

809/FT.01/SKRIP/07/2008

**BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN
MENGUNAKAN LIMBAH BETON SEBAGAI
AGREGAT KASAR DAN LIMBAH KACA SEBAGAI
BAHAN TAMBAHAN (*FILLER*) DALAM BETON**

SKRIPSI

Oleh

ERWIN RIDUAN
04 04 01 021 X



**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

809/FT.01/SKRIP/07/2008

**BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN
MENGUNAKAN LIMBAH BETON SEBAGAI
AGREGAT KASAR DAN LIMBAH KACA SEBAGAI
BAHAN TAMBAHAN (*FILLER*) DALAM BETON**

SKRIPSI

Oleh

ERWIN RIDUAN
04 04 01 021 X



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

809/FT.01/SKRIP/07/2008

**ENVIRONMENTAL CONCRETE USING WASTE
CONCRETE AS COARSE AGGREGATE AND
WASTE GLASSES AS FILLER IN THE CONCRETE
MIX**

THESIS

By :

ERWIN RIDUAN

04 04 01 021 X

**THIS THESIS WAS EXECUTED TO FULFILL GRADUATION
REQUIREMENT FOR ENGINEERING UNDER GRADUATE
STUDY PROGRAM**

**CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
UNDER GRADUATE PROGRAM ENGINEERING
SECOND SEASON YEAR 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH
BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR DAN LIMBAH KACA SEBAGAI
BAHAN TAMBAHAN (*FILLER*) DALAM BETON**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008



Erwin Riduan

NPM 04 04 01 021 X

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

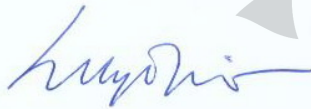
**BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH
BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR DAN LIMBAH KACA SEBAGAI
BAHAN TAMBAHAN (*FILLER*) DALAM BETON**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 11 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juli 2008

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dr.Ir.Elly. Tjahyono, DEA

NIP. 131 944 406

Dr.Ir.Heru Purnomo,DEA

NIP. 131 654 338

Erwin Riduan
NPM 040401021X
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA
Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA

BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN LIMBAH BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR DAN LIMBAH KACA SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN (*FILLER*) DALAM BETON

ABSTRAK

Dalam era saat ini, dimana sedang maraknya dilakukan gerakan peduli lingkungan, penambangan besar-besaran mulai diusahakan untuk dikurangi, sehingga perlu dipikirkan pengadaan jenis sumber agregat baru yang dapat diperbaharui dalam pembuatan beton. Limbah beton dan limbah kaca seringkali menjadi sampah dan berpotensi merusak lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai. Padahal kedua bahan tersebut mempunyai potensi untuk dimanfaatkan, salah satunya sebagai pengganti agregat dalam beton. Jika hal ini dapat dilakukan selain mengurangi pencemaran juga untuk mengurangi penambangan batuan alam untuk agregat.

Pada penelitian kali ini akan dicoba membuat beton dengan menggunakan limbah beton dan limbah kaca dengan target kekuatan beton yaitu $f_c' 25$ MPa. Agregat kasar yang digunakan berasal dari limbah beton yang mempunyai kekuatan rencana $f_c' 35$ MPa. Agregat tersebut akan diuji apakah memenuhi syarat-syarat untuk dapat digunakan sebagai agregat kasar dalam beton. Pada agregat kaca akan dilakukan pengujian yaitu pengujian *X-Ray Flourescent* dimana dari hasil pengujian ini akan didapatkan kandungan kimia dalam kaca untuk menentukan jenis kaca yang akan dipakai. Agregat kaca akan digunakan sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam beton. Jumlah kaca yang ditambahkan ke dalam campuran beton adalah sebesar 10 %, 20 %, 30%, 40%, dari volume agregat halus yang dipakai. Sedangkan limbah beton akan seluruhnya dijadikan sebagai agregat kasar. Pengujian yang dilakukan terhadap beton adalah uji tekan, uji kuat tarik belah dan uji kuat tarik lentur.

Dari hasil penelitian didapatkan limbah beton yang akan dipakai memenuhi semua syarat-syarat yang diperlukan untuk dapat digunakan sebagai agregat kasar dalam beton. Penggunaan kembali limbah beton dari beton yang mempunyai kuat tekan rencana $f_c' 35$ MPa sebagai agregat kasar dalam beton dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan $f_c' 25$ MPa. Penggunaan kaca sebagai *filler* dalam beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga pada kadar tertinggi yang diteliti yaitu 40 %, sedangkan penggunaan limbah kaca sebagai *filler* dapat meningkatkan kekuatan tarik jika pada beton ditambahkan 40 % kaca, dan untuk kuat lentur beton didapatkan kadar optimum penambahan kaca untuk meningkatkan kekuatan lentur pada kadar 30%.

Kata kunci : Limbah beton, Limbah kaca, Kuat tekan beton, Kuat tarik beton, Kuat lentur beton.

Erwin Riduan NPM 040401021X Civil Department Engineering	Consellor Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA
ENVIRONMENTAL CONCRETE USING WASTE CONCRETE AS COARSE AGGREGATE AND WASTE GLASSES AS FILLER IN THE CONCRETE MIX	
ABSTRACT	
<p>At present, in which many of natural conservation having been strictly carried out, mining with huge number have already been reduced so that another alternative of supply aggregate needs to be determined according with the necessity of concrete production. Unbreakable material like concrete waste and glasses waste are usually considered raises any damage to the environment. In fact, those material can be recycled and effectively turn into another alternative of aggregate in concrete production. If the idea above would seriously be implemented, there is no wonder if the excess of natural exploration, and pollution on earth could be reduced.</p> <p>The bottom line of this observation were trying to produced any concrete having pressure strength f_c' about 25 MPa by using concrete waste and glasses waste. Coarse aggregate were came from waste concrete that have plan strength f_c' 35 MPa. It would passed some qualifying test before having been used as aggregate. To determine which kind of glasses would be used as finer, the glasses would passing an <i>X-Ray Flourescent</i>. It is necessary to find out the content of chemical compound in it. glasses serve as a filler in the new concrete product. The number of percentage of glasses in mixing concrete would be 10 %, 20 %, 30%, 40%, from troughout of fine aggregate volume. Whereas the concrete waste would be used as coarse aggregate thoroughly. In the end, the new concrete product must passed some tests as follow : Compression test, splitting test, and flexible strength test.</p> <p>From the observation result would be revealed the waste concrete qualified to be used as coarse aggregate in the new concrete product. The new concrete product is expected to has its plan pressure strength magnitude f_c' 25 MPa. Fourty percent glasses usage as filler in any concrete production will more generate its pressure strength, waste glasses usage will more generate its tensile strength if using 40 % addition glasses, and 30 percent waste glasses usage is the optimum level to generate it's flexible strength.</p>	
Key word : Concrete waste, Glasses waste, Compressive strength, Tensile strength, Flexible strength.	

