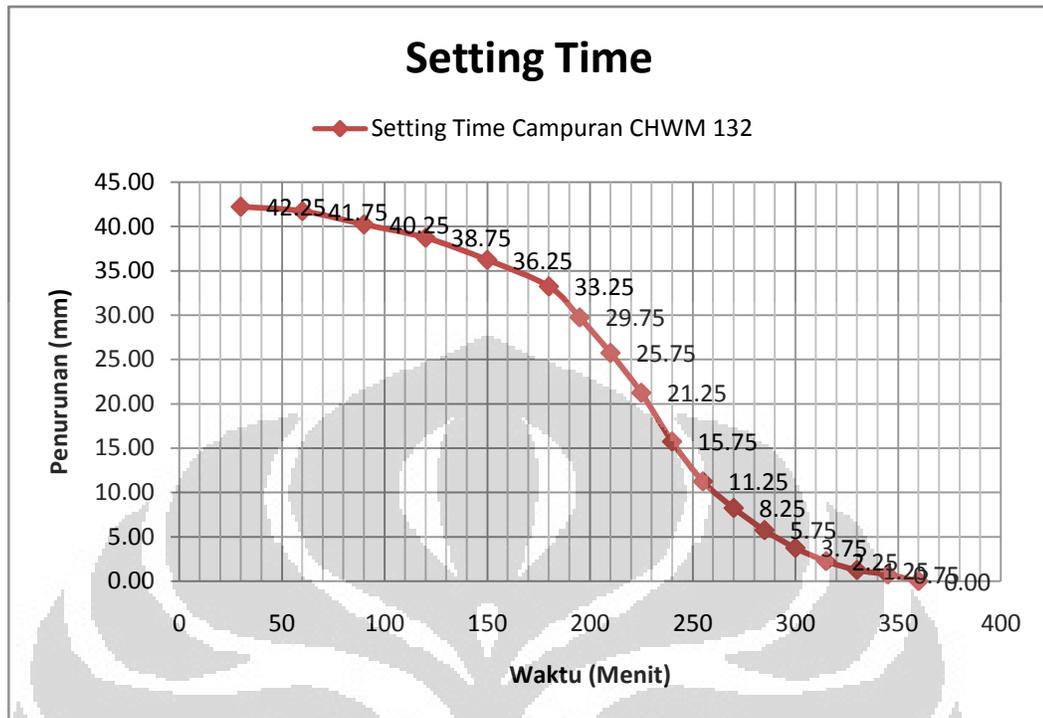
Gambar 4.5 Grafik pengujian setting time kode CHWM131

Dalam pengujian setting time, waktu ikat awal terjadi pada saat jarum vicat masuk sedalam 25 mm setelah diturunkan selama 30 detik, sedangkan nilai waktu ikat akhir didapat pada saat jarum tidak lagi berbekas pada mortar yang diuji. Dari grafik didapatkan nilai waktu ikat awal untuk campuran CHWM131 tercapai setelah 200 menit, sedangkan nilai waktu ikat akhir tercapai pada 300 menit.

- Campuran CHWM132 (40% CSW, 60% Pasir)

Tabel 4.16 Nilai setting time CHWM132

No	Waktu (Menit)	Waktu Akumulatif (Menit)	Penurunan (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)
			1	2	
1	0	0	-	-	-
2	30	30	42.00	42.50	42.25
3	30	60	41.50	42.00	41.75
4	30	90	40.00	40.50	40.25
5	30	120	38.50	39.00	38.75
6	30	150	36.00	36.50	36.25
7	30	180	33.00	33.50	33.25
8	15	195	29.50	30.00	29.75
9	15	210	25.50	26.00	25.75
10	15	225	21.00	21.50	21.25
11	15	240	15.50	16.00	15.75
12	15	255	11.00	11.50	11.25
13	15	270	8.00	8.50	8.25
14	15	285	5.50	6.00	5.75
15	15	300	3.50	4.00	3.75
16	15	315	2.00	2.50	2.25
17	15	330	1.00	1.50	1.25
18	15	345	0.50	1.00	0.75
19	15	360	0.00	0.00	0.00



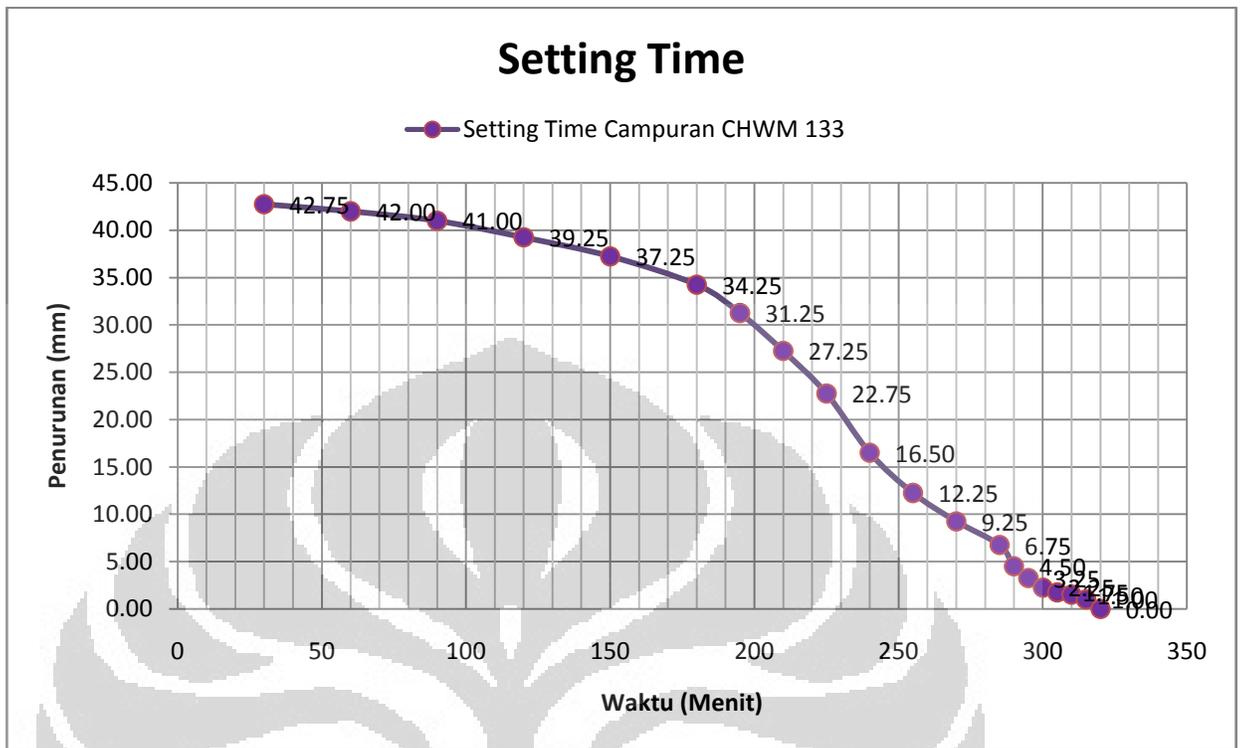
Gambar 4.6 Grafik pengujian setting time kode CHWM132

Dalam pengujian setting time, waktu ikat awal terjadi pada saat jarum vicat masuk sedalam 25 mm setelah diturunkan selama 30 detik, sedangkan nilai waktu ikat akhir didapat pada saat jarum tidak lagi berbekas pada mortar yang diuji. Dari grafik didapatkan nilai waktu ikat awal untuk campuran CHWM132 tercapai setelah 212.5 menit, sedangkan nilai waktu ikat akhir tercapai pada 360 menit.

- Campuran CHWM133 (50% CSW, 50% Pasir)

Tabel 4.17 Nilai setting time CHWM133

No	Waktu (Menit)	Waktu Akumulatif (Menit)	Penurunan (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)
			1	2	
1	0	0	-	-	-
2	30	30	43.0	42.5	42.75
3	30	60	42.0	42.0	42.00
4	30	90	41.0	41.0	41.00
5	30	120	39.5	39.0	39.25
6	30	150	37.0	37.5	37.25
7	30	180	34.5	34.0	34.25
8	15	195	31.5	31.0	31.25
9	15	210	27.5	27.0	27.25
10	15	225	23.0	22.5	22.75
11	15	240	16.5	16.5	16.50
12	15	255	12.0	12.5	12.25
13	15	270	9.0	9.5	9.25
14	15	285	6.5	7.0	6.75
15	5	290	4.5	4.5	4.50
16	5	295	3.0	3.5	3.25
17	5	300	2.5	2.0	2.25
18	5	305	2.0	1.5	1.75
19	5	310	1.5	1.5	1.50
20	5	315	1.0	1.0	1.00
21	5	320	0.0	0.0	0.00



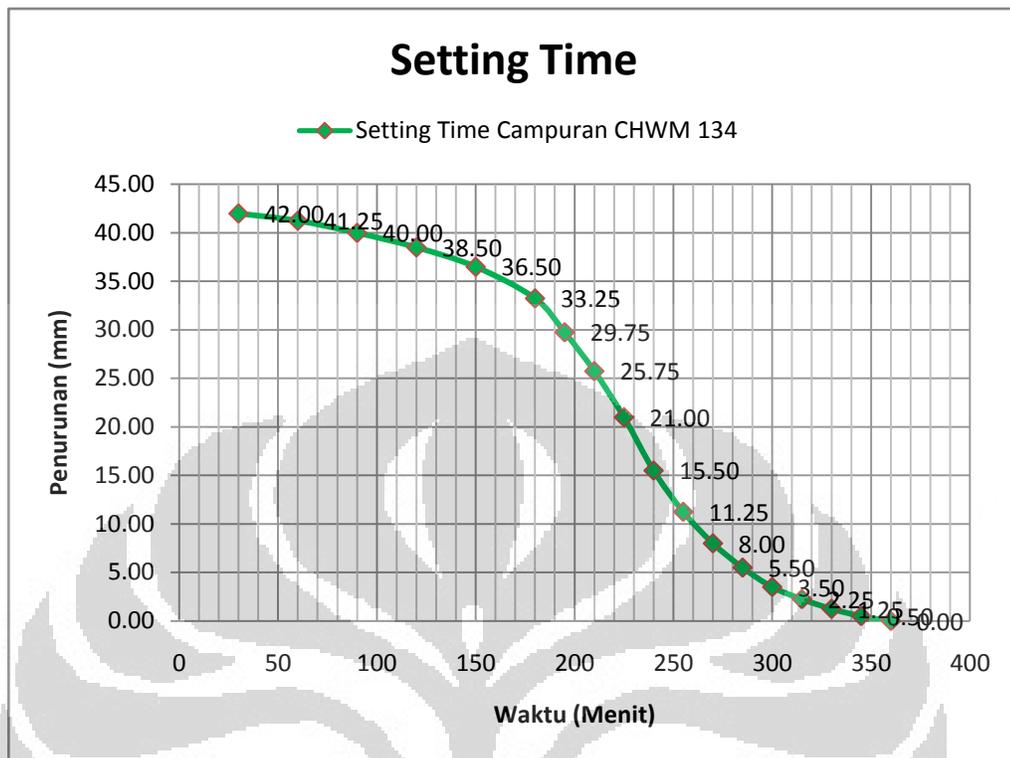
Gambar 4.7 Grafik pengujian setting time kode CHWM133

Dalam pengujian setting time, waktu ikat awal terjadi pada saat jarum vicat masuk sedalam 25 mm setelah diturunkan selama 30 detik, sedangkan nilai waktu ikat akhir didapat pada saat jarum tidak lagi berbekas pada mortar yang diuji. Dari grafik didapatkan nilai waktu ikat awal untuk campuran CHWM133 tercapai setelah 217.5 menit, sedangkan nilai waktu ikat akhir tercapai pada 320 menit.

- Campuran CHWM134 (60% CSW, 40% Pasir)

Tabel 4.18 Nilai setting time CHWM134

No	Waktu (Menit)	Waktu Akumulatif (Menit)	Penurunan (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)
			1	2	
1	0	0	-	-	-
2	30	30	43.0	42.5	42.75
3	30	60	42.5	41.5	42.00
4	30	90	41.0	40.5	40.75
5	30	120	39.5	39.0	39.25
6	30	150	37.0	37.5	37.25
7	30	180	34.0	34.0	34.00
8	15	195	30.5	30.5	30.50
9	15	210	26.5	26.5	26.50
10	15	225	22.0	21.5	21.75
11	15	240	16.5	16.0	16.25
12	15	255	12.0	12.0	12.00
13	15	270	9.0	8.5	8.75
14	15	285	6.5	6.0	6.25
15	15	300	4.5	4.0	4.25
16	15	315	3.0	3.0	3.00
17	15	330	2.0	2.0	2.00
18	15	345	1.5	1.0	1.25
19	15	360	1.0	1.0	1.00
20	15	375	0.0	0.0	0.00



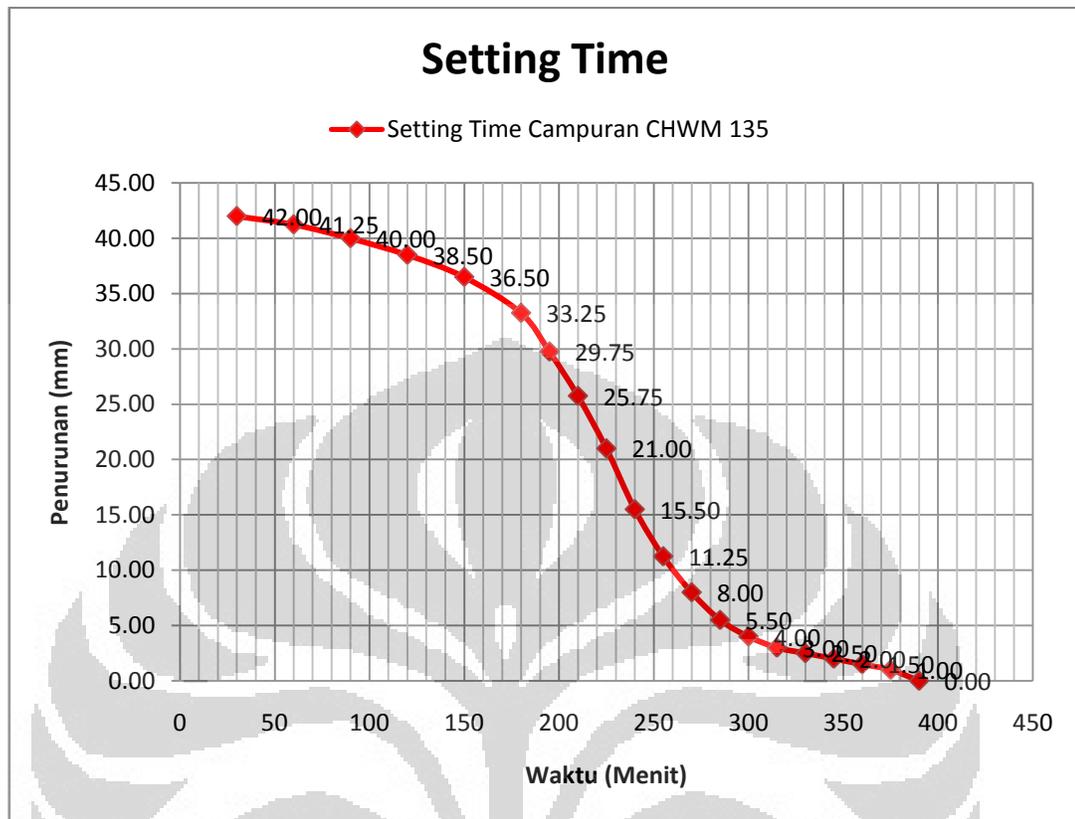
Gambar 4.8 Grafik pengujian setting time kode CHWM134

Dalam pengujian setting time, waktu ikat awal terjadi pada saat jarum vicat masuk sedalam 25 mm setelah diturunkan selama 30 detik, sedangkan nilai waktu ikat akhir didapat pada saat jarum tidak lagi berbekas pada mortar yang diuji. Dari grafik didapatkan nilai waktu ikat awal untuk campuran CHWM134 tercapai setelah 215 menit, sedangkan nilai waktu ikat akhir tercapai pada 360 menit.

