



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERILAKU SUSUT, KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR
BETON AGREGAT KASAR KACA**

SKRIPSI

**REGIANTO WISNUSEPUTRO
04 04 01 0635**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2009**

845/FT.01/SKRIP/12/2008



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERILAKU SUSUT, KUAT TEKAN DAN KUAT LENTUR
BETON AGREGAT KASAR KACA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

**REGIANTO WISNUSEPUTRO
04 04 01 0635**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JANUARI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Regianto Wisnuseputro

NPM : 04 04 01 0635

Tanda Tangan : 

Tanggal : 9 Januari 2009



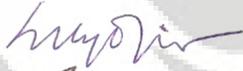
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Regianto Wisnuseputro
NPM : 04 04 01 0635
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perilaku Susut, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Agregat Kasar Kaca

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 : Dr. Ir. Elly Thahjono, DEA ()
Pembimbing : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()
Penguji : Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Januari 2009

KATA PENGANTAR

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

- (1) Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA dan Bpk. Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bpk. Ir. Sjahril A Rahim, M.Eng, selaku dosen penguji atas masukan yang telah diberikan guna menyempurnakan skripsi ini.
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini dan pihak-pihak luar yang telah membantu menyediakan material untuk skripsi ini.

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

Depok, 30 Desember 2008

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Regianto Wisnuseputro
NPM : 04 04 01 0635
Program Studi : 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 :

“Perilaku Susut, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Agregat Kasar Kaca”

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 : 30 Desember 2008
Yang menyatakan



(Regianto Wisnuseputro)

ABSTRAK

Nama : Regianto Wisnuseputro
Program Studi : S1 Struktur Departemen Sipil FTUI
Judul : Perilaku Susut, Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Agregat Kasar Kaca

Penggunaan pecahan kaca dalam beton umumnya terbentur oleh reaksi kimia yang dihasilkan antara agregat gelas dan semen yang disebut *Alkali-Silicate Reaction (ASR)*. Belakangan ini sudah ditemukan terobosan-terobosan untuk mengatasi hal itu. Penggunaan pecahan gelas bekas botol sebagai pengganti agregat alami beton untuk aplikasi konstruksi diharapkan mengurangi ketergantungan terhadap sumber agregat kasar alami. Skripsi ini mendalami aplikasi agregat kasar kaca dalam beton struktural dari segi kuat tekan dan kuat lentur serta susut, dengan fokus pada penggunaan limbah botol berwarna hijau. Dari hasil pengujian yang dilakukan, ditemukan bahwa keberadaan agregat kasar kaca dalam beton secara umum memperkecil kuat tekan, menambah kuat lentur, dan mengurangi susut beton.

Kata kunci :

beton, *glass concrete*, beton agregat kaca, *alkali-silicate reaction*, kuat tekan, kuat lentur, *shrinkage*, agregat kasar kaca

ABSTRACT

Name : Regianto Wisnuseputro
Programme : S1 Struktur Departemen Sipil FTUI
Title : Compressive Strength, Flexural Strength and Shrinkage
Behaviour of Concrete Using Glass Coarse Aggregate

The usage of glass as a concrete aggregate in construction applications may reduce the dependence towards natural aggregate sources despite the presence of Alkali-Silicate Reaction (ASR) long-term effects. This study observes the compressive, flexural, and shrinkage properties of concrete with glass coarse aggregate, focusing in the exclusive usage of green-colored glass by neglecting the short-term effects of Alkali Silicate Reaction. Samples are made with 0%, 10%, 20%, 30%, and 50% of glass coarse aggregate replacement ratios. The results show that generally the increase of glass coarse aggregate presence in concrete decreases the compressive strength, increases the flexural strength and reduces the shrinkage effects of the glass coarse aggregate concrete.

Key words:

concrete, glass concrete, glass aggregate concrete, compressive strength, flexural strength, shrinkage, glass coarse aggregate

DAFTAR GAMBAR, FOTO, DAN GRAFIK

Gambar 2.1. Pengembangan Beton Akibat Agregat Kaca Bening	26
Gambar 2.2. Pengembangan Beton Dengan Variasi Penggunaan Jenis Agregat Kaca	27
Gambar 3.1. Keruntuhan lentur terjadi pada tengah bentang	35
Gambar 3.2. Keruntuhan lentur terjadi pada tepi bentang	36
Grafik 4.1. Perbandingan analisa saringan % lolos antara agregat kasar kaca terhadap standar SNI 02-2384-1992	41
Grafik 4.2. Perbandingan analisa saringan % lolos antara agregat kasar alam standar SNI 02-2384-1992	43
Grafik 4.3. Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat halus alam, dan standar SNI 03-2834-1992	46
Grafik 4.4. Kuat tekan terhadap waktu	50
Foto 4.1. Contoh runtuh sampel tekan	52
Grafik 4.5. Susut terhadap waktu	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kandungan Kimia Semen	9
Tabel 2.2. Jenis-Jenis Semen Portland	11
Tabel 2.3. Besar nilai t berdasarkan kenaikan design strength	19
Tabel 2.4. Nilai slump untuk berbagai jenis konstruksi	20
Tabel 2.5. Komposisi S/A, dan air untuk berbagai ukuran agregat	21
Tabel 2.6. Koreksi untuk komposisi S/A dan air	22
Tabel 2.7. Kandungan Kimia pada Kaca	25
Tabel 3.1. Penjadwalan Percobaan	39
Tabel 4.1. Hasil Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Kasar	42
Tabel 4.2. Hasil <i>Sieve Analysis</i> Agregat Kasar Alam	43
Tabel 4.3. Hasil Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	44
Tabel 4.4. Hasil <i>Sieve Analysis</i> Agregat Halus	45
Tabel 4.5. Hasil kuat tekan	49
Tabel 4.6. Selisih kuat tekan (rata-rata konversi 28 hari)	51
Tabel 4.7. Selisih kuat tekan (sampel hari ke-28)	51
Tabel 4.8. Tabel hasil lentur	54
Tabel 4.9. Perbandingan hasil tes lentur terhadap perhitungan teoritis	55
Tabel 4.10. Perhitungan nilai koefisien k	56

DAFTAR NOTASI

- A : luas permukaan benda uji (mm^2, cm^2)
- b : lebar balok (cm, mm)
- D : diameter benda uji (cm)
- f_c' : tegangan tekan beton ($kg/cm^2, MPa$)
- f_{ct} : tegangan lentur ($kg/cm^2, MPa$)
- h : tinggi balok (cm)
- k : koefisien korelasi lentur dan tekan
- L : panjang balok (cm)
- ΔL : perubahan panjang balok (cm)
- P : gaya tekan (kg, kN)
- V : volume (m^3)
- W : berat sampel (kg)
- σ_{lentur} : tegangan lentur (MPa)
- σ_{tekan} : tegangan tekan (MPa)
- R : modulus Runtuh, (psi atau MPa)
- P : maksimum Beban, (lbf atau N)
- l : panjang bentang, (in atau mm)
- b : rata-rata lebar benda uji, (in atau mm)
- d : rata-rata ketinggian benda uji, (in atau mm)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR GAMBAR, FOTO DAN GRAFIK	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	x
DAFTAR ISI	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. PERMASALAHAN	2
1.3. TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. PEMBatasan MASALAH	3
1.5. METODOLOGI	4
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB 2. LANDASAN TEORI	6
2.1. TEORI UMUM BETON	6
2.1.1. Agregat	6
2.1.2. Semen	9
2.1.3. Air	11
2.2. TEORI MIX DESIGN BETON	12
2.2.1. Pengujian Agregat Halus	12
2.2.2. Pengujian Agregat Kasar	14
2.2.3. Percobaan Campuran Beton	16
2.3. Teori Glass Concrete	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1. METODOLOGI PENELITIAN SECARA UMUM	29
3.2. PROSEDUR PERCOBAAN TES KUAT TEKAN BETON	30
3.2.1. Peralatan	30
3.2.2. Bahan	31
3.2.3. Prosedur	33
3.2.4. Catatan	33

3.3.	PROSEDUR PERCOBAAN TES KUAT LENTUR BETON	33
3.3.1.	Peralatan	33
3.3.2.	Prosedur	34
3.4.	PROSEDUR PERUBAHAN TES PERUBAHAN VOLUME	36
3.5.	JUMLAH SAMPEL UJI	36
3.5.1.	Tes Kuat Tekan	36
3.5.2.	Tes Kuat Lentur	37
3.5.3.	Tes Perubahan Volume	38
3.6.	RENCANA PENJADWALAN PERCOBAAN	39
BAB 4. HASIL PENGAMATAN DAN ANALISA TES TEKAN, LENTUR, DAN SUSUT		40
4.1.	PROPERTI MATERIAL	40
4.1.1.	Properti Material Agregat Kasar Kaca	40
4.1.2.	Properti Material Agregat Kasar Alam	41
4.1.3.	Properti Material Agregat Halus	43
4.2.	MIX DESIGN	46
4.3.	ANALISA DAN HASIL TES TEKAN	48
4.3.1.	Hasil Tes Tekan	48
4.3.2.	Analisa Tes Tekan	49
4.4.	ANALISA DAN HASIL TES LENTUR	51
4.4.1.	Hasil Tes Lentur	51
4.4.2.	Analisa Tes Lentur	52
4.5.	ANALISA DAN HASIL TES SUSUT	54
4.5.1.	Hasil Tes Susut	54
4.5.2.	Analisa Tes Susut	55
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1.	KESIMPULAN	61
5.2.	SARAN DAN USULAN PENELITIAN SELANJUTNYA	62
DAFTAR PUSTAKA		65

BAB 1. PENDAHULUAN

3.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan berkurangnya banyak jenis sumber daya alam di dunia, umat manusia menjadi makin sadar akan lingkungan. Banyak jenis sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui akan terancam habis atau sulit didapatkan dalam waktu hanya beberapa dekade lagi. Hal ini menuntut solusi-solusi alternatif untuk menghemat penggunaan sumber daya alam yang makin terbatas tersebut atau bahkan menggantinya dengan bahan alternatif yang lebih mudah didapatkan.

Agregat dalam beton tradisional selama ini menggunakan batuan alam dengan ukuran tertentu yang dipilih sesuai spesifikasi beton yang diinginkan. Bentuk dan jenis batuan yang digunakan turut mempengaruhi kekuatan beton yang dibuat. Batuan untuk agregat selama ini didapatkan dengan cara penambangan dari *quarry* ataupun dengan manufaktur. Batuan agregat dari *quarry* yang banyak digunakan umumnya didapat dengan peledakan batuan besar atau langsung digali dari gunung untuk kemudian dihancurkan dengan *crusher* dan diayak. Batuan non-alami biasanya berasal dari sisa hasil produksi seperti *slag* dari sisa produksi metalurgi¹.

Dalam era sadar lingkungan seperti sekarang penambangan besar-besaran mulai diusahakan untuk dikurangi, sehingga perlu dipikirkan pengadaan jenis sumber agregat baru yang dapat diperbaharui sembari tetap menjaga kualitas beton yang dihasilkan. Karenanya diadakanlah usaha-usaha untuk memaksimalkan potensi dari bahan-bahan sisa yang selama ini hanya dianggap sebagai sampah untuk digunakan sebagai material konstruksi. Dalam kaitannya dengan hal ini, potensi pecahan gelas dari botol bekas untuk digunakan sebagai pengganti agregat alami patut diperhitungkan.

Penggunaan pecahan gelas sebagai bahan pengganti agregat sebenarnya bukan hal baru. Hal ini sudah mulai dilakukan setidaknya sejak 30 tahun yang

¹ http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/05_materials/05_aggregate.htm

lalu². Namun pelaksanaannya selalu terbentur oleh reaksi kimia yang dihasilkan antara agregat gelas dan semen. Belakangan ini sudah ditemukan terobosan-terobosan untuk mengatasi hal itu yang membuka jalan untuk penggunaan gelas sebagai agregat beton secara skala besar.

Secara garis besar, rencananya adalah penggunaan botol-botol bekas dari pusat-pusat daur ulang untuk diolah menjadi agregat beton untuk kebutuhan konstruksi. Dengan demikian, ketergantungan terhadap agregat alami dapat dikurangi dengan bahan yang dapat diperbaharui sehingga mendukung konsep *sustainable development*. Di Australia, penggunaan agregat remukan gelas sebagai pengganti pasir dalam konstruksi beton sudah diizinkan³. Hal ini memungkinkan seluruh gelas hasil daur ulang dapat dimanfaatkan kembali dengan tanpa terbuang sia-sia. Meski demikian, sebagian besar penggunaan gelas sebagai agregat adalah untuk keperluan non-struktural, misalnya pavement untuk parkir, drainase, kerb, jalur pejalan kaki, dan komponen-komponen arsitektur. Penggunaan agregat gelas untuk keperluan konstruksi beton struktural masih dinyatakan perlu penelitian lebih lanjut.

3.2. PERMASALAHAN

Permasalahan yang timbul adalah sejauh mana pengaruh penggunaan gelas/kaca sebagai pengganti agregat dalam beton struktural, khususnya dalam kaitannya dengan perilaku kuat tekan dan gesernya. Hal yang akan diamati secara langsung adalah pengaruh penggantian agregat alami dengan gelas terhadap karakteristik kuat tekan dan geser beton secara struktural, dan bila memungkinkan solusi-solusi untuk mengatasi kekurangan-kekurangan yang ada.

² http://www.columbia.edu/cu/record/archives/vol29/vol29_iss10/Pg.7-2910.pdf "A Green Window into the Urban Future: Glass Concrete"

³ <http://www.csiro.au/files/mediaRelease/mr2002/glassandconcrete.htm> "Making concrete with glass - now possible"

3.3. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan ini adalah mencari persentase penggantian agregat kasar alami dengan agregat kasar kaca yang optimal untuk memperoleh kinerja tekan dan geser yang baik. Karakteristik kuat tekan dan geser yang didapat dibandingkan dengan beton yang dibuat dengan agregat kasar alami untuk kemudian dilihat kekurangan, kelebihan serta perlakuan yang mungkin perlu diterapkan untuk mengkompensasi hal tersebut.

3.4. PEMBATASAN MASALAH

Tulisan ini membatasi masalah dalam hal;

1. Karakteristik yang diteliti adalah kuat tekan dan kuat geser beton.
2. Penggunaan agregat kaca/gelas dalam penelitian ini adalah untuk menggantikan agregat kasar. Jenis kaca yang digunakan adalah kaca berwarna hijau yang diperoleh dari limbah botol atau kaca bekas. Jumlah persentase penggunaan kaca ini akan divariasikan dalam sampel-sampel yang dibuat. Variasi persentase tersebut adalah 10%, 20%, 30%, 50%.
3. Benda uji kontrol yang digunakan adalah beton dengan mix design untuk kuat tekan f_c' 25 MPa. Seluruh sampel yang digunakan mengacu kepada mix design ini.
4. Efek pengembangan volume oleh *Alkali-Silicate Reaction* untuk jangka pendek diabaikan. Untuk jangka panjang hanya diamati perubahan volume secara terbatas dan tidak ditinjau lebih lanjut. Untuk itu dibuat satu set sampel untuk pengujian perubahan volume jangka panjang.

3.5. METODOLOGI

Tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur. Penulis mencari dan mempelajari berbagai macam data mengenai hal-hal yang berhubungan dengan glass concrete beserta riset-riset tentang glass concrete yang pernah dilakukan sebelumnya.
2. Merancang mix design untuk benda uji kontrol yaitu beton dengan kuat tekan f_c' 25 Mpa.
3. Menyiapkan sampel untuk tes kuat tekan beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari sebanyak masing-masing 3 buah. Sampel akan disiapkan untuk sejumlah variasi kandungan agregat kasar kaca yaitu 10%, 20%, 30%, 50%, 100%, dan benda uji kontrol.
4. Menyiapkan benda uji untuk tes kuat lentur beton sebanyak masing-masing 3 buah di hari ke-28 umur beton untuk tiap variasi kadar kaca.
5. Menyiapkan benda uji untuk tes susut beton sebanyak masing-masing 3 buah untuk tiap variasi kadar kaca untuk kemudian diamati perubahan susut betonnya.
6. Pengumpulan data. Melakukan tes kuat tekan dan tes kuat lentur pada tiap sampel yang dibuat dan mencatat hasilnya. Untuk sampel tes susut perubahan volume diamati secara berkala hingga rentang waktu tertentu.
7. Analisa. Penulis menganalisa dan membandingkan karakteristik kuat tekan, kuat lentur dan susut dari data yang didapat.

3.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini terdiri atas lima bab, dan terdiri dari beberapa bagian seperti berikut ini:

Bab I : Pendahuluan

berisi Latar Belakang, Permasalahan, Tujuan Penelitian, Pembatasan Masalah, Metodologi, dan Sistematika Penulisan.