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1. LATAR BELAKANG	I-1
1.2. POKOK PERMASALAHAN	I-2
1.3. BATASAN MASALAH	I-2
1.4. TUJUAN PENELITIAN	I-3
1.5. HIPOTESIS	I-3
1.6. METODE PENELITIAN	I-3
1.7. SISTEMATIKA PENELITIAN	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1. AGREGAT	II-1
2.1.1. Klasifikasi agregat	II-1
2.1.2 Sifat Fisik Agregat	II-3
2.1.3. Susunan Butiran (gradasi)	II-4

2.1.3.1. <i>Persyaratan gradasi agregat kasar</i>	II-5
2.1.3.2. <i>Persyaratan gradasi agregat halus</i>	II-6
2.1.4. Berat jenis dan (<i>specific gravity</i>) dan Penyerapan air	II-7
2.2. AIR	II-8
2.3. SEMEN PORTLAND	II-9
2.3.1 Komposisi kimia semen	II-9
2.3.2 Jenis-jenis Semen	II-10
2.3.3 Kekuatan Semen	II-11
2.3.4 Waktu pengikatan (<i>setting time</i>)	II-11
2.3.5 Pengaruh kekuatan semen terhadap pencapaian kekuatan	II-12
2.3.6 Pengaruh semen terhadap keawatan beton	II-12
2.4. BETON	II-12
2.4.1 Sifat-Sifat Beton	II-13
2.4.1.1 <i>Kemampuan dikerjakan (Workability)</i>	II-13
2.4.1.2 <i>Waktu pengikatan (setting time)</i>	II-13
2.4.1.3 <i>Kedap air</i>	II-14
2.4.2 Keuntungan dan kerugian pemakaian beton	II-14
2.4.3. Kelas Beton	II-15
2.5. KACA	II-16
2.6. MIX DESIGN	II-21
2.6.1 Metode <i>American Concrete Institute(ACI)</i>	II-21
2.6.2 Metode <i>US. Bureau</i>	II-29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1. STANDAR PENGUJIAN	III-1
3.2. PERALATAN LABORATORIUM	III-5
3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN	III-5
3.4. PENENTUAN DAN PEMERIKSAAN BAHAN	III-6
3.4.1. Pengujian Agregat Halus	III-6
3.4.1.1. <i>Analisa Specific Gravity dan Absorption</i> <i>dari Agregat Halus</i>	III-6

3.4.1.2. <i>Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus</i>	III-8
3.4.1.3. <i>Analisa Saringan Agregat Halus</i>	III-10
3.4.1.4. <i>Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200</i>	III-11
3.4.2. <i>Pengujian Agregat Kasar</i>	III-13
3.4.2.1. <i>Analisa Specific Gravity dan Absorption dari Agregat Kasa</i>	III-13
3.4.2.2. <i>Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar</i>	III-14
3.4.2.3. <i>Analisa Saringan Agregat Kasar</i>	III-15
3.4.2.4. <i>Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles</i>	III-17
3.5. DESAIN KOMPOSISI BENDA UJI (<i>MIX DESIGN</i>)	III-18
PERHITUNGAN DENGAN METODE US. BUREAU	
3.6. PROSEDUR PEMBUATAN BENDA UJI	III-19
3.7. PENGUJIAN TERHADAP BETON	III-21
3.7.1. <i>Pengecekan Slump</i>	III-21
3.7.2. <i>Pengujian kuat lentur beton</i>	III-22
3.7.3. <i>Pengujian kuat tekan beton</i>	III-23
3.7.4. <i>Pengujian kuat tarik belah beton</i>	III-24
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISA	IV-1
4.1. ANALISA LIMBAH BETON	IV-1
4.1.1. <i>Berat Jenis dan Penyerapan air</i>	IV-1
4.1.2. <i>Berat Isi dan Rongga udara</i>	IV-2
4.1.3. <i>Analisa saringan</i>	IV-2
4.1.4. <i>Kekerasan Agregat</i>	IV-2
4.2. ANALISA LIMBAH KACA	IV-3
4.2.1. <i>Teknik Pemecahan Limbah Kaca</i>	IV-3
4.2.2. <i>Analisa Kandungan Kimia Dalam Kaca</i>	IV-7
4.3. HASIL DAN ANALISA HASIL TES TEKAN BETON	IV-9
4.3.1. <i>Hasil Tes Tekan Beton</i>	IV-9
4.3.2. <i>Analisa</i>	IV-18

4.4. HASIL DAN ANALISA HASIL TES TARIK BETON	IV-23
4.4.1 Hasil Tes Tarik Beton	IV-23
4.4.2. Analisa	IV-31
4. 5. HASIL DAN ANALISA HASIL TES KUAT LENTUR BETON	IV-35
4.5.1. Hasil Tes Kuat Lentur Beton	IV-35
4.5.1. Analisa	IV-37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1. KESIMPULAN	V-1
5.2. SARAN	V-2
DAFTAR PUSTAKA	1
DAFTAR ACUAN	2
LAMPIRAN A	4
LAMPIRAN B	20

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk agregat (bulat,irregular, angular, dan pipih)	II-4
Gambar 2.2 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 37.5 mm menurut ASTM C33-03	II-5
Gambar 2.3 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 19 mm menurut ASTM C33-03	II-6
Gambar 2.4 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 12.5 mm menurut ASTM C33-03	II-6
Gambar 2.5 Grafik gradasi agregat halus menurut ASTM C33-03	II-15
Gambar 2.6 3 Komponen penting dalam proses ASR	II-16
Gambar 2.7 Pengaruh kandungan alkali dalam beton terhadap <i>expansion</i> beton	II-17
Gambar 2.8. Hubungan antara Tingkat kelembapan dan Pengembangan beton	II-17
Gambar 2.9 Gel dan retakan pada pori-pori beton	II-19
Gambar 3.1 Skema Pemeriksaan Bahan	III-4
Gambar 3.2. Uji Tes lentur	III-22
Gambar 3.3. Uji Tekan silinder	III-23
Gambar 3.4 Uji tarik belah	III-24
Gambar 4.1 Gradasi Limbah beton	IV-2
Gambar 4.2 Hasil pemecahan limbah beton	IV-3
Gambar 4.3 Hasil pemecahan kaca menggunakan Mesin Los Angeles	IV-4
Gambar 4.4 Gradasi pada kaca	IV-4
Gambar. 4.5 Gradasi pasir dengan penambahan kaca 10 %	IV-5

Gambar 4.6	Gradasi pasir dengan penambahan kaca 20 %	IV-5
Gambar 4.7	Gradasi pasir dengan penambahan kaca 30 %	IV-6
Gambar 4.8	Gradasi pasir dengan penambahan kaca 40 %	IV-6
Gambar 4.9	Sampel beton	IV-9
Gambar 4.10	Grafik kenaikan kekuatan tekan 0 % kaca	IV-12
Gambar 4.11	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 0 % kaca	IV-12
Gambar 4.12	Grafik kenaikan kekuatan tekan 10 % kaca	IV-13
Gambar 4.13	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 10 % kaca	IV-13
Gambar 4.14	Grafik kenaikan kekuatan tekan 20 % kaca	IV-14
Gambar 4.15	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 20 % kaca	IV-14
Gambar. 4.16	Grafik kenaikan kekuatan tekan 30 % kaca	IV-15
Gambar. 4.17	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 30 % kaca	IV-15
Gambar. 4.18	Grafik kenaikan kekuatan tekan 40 % kaca	IV-16
Gambar. 4.19	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 40 % kaca	IV-16
Gambar. 4.20	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan tiap kadar	IV-17
Gambar. 4.21	Grafik gabungan kenaikan kekuatan tekan tiap kadar	IV-17
Gambar 4.22	Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan	IV-19
Gambar 4.23	Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan kadar 0-10 %	IV-20
Gambar 4.24	Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan kadar 0-20 %	IV-20
Gambar 4.25	Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan kadar 0-30 %	IV-21
Gambar 4.26	Grafik kenaikan kekuatan tarik 0 % kaca	IV-25
Gambar 4.27	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 0 % kaca	IV-26
Gambar 4.28	Grafik kenaikan kekuatan tarik 10 % kaca	IV-26
Gambar 4.29	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 10 % kaca	IV-27
Gambar 4.30	Grafik kenaikan kekuatan tarik 20 % kaca	IV-27
Gambar 4.31	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 20 % kaca	IV-28
Gambar 4.32	Grafik kenaikan kekuatan tarik 30 % kaca	IV-28
Gambar 4.33	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 30 % kaca	IV-29
Gambar 4.34	Grafik kenaikan kekuatan tarik 40 % kaca	IV-29
Gambar 4.35	Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 40 % kaca	IV-30