- Campuran CHWM135 (70% CSW, 30% Pasir)

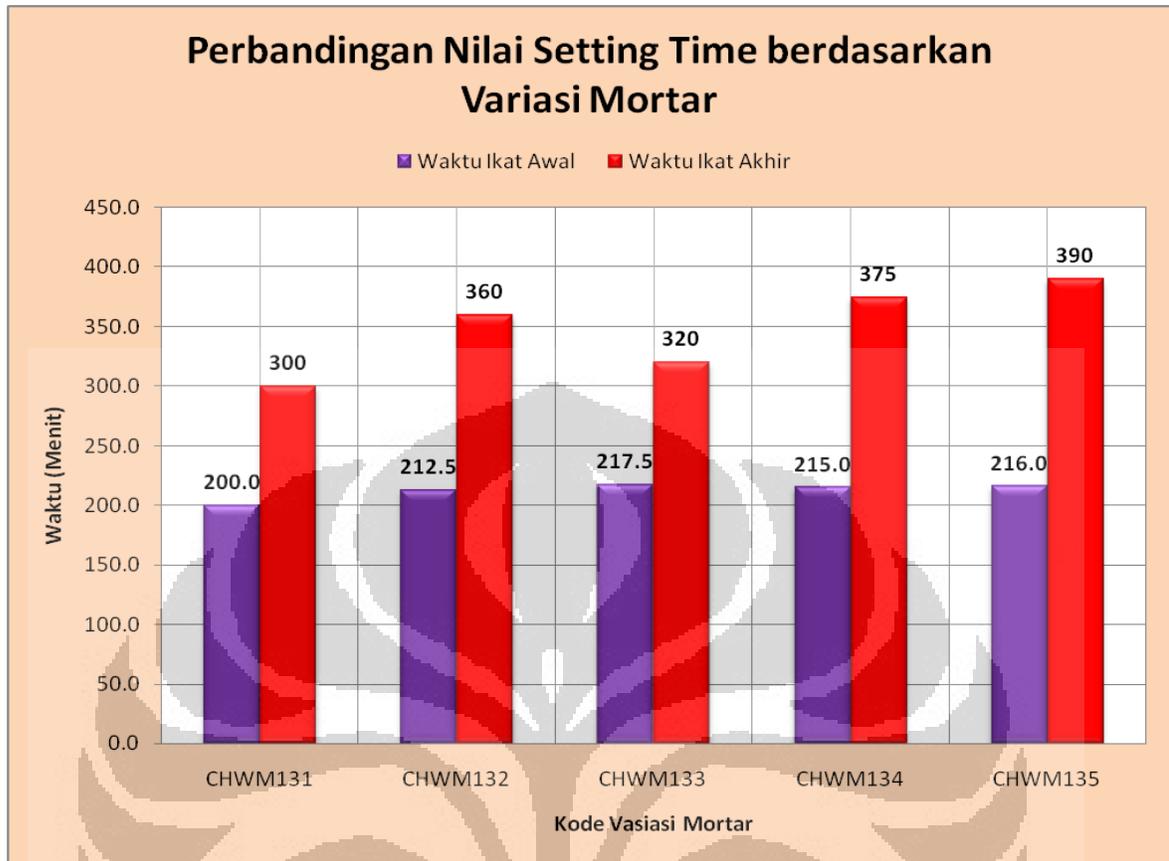
Tabel 4.19 Nilai setting time CHWM135

No	Waktu (Menit)	Waktu Akumulatif (Menit)	Penurunan (mm)		Penurunan Rata-Rata (mm)
			1	2	
1	0	0	-	-	-
2	30	30	42.00	42.00	42.00
3	30	60	41.50	41.00	41.25
4	30	90	40.00	40.00	40.00
5	30	120	38.50	38.50	38.50
6	30	150	36.00	37.00	36.50
7	15	180	33.00	33.50	33.25
8	15	195	29.50	30.00	29.75
9	15	210	25.50	26.00	25.75
10	15	225	21.00	21.00	21.00
11	15	240	15.50	15.50	15.50
12	15	255	11.00	11.50	11.25
13	15	270	8.00	8.00	8.00
14	15	285	5.50	5.50	5.50
15	15	300	4.00	4.00	4.00
16	15	315	3.00	3.00	3.00
17	15	330	2.50	2.50	2.50
18	15	345	2.00	2.00	2.00
19	15	360	1.50	1.50	1.50
20	15	375	1.00	1.00	1.00
21	15	390	0.00	0.00	0.00



Gambar 4.9 Grafik pengujian setting time kode CHWM135

Dalam pengujian setting time, waktu ikat awal terjadi pada saat jarum vicat masuk sedalam 25 mm setelah diturunkan selama 30 detik, sedangkan nilai waktu ikat akhir didapat pada saat jarum tidak lagi berbekas pada mortar yang diuji. Dari grafik didapatkan nilai waktu ikat awal untuk campuran CHWM135 tercapai setelah 197 menit, sedangkan nilai waktu ikat akhir tercapai pada 390 menit.



Gambar 4.10 Histogram perbandingan nilai setting time berdasarkan variasi mortar

Dari gambar diatas, adalah perbandingan nilai setting time berdasarkan variasi mortar, diketahui nilai waktu ikat awal dan waktu ikat akhir setiap variasi berbeda-beda dikarenakan perbedaan jumlah material yang terkandung disetiap variasi, sehingga perilaku pengikatan antara perekat dan agregat berbeda-beda pula. Pada histogram, terlihat bahwa kode CHWM135 memiliki waktu ikat akhir yang paling lama, yaitu sebesar 385 menit.

4.2 Kebutuhan Bahan Desain Campuran Mortar Dengan Perbandingan 1:3 (Kode : CHWM13)

Tabel 4.20 Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian kuat tarik)

Kode	Perbandingan berat (%)				% air terhadap berat semen	Jumlah benda uji (Buah)	Volume benda uji (m ³)	Total Volume /variasi (m ³)	Konversi ke Gram	Kebutuhan Semen (Gram)	Kebutuhan RHA (Gr)	Kebutuhan CSW (Gr)	Kebutuhan Pasir (Gr)	Kebutuhan Air (ml)
	semen	RHA	CSW	Pasir			75 x 50 x 25mm							
CHWM 131	25%		75%		110%	15	0.00009375	0.00140625	1406.25	323.44	28.13	316.41	738.28	355.78
	92%	8%	30%	70%										
CHWM 132	25%		75%		112%	15	0.00009375	0.00140625	1406.25	323.44	28.13	632.81	421.88	362.25
	92%	8%	60%	40%										
CHWM 133	25%		75%		105%	15	0.00009375	0.00140625	1406.25	323.44	28.13	527.34	527.34	339.61
	92%	8%	50%	50%										
CHWM 134	25%		75%		115%	15	0.00009375	0.00140625	1406.25	323.44	28.13	421.88	632.81	371.95
	92%	8%	40%	60%										
CHWM 135	25%		75%		117%	15	0.00009375	0.00140625	1406.25	323.44	28.13	738.28	316.41	378.42
	92%	8%	70%	30%										
Jumlah Kebutuhan Bahan										1617	141	2637	2637	1808
10% Jumlah Kebutuhan Bahan										161.72	14.06	263.67	263.67	180.80
Total Kebutuhan Bahan (KODE: CHWM)										1779	155	2900	2900	1989
TOTAL KEBUTUHAN BAHAN (KODE: CHWM) DALAM KG										17.79	1.55	29.00	29.00	1.99

Tabel 4.21 Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian modulus elastisitas)

Kode	Perbandingan berat (%)				% air terhadap berat semen	Jumlah benda uji (Buah)	Volume Benda Uji (m ³)	Total Volume /variasi (m ³)	Konversi ke Gram	Kebutuhan Semen (Gram)	Kebutuhan RHA (Gr)	Kebutuhan Pasir (Gr)	Kebutuhan CSW (Gr)	Kebutuhan Air (ml)
	semen	RHA	PASIR	CSW			25 x 25 x 270 mm							
CHWM 131	25%		75%		110%	5	0.00016875	0.00084375	843.75	194.06	16.88	189.84	442.97	213.47
	92%	8%	30%	70%										
CHWM 132	25%		75%		112%	5	0.00016875	0.00084375	843.75	194.06	16.88	379.69	253.13	217.35
	92%	8%	60%	40%										
CHWM 133	25%		75%		105%	5	0.00016875	0.00084375	843.75	194.06	16.88	316.41	316.41	203.77
	92%	8%	50%	50%										
CHWM 134	25%		75%		115%	5	0.00016875	0.00084375	843.75	194.06	16.88	253.13	379.69	223.17
	92%	8%	40%	60%										
CHWM 135	25%		75%		117%	5	0.00016875	0.00084375	843.75	194.06	16.88	442.97	189.84	227.05
	92%	8%	70%	30%										
Jumlah Kebutuhan Bahan										970	84	1582	1582	1085
10% Jumlah Kebutuhan Bahan										97.03	8.44	158.20	158.20	108.48
Total Kebutuhan Bahan (KODE: CHWM)										1067	93	1740	1740	1193
TOTAL KEBUTUHAN BAHAN (KODE: CHWM) DALAM KG										10.67	0.93	17.40	17.40	1.19

Universitas Indonesia

Tabel 4.22 Kebutuhan bahan desain campuran mortar kode CHWM13 (untuk pengujian geser)

Kode	Perbandingan berat (%)				% air terhadap berat semen	Jumlah benda uji (Buah)	Volume Benda Uji (m ³) 100 x 50 x 150 mm	Total Volume /variasi (m ³)	Konversi ke Gram	Kebutuhan Semen (Gram)	Kebutuhan RHA (Gr)	Kebutuhan Pasir (Gr)	Kebutuhan CSW (Gr)	Kebutuhan Air (ml)
	semen	RHA	PASIR	CSW										
CHWM 131	25%		75%		110%	5	0.00075	0.00375	3750	862.50	75.00	843.75	1968.75	948.75
	92%	8%	30%	70%										
CHWM 132	25%		75%		112%	5	0.00075	0.00375	3750	862.50	75.00	1687.50	1125.00	966.00
	92%	8%	60%	40%										
CHWM 133	25%		75%		105%	5	0.00075	0.00375	3750	862.50	75.00	1406.25	1406.25	905.63
	92%	8%	50%	50%										
CHWM 134	25%		75%		115%	5	0.00075	0.00375	3750	862.50	75.00	1125.00	1687.50	991.88
	92%	8%	40%	60%										
CHWM 135	25%		75%		117%	5	0.00075	0.00375	3750	862.50	75.00	1968.75	843.75	1009.13
	92%	8%	70%	30%										
Jumlah Kebutuhan Bahan										4313	375	7031	7031	4821
10% Jumlah Kebutuhan Bahan										431.25	37.50	703.13	703.13	482.14
Total Kebutuhan Bahan (KODE: CHWM)										4744	413	7734	7734	5304
TOTAL KEBUTUHAN BAHAN (KODE: CHWM) DALAM KG										47.44	4.13	77.34	77.34	5.30

Tabel 4.23 Total kebutuhan bahan

No.	Jenis Pengujian	Kebutuhan Semen (Kg)	Kebutuhan RHA (Kg)	Kebutuhan Pasir (Kg)	Kebutuhan CSW (Kg)	Kebutuhan Air (liter)
1	Pengujian Kuat Tarik	17.79	1.55	29.00	29.00	1.99
2	Pengujian Modulus Elastisitas	10.67	0.93	17.40	17.40	1.19
3	Pengujian Geser	47.44	4.13	77.34375	77.34	5.30
Total Kebutuhan Bahan		75.90	6.60	123.75	123.75	8.49

4.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Mortar

Pada pengujian ini terdapat 5 variasi campuran yang berbeda yang dibedakan berdasarkan komposisi pasir dan CSW. Sedangkan, Komposisi Semen dan RHA diseragamkan yaitu 92% semen dan 8 % pasir dari 25% berat keseluruhan.

Tabel 4.24 Hasil pengujian kuat tarik gabungan

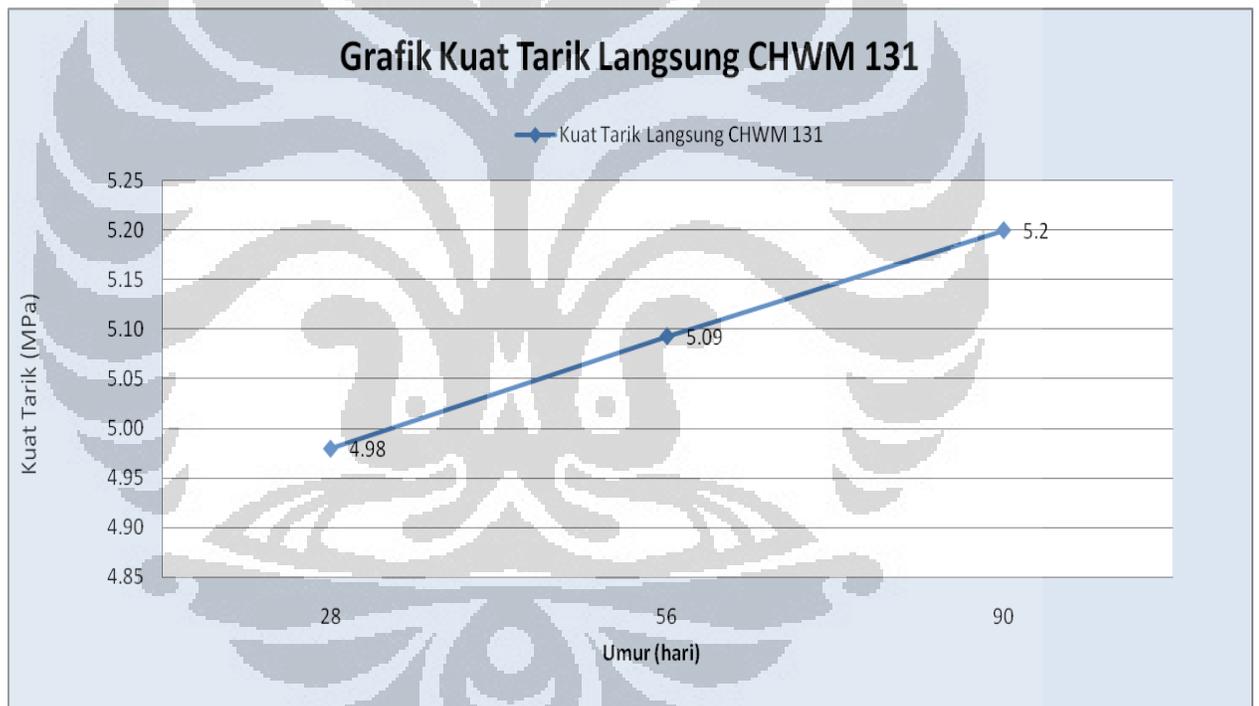
Jenis Campuran	Agregat Halus 75 %		Umur (Hari)	FAS	Luasan (A) Cm2	Beban Maksimum (Kg)					Kuat Tarik (MPa)					Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi	Batas Atas	Batas Bawah	Rata-rata Lolos
	CSW	Pasir				Smpl. 1	Smpl. 2	Smpl. 3	Smpl. 4	Smpl. 5	Smpl. 1	Smpl. 2	Smpl. 3	Smpl. 4	Smpl. 5					
CHWM 131	30%	70%	28	1.10	6.25	305	325	230	325	290	4.88	5.2	3.68	5.2	4.64	4.72	0.627375	5.35	4.09	4.98
			56	1.10	6.25	358	310	315	330	295	5.728	4.96	5.04	5.28	4.72	5.1456	0.382095	5.53	4.76	5.09
			90	1.10	6.25	330	375	310	335	290	5.28	6	4.96	5.36	4.64	5.248	0.507858	5.76	4.74	5.2
CHWM 132	40%	60%	28	1.12	6.25	225	220	225	210	210	3.6	3.52	3.6	3.36	3.36	3.488	0.121326	3.61	3.37	3.57
			56	1.12	6.25	200	270	210	280	315	3.2	4.32	3.36	4.48	5.04	4.08	0.779744	4.86	3.30	4.05
			90	1.12	6.25	240	265	250	290	255	3.84	4.24	4	4.64	4.08	4.16	0.304631	4.46	3.86	4.11
CHWM 133	50%	50%	28	1.05	6.25	150	190	196	210	185	2.4	3.04	3.136	3.36	2.96	2.9792	0.356768	3.34	2.62	2.94
			56	1.05	6.25	208	225	215	225	225	3.328	3.6	3.44	3.6	3.6	3.5136	0.124759	3.64	3.39	3.55
			90	1.05	6.25	205	258	206	224	205	3.28	4.128	3.296	3.584	3.28	3.5136	0.36706	3.88	3.15	3.66
CHWM 134	60%	40%	28	1.15	6.25	185	195	210	180	220	2.96	3.12	3.36	2.88	3.52	3.168	0.268924	3.44	2.90	3.15
			56	1.15	6.25	200	235	225	225	235	3.2	3.76	3.6	3.6	3.76	3.584	0.229085	3.81	3.35	3.68
			90	1.15	6.25	220	265	190	270	230	3.52	4.24	3.04	4.32	3.68	3.76	0.53066	4.29	3.23	3.81
CHWM 135	70%	30%	28	1.17	6.25	180	160	165	170	165	2.88	2.56	2.64	2.72	2.64	2.688	0.121326	2.81	2.57	2.67
			56	1.17	6.25	180	185	255	235	235	2.88	2.96	4.08	3.76	3.76	3.488	0.535462	4.02	2.95	3.49
			90	1.17	6.25	235	225	200	198	234	3.76	3.6	3.2	3.168	3.744	3.4944	0.290346	3.78	3.20	3.58

4.3.1 Hasil Pengujian Campuran 30% CSW 70% Pasir (Kode : CHWM131)

Mortar campuran CHWM131 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 70%, dan CSW 30%.