Bab II : Landasan Teori

terdiri dari Teori Beton secara umum, Teori Mix Design, dan Teori Glass Concrete beserta analisa dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Bab III: Metodologi Penelitian

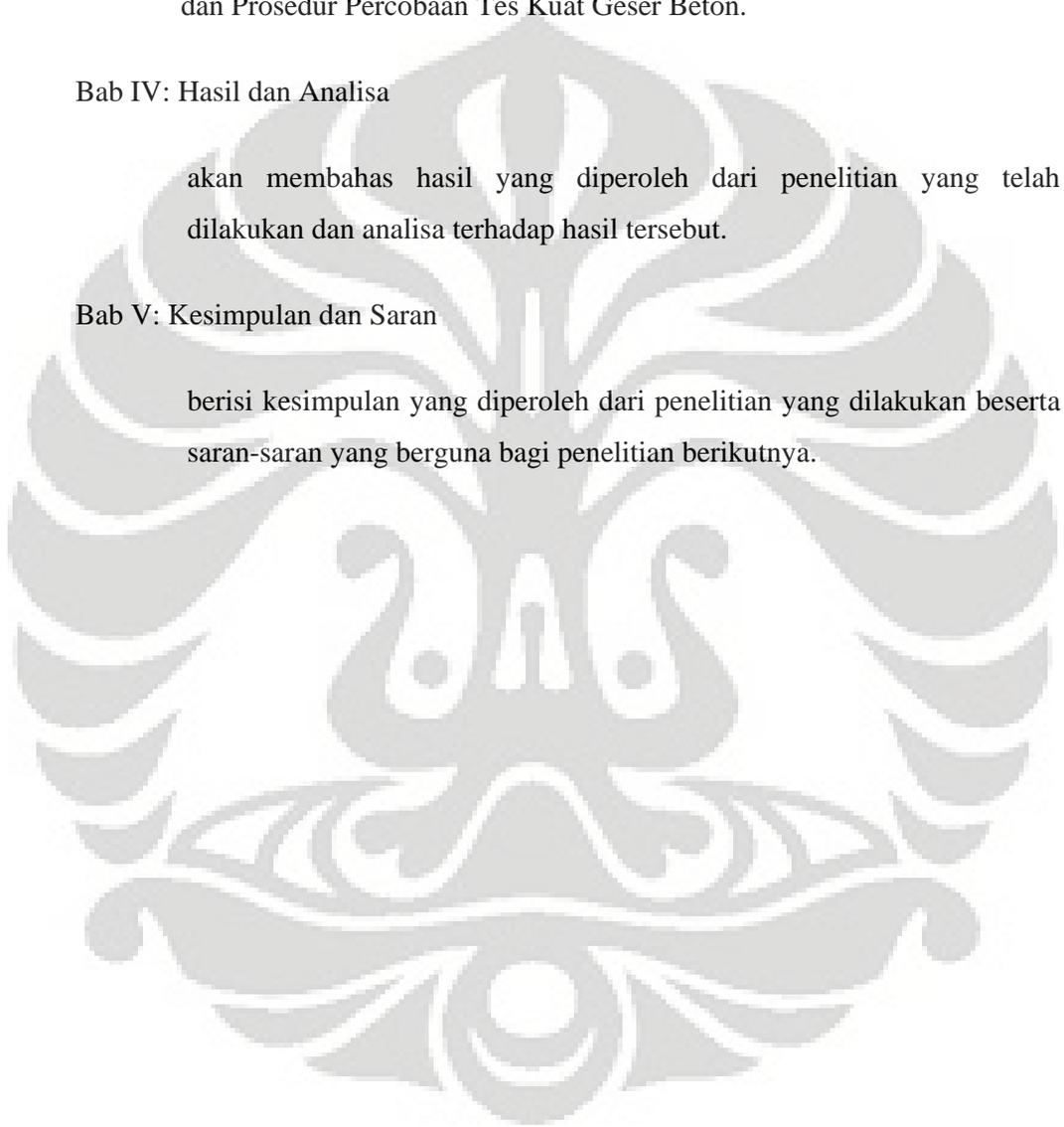
akan membahas mengenai Prosedur Percobaan Tes Kuat Tekan Beton dan Prosedur Percobaan Tes Kuat Geser Beton.

Bab IV: Hasil dan Analisa

akan membahas hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan dan analisa terhadap hasil tersebut.

Bab V: Kesimpulan dan Saran

berisi kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan beserta saran-saran yang berguna bagi penelitian berikutnya.



BAB 2. LANDASAN TEORI

3.1. TEORI UMUM BETON

Beton dapat didefinisikan sebagai bahan yang merupakan campuran semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Secara umum beton terdiri dari dua bagian utama yaitu bahan matriks dan bahan inklusi. Material yang berfungsi sebagai bahan matriks adalah pasta beton yang merupakan campuran antara semen dan air. Bahan matriks ini akan berfungsi sebagai pengikat antar material, selain itu bahan ini juga akan memberikan sumbangan kekuatan pada beton. Sedangkan bahan inklusi adalah bahan yang akan memberikan sebagian besar kekuatan pada beton. Material yang biasanya digunakan sebagai bahan inklusi pada beton adalah agregat kasar berupa batu kerikil dan agregat halus yang berupa pasir.

3.1.1. Agregat

Dalam SNI T-15-1991-03 agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton semen hidrolis atau adukan. Pada beton semen biasanya volume agregat yang digunakan adalah 50-80 % volume total beton, sehingga kondisi agregat yang digunakan sangat berpengaruh pada karakteristik beton. Semakin bagus agregat yang digunakan, maka akan lebih memberikan kekuatan pada beton.

Berdasarkan sumbernya, agregat dapat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu ;

- a). *Agregat alam*, yaitu agregat yang berasal dari alam tanpa pengolahan terlebih dahulu, pada umumnya adalah dari batu alam, baik dari batuan beku, batuan endapan atau batuan sedimen maupun dari batuan metamorph (malihan). Batu alam banyak digunakan sebagai bahan agregat karena sangat melimpah jumlahnya terutama di Indonesia. Yang banyak terdapat gunung api, yang merupakan sumber batu alam. Dengan jumlah yang melimpah sehingga harganya murah. Selain itu, batuan alam juga memiliki sifat kekuatan dan keawetannya yang tinggi. Suatu sifat yang sangat dibutuhkan untuk agregat beton.
- b). *Agregat buatan*. Agregat ini sengaja dibuat, contohnya ALWA (Artificial light weight aggregate) atau di Indonesia dikenal dengan nama “ Lempung bekah” Agregat ini dibuat dengan membakar jenis lempung tertentu, sehingga membentuk agregat yang mengembang atau membesar. Agregat ini termasuk agregat ringan, karena memiliki berat jenis +- 1.0. Pemakaian lempung bekah untuk konstruksi adalah untuk pembuatan beton ringan.

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi:

- a. Agregat halus dengan diameter 0-5 mm, atau disebut juga dengan pasir. Pasir dapat dibedakan menjadi:
 - Pasir halus, dengan diameter 0 – 1 mm.
 - Pasir kasar, dengan diameter 1 – 5 mm.
- b. Agregat kasar dengan diameter > 5 mm, biasanya berukuran 5 – 40 mm, disebut juga dengan kerikil.

Secara visual, permukaan agregat dapat dibedakan menjadi kasar, halus, rata atau bergelombang. Tekstur yang kasar akan

memberikan pengikatan yang lebih baik oleh semen, hal ini disebabkan karena luas permukaan yang lebih besar pada agregat bertekstur kasar.

Dilihat dari bentuknya agregat ini ada beberapa macam , yaitu :

- a. Bentuk bulat (Rounded) terbentuk karena banyaknya gesekan yang dialami oleh batuan yang terbawa oleh arus sungai dengan batuan yang terdapat di lereng-lereng sungai, sehingga makin sernakin sering batu tersebut bergesekan akibatnya menjadi berbentuk bulat
- b. Bentuk tidak beraturan (iregular), agregat ini bentuk permukaan agregatnya hamper sama dengan agregat bentuk bulat yaitu memiliki permukaan yang tidak tajam, hanya bentuknya saja yang tidak beraturan.
- c. Bersudut (angular), bentuknya tidak beraturan serta permukaannya tajam
- d. Bentuk pipih, dinamakan pipih karena ketebalannya lebih kecil dibandingkan dengan lebar dan panjangnya

Dari bentuk tersebut pengaruhnya terhadap beton segar adalah dalam sifat pengerjaan beton (Workability). Agregat dengan bentuk yang bersudut sulit untuk dikerjakan , berbeda dengan agregat yang berbentuk bulat. Hal ini dikarenakan gesekan antar agregat pada bentuk yang bersudut lebih besar dibandingkan dengan yang bulat. Demikian pula agregat yang pipih dan lonjong akan mengalami kesulitan pada pengecoran, karena akan menghambat masuknya campuran beton ke dalam cetakan yang sempit atau karena rapatnya tulangan

Pengaruh dari bentuk agregat yang bersudut pada beton keras sangat baik karena bentuknya tidak beraturan, dengan sudut-sudutnya yang tajam akan mempertinggi sifat saling mengunci

(interlocking), sehingga kekuatan beton yang menggunakan agregat ini lebih tinggi dibandingkan dengan agregat bentuk bulat.

3.1.2. Semen

Semen merupakan bahan hidrolis yang dapat beraksi secara kimia dengan air, reaksi yang terjadi merupakan hidrasi sehingga akan membentuk material batu padat. Semen yang paling banyak digunakan sebagai material konstruksi adalah semen portland. Semen Portland dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah *kalsium* dan alumunium silikat. Penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang jika mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

Bahan baku utama pembentuk semen adalah sebagai berikut:

1. Kapur (CaO)
2. Silika (SiO₂)
3. *Alumunium* (Al₂O₂)

Bahan	Kadar (%)
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₂	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-6.0
MgO	0.5-4.0
<i>Alkali</i>	0.3-1.2
SO ₃	2.0-3.5

Tabel 2.1. Kandungan Kimia Semen

Sement portland yang ada di Indonesia menurut Standar Industri Indonesia (SII) 003181 terdiri dari beberapa jenis yaitu:

1. Semen tipe I, merupakan semen yang paling banyak digunakan untuk kegiatan konstruksi. Semen ini tidak memiliki karakteristik khusus seperti jenis lainnya.
2. Semen tipe II, merupakan semen yang menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah dan kecepatan ikat yang lebih rendah. Semen ini memiliki sifat sedikit tahan terhadap sulfat dan banyak digunakan untuk bangunan yang terletak di daerah dengan tanah berkadar sulfat yang rendah,
3. Semen tipe III, merupakan semen yang mengeras dengan cepat. Kekuatan beton yang dibuat dari semen tipe 3 dalam 24 jam akan sebanding dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Dalam waktu 3 hari, kekuatan beton ini akan setara dengan kekuatan tekan 28 hari beton biasa.
4. Semen tipe IV, merupakan semen dengan suhu rendah dan memiliki waktu ikat yang lama. Baik untuk *mass concrete construction* karena tidak terjadi banyak *cold join*.
5. Semen tipe V, merupakan semen yang memiliki tingkat ketahanan yang tinggi terhadap sulfat. Semen ini digunakan untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya korosi akibat pengaruh air laut, air danau, air tambang ataupun pengaruh garam sulfat yang terdapat dalam air tanah.

Jenis semen	Komposisi (%)							Karakteristik umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₂ A	C ₂ AF	C ₃ A	CaO	MgO	
Normal, I	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan (umum)
Modifikasi, II	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	Relatif sedikit, pelepasan panas, digunakan untuk struktur besar
Kekuatan awal tinggi, III	23	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
Pemanasan rendah, IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan beton (volume cukup besar)
Tahan Sulfat, V	43	56	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat

Tabel 2.2. Jenis-Jenis Semen Portland

3.1.3. Air

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, sebaliknya jika kadar air berlebihan maka akan mengurangi kekuatan beton. Namun faktor kadar air akan sangat berpengaruh dalam kemudahan pekerjaan beton. Semakin tinggi kandungan air maka beton akan semakin encer sehingga semakin mudah dikerjakan, dan sebaliknya semakin sedikit kadar air maka beton akan semakin sukar dikerjakan. Sifat ini disebut dengan *workabilitas*.

Proporsi air yang akan digunakan pada campuran beton dinyatakan dalam *rasio air-semen (water-cement ratio)*, yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (Kg) dibagi berat semen (Kg) dalam campuran beton.

Kualitas air yang akan digunakan untuk campuran beton harus baik, yaitu tidak mengandung minyak, larutan asam, garam alkali, dan bahan-bahan lain yang dapat mengurangi kekuatan beton.

Dalam beton air berfungsi sebagai campuran untuk membuat bahan pengikat, yaitu melalui reaksi dengan semen.

3.2. TEORI MIX DESIGN BETON⁴

Dalam proses pembuatan benda uji untuk penelitian ini, digunakan referensi dari Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

2.2.1. Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah menentukan Bulk Specific Gravity, Apparent Specific Gravity dan absorpsi dari agregat halus sesuai dengan ASTM C.128, dimana pengujian akan digunakan untuk menentukan volume agregat di dalam beton.

c. *Bulk Specific Gravity dan Apparent Specific Gravity*

Untuk menentukan *specific gravity* dari agregat halus, agregat yang telah dicuci harus dikeringkan hingga mencapai keadaan kering permukaan (*saturated surface dry*). Keadaan SSD ini diuji dengan menggunakan kerucut terpancung, agregat yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam kerucut terpancung dan dipadatkan dengan menggunakan tongkat. Pematatan dilakukan dengan membuat tiga lapisan, dimana masing-masing lapisan dipadatkan dengan 25 kali tumbukan. Keadaan SSD diperoleh apabila ketika kerucut diangkat maka pada agregat halus akan terjadi longsoran.

⁴ Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Besar *bulk specific gravity* dari agregat dapat diperoleh dengan perhitungan:

$$\text{Bulk Specific Gravity} = \frac{500}{B + 500 + C}$$

Sedangkan besar *apparent specific gravity* adalah:

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B + A - C}$$

dimana:

A = Berat dari agregat halus yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

B = Berat dari piknometer berisi air (gram)

C = Berat dari piknometer dengan agregat halus dan air sesuai dengan kapasitas kalibrasi (gram)

500 = kapasitas maksimal dari piknometer

d. Absorpsi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Besar presentase absorpsi dihitung dengan:

$$\text{Absorption} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

dimana:

A = Berat dari agregat halus yang telah dikeringkan dalam oven (gram)

500 = Kapasitas maksimum dari wadah (gram)

e. Pemeriksaan berat isi agregat

$$\text{Berat isi agregat (kg/m}^3\text{)} = \frac{W}{V}$$

dimana:

W = Berat dari agregat halus (kg)

V = Volume agregat halus (m³)

f. *Sieve analysis*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butiran pasir sehingga dapat diketahui sebaran gradasi pasir apakah memenuhi syarat atau tidak.

2.2.2. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar dilakukan sama dengan pengujian pada agregat halus. Pengujian yang dilakukan sesuai dengan ASTM C.128. Melalui pengujian yang dilakukan maka akan dapat diketahui volume agregat di dalam beton.

a. *Bulk Specific Gravity dan Apparent Specific Gravity*

Percobaan *ini* dilakukan dengan menimbang berat agregat dalam kondisi kering permukaan. Kondisi kering permukaan didapat dengan merendam agregat dalam air selama satu hari, kemudian agregat dikeringkan hingga mencapai kering permukaan. Agregat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam keranjang dan direndam dalam air, timbang (dalam kondisi agregat di dalam air/kondisi jenuh).

Besar *bulk specific gravity* dari agregat dapat diperoleh dengan perhitungan:

$$\text{Bulk Spesific Gravity} = \frac{B}{B - C}$$

Sedangkan besar *apparent spesific grafity* adalah:

$$\text{Apparent Spesific Grafity} = \frac{A}{A - C}$$

dimana:

A = Berat dari benda uji yang telah dikeringkan dalam oven
(gram)

B = Berat dari benda uji dalam keadaan SSD (gram)

C = Berat dari benda uji dalam kondisi jenuh (gram)

b. Absorbsi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air. Besar presentase absorpsi dihitung dengan:

$$\text{Absorption} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

dimana:

A = Berat dari benda uji yang telah dikeringkan dalam oven
(gram)

B = Berat dari benda uji dalam keadaan SSD (gram)

c. Pemeriksaan berat isi agregat

$$\text{Berat isi agregat (kg/m}^3\text{)} = \frac{W}{V}$$

dimana:

W = Berat dari agregat kasar(kg)

V = Volume agregat kasar (m³)

d. *Sieve analysis*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian butiran pada agregat kasar sehingga dapat diketahui sebaran gradasi sudah memenuhi syarat atau tidak.

2.2.3. Percobaan Campuran Beton

Dalam membuat campuran beton, harus diperhatikan bahwa perbandingan antara campuran bahan-bahan beton dibuat untuk menghasilkan beton yang paling ekonomis. Dimana dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia juga harus diperoleh beton yang memiliki workability, durability dan strength seperti yang diinginkan.

Sebelum melakukan pencampuran material beton, sebelumnya harus dilakukan tes-tes laboratorium terhadap material yang akan digunakan dimana tes ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air dan admixture sehingga didapatkan kombinasi yang paling optimum.