Gambar 4.36	Grafik kenaikan kekuatan tarik kaca tiap kadar	IV-30
Gambar 4.37	Grafik gabungan kenaikan kekuatan tarik semua kadar	IV-31
Gambar 4.38	Grafik kenaikan tegangan lentur kaca	IV-36
Gambar 4.39	Grafik rata-rata kenaikan tegangan lentur semua kadar	IV-36
Gambar 4.40	Grafik hubungan kuat tekan dan lentur	IV-38



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Syarat besar butir agregat kasar	II-5
Tabel 2.2 Syarat besar butir agregat halus	II-6
Tabel 2.3 Komposisi kimia semen	II-9
Tabel 2.4. Komposisi senyawa semen	II-10
Tabel 2.5 Sifat-sifat komponen semen	II-11
Tabel 2.6 Kelas beton	II-15
Tabel 2.7 Nilai Standar Deviasi	II-23
Tabel 2.8 Syarat Slump untuk Berbagai Konstruksi Menurut ACI	II-24
Tabel 2.9 Ukuran Maksimum Agregat	II-24
Tabel 2.10 Perkiraan Air Campuran dan Persyaratan Kandungan Udara untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum	II-25
Tabel 2.11 Nilai Faktor Air Semen	II-27
Tabel 2.12 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton	II-28
Table 2.13 Estimasi Berat Awal Beton Segar	II-29
Tabel 2.14 Ukuran Agregat Maksimum	II-30
Tabel 2.15 Standar Slump Beton untuk Beberapa Pekerjaan	II-31
Tabel 2.16 Penentuan Jumlah Air Berdasarkan S/A	II-32
Tabel 2.17 Kekuatan Berdasarkan WCR	II-32
Tabel 2.18 Faktor yang Mempengaruhi Proporsi Beton	II-33
Tabel 2.19 Konstanta t Berdasarkan Persentase Kuat Tekan Rencana	II-36
Tabel 3.1 Jumlah sampel kuat tekan	III-2
Tabel 3.2 Jumlah sampel kuat tarik	III-3
Tabel 3.3 Jumlah sampel kuat lentur	III-3

Tabel 3.4 Ukuran Agregat Maksimum	III-11
Tabel 3.5 Penyesuaian nilai S/a dan W	III-18
Tabel 4.1 Hasil pengujian limbah beton	IV-1
Tabel 4.2 Kandungan kaca berwarna merah	IV-7
Tabel 4.3 Kandungan kaca berwarna hijau	IV-8
Tabel 4.4 Kandungan kaca berwarna bening	IV-8
Tabel 4.5 Kekuatan tekan beton kadar 0 % kaca	IV-9
Tabel 4.6 Kekuatan tekan beton kadar 10 % kaca	IV-10
Tabel 4.7 Kekuatan tekan beton kadar 20 % kaca	IV-10
Tabel 4.8 Kekuatan tekan beton kadar 30 % kaca	IV-11
Tabel 4.9 Kekuatan tekan beton kadar 40 % kaca	IV-11
Tabel 4.10 Persen kenaikan kekuatan tekan terhadap kadar kaca 0 %	IV-18
Tabel 4.11 <i>Water-Cement Ratio</i> yang terjadi	IV-22
Tabel 4.12 Kekuatan tarik beton kadar 0 % kaca	IV-23
Tabel 4.13 Kekuatan tarik beton kadar 10 % kaca	IV-24
Tabel 4.14 Kekuatan tarik beton kadar 20 % kaca	IV-24
Tabel 4.15 Kekuatan tarik beton kadar 30 % kaca	IV-24
Tabel 4.16 Kekuatan tarik beton kadar 40 % kaca	IV-25
Tabel 4.17 Hubungan kuat tekan dan tarik	IV-31
Tabel 4.18 Tegangan Lentur beton tiap kadar	IV-35
Tabel 4.19 Hubungan kuat tekan dan kuat lentur beton	IV-37

DAFTAR SINGKATAN



ASR	<i>Alkali silica Reaction</i>
ALWA	<i>Artificial light weight aggregate</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
SNI	Standar nasional Indonesia
SII	Standar Industri Indonesia
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
SSD	<i>saturated surface dry</i>
MPA	Mega Pascal
FM	<i>Fine Modullus</i>
XRF	<i>X-Ray Flourescent</i>
Kg	kilogram
WCR	Water Cement Ratio
Sd	Standar deviasi
PCC	<i>Portland Composite Cement</i>
C	<i>Cement</i>
W	<i>water</i>
CA	<i>Coarse Aggregate</i>
S	<i>Sand</i>

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Dimensi
f_c'	Kuat Tekan Beton	<i>MPa</i>
σ	Kuat Tekan Beton	<i>MPa</i>
f_t	Kuat Tarik Beton	<i>Mpa</i>
f_{lt}	Kuat Lentur Beton	<i>MPA</i>
L	Panjang	<i>m</i>
σ_w	<i>Target Strength</i>	<i>kg/cm²</i>
σ_{ds}	<i>Standard Design Strength</i>	<i>kg/cm²</i>
w	<i>Weight</i>	<i>kg</i>
n	Jumlah sampel yang diuji	-
t	Konstanta	-
V	<i>Coefficient of Variation</i>	-

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Limbah beton yang dihasilkan dari pengujian di laboratorium maupun pembongkaran bangunan biasanya tidak mempunyai kegunaan lagi, padahal volume limbah ini biasanya cukup besar dan bisa mengganggu lingkungan jika dibiarkan saja. Sampai saat ini masyarakat masih jarang sekali menggunakannya untuk pembuatan bahan bangunan kembali, baik itu sebagai agregat untuk perkerasan jalan maupun agregat beton, padahal jika hal ini dapat dilakukan selain mengurangi pencemaran juga bisa untuk menghemat penggunaan bahan bangunan alami yang pada akhirnya adalah mengurangi penambangan batuan alam untuk agregat karena bisa digantikan dari limbah beton. Daur ulang dari limbah kaca pun menjadi masalah belakangan ini karena kaca adalah bahan yang tidak mudah terurai sehingga diperlukan banyak biaya untuk mengolahnya kembali. Tertarik dengan kedua masalah tersebut sehingga dalam penelitian ini akan diteliti pemakaian limbah beton sebagai agregat kasar dalam beton dan kaca sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam beton.

1.2. POKOK PERMASALAHAN

Dalam penelitian ini akan dibahas beberapa masalah antara lain :

- a) Apakah sifat-sifat fisik limbah beton memenuhi syarat untuk dijadikan agregat kasar dalam beton?
- b) Bagaimana pengaruh pemakaian limbah beton dan penambahan kaca sebagai *filler* dalam beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat tarik lentur beton bila dibandingkan dengan beton normal?

1.3. BATASAN MASALAH

Pada penelitian ini akan dibuat sampel benda uji dengan 4 buah jenis kandungan kaca yang berbeda, yaitu sebesar 10% , 20% , 30% , dan 40 % dari volume agregat halus yang digunakan. Batasan-batasan yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Beton didesain dengan $f_c' 25$ MPa.
2. Limbah beton akan digunakan sebagai agregat kasar dalam beton
3. Kaca digunakan sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam beton
4. Untuk pengujian kuat tekan beton total dibuat sampel sebanyak 45 buah
5. Untuk pengujian kuat tarik belah beton total dibuat sampel sebanyak 30 buah
6. Untuk pengujian kuat tarik lentur beton total dibuat sampel sebanyak 15 buah
7. Limbah beton diambil dari sisa hasil pengujian kuat tekan pada laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan kuat rencana $f_c' 35$ MPa
8. Bahan kaca didapatkan dari sisa botol minuman Heineken dan bir Bintang
9. Percobaan dilakukan di laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

- a) Mempelajari sifat fisik limbah beton sebagai agregat kasar
- b) Mempelajari pengaruh pemakaian kembali limbah beton sebagai agregat kasar dalam beton dan penambahan kaca sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur beton
- c) Memanfaatkan kembali limbah kaca dan beton sehingga mempunyai nilai guna kembali.