Tabel 4.25 Hasil pengujian kuat tarik CHWM 131

No	Kode	Umur Benda Uji	Luasan Bid. Geser (Cm2)	Beban Maks.Rata-rata (Kg)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	CHWM 1	28	6.25	311.25	4.98
2	CHWM 1	56	6.25	318.12	5.09
3	CHWM 1	90	6.25	325.00	5.20



Gambar 4.11 Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 131

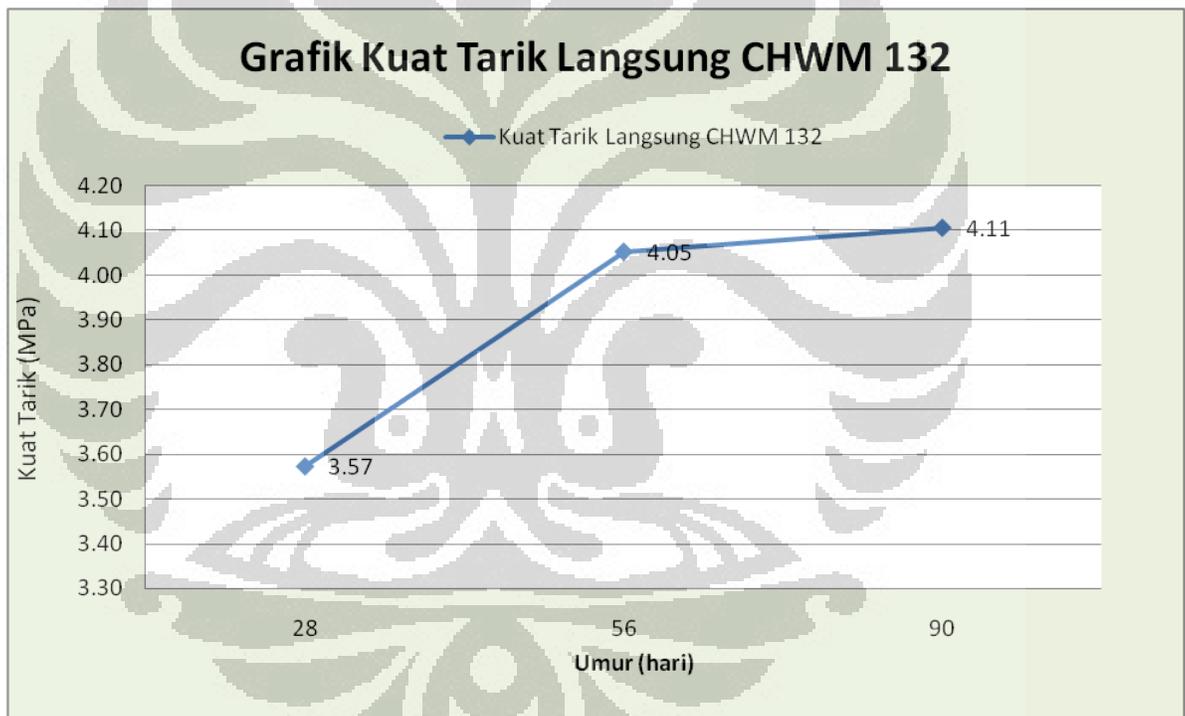
Dari tabel diatas diketahui Kuat tarik mortar CHWM131 pada umur 28 hari mencapai 4.98 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa terus terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur benda uji hingga umur 90 hari yang mencapai 5.2 MPa.

4.3.2 Hasil Pengujian Campuran 40% CSW 60% Pasir (Kode : CHWM132)

Mortar campuran CHWM 132 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 60%, dan CSW 40%.

Tabel 4.26 Hasil pengujian kuat tarik CHWM 132

No	Kode	Umur Benda Uji	Luasan Bid. Geser (Cm2)	Beban Maks.Rata-rata (Kg)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	CHWM 2	28	6.25	223.12	3.57
2	CHWM 2	56	6.25	253.12	4.05
3	CHWM 2	90	6.25	256.87	4.11



Gambar 4.12 Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 132

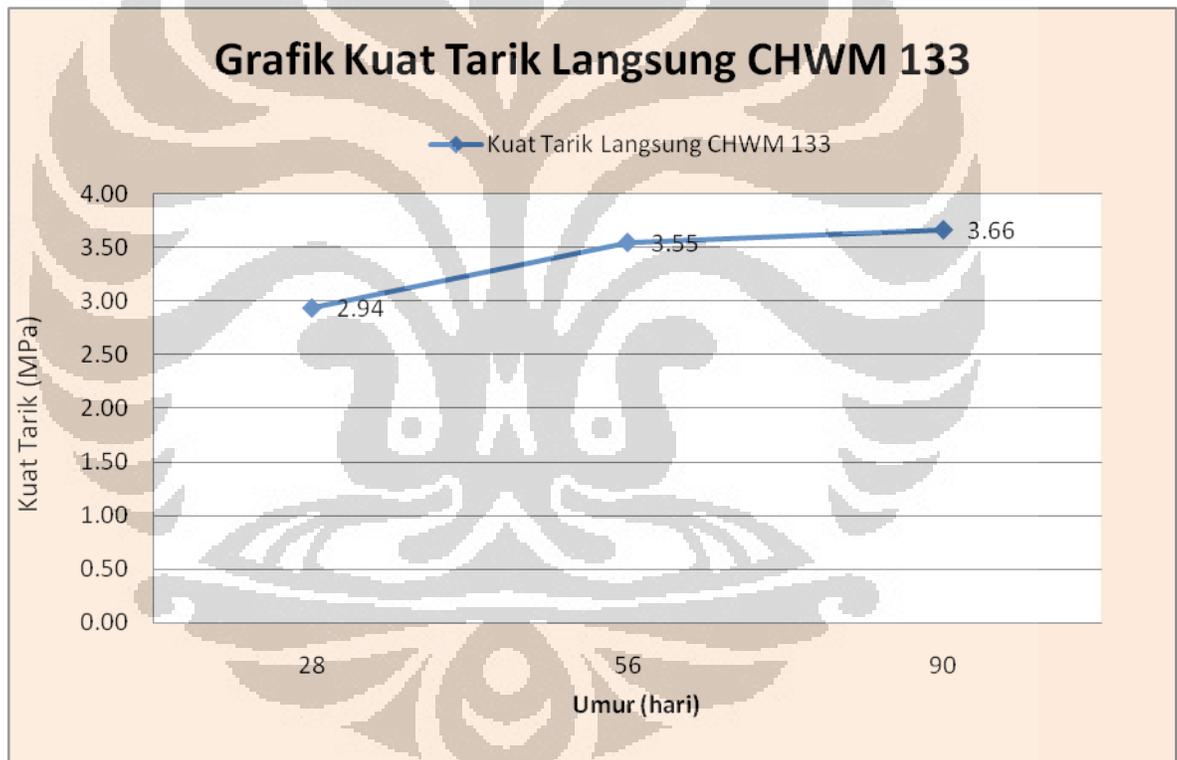
Dari tabel diatas diketahui Kuat tarik mortar CHWM132 pada umur 28 hari mencapai 3.57 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa terus terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur benda uji hingga umur 90 hari yang mencapai 4.11 MPa.

4.3.3 Hasil Pengujian Campuran 50% CSW 50% Pasir (Kode : CHWM133)

Mortar campuran CHWM 133 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 50%, dan CSW 50%.

Tabel 4.27 Hasil pengujian kuat tarik CHWM 133

No	Kode	Umur Benda Uji	Luasan Bid. Geser (Cm ²)	Beban Maks.Rata-rata (Kg)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1	CHWM 3	28	6.25	183.75	2.94
2	CHWM 3	56	6.25	221.87	3.55
3	CHWM 3	90	6.25	228.75	3.66



Gambar 4.13 Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 133

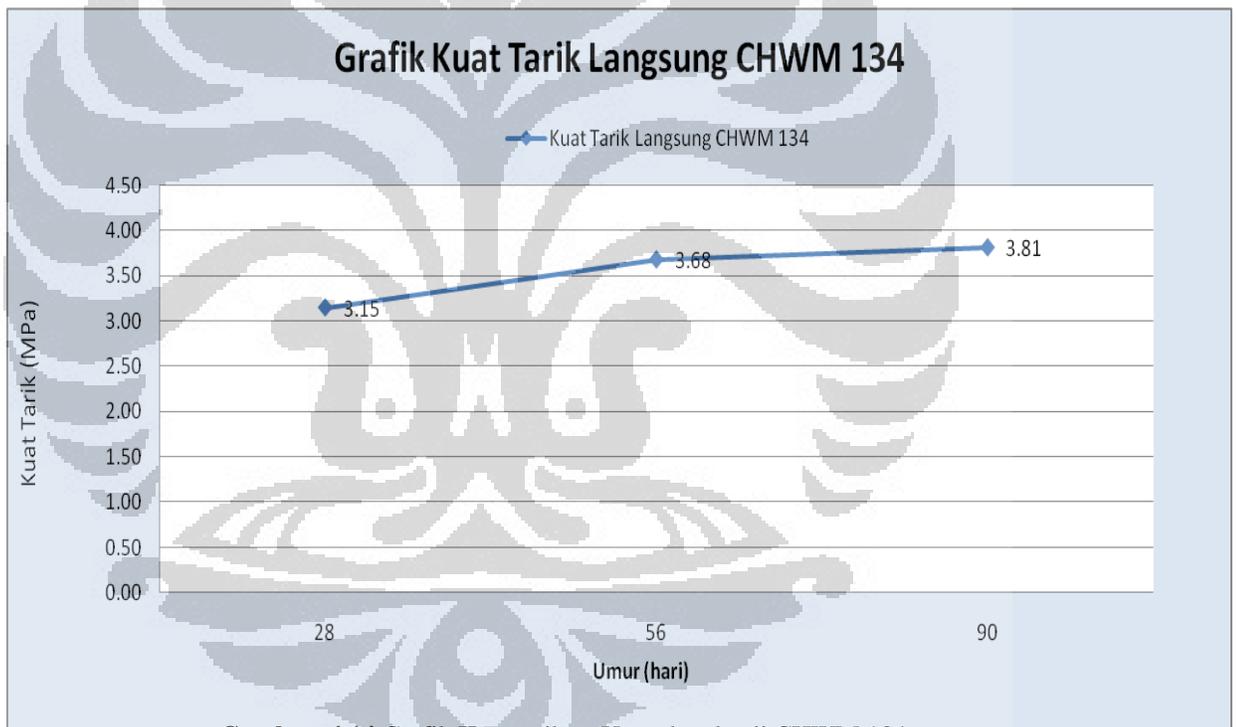
Dari tabel diatas diketahui Kuat tarik mortar CHWM133 pada umur 28 hari mencapai 2.94 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa terus terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur benda uji hingga umur 90 hari yang mencapai 3.66 MPa.

4.3.4 Hasil Pengujian Campuran 60% CSW 40% Pasir (Kode : CHWM134)

Mortar campuran CHWM 134 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 40%, dan CSW 60%.

Tabel 4.28 Hasil pengujian kuat tarik CHWM 134

No	Kode	Umur Benda Uji	Luasan Bid. Geser (Cm ²)	Beban Maks.Rata-rata (Kg)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	CHWM 4	28	6.25	196.87	3.15
2	CHWM 4	56	6.25	230.00	3.68
3	CHWM 4	90	6.25	238.12	3.81



Gambar 4.14 Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 134

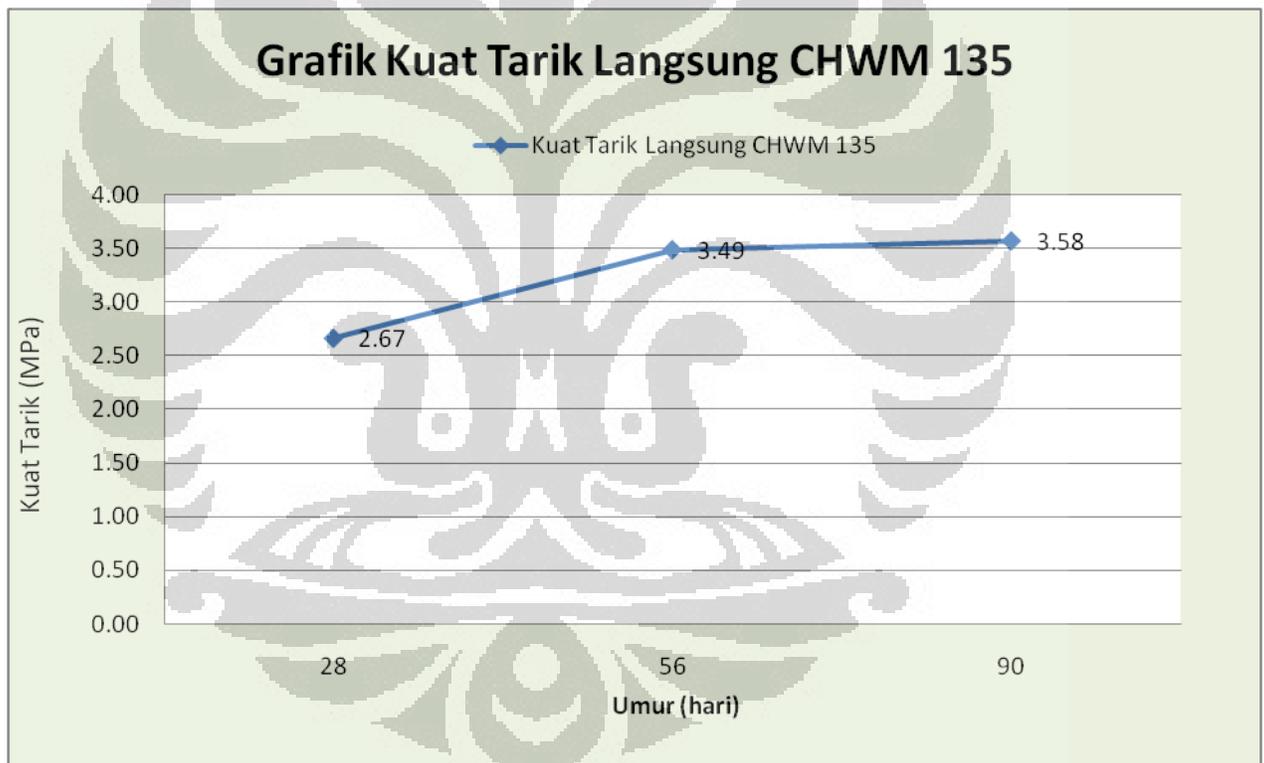
Dari tabel diatas diketahui Kuat tarik mortar CHWM134 pada umur 28 hari mencapai 3.15 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa terus terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur benda uji hingga umur 90 hari yang mencapai 3.81 MPa.

4.3.5 Hasil Pengujian Campuran 70% CSW 30% Pasir (Kode : CHWM135)

Mortar campuran CHWM 135 memiliki komposisi campuran Semen 82%, RHA 8% dari berat semen, Pasir 30%, dan CSW 70%.

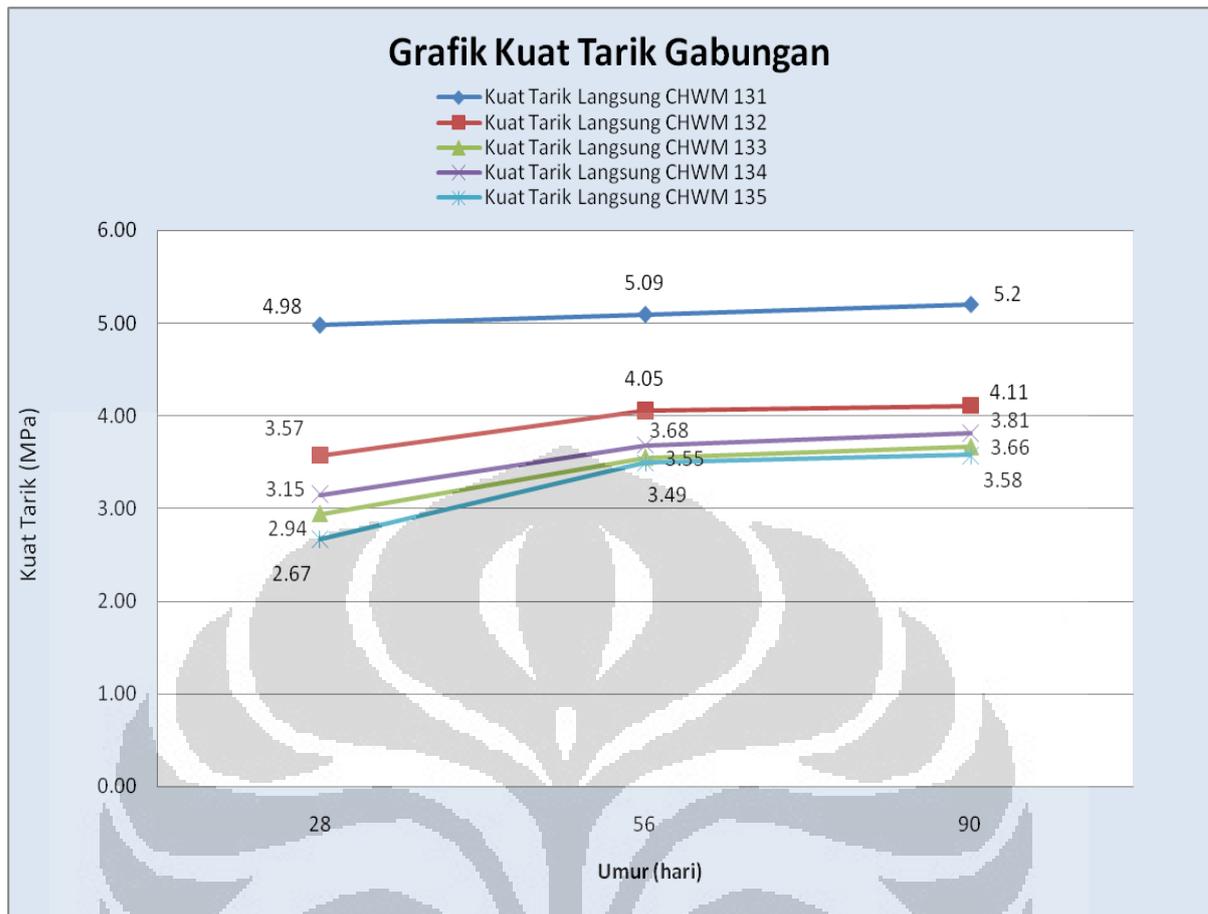
Tabel 4.29 Hasil pengujian kuat tarik CHWM 135

No	Kode	Umur Benda Uji	Luasan Bid. Geser (Cm ²)	Beban Maks.Rata-rata (Kg)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
1	CHWM 5	28	6.25	166.87	2.67
2	CHWM 5	56	6.25	218.12	3.49
3	CHWM 5	90	6.25	223.75	3.58



Gambar 4.15 Grafik Kuat tarik vs Umur benda uji CHWM 135

Dari tabel diatas diketahui Kuat tarik mortar CHWM135 pada umur 28 hari mencapai 2.67 MPa. Hal ini juga dapat dilihat pada grafik bahwa terus terjadi peningkatan kuat tekan disetiap umur benda uji hingga umur 90 hari yang mencapai 3.58MPa.