Secara garis besar, prosedur dalam perhitungan campuran beton adalah:

- Tes terhadap material yang akan digunakan pada campuran beton berupa agregat kasar, agregat halus dan semen. Sehingga dapat diketahui apakah material tersebut telah memenuhi syarat.

- Menentukan ukuran butiran maksimum agregat kasar, slump dan kandungan udara yang disesuaikan dengan kebutuhan.
- Menentukan water-cement ratio yang memenuhi strength dan durability yang diinginkan.
- Menentukan perbandingan campuran.
- Penyesuaian jumlah air adukan dan admixture untuk mendapatkan slump dan kandungan udara yang diperlukan.

Sebelum melakukan perhitungan terhadap komposisi campuran beton, maka terlebih dahulu harus ditentukan *standard design strength* yang akan digunakan dalam *mix design*. *Standard design strength* merupakan kuat tekan rencana beton atau kuat tekan beton yang direncanakan pada saat melakukan perhitungan.

Setelah menentukan *standard design strength* maka akan ditentukan *target strength* yaitu kekuatan yang harus dicapai oleh beton dalam umur 28 hari. *Target strength* ini kemudian akan digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan perbandingan campuran beton.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan *target strength* beton adalah:

- *Standar desain strength*
- Jenis-jenis kualitas beton yang mungkin dihasilkan di lapangan.
- Kegunaan dari struktur.

Compressive strength yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai *coefficient of variation* yang tidak melebihi 25 %. *Coefficient of variation* adalah koefisien yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder

tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama. Coefficient of variation dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$V = \frac{\sigma}{X} \times 100\%$$

dengan,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{Xi}^n (\bar{Xi} - \bar{X})^2}{n}}$$

DIMANA:

- V = *coefficient of variation*
- X = *compressive strength* rata-rata dari silinder beton
- Xi = *compressive strength* silinder tes ke-i
- σ = standar deviasi
- n = jumlah silinder tes yang diuji

Besarnya harga coefficient of variation harus berkisar antara 5%-25%, dan nilainya akan sangat tergantung kepada:

- Keadaan cuaca dan waktu peoduksi.
- Perupahan dari sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- Perubahan gradasi agregat.

Semakin tinggi ketelitian dan keterampilan pada pekerjaan pencampuran dan pengecoran beton maka akan semakin kecil nilai dari coefficient of variation yang dapat ditentukan.

Hubungan antara target strength dengan standar design strength, ditentukan dengan rumus berikut:

$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1-t \cdot v}$$

dimana:

σ_{ts} = target strength

σ_{ds} = design strength

v = coefficient of variation

t = Konstanta, dimana nilainya tergantung dari perbandingan tes silinder yang dapat menghasilkan strength diatas design strength.

Harga $\frac{1}{1-t \cdot v}$ merupakan increment coefficient. Harga dari t ditentukan oleh banyaknya silinder tes beton dengan perbandingan campuran yang sama dan mencapai *compressive strength* diatas *standard design strength*. Pada tabel dibawah ini akan ditentukan nilai-nilai t berdasarkan banyaknya silinder test yang memiliki *strength* lebih besar dari *standard design strength*.

Presentase <i>strength</i> yang lebih besar dari <i>standard design strength</i>	t
75 %	0,703
80 %	0,883
85 %	1,1

Tabel 2.3. Besar nilai t berdasarkan kenaikan design strength

Ukuran butiran maximum agregat kasar yang akan digunakan pada percobaan tidak boleh melebihi spesifikasi agregat kasar yang telah ditentukan. Besarnya agregat kasar yang akan

digunakan dalam penelitian akan berpengaruh terhadap kandungan air dan semen.

Selanjutnya adalah menentukan slump dari campuran beton. Besar slump suatu beton akan berpengaruh terhadap kemudahan dalam pengerjaan beton tersebut. Semakin rendah nilai slump dari suatu beton, berarti beton tersebut memiliki kandungan air yang rendah dan semakin tinggi strength beton yang dihasilkan. Penentuan besar slump untuk berbagai jenis konstruksi dapat ditentukan melalui tabel berikut:

Jenis konstruksi	Slump Maximum (cm)
1. Heavy Mass Concrete	5
2. Canal lining dengan tebal > 8 cm	8
3. Slab dan tunnel Invert	5
4. Walls, pier, parapet and curb	5
5. Side walls, tunnel lining	10
6. Konstruksi-konstruksi lainnya	8

Tabel 2.4. Nilai slump untuk berbagai jenis konstruksi

Catatan:

- Harga-harga slump diatas adalah untuk beton setelah diletakkan tetapi belum berkonsolidasi
- Untuk pengecoran menggunakan pompa beton, jika slump kurang dari 8 cm maka slump boleh dinaikkan menjadi 9 cm.

Kemudian akan dapat ditentukan jumlah air adukan, kandungan udara dan presentase terhadap agregat. Banyaknya kandungan udara di dalam beton yang menggunakan air entraining admixture umumnya adalah berkisar antara 3 – 6 % dari volume beton tergantung kepada ukuran agrgat maximum yang digunakan.

Komposisi air yang akan digunakan pada campuran beton harus tepat karena akan mempengaruhi kekuatan dan workability beton. Untuk memperoleh strength yang tinggi, maka jumlah air yang digunakan harus sedikit tetapi harus masih bisa dikerjakan dengan baik. Jumlah air adukan yang digunakan dipengaruhi oleh ukuran maksimum agregat, bentuk partikel, gradasi agregat, dan jumlah tambahan kandungan udara.

Size of agregat (mm)	Unit coarse agregat content by volume (%)	Beton tanpa air entrained				Agregat			
		Entrapped air (%)	Sand percent (%)	Water content (%)	Air content (%)	Dengan AE admixture berkualitas baik		Dengan water reducing admixture berkualitas tinggi	
						s/a (%)	w (kg)	s/a (%)	w (kg)
15	53	2.5	49	190	7.0	46	170	47	160
20	61	2.0	45	186	6.0	42	165	43	155
25	66	1.5	41	175	5.0	37	155	38	145
40	72	1.2	36	165	4.5	33	145	34	135
50	75	1.0	33	155	4.0	30	135	31	125
80	81	0.5	31	140	3.5	28	120	29	110

Tabel 2.5. Komposisi S/A, dan air untuk berbagai ukuran agregat.

Keterangan:

- Harga-harga diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2.8, dan slump beton adalah 8.
- Penyesuaian harga diatas harus mengikuti tabel di bawah ini:

Perubahan proporsi material		Koreksi dari s/a dan w	
		Sand percent s/a (%)	Water content w (kg)
1	Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 0.1 dari nilai FM pasir	± 0.5	Tanpa koreksi
2	Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1 cm dari nilai slump	Tanpa koreksi	± 1.2%
3	Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1% dari kandungan udara	± 0.5 - 1	± 3%
4	Penggunaan batu pecah	± 3 - 5	± 9 - 15
5	Penggunaan pasir terproses	± 2 - 3	± 6 - 9
6	Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 0.05 dari w/c	± 4	Tanpa koreksi
7	Setiap penambahan atau pengurangan sebesar 1% dari s/a	Tanpa koreksi	± 1.5

Tabel 2.6. Koreksi untuk komposisi S/A dan air.

Kualitas dari beton yang diperoleh akan sebanding dengan jumlah semen yang digunakan dalam campuran tersebut. Jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton dapat dihitung dari water cement ratio dan jumlah air adukan yang telah ditentukan. Water cement ratio ditentukan dengan memperhitungkan strength dan durability beton yang diperlukan. Dengan metode Japan Cement Association, maka hubungan antara cement-water ratio dan compressive strength dapat ditentukan dengan:

$$\sigma_{28} = -133 + 214 \frac{c}{w}$$

$$214 \frac{c}{w} = \sigma_{28} + 133$$

$$\frac{w}{c} = \frac{214}{(\sigma_{28} + 133)}$$

Dimana:

$$\frac{w}{c} = \text{water-cement ratio}$$

σ_{28} = Target strength pada umur 28 hari

Selanjutnya adalah menghitung kebutuhan semen dengan menggunakan rumus berikut:

$$C = \frac{W}{W/C}$$

dimana:

W = berat air (kg)

W/C = Perbandingan antara semen dengan air (water cement ratio)

Dan jumlah kebutujhn air dalam campuran beton adalah:

$$\text{Volume air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat jenis air}}$$

Kemudian dapat dihitung jumlah kebutuhan agregat dengan menggunakan rumus:

$$Ag\ total = 1 - W - C$$

dimana

W = volume aiur

C = volume semen

Volume kebutuhan agregat halus adalah:

$$Sand = Ag \times \frac{S}{A}$$

dimana :

Sand = Volume agregat halus

Ag = Volume total agregat

S / A = perbandingan agregat hgalus terhadap volume total agregat

Volume kagregat kasar adalah:

$$SA = Ag \left(1 - \frac{S}{A} \right)$$

Dimana :

SA = Volume agregat kasar

Ag = Volume total agregat

S / A = perbandingan agregat hgalus terhadap volume total agregat

Maka dari seluruh perhitungan diatas akan diperoleh volume semen, air, agregat kasar dan agregat halus yang dibutuhkan untuk *mix design*.

3.3. TEORI GLASS CONCRETE

Penelitian mengenai *glass concrete* atau sering juga disebut *glascrete* adalah hal yang cukup baru dalam dunia industri konstruksi. Usaha penelitian yang signifikan dalam bidang ini mulai dilakukan sekitar 6 tahun yang lalu di Columbia University, Amerika Serikat. Banyak hal yang berhasil diungkap mengenai penggunaan kaca sebagai agregat dalam pembuatan beton oleh penelitian ini

Latar belakang penggagasan ide ini adalah melihat banyaknya kaca hasil daur-ulang di negara tersebut yang terbuang sia-sia tanpa tergunakan. Masalah ini menimbulkan ide untuk menggunakan kaca-kaca bekas ini sebagai agregat beton, mengingat sifat material kaca yang lebih kuat daripada kerikil biasa dalam hal kekuatan.

Kaca adalah sebuah bahan yang mempunyai kandungan kimia silika yang tinggi. Berikut adalah kandungan kimia/atom-atom yang terdapat dalam kaca

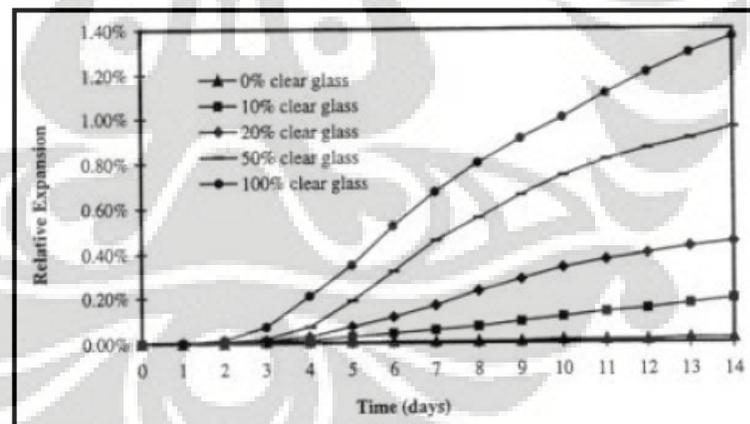
Num	Atom/Che. Formula
1	Na 11
2	Al 13
3	Si 14
4	K 19
5	Ca 20
6	Ti 22
7	Fe 26
8	Sr 38

Tabel 2.7. Kandungan Kimia pada Kaca

Seiring berjalannya penelitian, ditemukan bahwa penggunaan sebagai agregat beton bermasalah karena reaksi kimia antara alkali dalam semen dan silika dalam gelas (*Alkali Silicate Reaction, ASR*). Reaksi alkali silica ini menghasilkan gel yang akan mengembang dalam keadaan lembab mengakibatkan pengembangan yang kemudian berujung pada retak dan

kerusakan pada beton. Sebenarnya ASR dapat juga terjadi pada beton biasa bila agregat alaminya banyak mengandung silika. Untuk itu sejumlah teknik telah dikembangkan guna mengurangi efek tersebut antara lain⁵ :

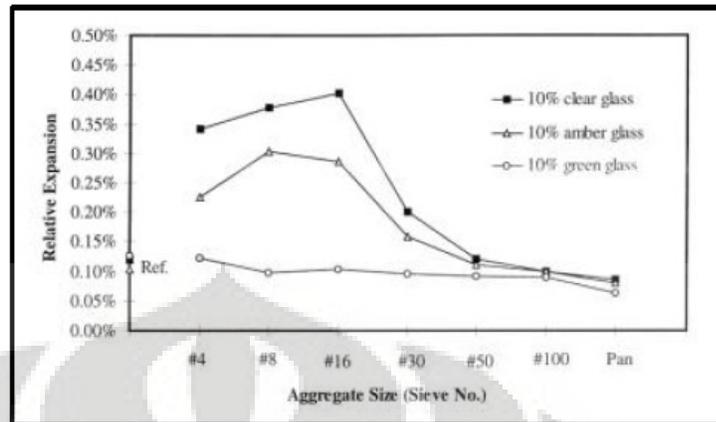
- Dengan menggiling kaca menjadi butiran halus yang melewati *US standard sieve #100*
- Mengganti peran semen dengan Metakaolin, Metakaolin didapatkan dapat menyerap ion alkali yang berperan dalam Reaksi ASR
- Karena Harga Metakolin yang mahal, sekitar 3 kali lipat harga semen biasa, sehingga ada cara lain yaitu dengan mengembangkan *low-cost ASR-suppressing admixtures*. Hal ini masih dalam penelitian lebih lanjut.
- Menggunakan botol berwarna hijau (Contoh: botol bekas Heineken, Equil), karena dari hasil penelitian Columbia University didapatkan menghasilkan reaksi ASR yang kecil. Hal ini sudah dipatenkan oleh pihak universitas tersebut. Pengetesan dilakukan pada botol Heineken dan Beck's Beer dengan metode pengetesan ASTM C 1290.



Expansion of mortar bars vs. time with variable amounts of clear glass aggregate (ASTM C 1260 Test)

Grafik 2.1. Pengembangan beton akibat agregat kaca bening (sumber : Columbia University)

⁵ *Concrete Materials Research at Columbia University, Columbia University in the City of New York*



Expansion of mortar bars vs. aggregate size of clear, amber, and green glass aggregate (ASTM C 1260 Test)

*Grafik 2.2. Pengembangan beton dengan variasi penggunaan jenis agregat kaca
(sumber : Columbia University)*

- Menambahkan lithium dalam bubuk kaca yang dari hasil penelitian didapatkan dapat mengurangi reaksi ASR.

Meski masih memiliki kelemahan, banyak hal yang berpotensi menguntungkan dari penggunaan kaca sebagai agregat beton, antara lain⁶ :

- Memiliki tingkat durabilitas yang sangat tinggi, mengingat kaca adalah material yang tidak menyerap air.
- Kaca memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dan karakteristik ini adalah karakteristik yang langka terdapat dalam agregat alami lainnya. Adapun penggunaan aditif untuk agregat alami agar bisa mencapai tingkat kekuatan yang sama harganya mahal.
- Karena sejumlah alasan, penggunaan kaca dalam beton meningkatkan flow dalam beton segar sehingga kekuatan yang sangat tinggi dapat dicapai bahkan tanpa penggunaan superplasticizer.
- Potensi estetis penggunaan kaca yang disortir menurut warna cukup menarik didalam untuk bidang arsitektur.

⁶ C. Meyer, N. Egesi, and C. Andela, "Concrete with Waste Glass as Aggregate"

- Kaca yang dihaluskan hingga sangat halus memiliki karakteristik pozzolanic sehingga dapat dipakai sebagai pengganti parsial semen atau filler.

Menurut *CSIRO Sustainable Materials Engineering*, keuntungan penggunaan glass concrete ada beberapa antara lain⁷:

- Penghematan ruang pada landfill/tempat pembuangan akhir sampah.
- Penghematan unit cost beton.
- Penghematan ongkos kirim.
- Keuntungan lingkungan dari penggunaan material daur-ulang ketimbang agregat alami.
- Keuntungan untuk pelaku daur-ulang sebagai mata pencaharian untuk pemulung/ pelaku daur-ulang.

Pada penelitian ini akan digunakan botol berwarna hijau. Botol jenis ini dipilih berdasarkan rekomendasi hasil-hasil penelitian sebelumnya. Menurut rekomendasi tersebut, gelas dari botol berwarna hijau mengandung zat *chromium* dalam jumlah yang cukup untuk mengatasi ASR⁸.

Hasil tes lab menggunakan alat XRF FMIPA Universitas Indonesia untuk menentukan kadar senyawa kimia yang terdapat dalam gelas tersebut terlampir.