1.5. HIPOTESIS

Dengan menggunakan kembali limbah beton yang berasal dari beton yang mempunyai kuat rencana f_c' 35 MPa sebagai agregat kasar pada beton, kita dapat membuat beton baru dengan kualitas f_c' 25 MPa dengan menggunakan teknik tertentu dalam pemecahan limbah beton yang akan digunakan. Penggunaan agregat kaca sebagai bahan tambahan dalam beton dapat meningkatkan kualitas beton dalam hal kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton, karena kaca yang digunakan digiling sampai halus sehingga dapat mengisi rongga-rongga yang terdapat dalam beton.

1.6. METODE PENELITIAN

Metode penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah pertama dengan mengumpulkan referensi-referensi teori dari penelitian serupa lalu mengumpulkan data awal berupa pengalaman yang pernah dilakukan serta pengetahuan mengenai material limbah beton dan limbah kaca. Berdasarkan data awal tersebut selanjutnya menentukan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan selanjutnya untuk membuktikan kebenaran dari hipotesa yang dibuat dengan melakukan pengujian di laboratorium.

1.7. SISTEMATIKA PENELITIAN

- Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang penelitian, pokok permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, hipotesis serta metode penelitian.

- Bab II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan dan spesifikasi bahan yang akan digunakan untuk campuran beton yang disertai dengan referensi-referensinya.

- Bab III Metodologi Penelitian

Menjelaskan metodologi penelitian yang dipakai pada setiap percobaan yang akan dilakukan.

- Bab IV Hasil Penelitian dan Analisa

Memaparkan hasil-hasil dari penelitian yang telah dilakukan serta membahas hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

Merupakan rangkuman dari seluruh bab yang berupa kesimpulan dari hasil analisa dan percobaan data-data hasil penelitian. Serta saran yang dapat diberikan untuk perkembangan konstruksi ke depannya yang sifatnya membangun.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. AGREGAT

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 hidrolik atau adukan¹. Agregat untuk beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

2.1.1. Klasifikasi agregat

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

¹ “Mutu dan Cara Uji Agregat Beton”, Standar Industri Indonesia No 0052-80

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 diameter butiran, agregat dibagi menjadi 2 bagian, yaitu :

a. Agregat halus, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200. Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih, bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering, serta memenuhi persyaratan sebagai berikut ;

- 1) Nilai *Sand Equivalent* minimum 50 (AASHTO-T-1176)
- 2) Penyerapan agregat terhadap air maksimum 3 % (ASTM C-128-04)
- 3) Berat jenis curah (*Bulk*) minimum 2.5 (ASTM C-29M-2003)

b. Agregat kasar, yaitu agregat yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering kuat, awet, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Jumlah butir yang tertahan saringan No. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (*visual*) : minimum 50 % (khusus untuk kerikil pecah)
- 2) Indeks kepipihan butiran yang tertahan saringan 9.5 mm (3/8") maksimum 25%
- 3) Penyerapan air maksimum 3 % (ASTM C-127-04)
- 4) Berat jenis curah minimum 2.5 % (ASTM C-29M-2003)
- 5) Bagian yang lunak maksimum 5% (AASHTO T-189)

Berdasarkan Berat, agregat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu²:

² Concrete for Construction, V K Raina, 1993

- a. Agregat ringan, dinamakan agregat ringan jika setelah jadi beton menghasilkan berat isi beton antara 0.3 kg/liter sampai 2.2 kg/liter. Agregat ini termasuk batu apung, lempung bekah (ALWA), dan batuan lain yang memiliki berat jenis kurang dari 2.0.
- b. Agregat normal, yaitu agregat yang menghasilkan beton dengan berat isi antara 2.2 kg/liter sampai 2.6 kg/liter. Agregat ini berasal dari batuan yang paling banyak didapat dimuka bumi, diantaranya adalah batuan andesit, granit, batu marmer, batu basalt, dan sebagainya.
- c. Agregat berat, ialah agregat yang setelah jadi beton menghasilkan berat isi beton lebih dari 2.6 kg/liter. Didapat dari batu barit, batu harnatit, atau dapat pula pecahan baja, besi dan bahan lain yang memiliki berat jenis lebih dari 3.0.

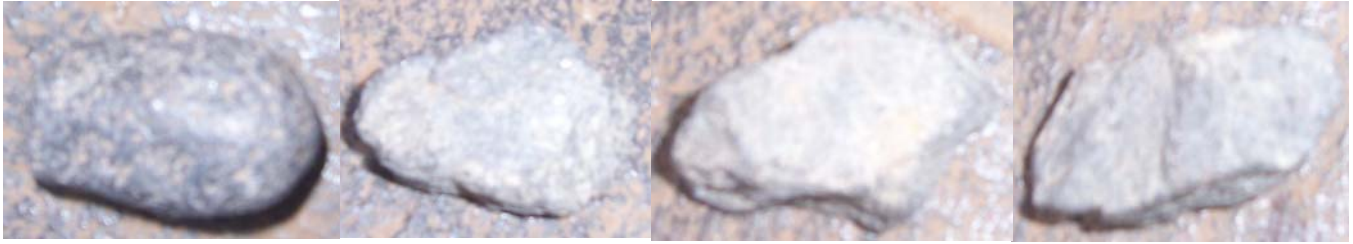
2.1.2 Sifat Fisik Agregat

Sifat fisik dari agregat sangat mempengaruhi sifat pada beton segar dan beton kerasnya, adapun beberapa sifat fisik pada agregat yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

1. Bentuk

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 (*irregular*), agetat ini bentuk permukaan agregatnya hampir 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



Gambar 2.1 Bentuk-Bentuk agregat (bulat,irregular,angular, dan pipih)

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.

2.1.3. Susunan Butiran (gradasi)

Gradasi dalam agregat berpengaruh terhadap kepadatan beton. Untuk menghasilkan beton yang padat, diantara butiran harus saling mengisi. Untuk dapat saling mengisi maka diperlukan variasi butiran agregat dari yang paling besar sampai yang paling kecil. Untuk mengetahui susunan butiran pada agregat dilakukan dengan analisa ayak. Agregat yang akan diuji dimasukkan ke dalam saringan yang telah ditentukan, kemudian saringan tersebut digetarkan selama 10 sampai 15 menit. Agregat yang tertahan pada masing-masing dianalisa, kemudian hasilnya dibandingkan dengan persyaratan atau spesifikasi yang ada

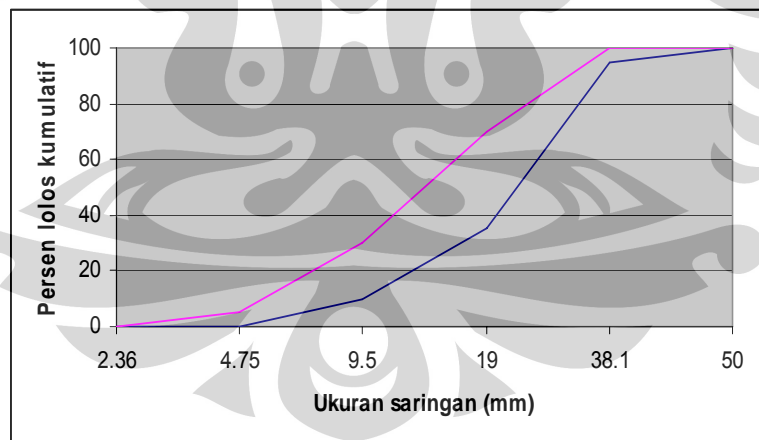
Syarat susunan butiran agregat untuk beton telah diatur dalam peraturan-peraturan seperti SK-SNI, ASTM dan British Standard. Menurut standar tersebut, gradasi agregat harus memenuhi syarat seperti tersebut di bawah ini.