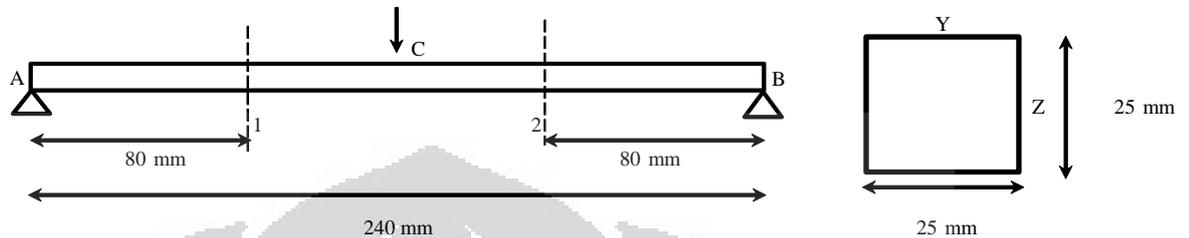


Gambar 4.16 Grafik Gabungan Kuat tarik vs Umur

Dari grafik ini dapat terlihat jelas perbedaan komposisi pada campuran mortar dan usia benda uji sangat mempengaruhi kuat tarik mortar yang terjadi. Komposisi Mortar Kode CHWM131 mempunyai kuat tarik terbesar pada umur 90 hari yaitu sebesar 5.2 MPa, sedangkan Komposisi Mortar Kode CHWM135 mempunyai kuat tarik terendah pada umur 90 hari yaitu sebesar 3.58 MPa.

4.4 Pengujian Lentur Dan Modulus Elastisitas

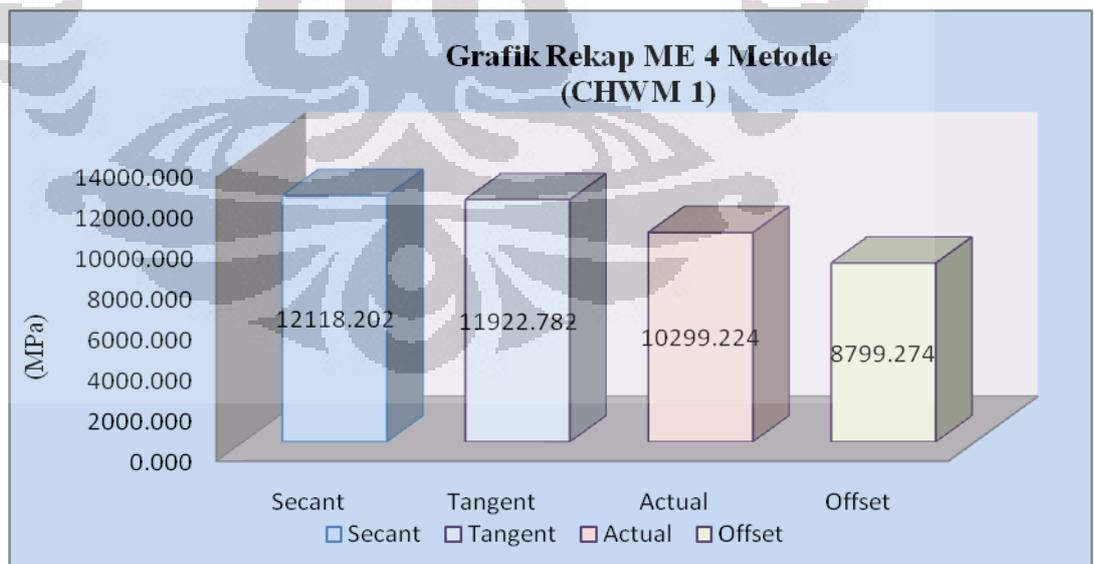
Pengujian modulus elastisitas menggunakan 1 titik pembebanan, dimana lendutan yang dipantau terletak pada 2 titik. Pengujian ini menggunakan benda uji balok 25 x 25 x 270 mm sebanyak 5 buah untuk satu campuran mortar yang dilakukan pada umur 28 hari.



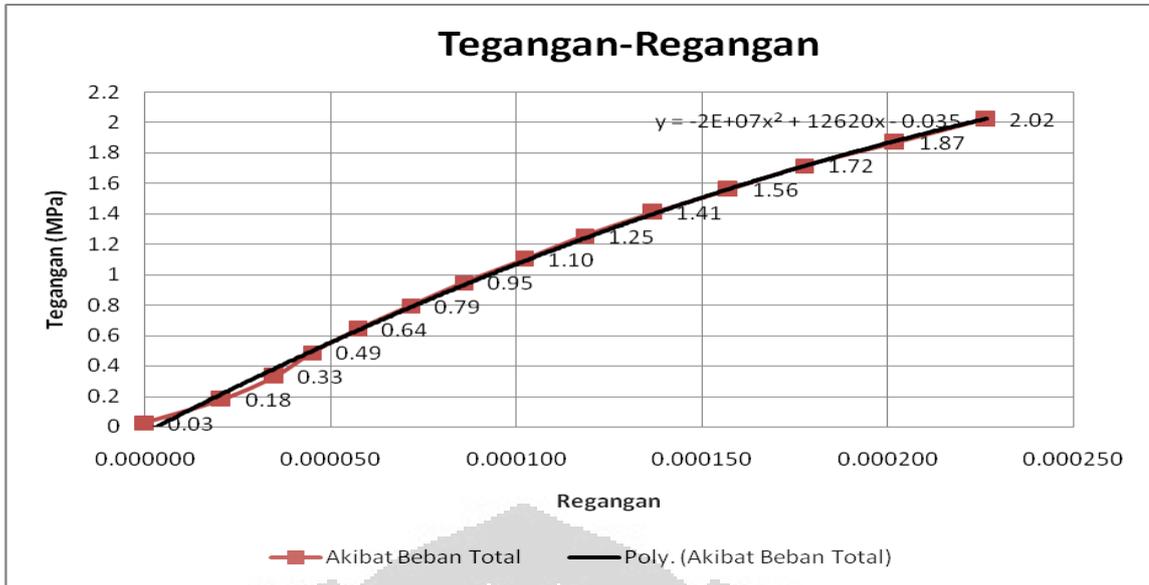
Gambar 4.17 Pengujian modulus elastisitas.

Tabel 4.30 Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM131, komposisi 30% CSW, 70% Pasir

No Bend Uji	Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
			Secant	Tangent	Actual	Offset
1	CHWM 1	240	11796.480	11569.625	10069.182	7943.392
2	CHWM 1	240	11260.276	11260.276	9802.489	9012.139
3	CHWM 1	240	11796.480	11796.480	9565.451	8261.128
4	CHWM 1	240	12868.887	12868.887	11172.787	9697.288
5	CHWM 1	240	12868.887	12118.639	10886.211	9082.424
Rata-rata			12118.202	11922.782	10299.224	8799.274



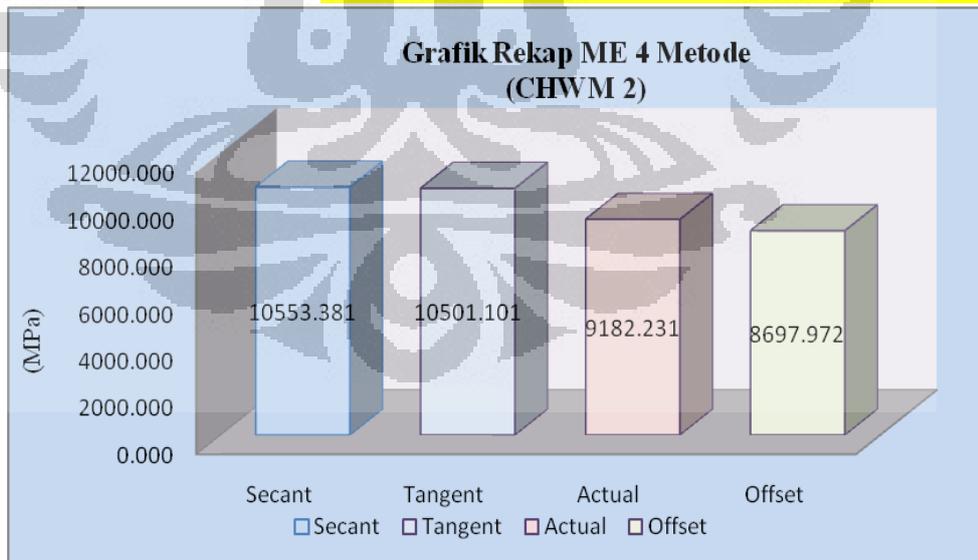
Gambar 4.18 Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM131



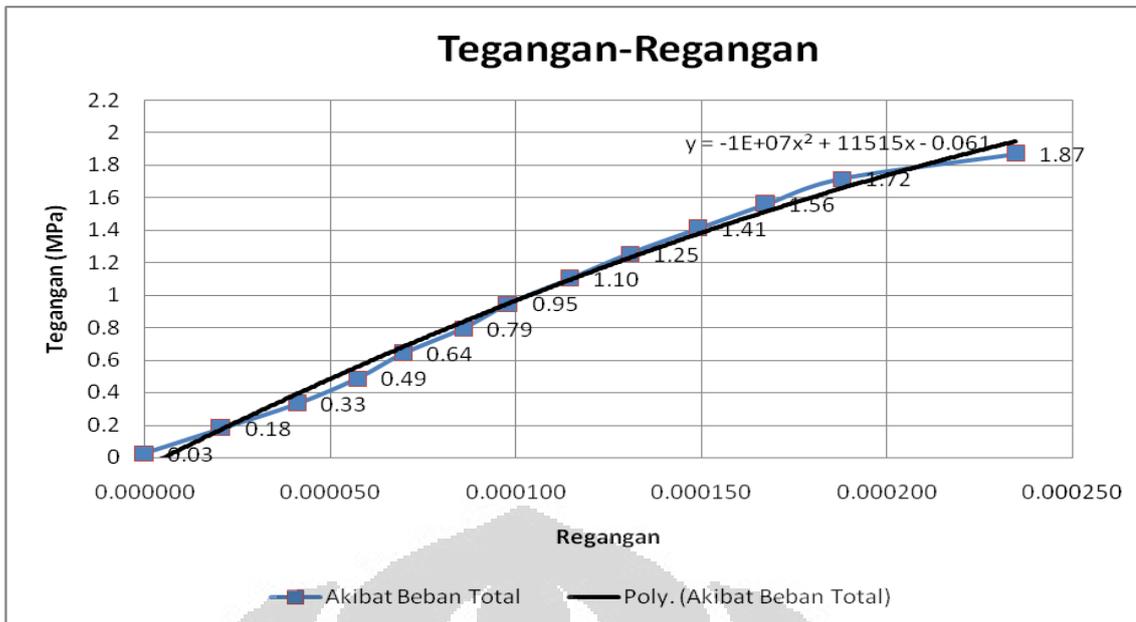
Gambar 4.19 Grafik Tegangan vs Regangan CHWM131

Tabel 4.31 Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM132 komposisi 40% CSW, 60% Pasir

No Bend Uji	Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
			Secant	Tangent	Actual	Offset
1	CHWM 1	240	9732.096	9732.096	8512.238	8029.193
2	CHWM 1	240	11059.200	11059.200	9710.103	10507.531
3	CHWM 1	240	9830.400	9830.400	8631.202	9340.028
4	CHWM 1	240	10321.920	10321.920	8985.615	7633.074
5	CHWM 1	240	11823.290	11561.891	10071.996	7980.032
Rata-rata			10553.381	10501.101	9182.231	8697.972



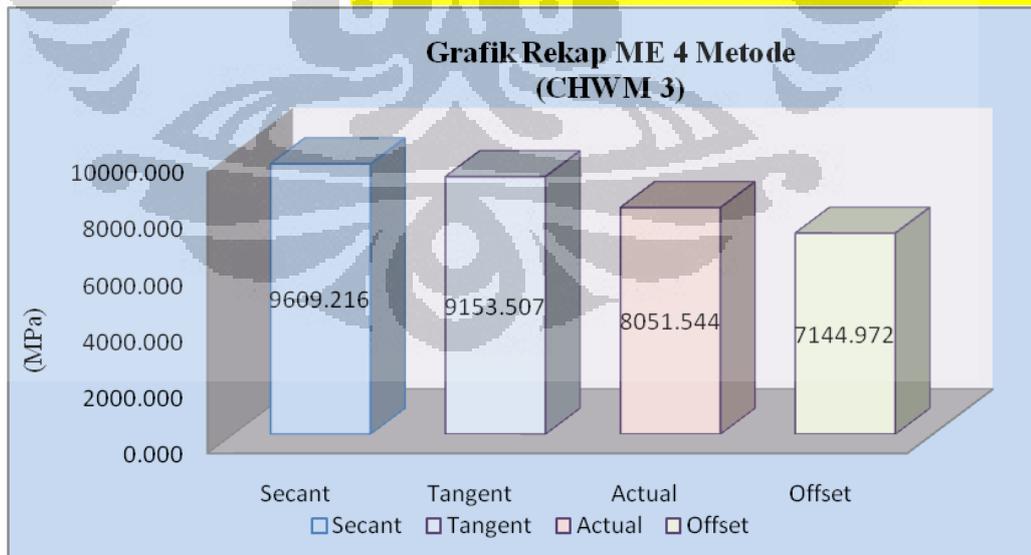
Gambar 4.20 Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM132



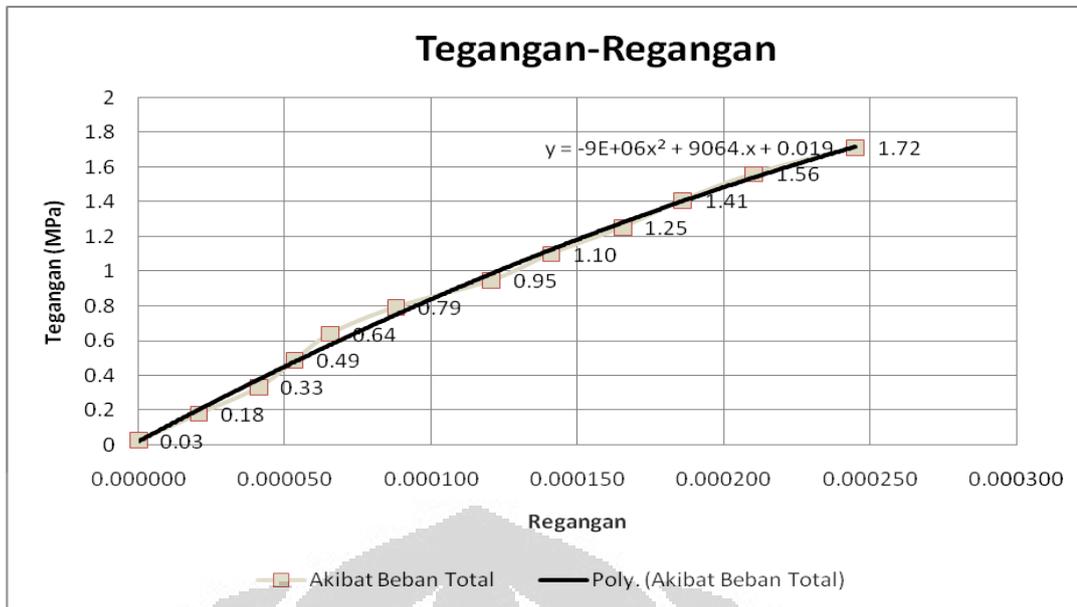
Gambar 4.21 Grafik Tegangan vs Regangan CHWM132