⁷ <http://www.csiro.au/files/mediaRelease/mr2002/glassandconcrete.htm> "Making concrete with glass - now possible"

⁸ <http://www.patentstorm.us/patents/5810921-claims.html> " United States Patent 5810921, Use of waste glass in concrete"

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODOLOGI PENELITIAN SECARA UMUM

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium dengan tahapan sebagai berikut :

1. Studi literatur. Penulis mencari dan mempelajari berbagai macam data mengenai hal-hal yang berhubungan dengan glass concrete beserta riset-riset tentang glass concrete yang pernah dilakukan sebelumnya. Hasil dari studi literatur ini sudah dijelaskan pada bab sebelumnya.
2. Merancang mix design untuk benda uji kontrol yaitu beton dengan kuat tekan f_c' 25 Mpa. Pembuatan mix design dilakukan dengan prosedur yang sudah dibahas dalam bab sebelumnya.
3. Menyiapkan sampel untuk tes kuat tekan beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari sebanyak masing-masing 3 buah. Sampel akan disiapkan untuk sejumlah variasi kandungan agregat kasar kaca yaitu 10%, 20%, 30%, 50%, 100%, dan benda uji kontrol.
4. Menyiapkan benda uji untuk tes kuat geser beton sebanyak masing-masing 3 buah di hari ke-28 umur beton untuk tiap variasi kadar kaca. Benda uji untuk tes perubahan volume juga disiapkan dalam jumlah yang sama.
5. Pengumpulan data. Melakukan tes kuat tekan dan tes kuat geser pada tiap sampel yang dibuat dan mencatat hasilnya. Dalam hal ini, pelaksanaan tes kuat geser dan kuat tekan dilakukan dengan prosedur yang dijelaskan dalam bab ini.
6. Analisa. Penulis menganalisa dan membandingkan karakteristik kuat tekan dan geser dari data yang didapat. Juga dilakukan perbandingan dengan hasil-hasil yang didapat dari studi literatur.

3.2. PROSEDUR PERCOBAAN TES KUAT TEKAN BETON

Dalam percobaan kuat tekan beton agregat kaca ini, dilakukan variasi sampel dengan memvariasikan kadar kandungan agregat kasar dari kaca dengan kadar 0% (sampel kontrol), 10%, 20%, 30%, 50%, dan 100%. Pengujian tekan dilakukan masing-masing pada 3 buah sampel untuk tiap kadar kaca yang diujikan pada umur beton tertentu. Pengujian dilaksanakan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari. Beton disiapkan untuk mix design f_c' 25 Mpa. Jenis kaca yang digunakan adalah kaca berwarna hijau.

3.2.1. PERALATAN

- a. Cetakan silinder, diameter 15 cm, tinggi 30 cm.
- b. Tongkat pemadat, diameter 16 mm, panjang 60 cm, dengan ujung dibulatkan.sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
- c. Bak pengaduk beton kedap air atau mesin pengaduk.
- d. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh.
- e. Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan.
- f. Satu set alat pelapis (capping).
- g. Peralatan tambahan: ember, sekop, sendok, sendok perata dan talam.
- h. Satu set alat pemeriksaan slump
- i. Satu set alat pemeriksaan berat isi beton.

3.2.2. BAHAN

a. Pembuatan dan pematangan benda uji.

I. Pengadukan:

- Memasukkan semen dan agregat halus kedalam bak pengaduk kemudian mengaduknya dengan sekop sampai merata.
- Memasukkan agregat kasar dan mengaduknya sampai merata, teruskan pengadukan sambil menambahkan air pencampur sedikit demi sedikit. Setelah semua air pencampur dimasukkan ke dalam bak pengaduk, teruskan pengadukan sampai beton merata.

Pengadukan dengan mesin pengaduk:

- Memasukkan agregat kasar dan air pencampur sebanyak 30% sampai 40% kedalam pengaduk. Menjalankan mesin pengaduk, masukkan agregat halus semen dan sisa air pencampur. Setelah semua bahan campuran beton dimasukkan kedalam pengaduk, praktikan mengaduk beton selama 3 menit. Kemudian mesin pengaduk dimatikan, menutup pengaduk, dan membiarkan adukan beton selama 3 menit.
- Mengambil tutup pengaduk dan menjalankan mesin pengaduk selama 2 menit. Menuangkan beton kedalam talam dan mengaduknya lagi dengan sekop sampai merata.

II. Menentukan slump.

Apabila slump yang didapat tidak sesuai dengan yang dikehendaki, ulangi pekerjaan (I) dengan menambah atau mengurangi agregat sampai mendapat slump yang dikehendaki. Kemudian tentukan berat isi.

III. Mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan. Pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25,4 mm kedalam lapisan dibawahnya. Setelah selesai melakukan pemadatan, praktikan mengetuk sisi cetakan

perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup. Meratakan permukaan beton dan menutup segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat. Kemudian praktikan membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam dan meletakkannya pada tempat yang bebas dari getaran.

IV. Setelah 24 jam, praktikan membuka cetakan dan mengeluarkan benda uji.

V. Merendam benda uji dalam bak perendam berisi air yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan (*curing*), selama waktu yang dikehendaki.

b. Persiapan pengujian.

I. Mengambil benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekannya dari bak perendam, kemudian membersihkannya dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.

II. Menentukan berat dan ukuran benda uji.

III. Untuk benda uji berbentuk silinder lapislah (*capping*) permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang dengan cara sebagai berikut:

- Melelehkan mortar belerang didalam pot peleleh (*melting pot*) sampai suhu kira-kira 130°C.
- Menuangkan belerang cair kedalam cetakan pelapis (*capping plate*) yang dinding dalamnya telah dilapisi tipis dengan gemuk.
- Meletakkan benda uji tegak lurus pada cetakan pelapis sampai mortar belerang cair menjadi keras. Dengan cara yang sama praktikan melakukan pelapisan pada permukaan lainnya.

IV. Benda uji siap untuk diperiksa.

3.2.3. PROSEDUR

1. Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara centris.
2. Menjalankan mesin, menekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
3. Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

3.2.4. CATATAN

1. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran sisi 20 x 20 x 20 cm, cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 29 kali tusukan.
2. Untuk benda uji berbentuk kubus ukuran sisi 15 x 15 x 15 cm, cetakan diisi dengan adukan beton dalam 2 lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 32 kali tusukan. Tongkat pemadat berdiameter 10 mm dan panjangnya 30 cm.
3. Benda uji berbentuk kubus tidak perlu diisi.
4. Pemeriksaan kekuatan tekan beton biasanya pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari.
5. Pada setiap pemeriksaan minimum 2 buah benda uji.
6. Apabila pengadukan dilakukan dengan tangan, isi bak pengaduk maksimum 7 dm³ dan pengadukan tidak boleh dilakukan untuk beton yang kental.

3.3. PROSEDUR PERCOBAAN TES KUAT LENTUR BETON

Percobaan kuat lentur beton juga dibuat dengan variasi sampel dengan kadar agregat kasar kaca sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 50% dan 100%. Pengujian dilakukan pada saat beton berusia 28 hari.

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*. Sedangkan umur pengujian adalah 28 hari. Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok

pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Benda uji balok beton ukuran 15 cm x 15 cm x 55 cm.

3.3.1. PERALATAN

- a. Mesin Uji Lentur (*Flexural Strength Testing Machine*) Beton Kapasitas 100 kN Laboratorium Beton Univeritas Indonesia
- b. *Beam mold* 15 cm x 15 cm x 55 cm

3.3.2. PROSEDUR

- Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan dan pengeringan disiapkan, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
- Tentukan panjang bentang yaitu tiga kali tinggi balok pada posisi simetris memanjang dan mengatur posisi roda baja bagian bawah untuk meletakkan benda uji.
- Balok diletakkan di kedua perletakan mesin uji lentur secara simetris dan diberi beban garis sejarak 1/3 bagian dari perletakan secara simetris.
- Hidupkan mesin dan berikan beban secara tetap dan berkesinambungan tanpa ada beban kejut sampai keruntuhan terjadi.
- Besar beban maksimum yang terjadi catat untuk perhitungan.

Perhitungan nilai *modulus of rupture* tergantung dari lokasi patahan yang terjadi pada balok, yaitu:

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tengah bentang dari balok, tidak lebih dari 5% panjang bentang balok, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

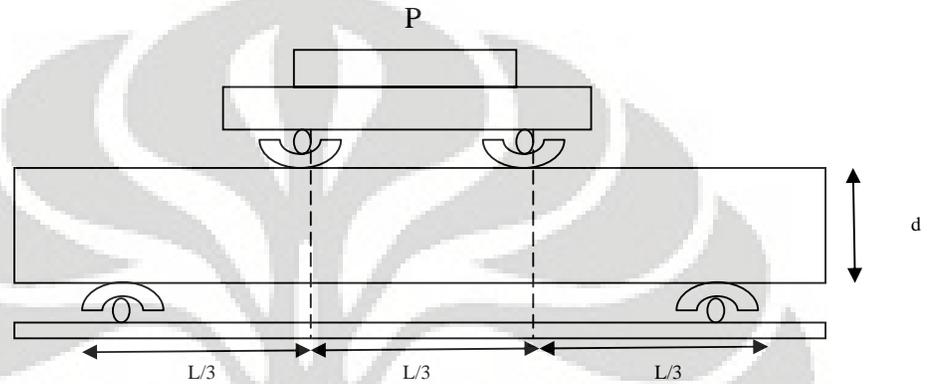
R = Modulus Runtuh, *psi* atau *Mpa*

P = Maksimum Beban, *lbf* atau *N*

l = Panjang bentang, *in* atau *mm*

b = Rata-rata lebar benda uji, *in* atau *mm*

d = Rata-rata ketinggian benda uji, *in* atau *mm*



Gambar 3.1 Keruntuhan lentur terjadi pada tengah bentang

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang, maka perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{3Pl}{bd^2} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana :

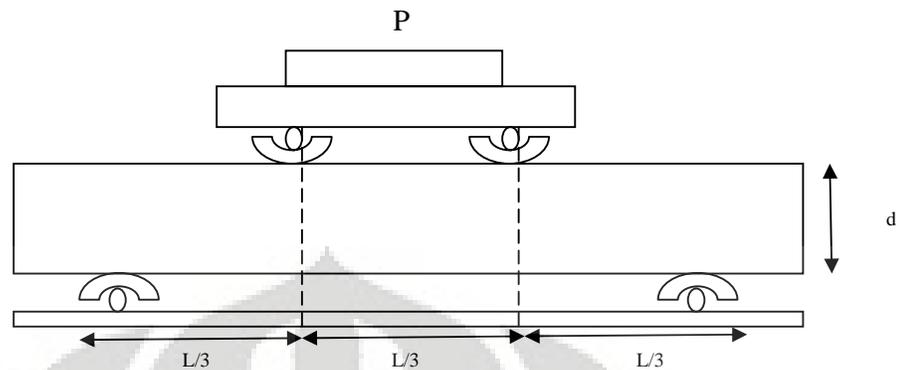
R = Modulus Runtuh, *psi* atau *MPa*

P = Maksimum Beban, *lbf* atau *N*

l = Panjang bentang, *in* atau *mm*

b = Rata-rata lebar benda uji, *in* atau *mm*

d = Rata-rata ketinggian benda uji, *in* atau *mm*



Gambar 3.2 Keruntuhan lentur terjadi pada tepi bentang

- Bila patahan terjadi pada 1/3 bagian tepi bentang balok dengan jarak lebih dari 5 % panjang bentang, hasil ini harus dianulir.

3.4. PROSEDUR PERCOBAAN TES PERUBAHAN VOLUME

Percobaan tes perubahan volume dilakukan secara terbatas untuk sampel pada umur 28 hari. Prosedurnya mengikuti standar ASTM C490. Secara garis besar, pengujiannya meliputi pembuatan sampel dengan panjang tertentu yang perubahan volumenya diukur terhadap *reference bar* yang terbuat dari logam dengan koefisien muai tidak lebih dari $1/2000000$ $^{\circ}\text{C}$. Perubahan volume relatif terhadap *reference bar* tersebut lalu diukur dalam hitungan persen.

3.5. JUMLAH SAMPEL UJI

3.5.1. TES KUAT TEKAN

Untuk keperluan tes kuat tekan akan disiapkan sejumlah sampel dengan rincian sebagai berikut:

- Benda uji kontrol dengan kadar agregat kasar kaca 0%.
Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah.
Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah.
Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15.

- Sampel kadar agregat kasar kaca 10%. Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah. Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah. Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 20%. Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah. Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah. Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15
- Sampel kadar agregat kasar kaca 30%. Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah. Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah. Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15
- Sampel kadar agregat kasar kaca 50%. Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah. Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah. Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15
- Sampel kadar agregat kasar kaca 100%. Untuk tes umur 3 hari, 3 buah. Untuk tes hari ke-7, 3 buah. Untuk tes hari ke-14, 3 buah. Untuk tes hari ke-28, 3 buah. Untuk tes hari ke-56, 3 buah. Jumlah total 15

Jadi, jumlah seluruh sampel tes kuat tekan adalah 90 buah.

3.5.2. TES KUAT LENTUR

Untuk tes kuat lentur, disiapkan sampel dengan rincian sebagai berikut:

- Benda uji kontrol dengan kadar agregat kasar kaca 0% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 10% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 20% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.

- Sampel kadar agregat kasar kaca 30% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 50% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 100% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.

Jadi, jumlah seluruh sampel kuat lentur adalah 18 buah.

3.5.3. TES PERUBAHAN VOLUME

Untuk tes perubahan volume, disiapkan sampel sejumlah berikut:

- Benda uji kontrol dengan kadar agregat kasar kaca 0% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 10% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 20% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 30% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 50% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.
- Sampel kadar agregat kasar kaca 100% sebanyak 3 buah, diuji pada umur 28 hari.

Jadi, jumlah seluruh sampel perubahan volume adalah 18 buah.

3.6. RENCANA PENJADWALAN PERCOBAAN

Percobaan-percobaan yang telah dijelaskan diatas direncanakan untuk dikerjakan menurut jadwal *barchart* berikut ini :

No	Pekerjaan	Jan				Feb				Mar				Apr			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perumusan Mix Design		■														
2	Pengadaan Material			■	■	■											
3	Persiapan Material			■	■	■											
4	Pembuatan Sampel					■	■										
5	Test Tekan 3 hari							■									
6	Test Tekan 7 hari							■									
7	Test Tekan 14 hari								■								
8	Test Tekan 28 hari									■							
9	Test Tekan 56 hari															■	
10	Test Lentur 28 hari										■						
11	Test Volume 28 hari										■						

Tabel 3.1. Penjadwalan Percobaan

BAB 4. HASIL PENGAMATAN DAN ANALISA TES TEKAN, LENTUR, DAN SUSUT

4.1. PROPERTI MATERIAL

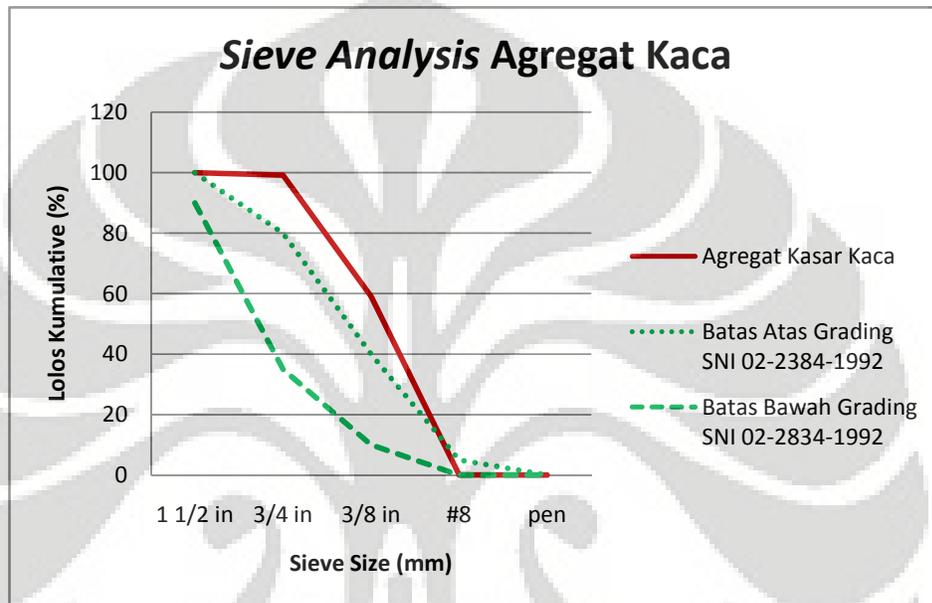
Material yang digunakan dalam proses pembuatan sampel skripsi beton terdiri atas air, semen, agregat kasar biasa, agregat kasar kaca, dan agregat halus. Air yang digunakan berasal dari Lab Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI. Semen yang digunakan adalah dari jenis *Portland Composite Cement* produksi Indocement yang umum didapatkan di pasaran. Agregat kasar kaca yang digunakan merupakan hasil produksi sendiri, dengan cara produksi yang konsisten menggunakan alat *Los Angeles Machine*. Agregat kasar biasa dan agregat halus didapatkan dari sumbangan Batching Plant Adhimix Lenteng Agung. Dalam hal ini, material yang akan dibahas lebih lanjut adalah *material properties* dari kaca, agregat kasar biasa, serta agregat halus.