2.1.3.1. Persyaratan gradasi agregat kasar

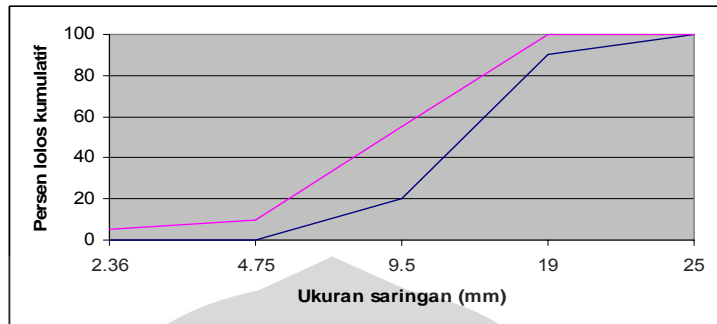
Menurut ASTM C 33-03 syarat besar butir agregat kasar adalah sebagai berikut

Tabel 2.1 Syarat besar butir agregat kasar

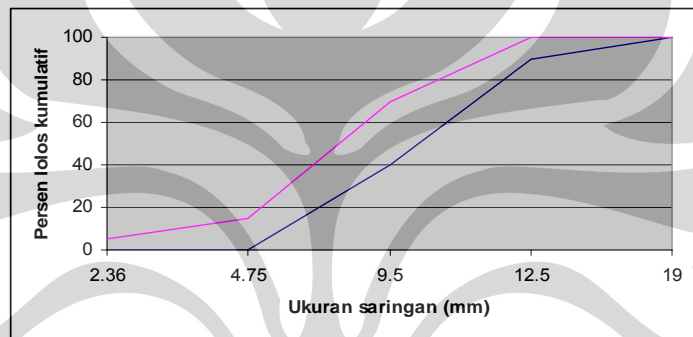
Lubang ayakan (mm)	Persyaratan tembus kumulatif menurut ASTM C 33-03		
	37.5-4.75 mm	19.0-4.75 mm	12.5-4.75 mm
50	100	-	-
38.1	95-100	-	-
25	-	100	-
19	35-70	90-100	100
12.5	-	-	90-100
9.5	10-30	20-55	40-70
4.75	0-5	0-10	0-15
2.36	-	0-5	0-5



Gambar 2.2 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 37.5 mm menurut ASTM C33-03



Gambar 2.3 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 19 mm menurut ASTM C33-03



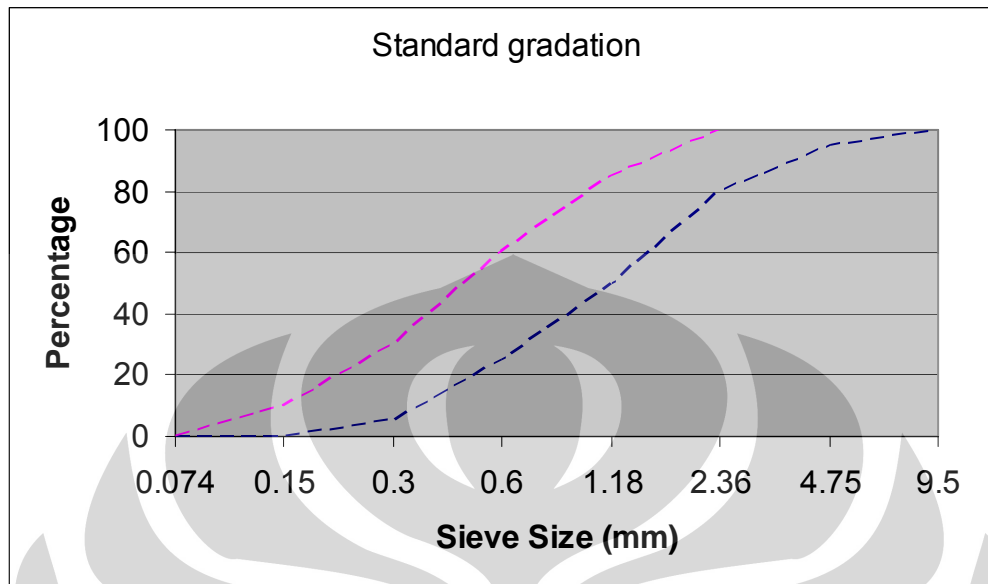
Gambar 2.4 Grafik gradasi agregat kasar diameter nominal 12.5 mm menurut ASTM C33-03

2.1.3.2. Persyaratan gradasi agregat halus

Menurut ASTM C 33-03 syarat besar butir agregat halus adalah sebagai berikut

Tabel 2.2 Syarat besar butir agregat halus

Sieve No.	Percent passing
9.5-mm (3/8-in)	100
4.75-mm (No.4)	95-100
2.36-mm (No.8)	80-100
1.18-mm (No.16)	50-85
600- μ m (No.30)	25-60
300- μ m (No.50)	0-30
150- μ m (No.100)	0-10



Gambar 2.5 Grafik gradasi agregat halus menurut ASTM C33-03

2.1.4. Berat jenis dan (*specific gravity*) dan Penyerapan air

Berat dari beton sangat dipengaruhi oleh berat jenis agregat yang digunakan. Berat jenis agregat juga sangat menentukan terhadap metode rancangan campuran (*mix design*) yang akan dipakai. Berat jenis pada agregat ada 3 macam, yaitu :

- a. *Bulk Specific Gravity*, adalah perbandingan antara berat suatu benda dalam keadaan kering mutlak dengan berat air murni yang sama dengan volume benda termasuk volume pori-pori yang tidak tembus air dan tidak termasuk volume pori-pori kapiler yang dapat terisi oleh air.
- b. *Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)*, adalah perbandingan antara berat suatu benda pada keadaan jenuh kering muka dengan berat air murni yang sama dengan volume benda termasuk volume pori-pori kapiler yang dapat terisi oleh air.

- c. *Apparent Specific Gravity*, adalah perbandingan antara berat suatu benda dalam keadaan kering mutlak dengan berat air murni yang sama dengan volume benda termasuk seluruh pori-pori yang terkandung didalamnya.

Penyerapan air oleh agregat (*absorption*) adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap air dari keadaan kering mutlak menjadi keadaan SSD. Penyerapan air pada agregat dipengaruhi terutama oleh banyaknya pori, diameter pori, serta kontinuitas pori. Agregat yang memiliki porositas yang tinggi, dan memiliki lubang pori besar serta lubang porinya menerus, penyerapan airnya tinggi.