Tabel 4.32 Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM133 komposisi 50% CSW, 50% Pasir

No Bend Uji	Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
			Secant	Tangent	Actual	Offset
1	CHWM 1	240	11059.200	9830.400	8649.620	7287.963
2	CHWM 1	240	10444.800	9395.054	8400.044	7470.162
3	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7729.509	7005.021
4	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7729.509	7005.021
5	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7749.038	6956.692
Rata-rata			9609.216	9153.507	8051.544	7144.972



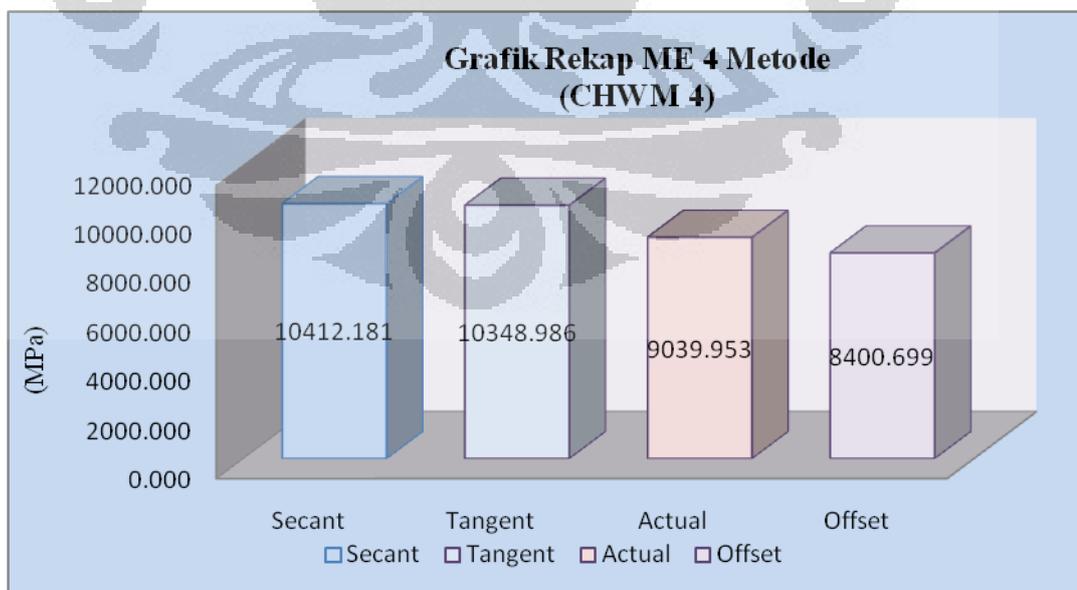
Gambar 4.20 Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM133



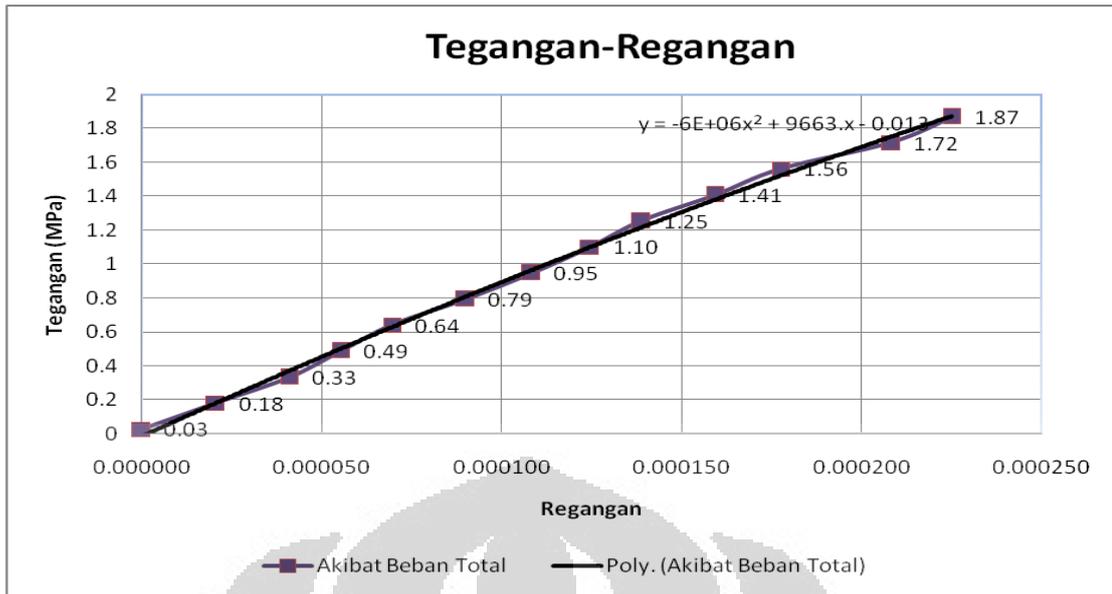
Gambar 4.21 Grafik Tegangan vs Regangan CHWM133

Tabel 4.33 Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM134 komposisi 60% CSW, 40% Pasir

No Bend Uji	Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
			Secant	Tangent	Actual	Offset
1	CHWM 1	240	10616.832	10616.832	9275.410	8406.025
2	CHWM 1	240	11059.200	10813.440	9495.451	10507.531
3	CHWM 1	240	9741.033	9670.816	8457.675	7823.790
4	CHWM 1	240	11796.480	11796.480	10241.722	8261.128
5	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7729.509	7005.021
Rata-rata			10412.181	10348.986	9039.953	8400.699



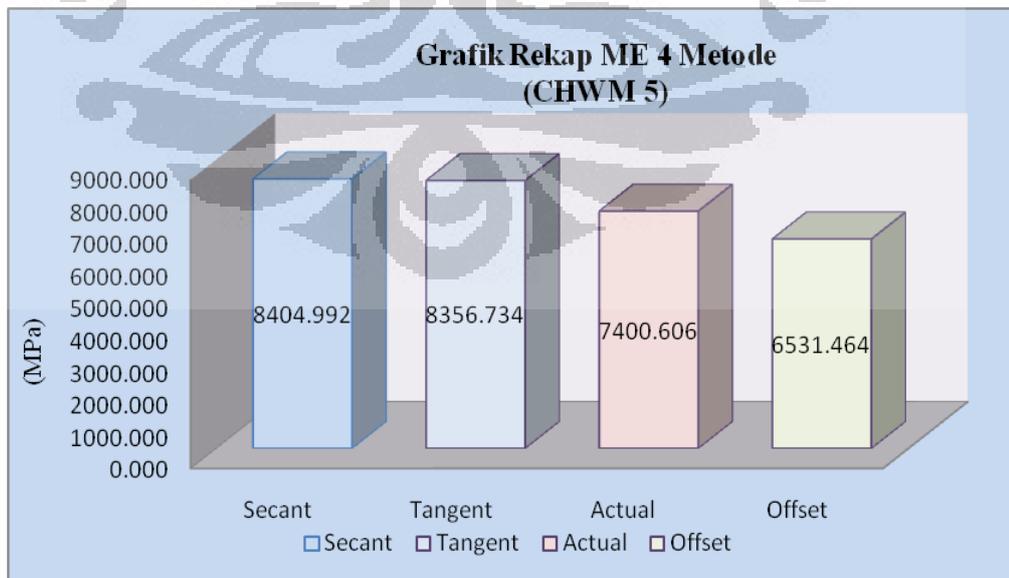
Gambar 4.22 Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM134



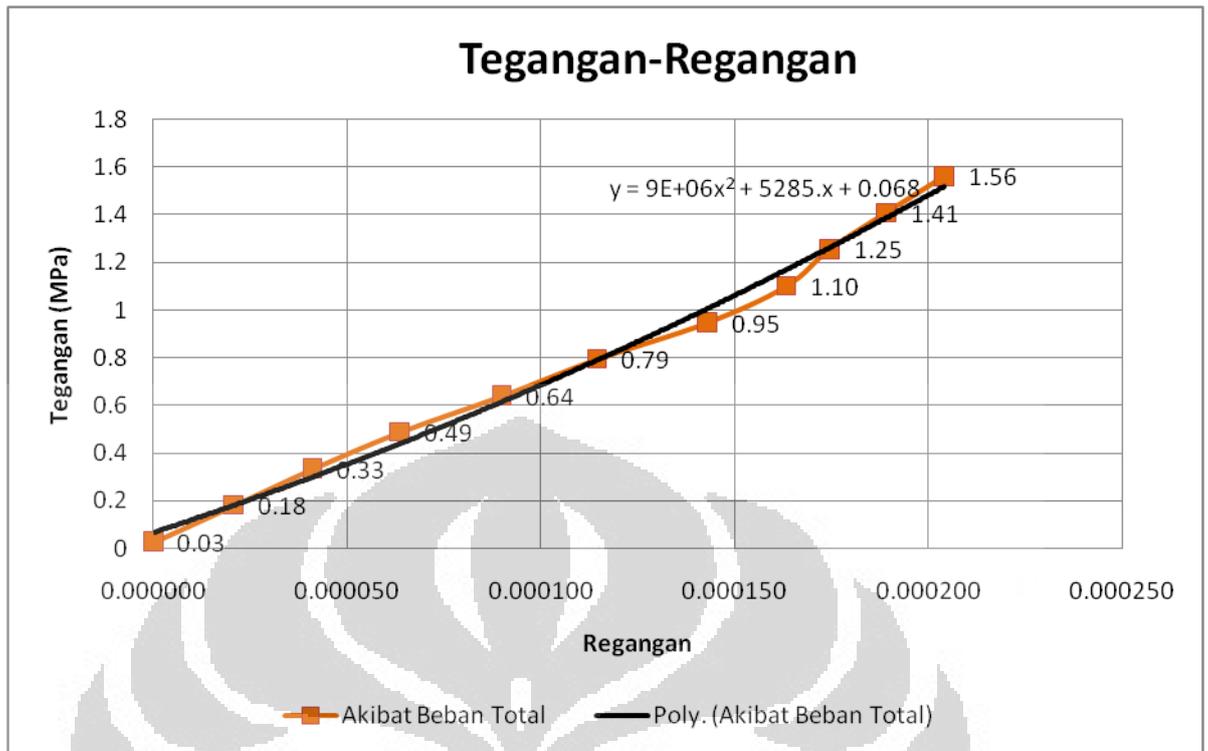
Gambar 4.22 Grafik Tegangan vs Regangan CHWM134

Tabel 4.34 Hasil pengujian Modulus Elastisitas CHWM135 komposisi 70% CSW, 30% Pasir

No Bend Uji	Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
			Secant	Tangent	Actual	Offset
1	CHWM 1	240	10616.832	10616.832	9275.410	7652.361
2	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7874.708	6625.293
3	CHWM 1	240	8847.360	8847.360	7825.943	7681.291
4	CHWM 1	240	6635.520	6635.520	5941.783	5797.131
5	CHWM 1	240	7077.888	6836.596	6085.186	4901.245
Rata-rata			8404.992	8356.734	7400.606	6531.464



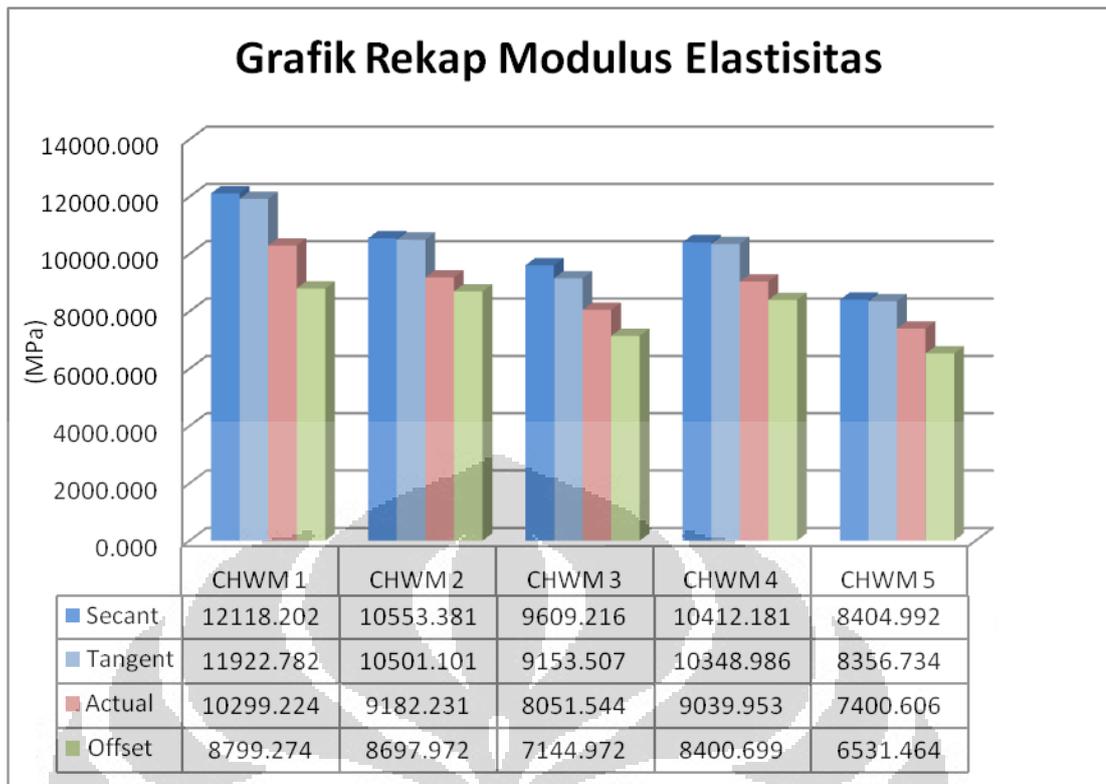
Gambar 4.24 Grafik hasil perhitungan Modulus Elastisitas CHWM135



Gambar 4.23 Grafik Tegangan vs Regangan CHWM135

Tabel 4.35 Hasil gabungan pengujian Modulus Elastisitas rata – rata

Kode Benda Uji	L (mm)	Modulus Of Elasticity Rata-Rata			
		Secant	Tangent	Actual	Offset
CHWM 1	240	12118.202	11922.782	10299.224	8799.274
CHWM 2	240	10553.381	10501.101	9182.231	8697.972
CHWM 3	240	9609.216	9153.507	8051.544	7144.972
CHWM 4	240	10412.181	10348.986	9039.953	8400.699
CHWM 5	240	8404.992	8356.734	7400.606	6531.464



Gambar 4.24 Grafik gabungan pengujian Modulus Elastisitas untuk semua campuran

Pengujian dilakukan dengan metode destructive. Dari grafik modulus elastisitas diatas dihasilkan suatu pola dimana semakin besar jumlah persentase CSW maka semakin kecil nilai modulus elastisitas yang didapat. Hal ini menunjukkan benda uji dengan persentase CSW yang lebih sedikit mempunyai nilai modulus elastisitas yang lebih baik ketimbang benda uji yang lebih banya persentase CSW.

Hasil pengujian modulus elastisitas dengan 4 metode perhitungan, didapatkan nilai yang paling besar adalah campuran CHWM131 dengan nilai Modulus Secant = 12118.202 MPa, Modulus Tangen = 11922.782, Modulus actual = 10299.224 MPa, dan Modulus Offset = 8799.274 MPa

4.5 Pengujian Kuat Geser

Pengujian dilakukan pada benda uji dengan dimensi 15x10x5 cm, dengan usia mortar 28 hari dan jumlah sampel sebanyak 5 buah untuk setiap komposisi campuran mortar. Berikut ini merupakan data pengujian Kuat Geser mortar campuran yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium.