4.1.1. PROPERTI MATERIAL AGREGAT KASAR KACA

Kaca yang digunakan dalam pembuatan sampel skripsi ini didapatkan dari hasil limbah rumah tangga dalam bentuk botol-botol bekas minuman yang memiliki berat kurang-lebih 500 gr tiap botolnya. Botol digiling dengan bantuan *Los Angeles Machine* dengan memasukkan 14 botol bersama dengan 2 bola baja dan digiling selama 10 menit sehingga menghasilkan agregat dengan grading yang konsisten. Kaca hasil gilingan dipisahkan dengan saringan No. 4 agar agregat kasar dan halusya terpisah. Jumlah agregat kasar yang didapat umumnya sekitar 70% dari berat total kaca yang dimasukkan.

Agregat kasar kaca yang didapatkan dari hasil pemrosesan dengan *Los Angeles Machine* secara umum berbentuk angular dengan

kecenderungan memiliki ketebalan tipis. Hal ini diakibatkan dari sumber bahan kaca yang digunakan berasal dari botol minuman yang umumnya memiliki tebal dinding sekitar 5 mm. Meski demikian ditemukan juga butiran agregat kasar kaca yang memiliki ketebalan lebih, karena berasal dari pecahan bagian bawah atau mulut botol yang memang lebih tebal.



Grafik 4.1 Perbandingan analisa saringan % lolos antara agregat kasar kaca terhadap standar SNI 02-2384-1992

Kecenderungan grading kaca memiliki pembagian butiran yang berukuran mayoritas kecil, terlihat dari banyaknya agregat kaca yang lolos dari saringan-saringan yang berukuran besar. Kebanyakan butir agregat kaca tertahan pada saringan No. 4.

Berdasarkan pengujian berat jenis dan absorpsi (ASTM C127 - 88) yang dilakukan sebelum menghitung mix design, didapatkan bahwa Bulk Specific Gravity kaca adalah sebesar $2,5 \text{ kg/dm}^3$. Dari pengujian yang sama, didapatkan juga bahwa angka penyerapan air oleh kaca sangat kecil, sehingga dapat diabaikan (mendekati nol persen), senada dengan hasil

penelitian sebelumnya oleh C. Meyer¹. Sehingga dapat dikatakan bahwa kaca tidak menyerap air sama sekali.

4.1.2. PROPERTI MATERIAL AGREGAT KASAR ALAM

4.1.2.1. Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C127- 88. Tujuan penelitian ini untuk menentukan *bulk*, *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127.

Tabel 4.1 Hasil Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Kasar

Hasil Pengamatan	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.51
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.60
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	2.77
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	3.62

Nilai absorpsi yang baik untuk agregat kasar adalah di bawah 4% (ASTM C127). Absorpsi agregat kasar alam sebesar 3.62 % berada dibawah batas izin 4 %.

4.1.2.2. Pengujian Analisa Ayak (*Sieve Analysis*)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton.

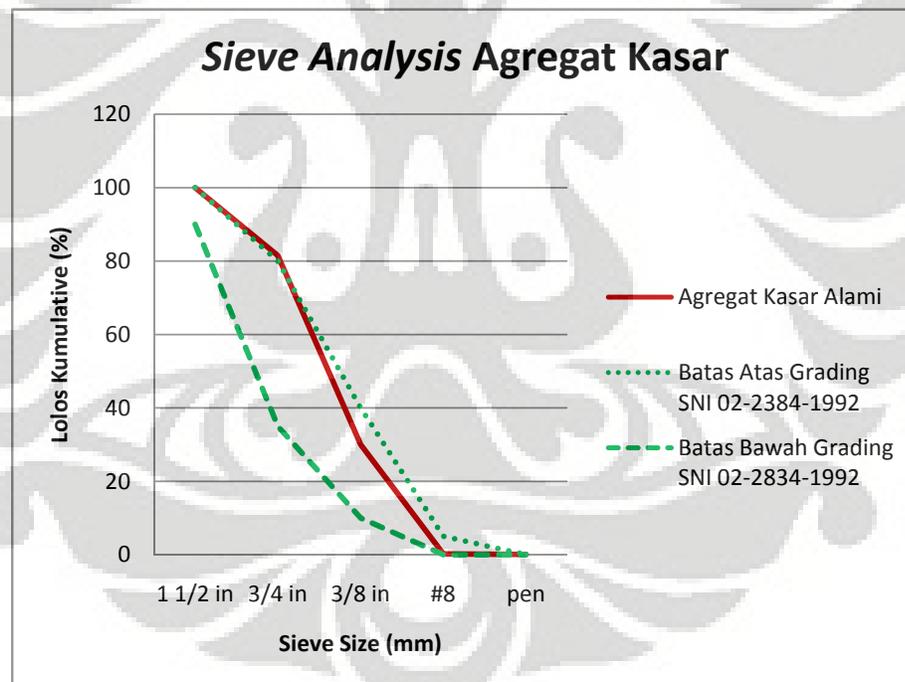
Dari percobaan ini didapatkan berat agregat pada tiap-tiap saringan. Sehingga dapat dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan tersebut.

Dilihat dari gradasi keduanya, bahwa kedua agregat kasar mendekati kriteria gradasi agregat kasar menurut SNI 03-2834-1992.

¹ C. Meyer, N. Egesi, and C. Andela, "Concrete with Waste Glass as Aggregate"

Tabel 0.2 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Kasar Alam

Sieve Size	Agregat Alam		SNI 02-2384-1992
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
1 1/2 in	0	100	90 - 100
1 in	4.6	95.40	
3/4 in	18.48	81.52	35 - 70
1/2 in	48.45	51.55	
3/8 in	70.03	29.97	10 - 40
4.75 mm	99.36	0.64	
8 mm	99.76	0.24	0 - 5
Pan	99.90	0.1	0

**Grafik 4.2** Perbandingan analisa saringan % lolos antara agregat kasar alam standar SNI 02-2384-1992

Mengingat perhitungan mix design beton ini menggunakan metode *US Bureau of Reclamation*, maka gradasi agregat kasar ini tidak akan begitu berpengaruh dalam perhitungan mix design.

4.1.3. PROPERTI MATERIAL AGREGAT HALUS

4.1.3.1. Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C128 - 93. Tujuan pengujian berat jenis dan absorpsi adalah untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C128.

Tabel 4.3 Hasil Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Halus

Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.57
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.59
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	2.61
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	0.6

Semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air akan mengurangi nilai kekuatan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 2 % (ASTM C128). Dilihat dari tabel 4.2, absorpsi pada agregat halus alam memiliki absorpsi di bawah 2%, sehingga memenuhi standar ASTM C128.

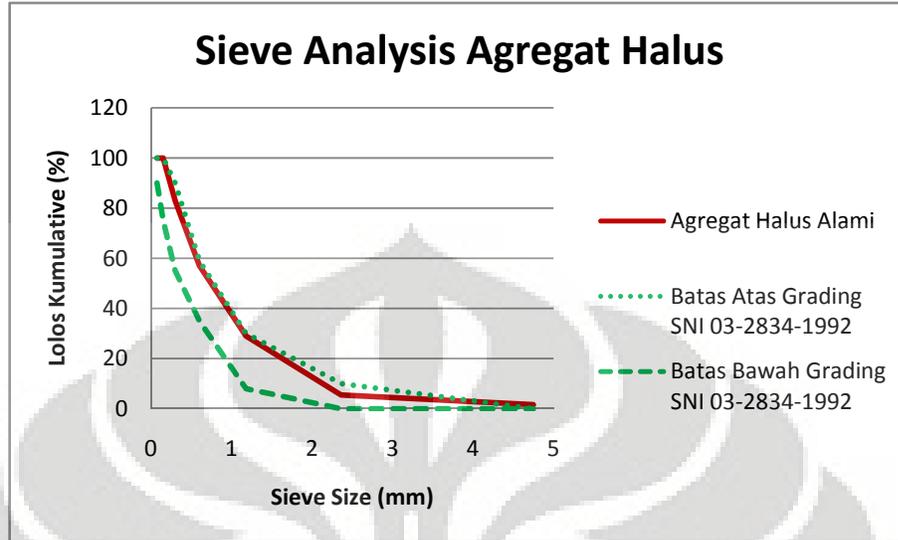
4.1.3.2. Pengujian Analisa Ayak (Sieve Analysis)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Masing-masing agregat, yaitu agregat halus alam dan daur ulang dilakukan pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton. Gradasi adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi diketahui dengan analisa ayakan, kemudian dibuat grafik dengan ukuran butir sebagai absis dan persentase agregat yang tertahan ayakan sebagai ordinat. Gradasi disebut juga dengan modulus kehalusan. Pada pembuatan beton dilakukan pembatasan gradasi agregat karena gradasi dan ukuran agregat mempengaruhi kebutuhan semen dan air, *workability*, porositas dan kembang susut beton.

Dari percobaan ini, didapatkan berat agregat pada tiap saringan. Sehingga dapat dibuat grafik gradasi agregat dengan menghitung persen agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan tersebut.

Tabel 4.4 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Halus

Sieve Size (mm)	Average Agregat Alam		Gradasi Zone II
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
4.75 (No.4)	0	100	90-100
2.36 (No.8)	0	100	75-100
1.18 (No.16)	17.4	83	55-90
0.6 (No.30)	43.3	57	35-59
0.3 (No.50)	70.6	29	8-30
0.15 (No.100)	94.5	5.5	0-10
0.074 (No.200)	98.4	1.6	
Pan	100	0	
Rata-rata FM	2.256		



Gambar 4.3 Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat halus alam, dan standar SNI 03-2834-1992

Dilihat dari gradasinya, bahwa agregat halus masuk dalam kriteria gradasi agregat halus pada zone II menurut SNI 03-2834-1992. Dan menurut ASTM 33 - 78 nilai *fine modulus* yang baik berkisar antara 2.2 sampai 3.1, sehingga memenuhi.

4.2. MIX DESIGN

Beton yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk memiliki kuat tekan $f_c' 25 \text{ MPa}$ atau setara dengan $f_c' 250 \text{ kg/cm}^2$ dan slump 10 cm dalam kondisi normal (tanpa campuran agregat kaca).

Komposisi Mix Design :

f_c' Beton	= 250 kg/cm^2	Bj. Pasir	= $2,577 \text{ gr/cm}^3$
MSA	= 25 mm	FM Pasir	= $2,26 \text{ gr/cm}^3$
Slump	= 10 cm	Bj. CA	= $2,6 \text{ gr/cm}^3$
Bj.Semen	= $3,15 \text{ gr/cm}^3$		

Perhitungan mix design ini bertujuan untuk menentukan proporsi

campuran bahan-bahan penyusun beton yang memiliki kekuatan tinggi dan masih mudah untuk dikerjakan. Terdapat beberapa metode perhitungan mix design, antara lain:

- Rancangan menurut “*ROAD NO.4*”
- Rancangan menurut “*American Concrete Institute*”
- Rancangan menurut “Cara Inggris”
- Rancangan menurut “*US Bureau of Reclamation*”

Dalam perhitungan mix design ini menggunakan metode “*US Bureau of Reclamation*”. Pada prinsipnya metode-metode yang digunakan untuk menghitung mix design bertujuan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tinggi namun masih dalam batas mudah untuk dikerjakan.

Langkah pertama yang dilakukan untuk menghitung mix design dengan metode “*US Bureau of Reclamation*” adalah menentukan ukuran butir agregat kasar maksimum, slump, dan fas (W/C).

Nilai-nilai yang dapat ditentukan:

- ✓ Jumlah air adukan (W), satuan Kg.
- ✓ Prosentase pasir terhadap total agregat (S/A).
- ✓ Kandungan udara dalam beton (entrapped air) terhadap volume beton, dalam %.

Selanjutnya dengan didapatnya jumlah air (W) dan fas (W/C), jumlah semen (C) dapat ditentukan.

Langkah selanjutnya yaitu menghitung volume total agregat. Dengan didapat S/A dan Ag maka dapat dihitung volume pasir (S) dari agregat kasar (Ca).

Namun nilai-nilai diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2,8 dan slump beton dalam mixer 10 cm, maka dilakukan penyesuaian untuk FM dan slump yang dipakai.

Sebelum perhitungan difinalisasi, dibuat koreksi-koreksi terhadap perbedaan SG agregat dll. Setelah itu dihitung volume cetakan beton (bekisting) yang hasilnya akan dikalikan dengan masing-masing bahan

penyusun beton (air adukan, pasir, semen, dan agregat kasar), dari perhitungan mix design didapat (untuk per m^3) :

- 1) Jumlah air adukan = 193,15 kg
- 2) Jumlah semen = 384,53 kg
- 3) Jumlah pasir = 730,064 kg
- 4) Jumlah agregat kasar = 1006,45 kg

Dalam kasus penggantian sebagian agregat kasar dengan kaca, sebagian volume agregat kasar digantikan dengan volume agregat kaca sesuai kadar yang ditentukan. Kadar yang digunakan adalah 10%, 20%, 30%, dan 50% kaca. Karena SG kaca berada sedikit dibawah SG agregat kasar alam yang digunakan, maka akan ada pengurangan berat jenis beton hasil mix, meskipun hanya sedikit, mengingat perbedaannya juga kecil.

4.3. HASIL DAN ANALISA TES TEKAN

4.3.1. HASIL TES TEKAN

Tes tekan dilaksanakan mengikuti ASTM C39/C39M – 04a (*Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*). Hasil tes tekan yang didapatkan adalah sebagai berikut.

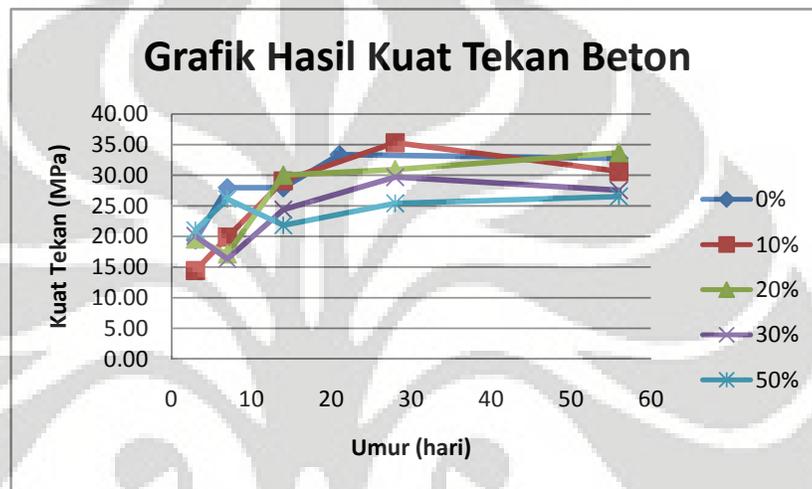
Kadar	test (hr)	pavg (kg)	fc' (Kg/cm2)	fc' (Mpa)	fc' (28hr) Mpa	ket
0%	3	34333.33	194.39	19.44	43.20	v1 trial
	7	49416.67	279.78	27.98	39.97	v1 trial
	14	22833.33	279.68	27.97	31.78	
	21	27250.00	333.78	33.38	35.13	
	56	26750.00	327.66	32.77	32.77	satu sampel hilang di kolam
10%	3	11785.67	144.36	14.44	32.08	
	7	16250.00	199.04	19.90	28.43	
	14	23750.00	290.91	29.09	33.06	capping miring
	28	28833.33	353.18	35.32	35.32	
	56	25000.00	306.22	30.62	30.62	
20%	3	16000.00	195.98	19.60	43.55	
	7	14000.00	171.48	17.15	24.50	
	14	24500.00	300.10	30.01	34.10	
	28	25250.00	309.28	30.93	27.76	
	56	27500.00	336.84	33.68	33.68	satu sampel hilang di kolam
30%	3	16416.67	201.09	20.11	44.69	
	7	13333.33	163.32	16.33	23.33	
	14	19916.67	243.96	24.40	27.72	
	28	24250.00	297.04	29.70	29.70	capping miring
	56	22500.00	275.60	27.56	27.56	capping miring
50%	3	17166.67	210.27	21.03	46.73	
	7	21333.33	261.31	26.13	37.33	
	14	17833.33	218.44	21.84	24.82	
	28	20750.00	254.16	25.42	25.42	
	56	21666.67	265.39	26.54	26.54	
					32.17	

Tabel 4.5 Hasil kuat tekan

4.3.2. ANALISA TES TEKAN

Dari hasil tes tekan sampel silindris yang telah dilaksanakan, dapat dilihat variasi kuat tekan sampel yang dibuat dengan kadar agregat kasar kaca yang bervariasi, dalam hal ini 0%, 10%, 20%, 30% dan 50%. Kadar kaca 0% dijadikan sampel kontrol.

Data yang telah disajikan pada table diatas dapat dirangkum kedalam grafik berikut.