2.2. AIR

Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, dan juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan³. Proses hidrasi dalam beton segar membutuhkan air kurang lebih 25% dari berat semen yang digunakan, tetapi dalam kenyataan, jika nilai faktor air semen kurang dari 35%, beton segar menjadi tidak dapat dikerjakan dengan sempurna, sehingga setelah mengeras beton yang dihasilkan menjadi keropos dan memiliki kekuatan yang rendah. Kelebihan air dari proses hidrasi diperlukan untuk syarat-syarat kekentalan (*consistency*) agar dapat dicapai suatu kelecakan (*workability*) yang baik. Kelebihan air ini selanjutnya akan menguap atau tertinggal di dalam beton sehingga menimbulkan pori-pori (*capillary poreous*) di dalam beton yang sudah mengeras.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air yang akan digunakan sebagai bahan pencampur beton meliputi kandungan lumpur, maksimal 2 gram/liter, kandungan garam yang dapat merusak beton maksimal 15 gram/liter, tidak mengandung khlorida lebih dari 0.5 gram/liter, serta kandungan senyawa sulfat maksimal 1 gram/liter.

Secara umum, air dinyatakan memenuhi syarat untuk dipakai sebagai bahan pencampur beton apabila dapat menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari

³ www.PU.go.id/Balitbang

90% kekuatan beton yang menggunakan air suling (Tjokrodinuljo, 1996). Secara praktis, air yang baik untuk digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang layak diminum, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa.

2.3. 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 pembentuk semen adalah sebagai berikut:

1. Kapur (CAO)
2. Silika (SiO₂)
3. Alumunium (Al₂O₂)

2.3.1 Komposisi kimia semen⁴

Tabel 2.3 Komposisi kimia semen

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
<i>SO₃</i>	2.0-3.5

Di dalam semen, oksida-oksida tersebut tidak terpisah satu dari yang lainnya melainkan merupakan senyawa-senyawa yang disebut senyawa semen.

⁴ Handbook Standar Nasional Indonesia, Badan Standarisasi Nasional 2006, Jakarta

2.3.2 Jenis-jenis Semen

Semen yang diproduksi di Indonesia dibedakan lima jenis⁵ :

- Jenis 1 (Normal) : semen untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus
- Jenis II (modifikasi) : semen yang mempunyai panas hidrasi sedang atau pelepasan panas yang relative sedikit, untuk penggunaan beton tahan sulfat
- Jenis III : semen yang mempunyai panas hidrasi tinggi, untuk penggunaan beton dengan kekuatan awal tinggi (cepat mengeras)
- Jenis IV : semen yang mempunyai panas hidrasi rendah, biasa digunakan untuk pengecoran dengan volume yang sangat besar
- Jenis V : semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat

Tabel 2.4 Komposisi senyawa semen

Jenis semen	Komposisi							Karakteristik umum
	C3s	C2s	C2A	C2AF	Caso4	CaO	MgO	
Normal, 1	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

⁵ Standar Industri Indonesia (SII) 003181

								terhadap sulfat
--	--	--	--	--	--	--	--	-----------------

2.3.3 Kekuatan Semen

Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa ekristalisasi dalam bentuk *interlocking-Crystal* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan tinggi apabila mengeras. Tabel diatas memperlihatkan kontribusi relatif masing-masing komponen semen dalam mencapai kekuatannya. Kekuatan awal semen portland akan semakin tinggi apabila semakin banyak persentase C2S. C2S mempunyai kontribusi terhadap kekuatan selama beberapa hari sesudah pengecoran karena beban ini yang lebih dahulu mengalami hidrasi. Jika semen Portland dicampur dengan air, maka komponen kapur dilepaskan dari senyawanya. Banyaknya kapur yang dilepaskan ini sekitar 20 % dari berat semen.

Tabel 2.5 Sifat-sifat komponen semen

Komponen	Kelajuan Reaksi	Pelepasan Panas
<i>Trikalsium silikat C3S</i>	Sedang	Sedang
<i>Dikalsium Silikat C2S</i>	Lambat	Kecil
<i>Trikalsium Aluminat C3A</i>	Cepat	Besar
<i>Tetra kalsium aluminoferrat</i>	Lambat	Kecil

2.3.4 Waktu pengikatan (*setting time*)

Semen memiliki sifat mengeras/mengikat bila dicampur dengan air. Waktu pengerasan semen dilakukan dengan menentukan waktu pengikatan awal (*initial setting*) dan waktu pengikatan akhir (*final setting*). Hal yang lebih penting adalah pengikatan awal, yaitu saat semen mulai terkena air hingga mulai terjadi pengikatan/pengerasan. Untuk mengukur waktu pengikatan biasanya digunakan alat Vicat. Bagi jenis semen portland waktu pengikatan awalnya tidak boleh kurang dari

60 menit sejak terkena air. Pada kondisi tertentu, semen portland bisa saja mempunyai waktu ikat awal kurang dari 60 menit, dimana setelah semen dicampur dengan air segera tampak mulai mengeras. Hal ini bisa terjadi karena adanya pengikatan awal palsu yang disebabkan oleh pengaruh gips yang dicampur pada semen, sehingga tidak dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

2.3.5 Pengaruh kekuatan semen terhadap pencapaian kekuatan

Ukuran partikel semen mempunyai pengaruh yang besar terhadap kelajuan reaksi antara semen dengan air. Untuk suatu berat tertentu semen halus, luas permukaan partikel lebih besar daripada semen yang kasar. Ini menyebabkan kecepatan reaksi antara reaksi semen dengan air lebih tinggi, yang artinya proses pengerasan akan lebih cepat untuk luas permukaan yang lebih besar. Inilah penyebab mengapa semen yang berkekuatan awal tinggi (jenis III) mencapai kekuatannya dalam waktu tiga hari yaitu kekuatan yang dicapai oleh semen jenis I dalam waktu tujuh hari. Juga kekuatan yang dicapai dalam tujuh hari oleh semen jenis III sama dengan kekuatan yang dicapai dalam waktu 28 hari oleh semen jenis I.

2.3.6 Pengaruh semen terhadap keawetan beton

Disintegrasi beton akibat pemanasan, pendinginan, pencairan, pengeringan, juga penjalaran retak merupakan hal-hal yang sangat penting. Adanya rongga-rongga udara pada pasta semen semakin menambah daya tahan beton terhadap disintegrasi. Ini dapat diperoleh dengan penambahan campuran tambahan pada waktu pengadukan yang menghasilkan *air entrained* pada beton.

2.4. 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 massa padat⁶. Beton juga dapat

⁶ Concrete For Construction, V K Raina, 1993

digunakan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap pemilihan bahan-bahan.

2.4.1 Sifat-Sifat Beton

2.4.1.1 Kemampuan dikerjakan (*Workability*)

Kemampuan dikerjakan (*workability*) campuran beton adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kemudahan pekerjaan dari beton tersebut yang dinyatakan dengan *slump* dalam cm. semakin tinggi nilai *slump* maka semakin tinggi juga tingkat kemudahan dalam pekerjaan, semakin tinggi juga kadar air yang diperlukan, dan kuat tekan beton semakin rendah. *Slump* beton sebaiknya ditentukan serendah-rendahnya, tetapi dikerjakan dengan baik.

Dengan demikian sifat *Workability* dari beton sangat dipengaruhi oleh :

- Banyaknya air yang dipakai dalam campuran beton
- Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus
- Konsistensi normal semen
- Mobilitas setelah aliran dimulai
- Kohesi atau perlawanan terhadap pemindahan-pemindahan bahan
- Sifat saling lekat (ada hubungannya dengan kohesi) yang berarti penyusunnya tidak akan terpisah-pisah sehingga akan memudahkan dalam pengerjaan.

2.4.1.2 Waktu pengikatan (*setting time*)

Waktu pengikatan adalah waktu yang diperlukan oleh beton untuk mengalami pengikatan antar bahan-bahan pembentuk beton sehingga beton menjadi

lebih keras. Waktu pengikatan dapat dipercepat dengan mengurangi kadar air dengan kadar tertentu sehingga beton menjadi lebih cepat kering dan material pembentuk beton dapat saling berikatan satu sama lain. Waktu ikat beton yang lebih cepat sangat membantu dalam meminimalisasi durasi pekerjaan konstruksi sehingga secara tidak langsung dapat mempercepat waktu selesai proyek.