Tabel 4.36 Hasil pengujian Kuat Geser CHWM131, komposisi 30% CSW, 70% Pasir

No Sampel	Kode	Luasan Bidang Geser (cm ²)	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Geser (MPa)
1	CHWM 1	25	525	2.10
2	CHWM 1	25	250	1.00
3	CHWM 1	25	225	0.90
4	CHWM 1	25	325	1.30
5	CHWM 1	25	290	1.16
Rata-rata				1.29
Standar Deviasi				0.48
Rata-rata lolos				1.09

Tabel 4.37 Hasil pengujian Kuat Geser CHWM132, komposisi 40% CSW, 60% Pasir

No Sampel	Kode	Luasan Bidang Geser (cm ²)	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Geser (MPa)
1	CHWM 2	25	250	1.00
2	CHWM 2	25	180	0.72
3	CHWM 2	25	310	1.24
4	CHWM 2	25	220	0.88
5	CHWM 2	25	230	0.92
Rata-rata				0.95
Standar Deviasi				0.19
Rata-rata lolos				0.93

Tabel 4.38 Hasil pengujian Kuat Geser CHWM133, komposisi 50% CSW, 50% Pasir

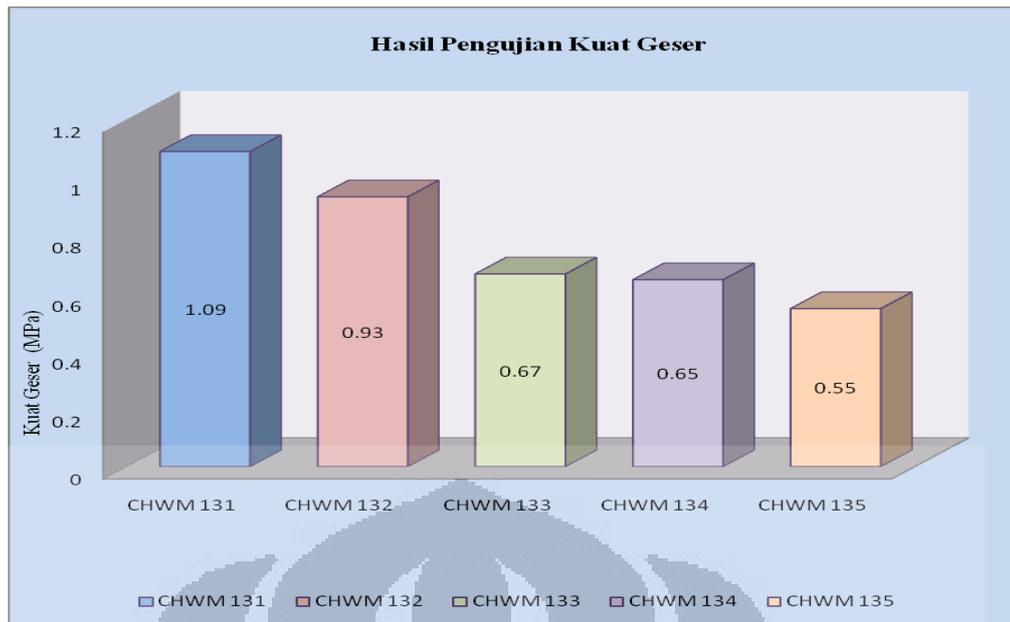
No Sampel	Kode	Luasan Bidang Geser (cm ²)	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Geser (MPa)
1	CHWM 3	25	135	0.54
2	CHWM 3	25	150	0.60
3	CHWM 3	25	170	0.68
4	CHWM 3	25	210	0.84
5	CHWM 3	25	180	0.72
Rata-rata				0.68
Standar Deviasi				0.12
Rata-rata lolos				0.67

Tabel 4.39 Hasil pengujian Kuat Geser CHWM134, komposisi 60% CSW, 40% Pasir

No Sampel	Kode	Luasan Bidang Geser (cm ²)	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Geser (MPa)
1	CHWM 4	25	155	0.62
2	CHWM 4	25	180	0.72
3	CHWM 4	25	150	0.60
4	CHWM 4	25	190	0.76
5	CHWM 4	25	140	0.56
Rata-rata				0.65
Standar Deviasi				0.08
Rata-rata lolos				0.65

Tabel 4.40 Hasil pengujian Kuat Geser CHWM135, komposisi 70% CSW, 30% Pasir

No Sampel	Kode	Luasan Bidang Geser (cm ²)	Beban Maksimum (Kg)	Kuat Geser (MPa)
1	CHWM 5	25	125	0.50
2	CHWM 5	25	135	0.54
3	CHWM 5	25	145	0.58
4	CHWM 5	25	150	0.60
5	CHWM 5	25	130	0.52
Rata-rata				0.55
Standar Deviasi				0.04
Rata-rata lolos				0.55

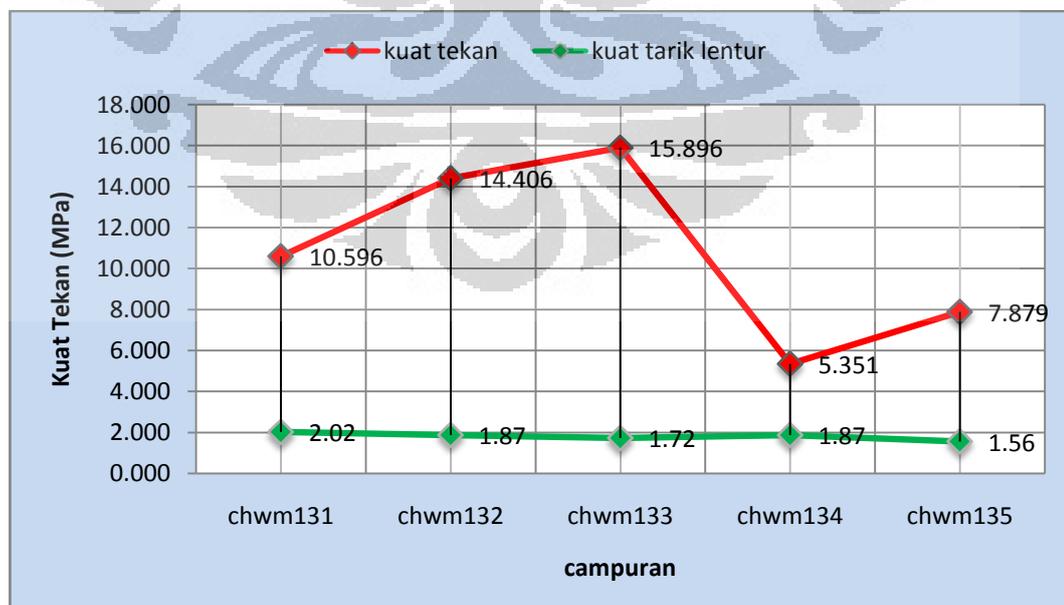


Gambar 4.25 Grafik gabungan pengujian Kuat Geser untuk semua campuran

Kekuatan geser optimal terjadi pada campuran CHWM131 sebesar 1.09 MPa dan nilai kekuatan geser terkecil didapat oleh campuran dengan komposisi CSW terbanyak yaitu campuran CHWM135 sebesar 0.55 MPa.

4.6 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Pada Mortar

Dalam penelitian ini dicari korelasi antara nilai kuat tekan dan kuat tarik lenturnya. Perbandingan kuat tekan dan kuat tarik lentur pada mortar dilakukan pada benda uji yang berusia 28 hari untuk setiap variasi campuran mortar.



Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Nilai Kuat Tekan dan Kuat Tarik Lentur Umur 28 Hari

Perbandingan nilai rata-rata kuat tarik lentur dengan kuat tekan dengan variasi campuran yang sama dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.41 Perbandingan Nilai Kuat Tarik Lentur dengan Kuat Tekan

Kode	fr (MPa)	fc (MPa)	Perbandingan (%)
CHWM-131	2.02	10.59	19.02
CHWM-132	1.87	14.41	12.89
CHWM-133	1.72	15.89	10.82
CHWM-134	1.87	5.35	34.95
CHWM-135	1.56	7.88	19.79

Dari tabel perbandingan kuat tekan dengan kuat tarik lentur diatas didapatkan nilai rata-rata perbandingannya adalah 19,52%, nilai ini jauh dari teori bahwa kuat lentur berkisar pada 10-15% dari kuat tekannya.

Berdasarkan persamaan pada SNI 03-1726-2002 pasal 11.5.3 ($f_r=0,7\sqrt{f_c'}$) 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 4.42 Perbedaan Kuat Lentur Teoritis dengan Penelitian

Kode	fr (MPa)	fr teoritis (MPa)	Perbedaan (%)
CHWM-131	2.02	2.28	12.80
CHWM-132	1.87	2.66	42.08
CHWM-133	1.72	2.79	62.26
CHWM-134	1.87	1.62	13.41
CHWM-135	1.56	1.97	25.95

Perbedaan yang didapat menunjukkan hubungan kuat tekan (f_c') dengan kuat lentur (f_r) berdasarkan persamaan ($f_r= 0,7\sqrt{f_c'}$), tidak lagi berlaku untuk mortar dengan campuran CSW. Untuk mendapatkan hubungan baru antara 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.

Tabel 4.43 nilai C yang didapatkan dari nilai f_c' dan f_r pengujian

Kode	$\sqrt{f_c'}$ (MPa)	f_r (MPa)	C
CHWM-131	3.26	2.02	0,621
CHWM-132	3.79	1.87	0.493
CHWM-133	3.99	1.72	0.431
CHWM-134	2.31	1.87	0.808
CHWM-135	2.81	1.56	0.556

Berdasarkan tabel di atas maka didapatkan nilai faktor C dengan metode standar deviasi sebesar 0,556. Sehingga untuk campuran mortar dengan CSW digunakan persamaan ($f_r = 0,556\sqrt{f_c'}$)

4.7 Pengaruh Penambahan *Concrete Sludge Waste* (CSW)

4.7.1 Pengaruh Terhadap Kuat Tarik

Penambahan CSW dan usia benda uji ternyata mempengaruhi kuat tarik mortar, akan tetapi penggunaan CSW tidak dapat sepenuhnya menggantikan pasir karena kuat tarik yang dihasilkan sangat rendah yaitu pada campuran CHWM135 dimana perbandingan komposisi CSW : Pasir = 70% : 30% dengan nilai kuat tarik berturut-turut sebesar 2.67 MPa, 3.49 MPa dan 3.58 MPa pada usia 28, 56, 90 hari. Dalam penelitian yang telah dilakukan, komposisi CHWM 1 dengan perbandingan komposisi 30% CSW : 70% pasir dapat menghasilkan kuat tarik yang optimum sebesar, 4.98 MPa, 5.09 MPa, dan 5.2 MPa pada usia 28, 56, 90 hari.

Penurunan kuat tarik mortar semen terjadi karena adanya kebutuhan akan FAS yang jauh lebih besar, semakin banyak kandungan air menyebabkan adukan mortar semakin berpori (*capillary pores*) yang berarti semakin mengurangi kekuatannya. Pada pengujian berat jenis dan penyerapan air pada CSW diketahui nilai penyerapan airnya sebesar 5.042 %, melebihi batas maksimal persentase penyerapan air sebesar 3 %. Hal ini yang menyebabkan kebutuhan akan air dari campuran mortar meningkat, dapat dilihat dari hasil pengujian konsistensi pada **Gambar 4.3** dimana dengan semakin bertambahnya komposisi CSW pada

campuran mortar mengakibatkan nilai FAS yang semakin meningkat pula dan berakibat pada menurunnya kekuatan tarik mortar.

4.7.2 Pengaruh Terhadap Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas

Pada hasil pengujian kuat lentur dan modulus elastisitas terlihat pola yang sama dengan hasil pengujian kuat tarik, yaitu semakin banyak komposisi CSW pada suatu campuran mortar maka semakin mengurangi nilai dari modulus elastisitas dan kuat lenturnya. Adapun nilai modulus elastisitas dan kuat lentur untuk masing-masing campuran adalah :

a) Modulus elastisitas terbesar tercapai pada campuran mortar CHWM131 komposisi 30% CSW, 70% Pasir, dengan nilai :

- Metode secant, 12118.202 MPa
- Metode tangen, 11922.782 MPa
- Metode actual, 10299.224 MPa
- Metode offset, 8799.274 MPa

Didapat rata-rata kuat lentur maksimum sebesar 2.022 MPa.

b) Hasil modulus elastisitas pada campuran mortar CHWM132 komposisi 40% CSW, 60% Pasir, dengan nilai :

- Metode secant, 10553.381 MPa
- Metode tangen, 10501.101 MPa
- Metode actual, 9182.231 MPa
- Metode offset, 8697.972 MPa

Didapat rata-rata kuat lentur maksimum sebesar 1.869 MPa

c) Hasil modulus elastisitas pada campuran mortar CHWM133 komposisi 50% CSW, 50% Pasir, dengan nilai :

- Metode secant, 9609.216 MPa
- Metode tangen, 9153.507 MPa
- Metode actual, 8051.544 MPa
- Metode offset, 7144.972 MPa

Didapat rata-rata kuat lentur maksimum sebesar 1.715 MPa

d) Hasil modulus elastisitas pada campuran mortar CHWM134 komposisi 60% CSW, 40% Pasir, dengan nilai :

- Metode secant, 10412.181 MPa
- Metode tangen, 10348.986 MPa
- Metode actual, 9039.953 MPa
- Metode offset, 8400.7 MPa

Didapat rata-rata kuat lentur maksimum sebesar 1.869 MPa

e) Hasil modulus elastisitas terendah terdapat pada campuran mortar CHWM135 komposisi 70% CSW, 30% Pasir, dengan nilai :

- Metode secant, 8404.992 MPa
- Metode tangen, 8356.734 MPa
- Metode actual, 7400.606 MPa
- Metode offset, 6531.464 MPa

Didapat rata-rata kuat lentur maksimum sebesar 1.56 MPa

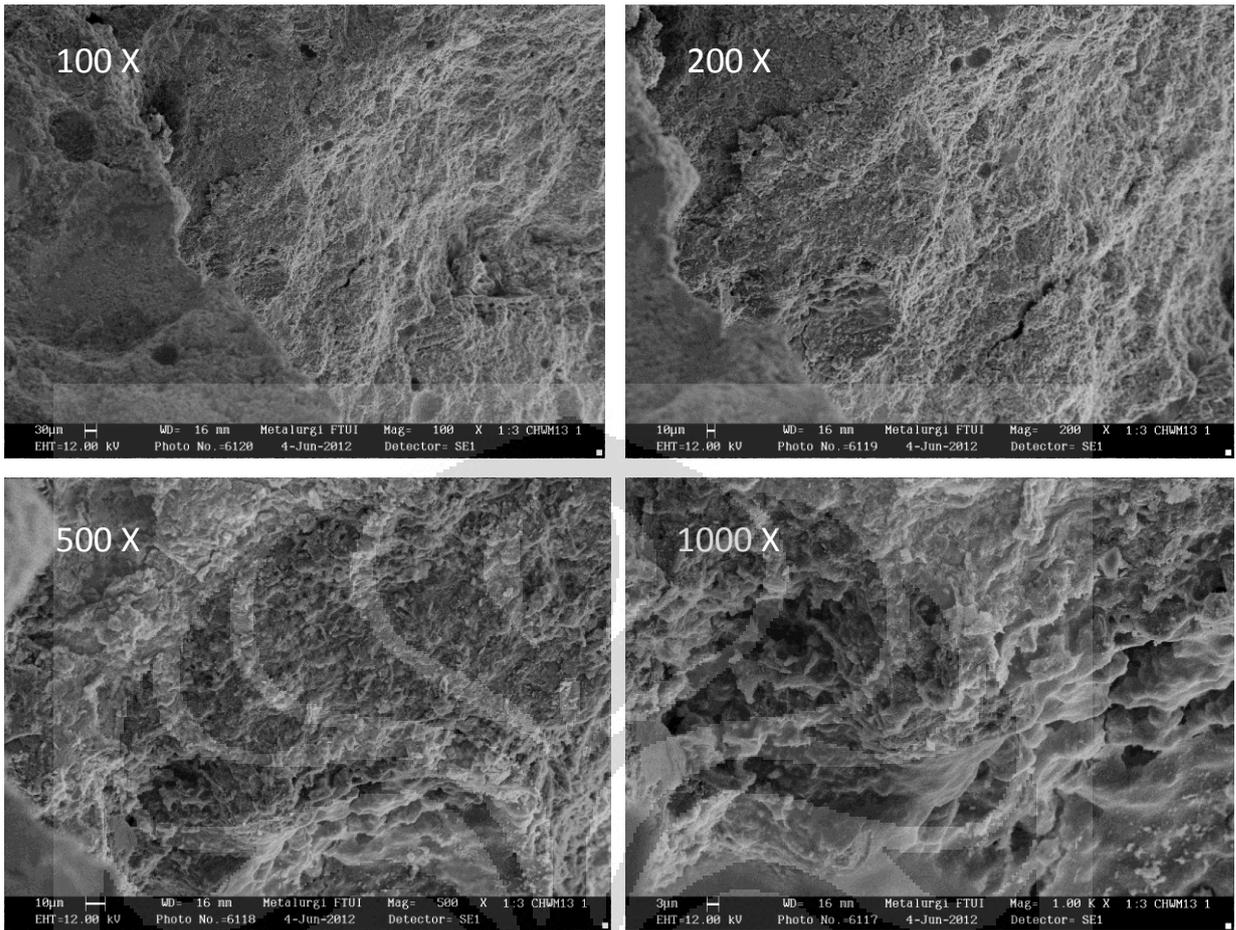
4.7.3 Pengaruh Terhadap Kekuatan Geser

Sama halnya dengan pengujian tarik langsung serta modulus elastisitas, pola yang samapun terjadi pada pengujian Kuat geser. Semakin banyak persentasi CSW pada campuran mortar maka mempengaruhi kekuatan dari gesernya. Dibawah ini adalah hasil pengujian geser untuk campuran mortar umur 28 hari