Grafik 4.4 Kuat tekan terhadap waktu

Dapat dilihat secara umum bahwa seluruh sampel mencapai target strength dari mix design beton yaitu 25 MPa. Dapat terlihat juga bahwa secara umum penggunaan agregat kasar kaca mengurangi kuat tekan beton dibandingkan beton normal (tanpa kaca). Melalui konversi seluruh hasil tes tekan semua sampel kepada kuat tekan hari ke-28 yang kemudian dirata-ratakan, dapat terlihat adanya pengurangan kuat tekan beton. Pengurangan ini berada di kisaran 1 – 3 MPa. Jika dilakukan perbandingan langsung antara kuat tekan beton pada setiap sampel hari ke-28 saja, rentang ini menjadi semakin besar hingga mencapai pengurangan sekitar 7 MPa pada sampel dengan kadar kaca 50%.

Kadar	Rata-rata konversi f_c' 28 hr (MPa)	Selisih terhadap kontrol (MPa)
-------	---------------------------------------	--------------------------------

0%	33.23	0.00
10%	31.90	-1.33
20%	32.72	-0.51
30%	30.60	-2.63
50%	32.17	-1.06

Tabel 4.6 Selisih Kuat Tekan
(rata-rata konversi 28 hari)

Kadar	fc' 28 hr	selisih terhadap kontrol (Mpa)
0%	32.77	0.00
10%	35.32	2.55
20%	30.93	-1.84
30%	29.70	-3.06
50%	25.42	-7.35

Tabel 4.7 Selisih Kuat Tekan
(sampel hari ke-28)

Secara visual, dari pengamatan sisa runtuh sampel tes tekan, dapat dilihat tak ada masalah pada homogenitas distribusi agregat kaca didalam beton. Hal ini disebabkan oleh Specific Gravity kaca yang tidak jauh berbeda dari agregat kasar alami yang digunakan, dimana SG kaca adalah $2,5 \text{ gr/cm}^3$ dan SG agregat alami adalah $2,6 \text{ gr/cm}^3$, sehingga tidak didapati adanya penumpukan agregat di sisi atas atau bawah sampel.

Hal yang menarik adalah didapitnya bidang kontak yang licin antara mortar dan agregat kasar kaca. Berbeda dengan ikatan antara mortar dan agregat kasar alami, antara kaca dan mortar terbentuk bidang kontak yang licin, hingga dalam beberapa kasus ekstrim tulisan timbul yang ada pada permukaan kaca ikut tercetak pada mortar. Hal ini disinyalir dapat merugikan kekuatan tekan beton tersebut.



Foto 4.1 Contoh runtuhannya sampel tekan

Dalam pengamatan runtuhannya sisa sampel kuat tekan, juga didapati adanya butiran agregat kasar kaca yang patah, atau dengan kata lain mengalami kegagalan pada agregat. Adanya kegagalan pada agregat berarti ikatan antara mortar dan agregat lebih kuat daripada kekuatan agregatnya sendiri. Namun kasus ini lebih jarang ditemui daripada kasus bidang kontak licin yang dijelaskan sebelumnya.

Kondisi ini ditunjang oleh material kaca yang tidak memiliki pori sama sekali, sehingga pada permukaannya mortar tidak dapat meresap dan mengikat secara sempurna, meskipun bentuk agregat kaca yang angular mendukung terjadinya *interlocking* (saling mengunci) yang secara teoritis mampu mendukung kuat tekan².

Hal lain yang menjadi pertimbangan adalah perbedaan kuat tekan antara mortar dan agregat kaca yang terpaut jauh. Menurut beberapa literatur, kuat tekan kaca dikatakan amat tinggi (hingga 830 MPa³) sehingga apabila terjadi kegagalan pada material kaca, kuat tariknya yang

² <http://www.patentstorm.us/patents/6802896/description.html>

³ <http://www.springerlink.com/content/j5v45128581wx676/> Tcheegg, E. K. & S. E. Tcheegg-Stanzl, "Compressive Fatigue Crack Growth Behaviour of Alumina and Glass", JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 29 (1994) 2867-2872

relatif lebih rendah dari kuat tekannya yang menjadi penyebab kegagalan. Perlu diingat bahwa kuat tarik kaca pun sudah cukup tinggi, di kisaran 50 MPa. Kaca juga merupakan material yang tidak mengalami deformasi plastis⁴.

Kondisi kesenjangan kuat tekan kaca dan kuat tekan mortar yang cukup jauh dapat mengakibatkan kegagalan pada mortar terjadi lebih awal sehingga mengurangi kuat tekan beton secara keseluruhan, terbukti dari butiran agregat kaca yang banyak ditemukan berada dalam keadaan utuh terlepas dari mortarnya. Bandingkan dengan kondisi beton beragregat alami dimana agregat alami hanya memiliki kuat tekan yang relatif tidak jauh dengan mortar (di kisaran 50 – 300 MPa) dibandingkan kaca⁵.

Kekurangan lainnya dari sisi implementasi lapangan beton ini adalah fakta bahwa bila menerima benturan atau kerusakan fisik lainnya, permukaan beton yang terkelupas akan menunjukkan agregat kaca yang secara visual terlihat tidak aman dan berpotensi bahaya, sehingga penggunaannya dalam beton ekspos agaknya kurang cocok. Namun pernyataan ini lebih kepada aspek estetika dan ergonomis, dan saat ini pun sudah dikembangkan teknik membuat asesoris arsitektural dari penggunaan kaca warna-warni dalam beton yang dibuat sedemikian rupa sehingga aman dan terlihat indah, meskipun penggunaannya dalam aspek struktural terbatas.

Hal yang juga sempat diamati adalah pola keruntuhan kebanyakan sampel yang secara umum mengikuti Type 1 dan Type 2 dari Fig.2 ASTM C39/C39M – 04a. Hanya saja masih sempat ditemui bentuk retakan Type 5, dimana capping sampel tekan sampai patah terbelah. Hal ini bisa saja diakibatkan oleh kualitas capping yang buruk atau miring. Sampel-sampel yang mengalami kondisi demikian biasanya memiliki kuat tekan yang jauh dibawah normal, sehingga dalam penghitungan rata-rata kuat tekan tidak diikutsertakan.

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_strength

⁵ http://www.geocities.com/unforbidden_geology/rock_properties.htm

4.4. HASIL DAN ANALISA TES LENTUR

4.4.1. HASIL TES LENTUR

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Pengujian ini menggunakan metode *third point loading*.

Pengujian dilaksanakan sesuai ASTM C78 – 02. Hasil tes lentur yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Campuran Sampel	No. Sampel	Beban (P) (kg)	W 1/6 b h ² (cm ³)	Momen Lentur M = 1/6.P.L (kg.cm)	Tegangan Lentur (M/W) (kg.cm ²)	Tegangan Rata-Rata (kg.cm ²)	Keterangan
0%	1	2805	562.5	21037.5	37.4		
	2	3009	562.5	22567.5	40.12	38.31	
	3	2805	562.5	21037.5	37.4		
10%	1	2958	562.5	22185	39.44		
	2	3111	562.5	23332.5	41.48	42.16	
	3	3417	562.5	25627.5	45.56		
20%	1	3621	562.5	27157.5	48.28		
	2	3213	562.5	24097.5	42.84	43.52	
	3	2958	562.5	22185	39.44		
30%	1	4837.86	562.5	36283.95	64.5048		
	2	4980.15	562.5	37351.125	66.402	62.61	
	3	4268.7	562.5	32015.25	56.916		
50%	1	3984.12	562.5	29880.9	53.1216		
	2	3699.54	562.5	27746.55	49.3272	51.22	hujan
	3	3841.83	562.5	28813.725	51.2244		

Tabel 4.8 Tabel hasil lentur

4.4.2. ANALISA TES LENTUR

Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton menurut standar ACI 318 - 83, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{lentur} = 0.62\sqrt{\sigma_{tekan}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4.1)$$

Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton menurut standar SNI 03- 2847-2002, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{lentur} = 0.7\sqrt{\sigma_{tekan}} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4.2)$$

Hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa pada sampel, didapatkan kuat lentur beton sampel kontrol berada sedikit diatas perhitungan teoritis ACI dan berada sedikit dibawah SNI. Hal ini menjadikannya *valid* sebagai sampel kontrol.

Kuat Lentur (Mpa)	ACI 318 - 83	SNI 03- 2847-2002	Hasil (MPa)	KR ACI (%)	KR SNI (%)
0%	3.55	4.01	3.83	7.9374809	-4.398231
10%	3.68	4.16	4.22	14.422909	1.346005
20%	3.45	3.89	4.35	26.217044	11.792239
30%	3.38	3.82	6.26	85.281046	64.106069
50%	3.13	3.53	5.12	63.880635	45.15142

Tabel 4.9 Perbandingan hasil tes lentur terhadap perhitungan teoritis

Terlihat dalam pengamatan ini bahwa kuat lentur bertambah seiring kadar agregat kasar kaca. Peningkatan tertinggi terjadi pada sampel kadar 30%, dimana terjadi peningkatan kuat lentur hingga 63.45% dibanding sampel beton normal. Hal ini tidak sesuai dengan kondisi beton normal dimana kuat lentur bertambah seiring dengan naiknya kuat tekan. Sebelumnya telah dijelaskan bahwa kuat tekan sampel beton dengan agregat kasar kaca secara umum lebih rendah dari kuat tekan beton beragregat alami.

Kenaikan kuat lentur sampel 50% terlihat lebih menurun dibanding sampel 30% yang memiliki kuat lentur paling tinggi. Hal ini mungkin dapat dijelaskan oleh keadaan cuaca pada saat pengecoran. Pada hari pengecoran sampel 50%, sesaat sebelum dan selama pengecoran terjadi

hujan yang amat lebat dan menjadikan agregat (khususnya pasir) menjadi lebih basah. Hal ini diperkuat dengan fakta bahwa dalam pengecoran tersebut, air yang disiapkan berdasar perhitungan mix design tidak digunakan sepenuhnya untuk mencapai target slump (10 cm), melainkan masih tersisa sebanyak 800 ml air. Ini menunjukkan kandungan kadar air dalam agregat yang sudah tinggi akibat hujan. Adapun saat pengecoran kedalam cetakan sampel, hujan masih turun dengan lebatnya sehingga kelembaban udara yang amat tinggi dan pengaruh cipratan air hujan bisa saja mempengaruhi kadar W/C dalam beton segar. Kendati demikian, sampel 50% ini tetap saja memiliki kuat lentur yang secara signifikan lebih tinggi daripada sampel beton normal yang mengikuti kaidah-kaidah beton yang umum, bahkan melampaui sampel beton 20% yang kuat lenturnya juga sudah lebih tinggi daripada sampel beton normal.

Jika angka 0.62 (ACI) dan 0.7 (SNI) pada persamaan (4.1) dan (4.2) diatas dianggap sebagai sebuah konstanta k , maka tentu perhitungan persamaan empiris⁶ tersebut dapat ikut disesuaikan dengan mengubah nilai k seiring naiknya kadar kaca.

Kadar	fc' (MPa)	k	hasil lentur (MPa)	$k\sqrt{fc'}$
0%	32.77	0.67	3.83	3.83
10%	35.32	0.71	4.22	4.22
20%	30.93	0.78	4.35	4.35
30%	29.70	1.15	6.26	6.26
50%	25.42	1.02	5.12	5.12

Tabel 4.10 Perhitungan nilai koefisien k

Dalam pengujian lentur murni, faktor utama yang menyumbang kepada kuat lentur balok beton adalah kekuatan tarik serat bawah balok yang menahan tegangan tarik. Beton normal pada umumnya mengikuti rumus empiris dari ACI atau SNI seperti yang telah disebutkan dalam persamaan (4.1) dan (4.2) diatas. Umumnya angka tersebut relatif kecil (kurang lebih hanya 1/10 dari kuat tekannya) karena mortar maupun batu

⁶ http://www.cement.org/tech/faq_flexural.asp

alam yang terkandung didalamnya memiliki kuat tarik yang kecil sehingga dapat diabaikan⁷.

Hal ini kurang berlaku dalam kasus penambahan agregat kasar kaca kedalam campuran beton. Kaca adalah bahan yang memiliki *tensile strength* (kuat tarik) yang relatif lebih tinggi daripada agregat biasa. Sebuah sumber menyatakan bahwa kuat tarik praktis dari kaca umumnya mencapai 27-60 MPa⁸. Inipun masih belum mencapai kuat tarik teoritisnya yang mencapai 6.5 GPa. Kaca tidak dapat mencapai kuat tarik teoritis yang demikian itu karena banyaknya cacat mikroskopis dalam produksi kaca biasa, yang mengakibatkan *stress concentration* pada cacat-cacat mikroskopis tersebut yang menyebabkan kegagalan dini. Sumber lain di internet juga menyebutkan bahwa kaca yang umum dipakai sehari-hari dapat mencapai kuat tarik setidaknya 10 Ksi atau kurang lebih 68,95 MPa⁹.

Penambahan kaca kedalam campuran beton sedikit banyak membantu meningkatkan kuat tarik beton yang seharusnya amat kecil. Tak dapat dipungkiri memang, dalam banyak kasus (seperti pada tes kuat tekan) ikatan mortar dan agregat kaca memang licin/lemah. Namun, dalam pengamatan terhadap runtuh sampel lentur, ditemukan bahwa jumlah kaca yang terlepas dari mortar dan kaca yang patah hampir sebanding jumlahnya. Jumlah yang sebanding ini makin bertambah pula seiring penambahan kadar kaca. Oleh karenanya, aman untuk mengasumsikan bahwa peningkatan kuat lentur yang tidak sesuai dengan acuan standar ACI maupun SNI ini merupakan hasil dari sumbangsih kuat tarik dari sebagian agregat kaca.

Dari kecenderungan ini dapat terlihat bahwa secara umum penambahan penggunaan agregat kasar kaca dapat menambah kuat lentur beton.

⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_strength

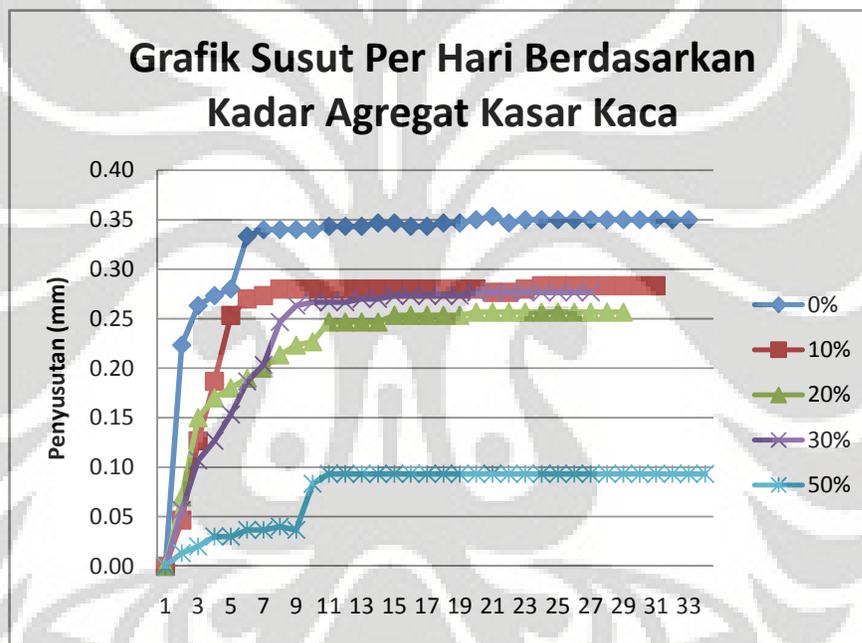
⁸ http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Matter/Glass.html

⁹ <http://www.eng-tips.com>

4.5. HASIL DAN ANALISA TES SUSUT

4.5.1. HASIL TES SUSUT

Pengamatan susut idealnya dilaksanakan selama 56 hari, namun dalam penelitian ini diusahakan pengamatan selama mungkin hingga berakhirnya penelitian agar dapat lebih mengerti perilaku jangka panjangnya. Tes ini dilaksanakan sesuai ASTM C 490 – 04 dengan menggunakan alat *comparator* tipe berdiri. Hasil tes susut yang didapatkan adalah sebagai berikut.



Grafik 4.5 Susut terhadap waktu

4.5.2. ANALISA TES SUSUT

Pengamatan hasil susut secara umum menunjukkan seluruh sampel yang mengandung agregat kasar kaca mengalami susut yang lebih kecil daripada sampel kontrol beton normal.

Dari seluruh sampel yang mengandung kaca, sampel 10%, 20% dan 30% mengalami hasil susut akhir yang hampir sama, meskipun dengan percepatan penyusutan yang berbeda-beda. Hal ini bisa disebabkan oleh pengecoran pada hari yang berbeda sehingga pengaruh kondisi suhu dan

kelembaban mengakibatkan perbedaan penyusutan pada beton yang berumur berbeda tersebut. Namun secara umum, dapat dilihat bahwa susutnya berada di kisaran 0.26-0.28 mm, dimana beton normal mengalami susut hingga 0.35 mm.

Untuk beton dengan kadar kaca mencapai 50%, bahkan penyusutannya hanya mencapai 0.09 mm. Hasil ini jauh berada dibawah sampel beton normal maupun sampel dengan kadar kaca yang lebih sedikit.