2.4.1.3 Kedap air

Beton biasanya mempunyai rongga-rongga yang diakibatkan oleh adanya gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan selesai, atau ruangan yang saat pengerjaan mengandung air yang tidak tercampur sempurna dengan semen. Air tentunya akan mengalami penguapan apabila suhu di sekitarnya meningkat yang akan mengakibatkan terbentuknya rongga udara dalam beton. Rongga udara ini merupakan tempat untuk masuk dan keluarnya air dalam beton.

2.4.2 Keuntungan dan kerugian pemakaian beton

Pemakaian beton dalam bidang konstruksi mempunyai keuntungan dan kerugian, berikut akan diuraikan keuntungan dan kerugian pemakaian beton dalam bidang konstruksi.

a. Keuntungan pemakaian beton

1. Relatif ekonomis dibanding dengan material lain, karena menggunakan bahan-bahan lokal (kecuali semen).
2. Mempunyai kuat tekan tinggi, tahan terhadap korosi dan pengaruh cuaca.
3. Beton segar mudah ditangani dan dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai dengan yang diinginkan dan cetakan dapat dipakai ulang.
4. Dikombinasikan dengan tulangan baja, beton mampu dibuat sebagai struktur berat (keduanya mempunyai koefisien muai hampir sama).
5. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama sekaligus mengisi celah-celah retakan halus sebagai usaha perbaikan.
6. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan dituangkan di tempat-tempat yang sulit.

7. Tahan lama dan tahan kebakaran dan sangat sedikit membutuhkan perawatan.

b. Kerugian pemakaian beton

1. Kuat tarik rendah sehingga mudah retak, karenanya perlu diberi tulangan baja atau tulangan kasa (“*mesh*”).
2. Beton segar mengkerut pada saat mengering dan beton keras mengembang jika basah. Untuk itu perlu diadakan dilatasi (“*contraction joint*”) untuk mengatasinya (terutama pada struktur beton yang panjang/lebar).
3. Beton keras mengembang dan menyusut akibat perubahan suhu, karenanya perlu dibuat dilatasi (“*expansion joint*”) untuk mencegah retak akibat perubahan suhu.
4. Beton tidak dapat kedap air secara sempurna sehingga air yang mengandung garam dapat merusak beton.
5. Beton bersifat getas (daktilitas rendah) sehingga perlu direncanakan (dihitung dan didetail) sehingga cara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi daktail terutama pada struktur tahan gempa.

2.4.3. Kelas Beton

Menurut bagian agregat yang hancur dengan Mesin Los Angeles, beton dapat dibagi menjadi 3 kelas⁷, yaitu

Tabel 2.6 Kelas beton

Kelas Beton	Maksimum bagian yang hancur dengan Mesin Los Angeles, lolos ayakan 1.7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10MPa-20MPa)	40
Kelas III (di atas 20 MPa)	27

⁷ www.PU.go.id/Balitbang

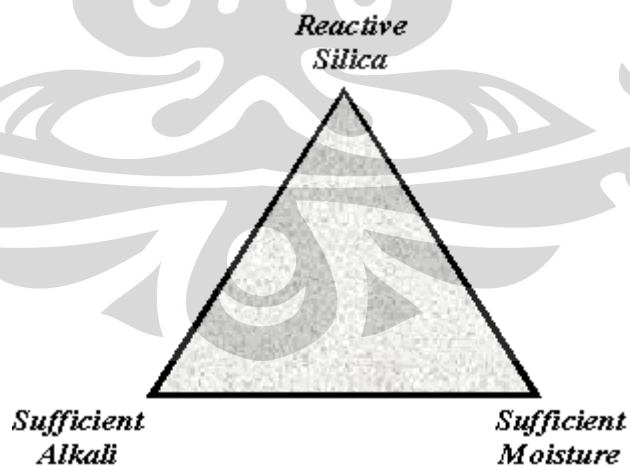
2.5. KACA

Kaca adalah sebuah bahan yang mempunyai kandungan kimia silica yang tinggi. Penggunaan kaca sebagai agregat dalam beton dapat menimbulkan masalah karena terjadi reaksi kimia antara alkali dalam semen dan silika dalam kaca yang disebut *Alkali Silica Reaction* (ASR). Reaksi alkali silika ini menghasilkan gel pada keadaan lembab yang akan mengembang sehingga mengakibatkan retak dan kerusakan pada beton.

⁸*Alkali Silika Reaction* (ASR) adalah sebuah reaksi kimia yang terjadi pada partikel agregat antara larutan alkali pada pasta semen dan silika pada partikel agregat (dalam hal ini kaca). Ada 3 komponen penting yang diperlukan untuk terjadinya sebuah reaksi ASR yaitu :

1. Kandungan alkali yang cukup (terdapat dalam semen)
2. Kelembaban yang cukup
3. Reaktif silika (dalam agregat, dalam hal ini kaca)

Ketiga hal ini memiliki hubungan yang sangat erat sehingga dapat digambarkan dalam hubungan segitiga berikut ini



Gambar 2.6. 3 Komponen penting dalam proses ASR

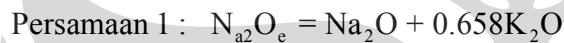
⁸ www.Concrete-Expert.com

- Kandungan alkali yang cukup

Sumber alkali dalam beton dapat didapatkan dari :

1. Portland semen
2. Bahan tambahan dalam semen (*fly ash, silica fume*)
3. Agregat
4. Tambahan zat kimia
5. Pengaruh luar (garam pada air laut)

Dari material di atas portland semen adalah kontributor utama adanya alkali. Kehadiran alkali pada portland semen dalam bentuk potasium oksida (K_2O) dan sodium oksida (Na_2O). Reaksi alkali pada beton dapat disebutkan dalam persamaan kimia dibawah ini

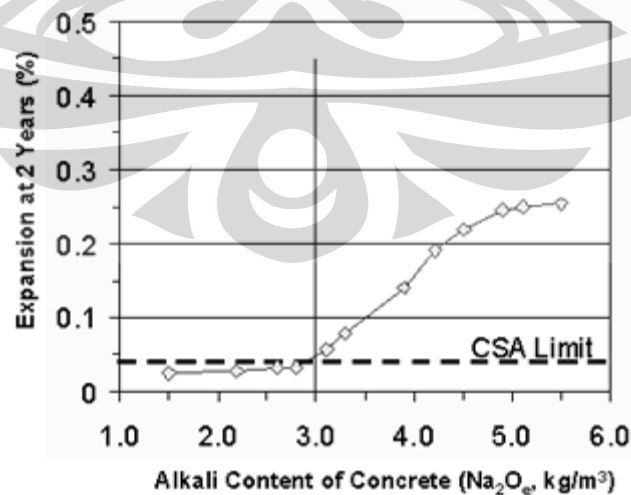


dimana Na_2O_e = Total *sodium oxide equivalent* (or *equivalent soda*), dalam persen

Na_2O = Kandungan *sodium oxide*, dalam persen

K_2O = Kandungan *potassium oxide*, dalam persen

Gambar di bawah ini menunjukkan pengaruh kandungan alkali terhadap *expansion* (pengembangan) pada beton

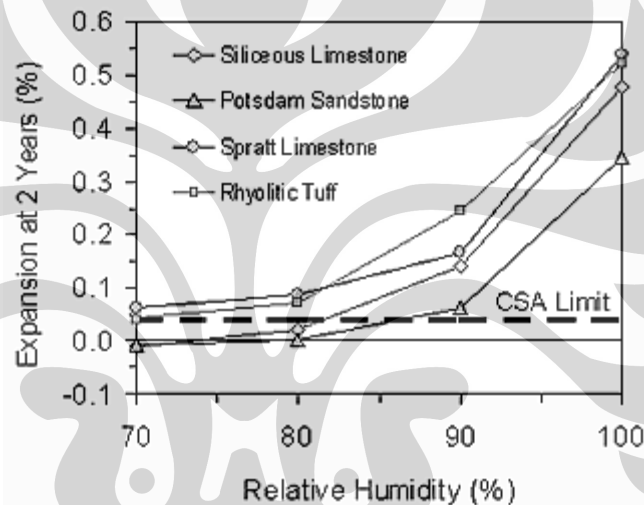


Gambar 2.7. Pengaruh kandungan alkali dalam beton terhadap *expansion* beton

Terlihat bahwa menjaga kandungan alkali dalam beton dibawah $3.0 \text{ kg/m}^3 \text{ Na}_2\text{O}_e$ adalah metode yang paling efektif untuk mengurangi pengembangan beton.