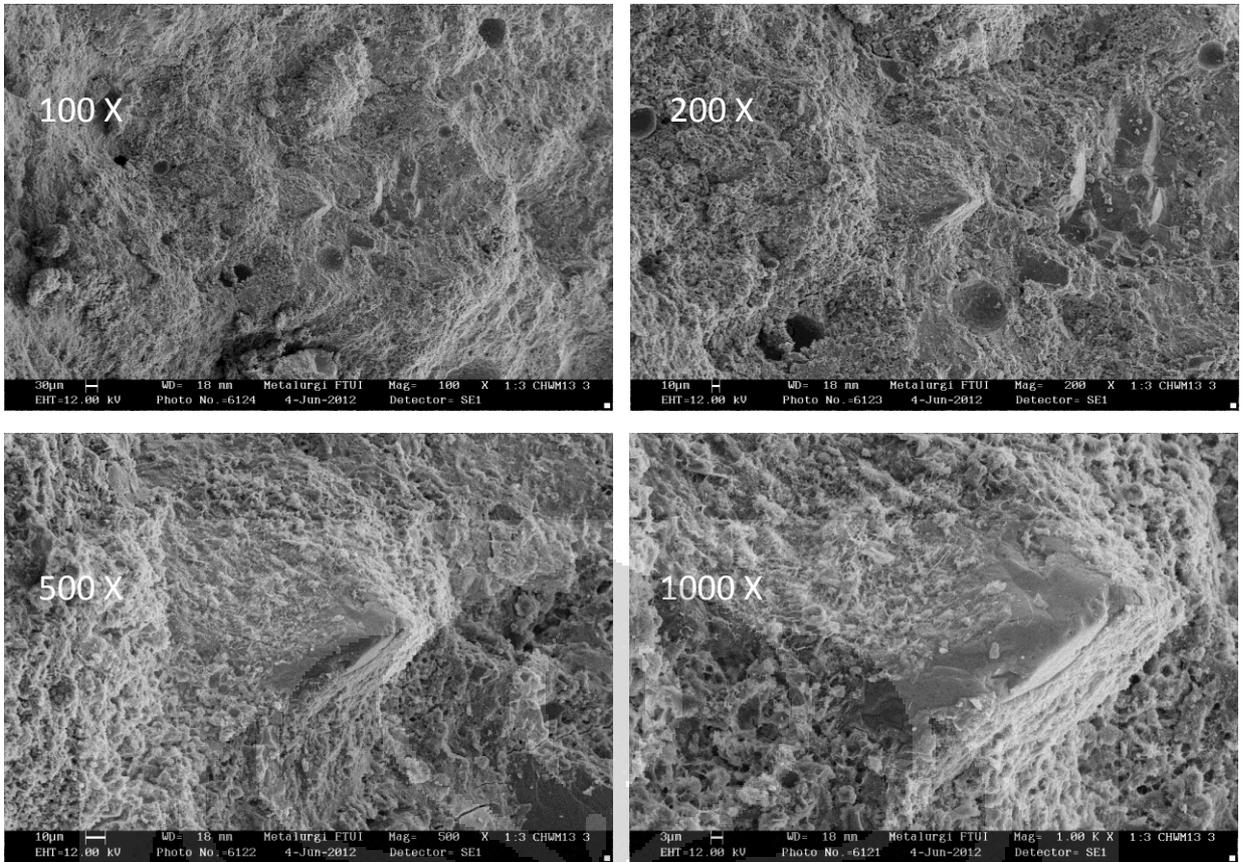
- CHWM 131, kekuatan geser = 1.09 MPa
- CHWM 132, kekuatan geser = 0.93 MPa
- CHWM 133, kekuatan geser = 0.67 MPa
- CHWM 134, kekuatan geser = 0.70 MPa
- CHWM 135, kekuatan geser = 0.55 MPa.

4.8. Pengujian SEM Pada Mortar

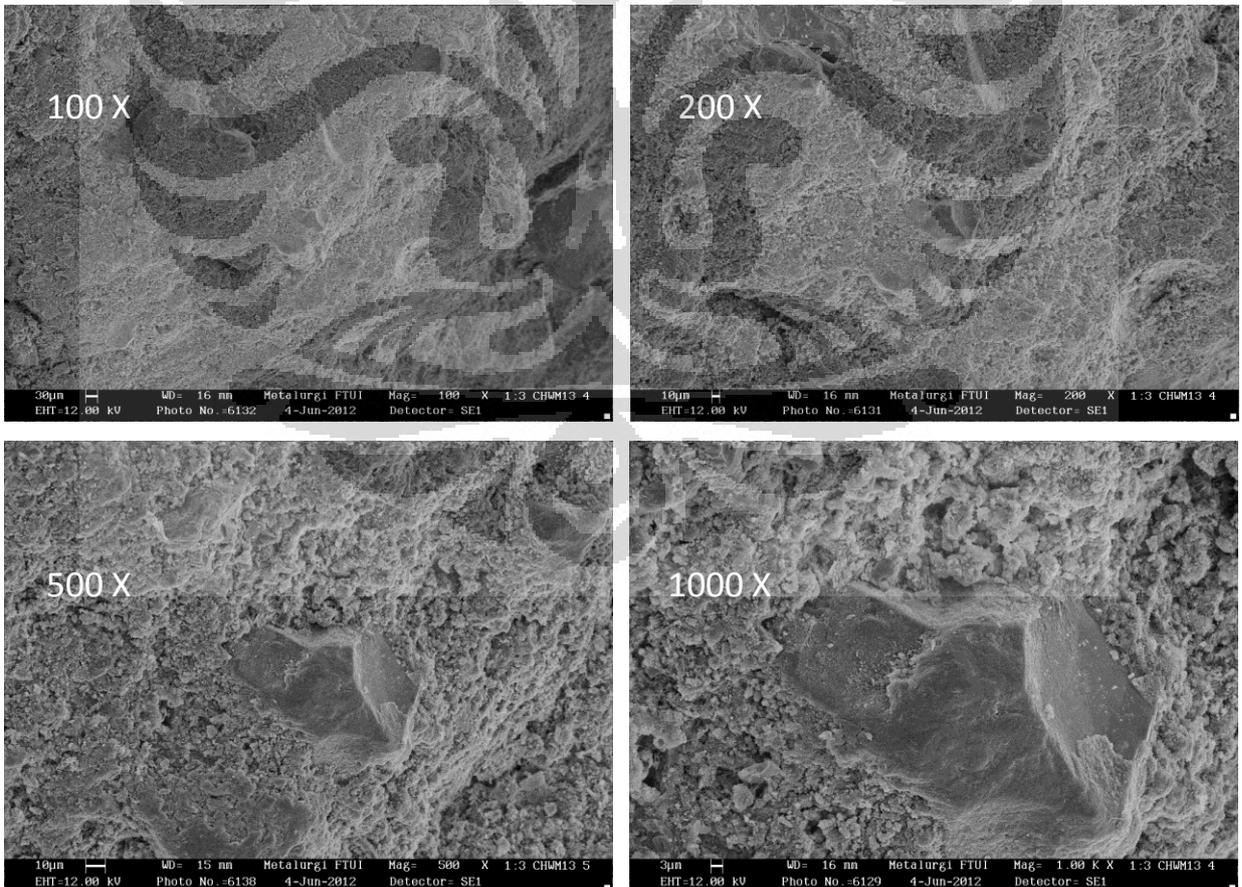
Untuk mengetahui lebih jelas ikatan antara CSW dengan bahan pencampur lainnya, maka dilakukan uji SEM dimana setiap variasi campuran mortar diambil gambaran permukaannya dengan pembesaran 100X, 200X, 500X, dan 1000X. .Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Berikut hasil pengujiannya :



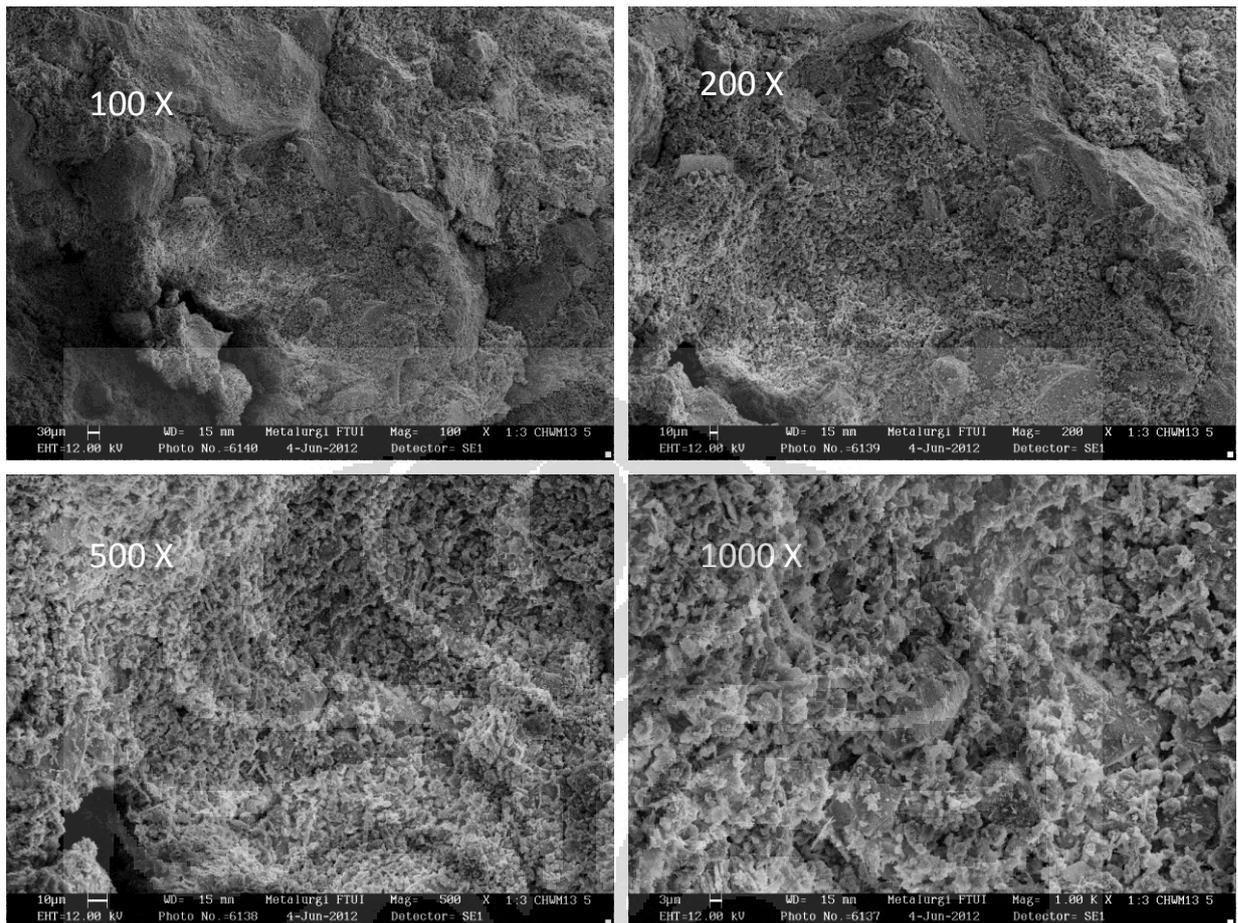
Gambar 4.27 Foto uji SEM mortar CHWM-131



Gambar 4.28 Foto uji SEM mortar CHWM-133



Gambar 4.29 Foto uji SEM mortar CHWM-134



Gambar 4.30 Foto uji SEM mortar CHWM-135

Dari foto yang di dapat dari pengujian SEM terlihat bahwa campuran yang semakin besar kandungan CSW nya maka kepadatannya pun semakin berkurang sehingga tampak berpori. Hal ini menjadi salah satu penyebab semakin rendahnya nilai kuat tarik langsung, kuat tarik lentur, modulus elastisitas dan geser pada campuran mortar dengan kandungan CSW yg semakin besar.

4.9 Pemanfaatan CSW Sebagai Material Bahan Bangunan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa manfaat dari penggunaan CSW bisa digunakan untuk keperluan bahan bangunan. Karena pada penelitian ini, mortar CHWM 133 dengan komposisi semen : agregat halus 1: 3 dengan campuran 92% semen, 8% abu sekam padi, 50% CSW, dan 50% pasir, pada umur 28 hari mencapai kuat tekan sebesar 15.896 MPa. Berikut ini adalah standar persyaratan bata beton (Paving blok) menurut SNI 03-0691-1996 mengenai syarat mutu dan klasifikasi bata beton :

Klasifikasi :

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

Syarat Mutu :

Tabel 4.44 Syarat mutu Paving Blok menurut SNI

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

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

4.9.1 Kebutuhan Bahan Untuk Pembuatan Paving Blok Mutu C

Paving Block mutu C biasanya diperuntukkan hanya untuk pejalan kaki atau sepeda, dengan ukuran standar pabrik 21 x 10.5 x 6 cm. Maka dihitung kebutuhan bahan yang diperlukan untuk membuat 1 buah paving block mutu C dengan bahan tambah CSW dan Abu Sekam Padi.

Data :

- 21. Volume Paving Block Pabrik = $21 \times 10.5 \times 6 = 1323 \text{ cm}^3$
- 22. BJ semen (PCC) = 3.1 g/cm^3
- 23. BJ Abu sekam Padi (RHA) = 0.122 g/cm^3
- 24. BJ Limbah Beton (CSW) = 2.4 g/cm^3
- 25. BJ Pasir = 2.09 g/cm^3

Dengan menggunakan perbandingan komposisi CHWM 133 semen : agregat halus, 1: 3 campuran 92% semen, 8% abu sekam padi, 50% CSW, dan 50% pasir. Maka volume campuran untuk membuat 1 buah paving adalah sebagai berikut

- 26. Volume semen PCC = $92\% \times 330.75 \text{ cm}^3 = 304.29 \text{ cm}^3$
- 27. Volume RHA = $8\% \times 330.75 \text{ cm}^3 = 26.46 \text{ cm}^3$
- 28. Volume CSW = $50\% \times 992.5 \text{ cm}^3 = 496.25 \text{ cm}^3$
- 29. Volume Pasir = $50\% \times 992.5 \text{ cm}^3 = 496.25 \text{ cm}^3$

Setelah mengetahui volume kebutuhan dan berat jenisnya maka dapat dihitung berat kebutuhan untuk masing-masing bahan campuran mortar CHWM 133

Kebutuhan bahan :

- 30. Semen PCC = $3.1 \text{ g/cm}^3 \times 304.29 \text{ cm}^3 = 943.3 \text{ gram}$
- 31. RHA = $0.122 \text{ g/cm}^3 \times 26.46 \text{ cm}^3 = 3.22 \text{ gram}$
- 32. CSW = $2.4 \text{ g/cm}^3 \times 496.25 \text{ cm}^3 = 1190.8 \text{ gram}$
- 33. Pasir = $2.09 \text{ g/cm}^3 \times 496.25 \text{ cm}^3 = 1037 \text{ gram}$

Jenis Produk	Spesifikasi Produk	Harga
 <p><i>Paving Model Batu</i></p>	Ukuran : 21 x 10,5 x 6 cm	Rp 55,000/m ²
	: 21 x 10,5 x 8 cm	Rp 65,000/m ²
	Quantity : 44 Pcs/m ²	
	Warna : Abu-abu, Merah, Kuning, Hitam	
 <p><i>Paving Model Cacing</i></p>	Ukuran : 22,5 x 11,2 x 6 cm	Rp 55,000/m ²
	: 22,5 x 11,2 x 8 cm	Rp 65,000/m ²
	Quantity : 39 Pcs/m ²	
	Warna : Abu-abu, Merah, Kuning, Hitam	
 <p><i>Paving Model Segi Tiga</i></p>	Ukuran : 19,7 x 9,6 x 6 cm	Rp 55,000/m ²
	: 19,7 x 9,6 x 8 cm	Rp 65,000/m ²
	Quantity : 39 Pcs/m ²	
	Warna : Abu-abu, Merah, Kuning, Hitam	
 <p><i>Paving Model Segi Enam</i></p>	Ukuran : 20 x 20 x 6 cm	Rp 55,000/m ²
	: 20 x 20 x 8 cm	Rp 65,000/m ²
	Quantity : 27 Pcs/m ²	
	Warna : Abu-abu, Merah, Kuning, Hitam	
 <p><i>Paving Model Tahu</i></p>	Ukuran : 10,5 x 10,5 x 6 cm	Rp 70,000/m ²
	: 10,5 x 10,5 x 8 cm	Rp 80,000/m ²
	Quantity : 88 Pcs/m ²	
	Warna : Abu-abu, Merah, Kuning, Hitam	

Gambar 4.31 Daftar harga paving block di pasaran sumber = PAVINGBLOC.COM

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan penjelasan pada bab-bab sebelumnya mengenai pemakaian *Concrete Sludge Waste (CSW)* pada campuran mortar dan pengaruhnya terhadap nilai kuat tarik, lentur, modulus elastisitas dan kuat geser, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Untuk semua proporsi campuran, CHWM131, CHWM132, CHWM 133, CHWM134, dan CHWM 135, sampai pada umur 90 hari, mortar masih mengalami kenaikan untuk kekuatan tarik dan tekannya.
2. Penggunaan CSW yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan pasir dalam campuran mortar berpengaruh terhadap *workability*, yang ditandai dengan meningkatnya kebutuhan akan air sehingga menyebabkan kenaikan nilai FAS seiring dengan bertambahnya persentase CSW dalam komposisi campuran. Hal ini terjadi karena sifat penyerapan oleh CSW dengan nilai penyerapan air sebesar 5,042% yang melebihi batas maksimal persentase penyerapan air agregat halus yaitu sebesar 3%.
3. Semakin besar persentase penggunaan CSW pada komposisi campuran mortar, berpengaruh terhadap berkurangnya kekuatan tarik rata-rata, nilai modulus elastisitas, serta kekuatan gesernya.
 - Kuat Tarik, max CHWM 131 (30% CSW, 70% Pasir) = 4.98 MPa (usia 28 hari)
min CHWM 135 (70% Pasir, 30% CSW) = 2.67 MPa (usia 28 hari)
 - Modulus Elastisitas, max CHWM 131 = 10299.224 MPa (actual method)
min CHWM 135 = 7400.606 MPa (actual method)
 - Kuat Geser, max CHWM 131 = 1,09 MPa
min CHWM 135 = 0.55 MPa

Penurunan kekuatan mortar terjadi karena adanya kebutuhan akan FAS yang jauh lebih besar seiring dengan bertambahnya persentase CSW pada campuran mortar, semakin banyak kandungan air menyebabkan adukan mortar semakin berpori (*capillary pores*) yang berarti semakin mengurangi kekuatannya.