Keberadaan kaca yang dapat mengurangi susut beton ini dapat dianalisis dari dua aspek, yaitu kemungkinan terjadinya *Alkali-Silicate Reaction (ASR)* dan absorpsi kaca yang rendah.

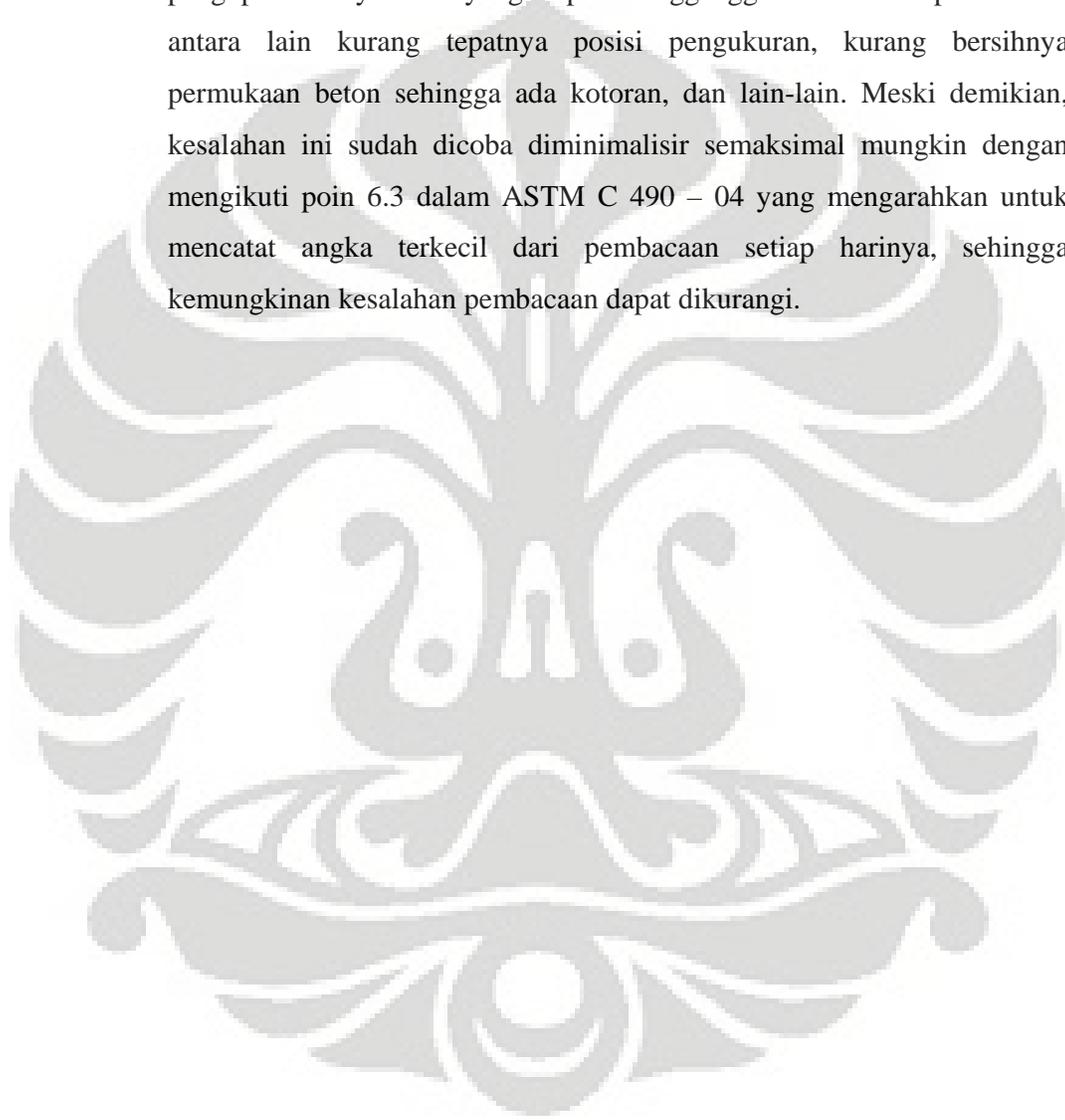
Hipotesa dimana ASR menghalangi terjadinya susut karena bidang kontak antara kaca dan mortar mengembang agaknya kurang tepat untuk menjelaskan fenomena penyusutan yang berkurang ini. ASR adalah efek jangka panjang yang baru akan terjadi dalam waktu lama, sementara sampel-sampel yang mengandung agregat kasar kaca dalam penelitian ini paling lama hanya diamati selama sekitar 2 bulan saja.

Absorpsi air oleh kaca yang rendah agaknya menjadi penjelasan mengapa beton dengan agregat kaca mengalami susut yang lebih rendah. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, kaca memiliki tingkat penyerapan air yang mendekati nol, sehingga dapat dikatakan kaca tidak menyerap air sama sekali karena tidak ada rongga didalam agregat kaca. Berbeda dengan agregat alami yang memiliki rongga-rongga yang dapat menyimpan air, sehingga dapat menyerap air.

Penyusutan beton, yang terjadi akibat pelepasan molekul air dari beton, amat tergantung pada suhu dan kelembaban disekitar beton. Bila terjadi pelepasan air berlebih, susut beton akan menjadi lebih signifikan. Dalam hal ini, kaca tidak terpengaruh sama sekali oleh kondisi kelembaban dan pelepasan air, sehingga dapat dikatakan bahwa kaca tidak terpengaruh air, dan dalam kasus ini tidak terpengaruh susut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kaca tidak mengalami penyusutan seperti

mortar dan agregat alami. Hal ini diperkuat oleh pengurangan susut yang signifikan pada sampel dengan kadar kaca tinggi (50%).

Namun tidak dipungkiri juga kemungkinan adanya kesalahan pembacaan oleh pelaksana penelitian, karena alat *comparator* tipe berdiri lebih banyak mengandalkan kekuatan dan ketelitian manusia dalam pengoperasiannya. Hal yang dapat mengganggu keakuratan pembacaan antara lain kurang tepatnya posisi pengukuran, kurang bersihnya permukaan beton sehingga ada kotoran, dan lain-lain. Meski demikian, kesalahan ini sudah dicoba diminimalisir semaksimal mungkin dengan mengikuti poin 6.3 dalam ASTM C 490 – 04 yang mengarahkan untuk mencatat angka terkecil dari pembacaan setiap harinya, sehingga kemungkinan kesalahan pembacaan dapat dikurangi.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Penelitian ini telah menunjukkan bahwa penggunaan kaca dalam beton, khususnya dalam hal ini kaca berwarna hijau sebagai agregat kaca telah mendatangkan hal-hal unik yang dalam beberapa hal amat berbeda dengan perilaku beton biasa. Hal ini dapat dipandang sebagai keuntungan maupun kerugian, tergantung aspek yang ditinjau dan kebutuhan dalam penggunaan. Dari ketiga parameter pengujian, yaitu tekan, lentur dan susut, didapati perbedaan-perbedaan hasil pengukuran dibandingkan dengan beton normal seiring dengan bertambahnya kadar kaca dalam menggantikan agregat kasar.

- a) Secara umum didapati pengurangan kuat tekan seiring dengan peningkatan kadar penggantian agregat kasar kaca hingga kadar 50%. Pengurangan paling banyak terjadi sampai 7 Mpa pada sampel kadar 50%, namun masih memenuhi target kuat tekan 25 MPa.
- b) Terjadi kenaikan kuat lentur yang cukup signifikan (hingga mencapai 63.45% pada sampel kadar kaca 30%) dari penggunaan agregat kasar kacapada campuran beton. Menurut studi kepustakaan, kaca memiliki kuat tarik praktis hingga 50-60 MPa¹, jauh diatas beton normal, mortar, maupun batu alam yang hanya sekitar 3 MPa². Peningkatan kuat lentur beton ini sedikit banyak merupakan sumbangsih dari tahanan tarik yang diberikan oleh agregat kaca.
- c) Dari segi penyusutan, didapatkan hasil bahwa beton yang menggunakan agregat kasar kaca memiliki susut yang lebih

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_strength

² http://www.geocities.com/unforbidden_geology/rock_properties.htm

kecil daripada beton normal. Penyusutan paling kecil didapatkan dari beton beragregat kaca 50%, yaitu hanya sekitar 30% dari penyusutan beton normal. Hal ini merupakan akibat tingkat absorpsi kaca yang mendekati nol, sehingga dapat dikatakan kaca tidak menyerap air sehingga tidak terpengaruh oleh efek susut yang merupakan fenomena pelepasan air dari beton.

- d) Selama penelitian juga ditemukan bahwa agregat kasar kaca bisa dibuat dengan parameter-parameter yang terkontrol, sehingga gradasi butiran yang didapat konsisten dan bisa dimanufaktur sesuai kebutuhan.

Demikianlah hasil-hasil yang didapat dari penelitian ini. Kaca, terlepas dari berbagai kekurangan dan kelebihan dalam menggantikan agregat kasar alami, dapat menjadi alternatif pengganti sebagian agregat kasar alami.

Kaca hijau yang digunakan dalam penelitian ini, telah terbukti aman dari efek buruk ASR oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Implementasi kaca hijau dalam beton untuk kepentingan struktural adalah hal yang diuji oleh penelitian ini. Dari segi kuat tekan, kuat lentur dan shrinkage yang didapat, terbukti bahwa kaca hijau bisa digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar alam, terlepas dari kekurangan yang ada. Di masa depan, bukannya tidak mungkin penggunaan material kaca hijau dalam produksi beton untuk konstruksi menjadi alternatif yang baik untuk memberdayakan timbunan sampah kaca di seluruh dunia sekaligus mengurangi ketergantungan industri konstruksi terhadap agregat alam.

5.2. SARAN & USULAN PENELITIAN SELANJUTNYA

Adapun saran yang dapat disampaikan dalam hal penyempurnaan dan/atau kelanjutan riset yang senada dengan topik riset ini dapat dirangkum kedalam poin-poin berikut:

- a) Penggunaan kaca dalam komponen struktural beton bertulang dapat menjadi suatu bahan untuk didalami lebih

lanjut dalam kaitannya dengan skripsi ini. Disini, interaksi agregat kaca dengan beton bertulang khususnya tulangan bajanya juga dapat diteliti lebih lanjut.

- b) Pengurangan kuat tekan mungkin dalam implementasi di lapangan atau riset berikutnya dapat diakali dengan sedikit mengurangi W/C ratio dalam mix-design untuk mengkompensasi penurunan kuat tekan.
- c) Ketahanan beton beragregat kaca dalam kaitannya dengan bahaya kebakaran perlu diteliti lebih lanjut mengingat kaca adalah bahan yang dapat meleleh pada suhu tinggi, sehingga ada kemungkinan agregat kaca meleleh pada suhu tertentu dan mengakibatkan komponen struktur kehilangan kekuatan.
- d) Pengujian dinamik komponen struktur beton beragregat kaca merupakan hal yang dapat dilakukan untuk memperdalam pengertian mengenai perilaku beton beragregat kaca khususnya dalam penggunaannya untuk sektor transportasi.
- e) Pengujian susut beton beragregat kaca dalam penelitian-penelitian selanjutnya sebaiknya juga membandingkan dengan hasil pengukuran dengan metode alat *comparator* horizontal yang tidak memerlukan pemindahan sampel susut setiap kali diukur. Hal ini disebabkan oleh penggunaan *comparator* vertikal yang ditakutkan rentan *human error*. Hasil dari pembacaan *comparator* horizontal dapat digunakan sebagai perbandingan untuk menambah validitas. Dalam penelitian ini, alat tersebut tidak digunakan karena keterbatasan jumlah alat yang tersedia.
- f) Penggunaan agregat kaca (baik kasar maupun halus) dalam beton bermutu tinggi atau jenis beton lainnya yang berperforma khusus (seperti *Self Compacting Concrete*, misalnya) juga dapat menjadi alternatif topik penelitian

yang menarik dan realistis, selama bisa dibuktikan bahwa kuat tekan kaca memang memungkinkan untuk penggunaan demikian.

- g) Penelitian mengenai *stress & strain curve* beton agregat kasar kaca perlu dilakukan untuk mengetahui perilaku lebih rinci dari beton ini.
- h) Pengamatan mengenai *creep* (rangkak) beton agregat kasar kaca juga dapat diteliti lebih lanjut dalam membahas perilaku pembebanan jangka panjang beton ini.
- i) Karena grading agregat kasar kaca dalam penelitian ini belum terlalu diperhatikan kompatibilitasnya dengan standar ASTM yang ada, dalam penelitian berikutnya grading agregat kasar kaca yang digunakan dapat menggunakan yang sesuai standar atau bahkan meneliti lebih lanjut pengaruh variasi grading agregat kasar kaca yang digunakan. Hal ini juga didukung adanya metode pembuatan agregat kasar kaca yang konsisten, sehingga untuk kedepannya grading agregat kasar kaca dapat direkayasa sesuai kebutuhan penelitian.
- j) Karena terdapat hasil beberapa sampel yang kurang konsisten akibat terbatasnya jumlah sampel dan kondisi lingkungan yang kurang ideal (seperti susut sampel 30% yang lebih tinggi dari 20% padahal seharusnya lebih rendah, kuat tekan yang sedikit menurun dihari ke-56 dll.), kiranya dapat diteliti lebih lanjut pengaruh jangka panjang dari kaca dalam kondisi lingkungan penelitian yang lebih ideal dan jumlah sampel yang lebih banyak sehingga hasilnya bisa lebih representatif.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. "Annual Book Of ASTM Standards 2005, Section Four :
Construction Vol 04-02"

C. Meyer, N. Egesi, and C. Andela, "Concrete with Waste Glass as Aggregate"

Handbook RTH 203-80, "Method of Test For Direct Shear Strength of Rock
Specimens". <http://www.wes.army.mil>

http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_strength

http://www.cement.org/tech/faq_flexural.asp

<http://www.civil.columbia.edu/meyer> . *Concrete Materials Research at Columbia
University*. Columbia University in the City of New York

http://www.columbia.edu/cu/record/archives/vol29/vol29_iss10/Pg.7-2910.pdf "A
Green Window into the Urban Future: Glass Concrete"

<http://www.csiro.au/files/mediaRelease/mr2002/glassandconcrete.htm> "Making
concrete with glass - now possible"

http://www.geocities.com/unforbidden_geology/rock_properties.htm

http://www.hawaiiasphalt.com/HAPI/modules/05_materials/05_aggregate.htm

[http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=AD0
702397](http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=AD0702397)

http://www.ocrwm.doe.gov/documents/rpa451m3_t/index.htm

http://www.ocrwm.doe.gov/documents/rpa451m3_t/tables/t_2.htm

<http://www.patentstorm.us/patents/5810921-claims.html> "United States Patent
5810921, Use of waste glass in concrete"

<http://www.patentstorm.us/patents/6802896/description.html>

http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Matter/Glass.html

J . Chu , C . Chiang , H . Wijaya , R . Huang , C . Wu , B . Zhang , W . Wang , T . Nieh. “*Compressive Deformation of a bulk Ce-Based Metallic Glass*”. Scripta Materialia , Volume 55 , Issue 3 , Pages 227 – 230.

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TY2-4JYKM1T-6&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=3656df7f68b4e227e587df14c198679a

Kartika, Liany. “Perilaku Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Dengan Menggunakan Semen Tipe PCC (*Portland Composite Cement*) untuk Cetakan Silinder dengan Metode Statistik.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007.

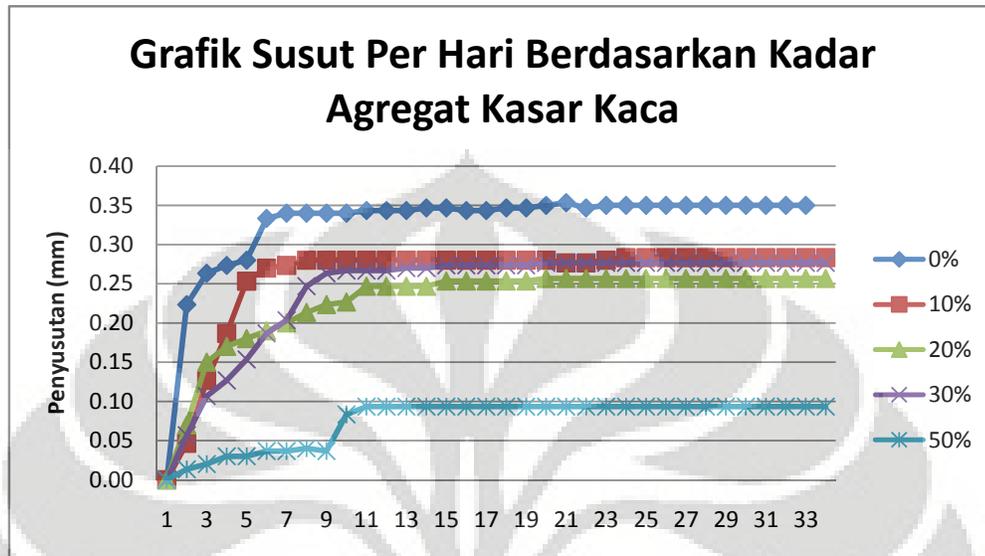
Laboratorium Bahan Jurusan Sipil. *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton* (Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia)

Ruslie, Gunawan Purnomo. *Pengaruh Pemakaian Serat Polypropylene Pada Kapasitas Regangan Tarik Elastis dan Inelastis, Peyerapan Energi, Kuat Geser Serta Sifat Mekanik Lainnya Dari Beton* (Depok: Pascasarjana UI Teknik Sipil Struktur, 1997)

Setiawan, Budiman. *Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca pada Beton ditinjau dari segi Kekuatan dan Shrinkage* (Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2006)

TSCHEGG, E. K. & S. E. TSCHEGG-STANZL. "Compressive fatigue crack growth behaviour of alumina and glass", JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 29 (1994) 2867-2872.

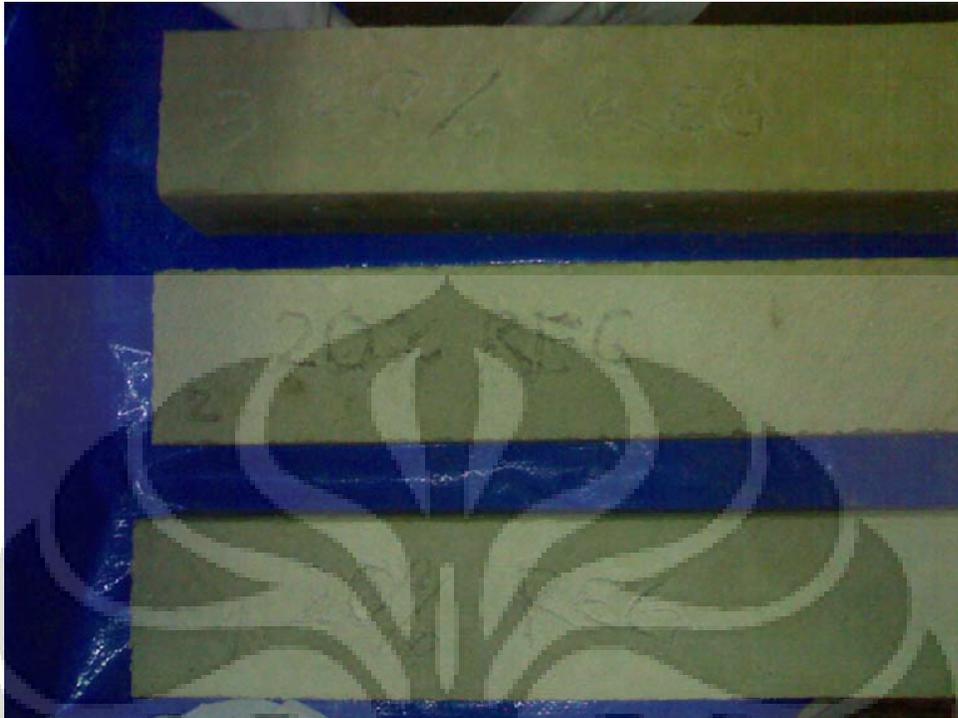
<http://www.springerlink.com/content/j5v45128581wx676/>



Grafik Susut Terakhir



Foto Sampel Lentur Sesaat Sebelum Diukur



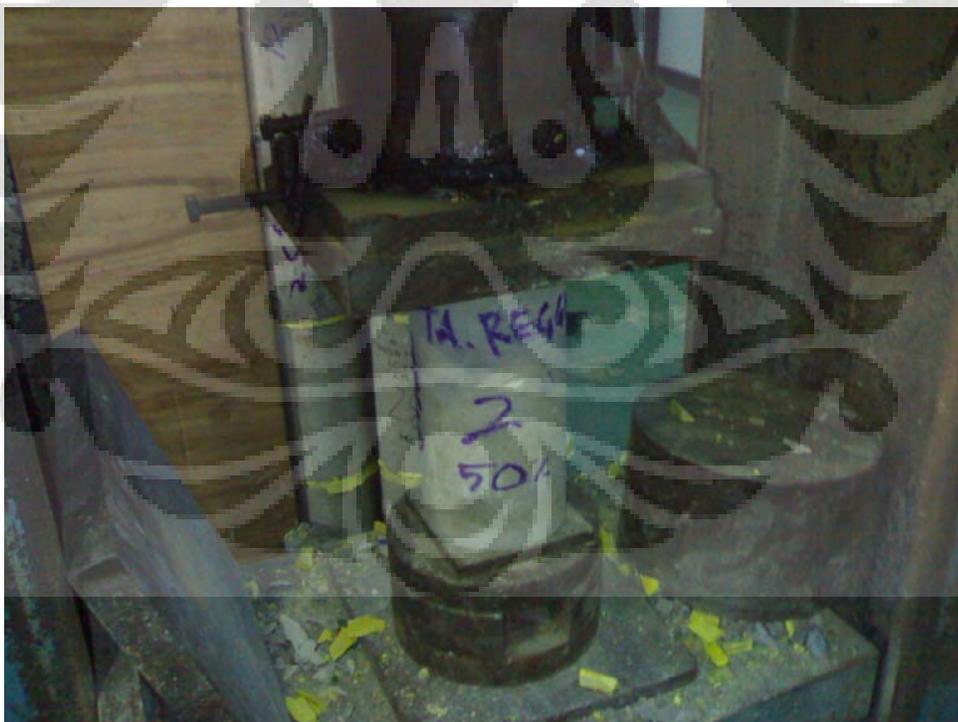
Contoh Labeling Sampel Susut



Pengujian Sampel Tekan 50% no. 3



Pengujian sampel tekan 50% no.1



Pengujian sampel tekan 50% no.2



Contoh keruntuhan dini akibat capping miring (kuat tekan lebih rendah dari biasanya)



Detail keruntuhan capping miring



Contoh agregat kaca yang patah/mengalami kegagalan



Contoh agregat kaca yang terlepas secara utuh dari mortarnya



Contoh pengujian lentur Third-point loading (tampak sampel 20% sedang diuji)



Sampel lentur sesaat setelah dikeluarkan dari kolam curing (tampak sampel 30%)



Sampel lentur 30% sesaat setelah dicor



Pengujian sampel lentur 50%



Runtuhan sampel 10% dalam penyimpanan pasca pengujian



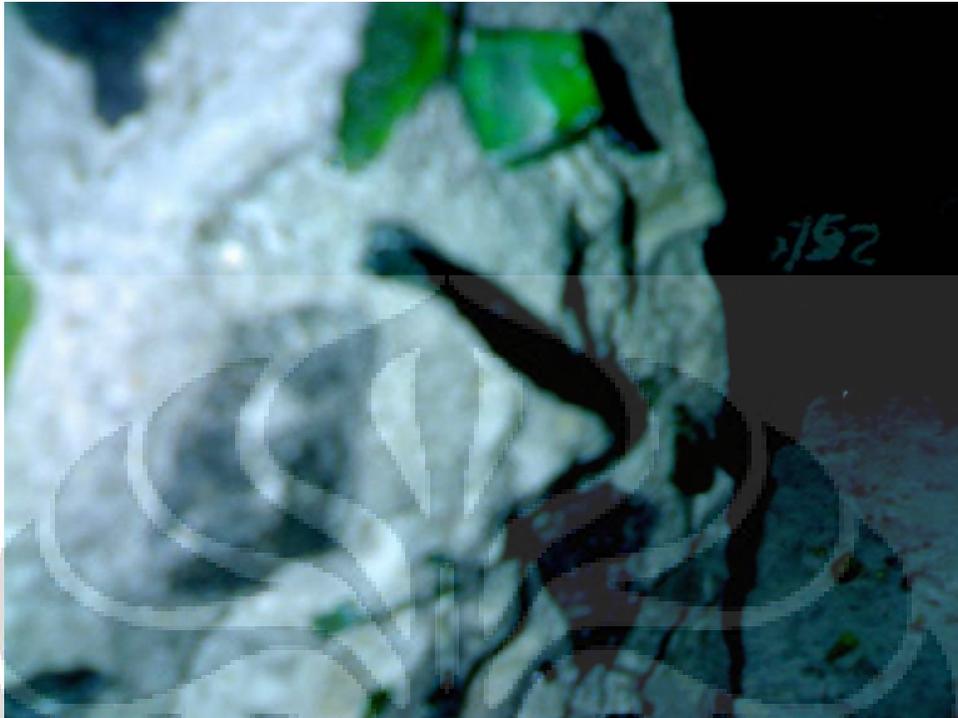
Runtuhan sampel 50% pasca pengujian



Contoh agregat kaca yang terlepas licin dari mortar



Foto dari dekat retakan sampel lentur 50% tampak agregat yang lepas maupun yang patah



Sebuah butiran agregat kaca yang patah pada sampel lentur 50%



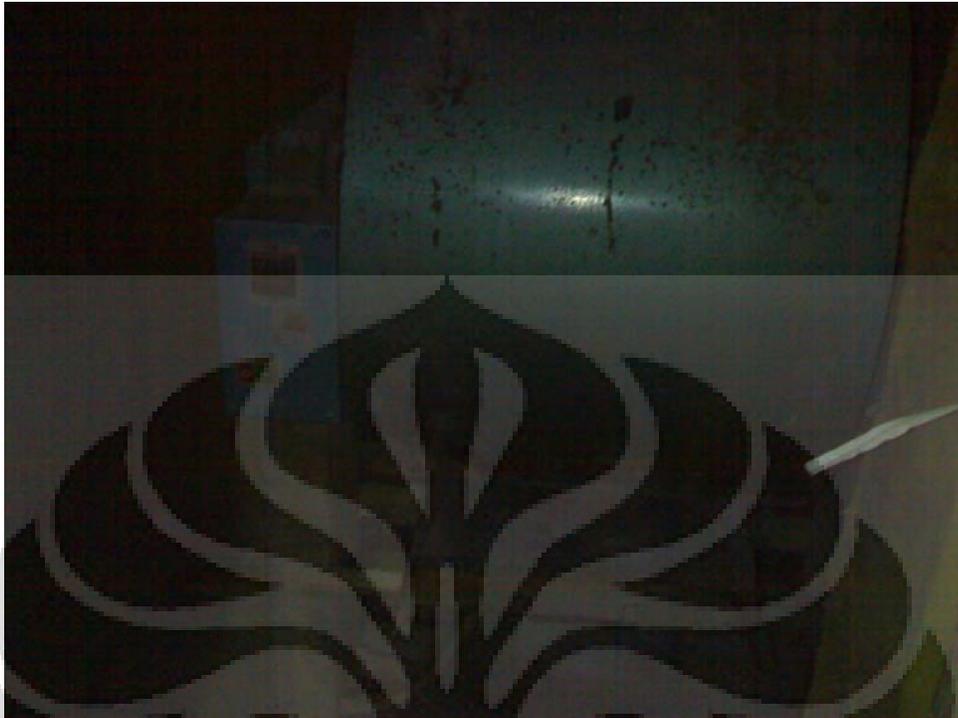
Agregat kasar kaca dalam kondisi siap pakai



Pengayakan kaca hasil gilingan Los Angeles Machine



Kaca yang baru selesai digiling dalam LA Machine



Alat LA Machine milik Lab Struktur dan Material FTUI



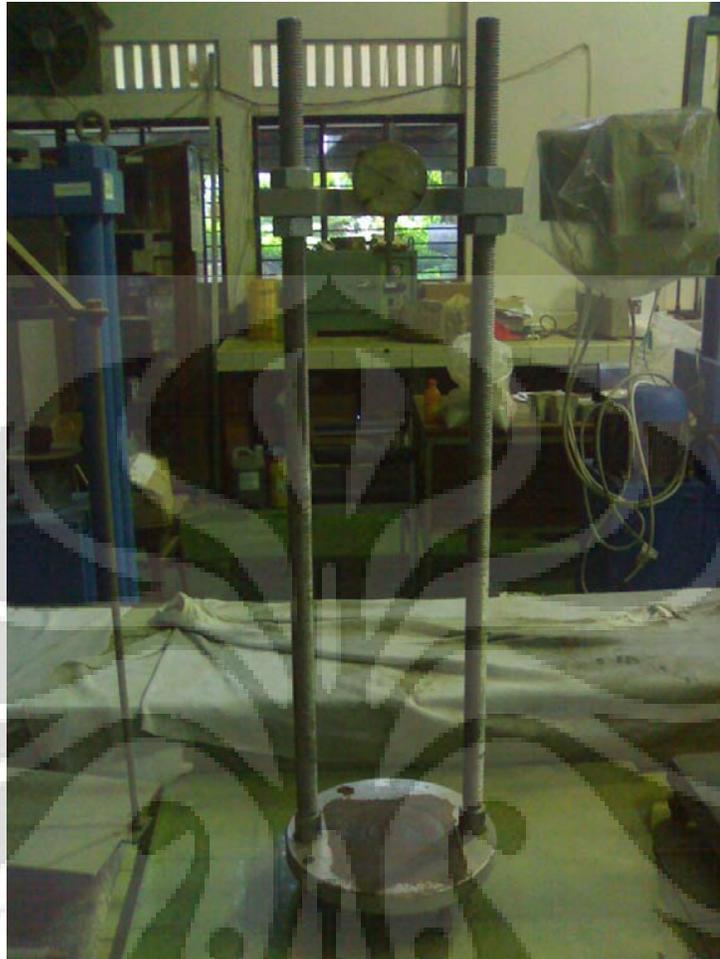
Peringatan safety di pintu alat LA Machine



Sampel kaca hijau, coklat, dan bening untuk uji XRF FMIPA-UI (hasil terlampir)



Indikator suhu dan kelembaban ruangan milik Lab Struktur dan Material FTUI



Komparator untuk pengukuran shrinkage

Tabel Lengkap Pengujian Lentur

Kadar	A (cm ²)	t	tgl cor	slump	koreksi air	test hr	bavg	berat jenis (kg/m ³)	pavg (kg)	fc' (Kg/cm ²)	fc' (Mpa)	fc' (28hr) kg/cm ²	fc' (28hr) Mpa	ket
0%	176.625	30	14/3/08	10	0	3	12591.67	2376.35	34333.33	194.39	19.44	431.97	43.20	v1 trial
	176.625	30				7		-	49416.67	279.78	27.98	399.69	39.97	v1 trial
	78.5	20				14	3768.00	2400.00	22833.33	279.68	27.97	317.82	31.78	
	78.5	20				21	3706.33	2360.72	27250.00	333.78	33.38	351.35	35.13	
	78.5	20				56	3766.00	2398.73	26750.00	327.66	32.77	327.66	32.77	satu sampel hilang di kolam
								2383.95				332.28	33.23	
10%	78.5	20	26/3/08	10	0	3	3809.33	2426.33	11785.67	144.36	14.44	320.80	32.08	
	78.5	20				7	3759.33	2394.48	16250.00	199.04	19.90	284.35	28.43	
	78.5	20				14	3766.33	2398.94	23750.00	290.91	29.09	330.58	33.06	capping miring
	78.5	20				28	3839.00	2445.22	28833.33	353.18	35.32	353.18	35.32	
	78.5	20				56	3788.00	2412.74	25000.00	306.22	30.62	306.22	30.62	
								2415.54				319.03	31.90	
20%	78.5	20	7/4/2008	11	0	3	3761.00	2395.54	16000.00	195.98	19.60	435.52	43.55	
	78.5	20				7	3703.33	2358.81	14000.00	171.48	17.15	244.98	24.50	
	78.5	20				14	3757.67	2393.42	24500.00	300.10	30.01	341.02	34.10	
	78.5	20				28	3778.00	2406.37	25250.00	309.28	30.93	309.28	30.93	
	78.5	20				56	3764.00	2397.45	27500.00	336.84	33.68	336.84	33.68	satu sampel hilang di kolam
								2390.32				333.53	33.35	
30%	78.5	20	22/4/2008	12	200ml	3	3708.00	2361.78	16416.67	201.09	20.11	446.86	44.69	
	78.5	20				7	3726.67	2373.67	13333.33	163.32	16.33	233.31	23.33	

	78.5	20				14	3429.33	2184.29	19916.67	243.96	24.40	277.22	27.72	
	78.5	20				28	3682.33	2345.44	24250.00	297.04	29.70	297.04	29.70	capping miring
	78.5	20				56	3718.00	2368.15	22500.00	275.60	27.56	275.60	27.56	capping miring
								2326.67				306.01	30.60	
50%	78.5	20	6/5/2008	9	0	3	3643.67	2320.81	17166.67	210.27	21.03	467.27	46.73	
	78.5	20				7	3679.67	2343.74	21333.33	261.31	26.13	373.30	37.33	
	78.5	20				14	3698.67	2355.84	17833.33	218.44	21.84	248.23	24.82	
	78.5	20				28	3683.67	2346.28	20750.00	254.16	25.42	254.16	25.42	
	78.5	20				56	3716.67	2367.30	21666.67	265.39	26.54	265.39	26.54	
								2346.79				321.67	32.17	