4. Penggunaan CSW juga sangat berpengaruh terhadap waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang mengakibatkan proses reaksi hidrasi semen berlangsung lama. Dengan bertambahnya komposisi CSW pada campuran maka berakibat pada bertambahnya waktu ikat. Dalam pengujian *setting time* diketahui bahwa campuran mortar CHWM131 mempunyai durasi waktu ikat terkecil, waktu ikat awal = 200 menit, waktu ikat akhir = 300 menit. Sedangkan campuran mortar CHWM135 mempunyai durasi terlama dengan waktu ikat awal = 214 menit, waktu ikat akhir = 385 menit.
5. Konversi kuat tekan ke kuat lentur mortar berdasarkan persamaan ($f_r = 0,7\sqrt{f_c'}$), tidak lagi berlaku untuk mortar dengan campuran CSW. Untuk konversi kuat tekan ke kuat lentur digunakan persamaan ($f_r = 0,556\sqrt{f_c'}$)
6. Dalam hasil penelitian yang telah dilakukan, bahwa manfaat dari penggunaan CSW bisa digunakan oleh industri sebagai persyaratan pembuatan bata beton (Paving blok) untuk mutu C yang mengacu pada SNI 03-0691-1996.
7. Limbah sisa adukan beton siap pakai (CSW) yang dihasilkan oleh batching plan dapat dimanfaatkan kembali menjadi suatu produk bahan bangunan lingkungan yang tentunya dapat pula meminimalisir dampak lingkungan disekitar batching plan.

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan pada penelitian ini baik pada pelaksanaan penelitian maupun pada hasil yang diperoleh, maka diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penggunaan CSW pada campuran mortar, agar didapatkan nilai persentase optimum dalam pemakaian CSW sebagai bahan campuran mortar pengganti agregat halus.
2. Penambahan bahan tambah kimia (*admixtures*) seperti *superplastizer* yang berfungsi mengurangi kebutuhan air pencampur dan tetap memepertahankan *workability* campuran.
3. 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.
4. Untuk penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan CSW, disarankan penggunaan limbah sisa adukan beton dengan mutu yang seragam.
5. Diperlukannya penelitian yang khusus membahas metode dalam pengujian kuat geser pada mortar sesuai dengan standar.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM C 270-03B. *Mortar for Unit Masonry*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States : 2003.

ASTM C 579-01. *Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States : 2001.

ASTM C 905-01. *Apparent Density of Chemical-Resistant Mortars, Grouts, Monolithic Surfacing, and Polymer Concretes*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States : 2001.

ASTM C 1403-00. *Rate of Water Absorption of Masonry Mortars*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States : 2000

Houston, D.F. *Rice Chemistry And Technology*, American Association Of Cereal Chemist, Inc. Minnesota : 1972.

Krishnarao R. V., Subrahmanyam J., Kumar, T. J. *Studies On The Formation Of Black In Rice Husk Silica Ash*, J. Ceramic Society : 2000

Kusumantara, Diah (2009). *Pengaruh Faktor Air Semen Terhadap Campuran 50 % Semen Portland Dan 50 % Abu Sekam Padi*. Skripsi Sarjana. Universitas Indonesia.

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

Laksono, Prasetyoko, Andhi. Didik. *Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik*, Laboratorium Kimia Anorganik Jurusan Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya : 2006.

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

Kresnadya Desha Rousstia (2008), *Perilaku balok beton...*, FT UI

Putu G. Harimurti, *GREEN CONSTRUCTION*

Dedy S., Iman S., Kardiyono T., Batako 1020 (2009,January). *Sekam Padi Komposit Mortar Semen*. Forum Teknik Sipil. Universitas Gajah Mada: yogyakarta

Javier Zega Claudio (2011), *Beton Daur Ulang Dibuat dengan Limbah Beton Siap-Pakai sebagai Agregat Kasar*, ASCE.

Mutioro Sukmono., Koeswahono., *Pemanfaatan Limbah Pasangan Dinding (Berangkal) Sebagai Agregat Untuk Pembuatan Mortar*. Jurusan Teknik Sipil. Politeknik Negeri Bandung : Bandung



LAMPIRAN

A.1 HASIL PENGUJIAN PSA



LS Particle Size Analyzer

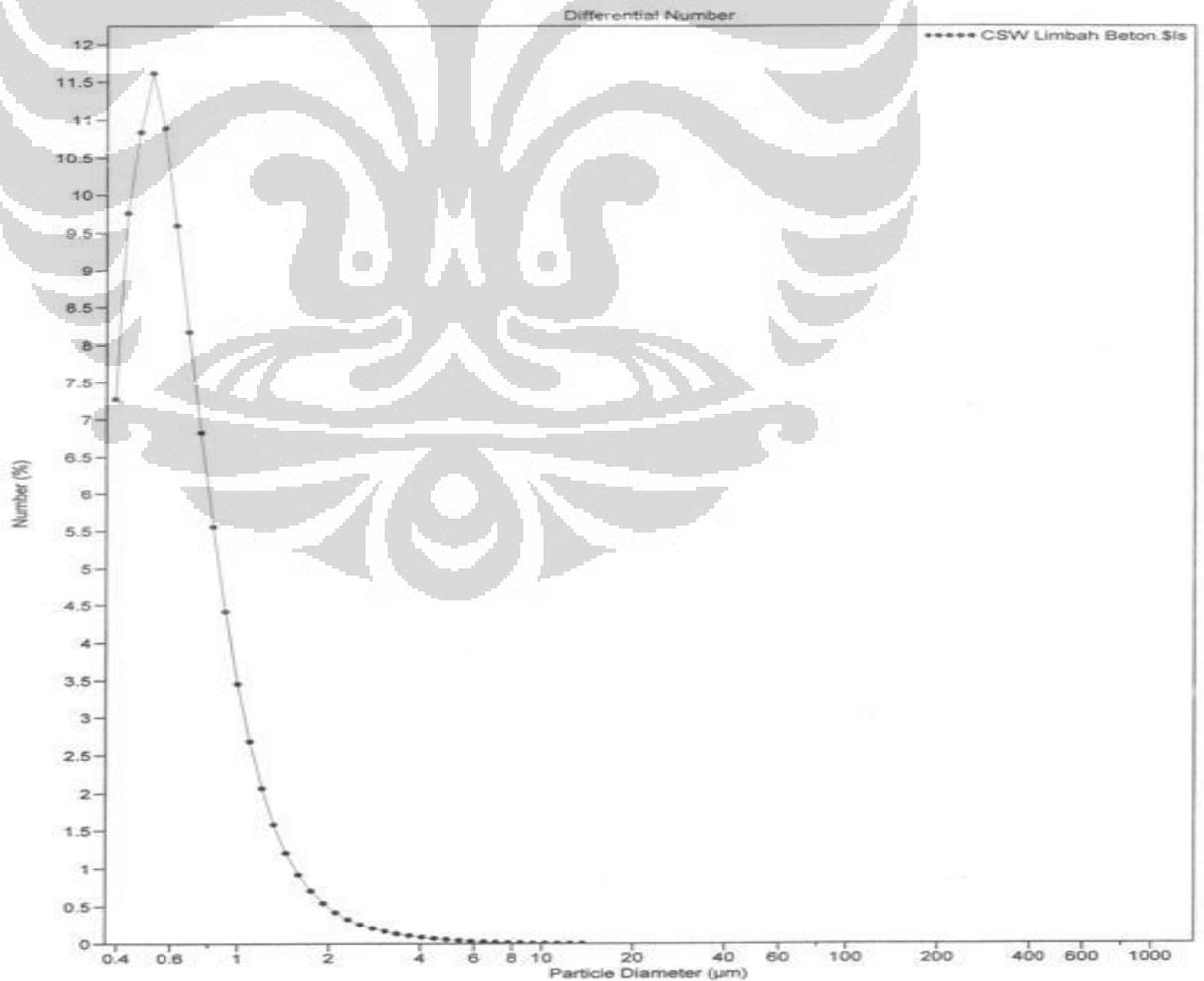
10 Jun 2011 15:12

File name: C:\LS32\Azwar\CSW Limbah Beton.\$ls
File ID: CSW
Operator: Erfan Handoko
Run number: 617
Comment 1: particle size
Optical model: Fraunhofer.rfz
Residual: 1.27%
LS 100Q Micro-volume Module
Start time: 14:41 10 Jun 2011 Run length: 30 seconds
Obscuration: 12%
Fluid: aquades
Sample Density: 1 g/mL
Software: 3.19 Firmware: 2.02



LS Particle Size Analyzer

10 Jun 2011 15:12



Volume Statistics (Arithmetic)

CSW Limbah Beton.\$ls

 Calculations from 0.375 μm to 948.3 μm

Volume:	100%	S.D.:	2.604 μm
Mean:	3.654 μm	Variance:	6.782 μm^2
Median:	3.069 μm	Skewness:	0.742 Right skewed
D(3,2):	1.872 μm	Kurtosis:	-0.326 Platykurtic
Mode:	5.354 μm		

d ₁₀ :	0.784 μm	d ₅₀ :	3.069 μm	d ₉₀ :	7.539 μm										
<0.4 μm	0.22%	<1 μm	16.2%	<2 μm	36.0%	<4 μm	60.5%	<6 μm	79.6%	<8 μm	92.3%	<10 μm	98.5%	<20 μm	100%

Surface Area Statistics (Arithmetic)

CSW Limbah Beton.\$ls

 Calculations from 0.375 μm to 948.3 μm

Surface Area:	100%	S.D.:	1.827 μm
Mean:	1.872 μm	Variance:	3.337 μm^2
Median:	1.114 μm	Skewness:	2.034 Right skewed
D(3,2):	1.872 μm	Kurtosis:	4.168 Leptokurtic
Mode:	0.755 μm		

d ₁₀ :	0.526 μm	d ₅₀ :	1.114 μm	d ₉₀ :	4.518 μm										
<0.4 μm	1.04%	<1 μm	44.8%	<2 μm	71.5%	<4 μm	87.6%	<6 μm	94.9%	<8 μm	98.4%	<10 μm	99.7%	<20 μm	100%

Number Statistics (Arithmetic)

CSW Limbah Beton.\$ls

 Calculations from 0.375 μm to 948.3 μm

Number:	100%	S.D.:	0.460 μm
Mean:	0.722 μm	Variance:	0.211 μm^2
Median:	0.596 μm	Skewness:	5.534 Right skewed
D(3,2):	1.872 μm	Kurtosis:	53.63 Leptokurtic
Mode:	0.520 μm		

d ₁₀ :	0.423 μm	d ₅₀ :	0.596 μm	d ₉₀ :	1.108 μm										
<0.4 μm	4.93%	<1 μm	86.7%	<2 μm	98.0%	<4 μm	99.7%	<6 μm	99.9%	<8 μm	99.99%	<10 μm	99.998%	<20 μm	100%

CSW Limbah Beton.Sis

Particle Diameter µm	Volume % <
0.762	9.93
1	16.2
2	36.0
3	49.2
4	60.5
5	70.7
7	86.8
10	98.5
20	100
40	100
80	100
82.72	100

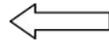
CSW Limbah Beton.Sis

Channel Number	Channel Diameter (Lower) µm	Diff. Volume %	Diff. Surface Area %	Diff. Number %
1	0.375	0.32	1.53	7.27
2	0.412	0.57	2.48	9.76
3	0.452	0.84	3.32	10.8
4	0.496	1.19	4.29	11.8
5	0.545	1.48	4.85	10.9
6	0.598	1.72	5.14	9.60
7	0.656	1.94	5.26	8.17
8	0.721	2.14	5.31	6.82
9	0.791	2.31	5.21	5.55
10	0.868	2.43	4.99	4.41
11	0.953	2.51	4.71	3.46
12	1.047	2.68	4.40	2.68
13	1.149	2.63	4.09	2.07
14	1.261	2.68	3.76	1.58
15	1.384	2.67	3.45	1.20
16	1.520	2.70	3.17	0.92
17	1.668	2.74	2.93	0.70
18	1.832	2.79	2.72	0.54
19	2.011	2.85	2.53	0.42
20	2.207	2.93	2.37	0.32
21	2.423	3.04	2.24	0.26
22	2.660	3.20	2.15	0.20
23	2.920	3.38	2.07	0.16
24	3.205	3.58	1.99	0.13
25	3.519	3.80	1.93	0.10
26	3.863	4.05	1.87	0.084
27	4.240	4.30	1.81	0.067
28	4.655	4.49	1.72	0.053
29	5.110	4.57	1.60	0.041
30	5.610	4.52	1.44	0.031
31	6.158	4.37	1.27	0.022
32	6.760	4.11	1.09	0.016
33	7.421	3.68	0.88	0.011
34	8.147	3.02	0.66	0.0067
35	8.943	2.16	0.43	0.0036
36	9.818	1.19	0.22	0.0015
37	10.78	0.46	0.076	0.00044
38	11.83	0.068	0.013	0.000063
39	12.99	0.0070	0.00096	0.000004
40	14.26	0	0	0
41	15.65	0	0	0
42	17.18	0	0	0

SW Limbah Beton.S1s

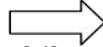
Channel Number	Channel Diameter (Lower) μm	Diff. Volume %	Diff. Surface Area %	Diff. Number %
43	18.86	0	0	0
44	20.71	0	0	0
45	22.73	0	0	0
46	24.95	0	0	0
47	27.39	0	0	0
48	30.07	0	0	0
49	33.01	0	0	0
50	36.24	0	0	0
51	39.78	0	0	0
52	43.67	0	0	0
53	47.94	0	0	0
54	52.62	0	0	0
55	57.77	0	0	0
56	63.41	0	0	0
57	69.61	0	0	0
58	76.42	0	0	0
59	83.89	0	0	0
60	92.09	0	0	0
61	101.1	0	0	0
62	111.0	0	0	0
63	121.8	0	0	0
64	133.7	0	0	0
65	146.8	0	0	0
66	161.2	0	0	0
67	176.9	0	0	0
68	194.2	0	0	0
69	213.2	0	0	0
70	234.0	0	0	0
71	256.9	0	0	0
72	282.1	0	0	0
73	309.6	0	0	0
74	339.9	0	0	0
75	373.1	0	0	0
76	409.6	0	0	0
77	449.7	0	0	0
78	493.6	0	0	0
79	541.9	0	0	0
80	594.8	0	0	0
81	653.0	0	0	0
82	718.8	0	0	0
83	786.9	0	0	0
84	863.9	0	0	0
	948.3			

D.1 Pengadaan Dan Proses Pengolahan Limbah Beton (*Concrete Sludge Waste*)



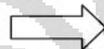
Pengambilan limbah di batching plan Holcim, Kampung Rambutan, Jakarta Timur

Limbah beton, yang baru di bersihkan dari mobil molen, yang siap di angkut ke laboratorium.



Penurunan limbah, dari mobil pengangkut limbah

Limbah dikeringkan ditempat terbuka, hingga kering permukaan



D.2 PENGOLAHAN CSW



CSW dikeringkan di tempat terbuka, dengan sinar matahari.



Setelah mengering CSW dipindahkan ke dalam karung yang kering, untuk siap ditumbuk.



CSW yang sudah ditumbuk hingga menjadi halus.



Kemudian CSW diayak saringan 4,75 mm (3/16 in) yang merupakan standar ayakan lolos saringan untuk agregat halus

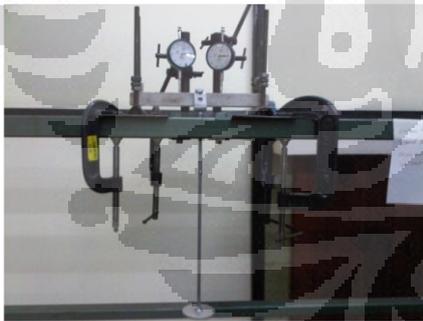
D.3 PENGUJIAN KONSISTENSI



D.4 Pengujian Kuat Tarik



D.5 Pengujian Modulus Elastisitas



D.6 Pengujian Geser