- Kelembaban yang cukup

Kelembaban yang cukup sangat penting pengaruhnya untuk terjadinya reaksi ASR yang mengakibatkan kerusakan pada beton. Beton yang mempunyai kandungan alkali tinggi dan agregat yang reaktif akan mempunyai pengembangan yang kecil pada lingkungan yang kering. Gambar dibawah ini menunjukkan hubungan antara tingkat kelembaban dan pengembangan beton dari 4 agregat yang berbeda.

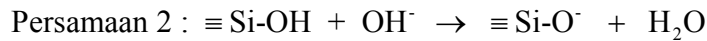


Gambar 2.8. Hubungan antara tingkat kelembaban dan pengembangan beton

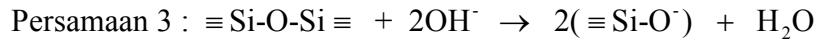
Dapat dilihat bahwa diperlukan minimal tingkat kelembaban 80 % untuk mengakibatkan pengembangan yang signifikan dalam beton pada reaksi ASR.

- Reaktif silika

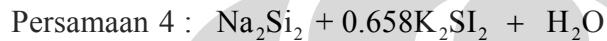
Reaksi yang terjadi pada silika terjadi antara ion OH^- pada lubang pori dan silika pada agregat. Alkali, khususnya sodium dan potasium tidak secara langsung menyerang reaktif silika. Yang terpenting pada alkali adalah kehadirannya dalam konsentrasi tinggi pada lubang pori mengakibatkan konsentrasi tinggi ion OH^- (Untuk menjaga kesetimbangan) sehingga terjadi reaksi antara ion OH^- dan ikatan *acidic silanol* (Si-OH)



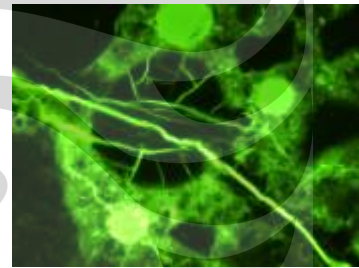
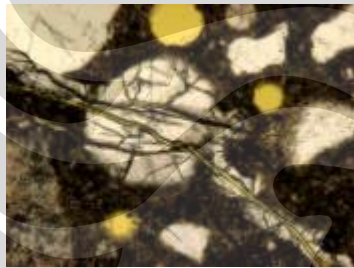
Dan kemudian ion *hidroxil* (OH^-) menembus ke dalam beton dan menyerang ikatan *siloxane* (Si-O-Si)



Dari ketiga reaksi tersebut akan menghasilkan gel yang bisa mengembang jika menyerap air dan mengakibatkan tekanan pada beton.



Pada saat tertentu tekanan yang terjadi melebihi kekuatan yang mampu ditahan dan keretakan getas terjadi pada beton. Reaksi ASR ini biasanya baru akan terjadi dalam jangka waktu tahunan⁹.



Gambar 2.9. Gel dan retakan pada pori-pori beton

Untuk itu sejumlah teknik telah dikembangkan guna mengurangi efek tersebut antara lain¹⁰ :

- 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

⁹ [www.google.com/Concrete Technology Durability Alkali-Aggregate Reaction Portland Cement Association \(PCA\)](http://www.google.com/Concrete%20Technology%20Durability%20Alkali-Aggregate%20Reaction%20Portland%20Cement%20Association%20(PCA))

¹⁰ www.google.com/Concrete Material Research at Columbia University

- Karena Harga Metakaolin yang mahal, sekitar 3 kali lipat harga semen biasa, sehingga ada cara lain yaitu dengan menggunakan *low-cost ASR-suppressing admixtures*.
- Menggunakan botol berwarna hijau (Contoh: Heineken), karena dari hasil penelitian didapatkan menghasilkan reaksi ASR yang kecil
- 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 lain :

- 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.
- Potensi estetis penggunaan kaca yang disortir menurut warna cukup menarik didalami untuk bidang arsitektur.
- 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 lain¹¹:

- Penghematan ruang pada *landfill* / tempat pembuangan akhir sampah.
- Penghematan unit cost beton.
- Penghematan ongkos kirim.

¹¹ <http://www.csiro.au/files/mediaRelease/mr2002/glassandconcrete.htm> "Making Concrete With Glass Now Possible"

- Keuntungan lingkungan dari penggunaan material daur ulang daripada agregat alami.
- Keuntungan untuk pelaku daur-ulang sebagai mata pencaharian untuk pemulung/ pelaku daur-ulang.

2.6. MIX DESIGN

Mix design harus dipilih sedemikian rupa sehingga didapatkan campuran beton yang ekonomis, menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan, *workability* (kemudahan pekerjaan), dan durabilitas sesuai yang diinginkan. Ada 2 metode yang biasa digunakan dalam perhitungan Mix Design yaitu Metode *American Concrete Institute* (ACI) dan *US Bureau*

2.6.1 Metode *American Concrete Institute*(ACI)

Langkah-langkah perencanaan campuran dengan metode ACI:

1. Perhitungan kuat tekan rata-rata beton

Perhitungan kuat tekan rata-rata beton memiliki syarat terhadap nilai margin akibat pengawasan dan jumlah sampel yang ditambahkan pada penjumlahan kuat tekan rencana beton.

2. Menentukan slump

Menentukan besarnya nilai slump ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan penggunaan elemen struktur. Dalam penentuan nilai slump hanya dilihat nilai minimum saja tetapi juga perlu dilihat nilai maksimum agar dapat dihindari segregasi ketika pencampuran. Segregasi biasanya disebabkan oleh penggunaan air campuran yang terlalu banyak, agregatnya mempunyai gradasi yang jelek, terutama bila jumlah semen kurang, atau cara pengelolaan yang tidak memenuhi syarat.

3. Menentukan agregat maksimum

Kebutuhan air pencampur dapat diturunkan bila ukuran agregat kasar semakin besar, sehingga untuk *workability* dan isi campuran, serta faktor air semen dapat dikurangi dan mengakibatkan terjadinya peningkatan kekuatan.

Tetapi ada batasan ukuran agregat maksimum hingga dapat mengurangi kebutuhan air pencampuran, sehingga tidak terjadi keropos yang dapat berakibat kekuatan beton menjadi rendah.

Dalam struktur beton, ukuran maksimum agregat biasanya tertahan antara 25 mm atau 40 mm (1" atau 1½") karena jarak tulangan dalam beton dan jumlah bagian beton. Ukuran agregat maksimum seharusnya lebih kecil dari 5 mm daripada jarak horisontal batang dan lebih kecil daripada $\frac{2}{3}$ dari jarak vertikal.

4. Menetapkan jumlah air yang dibutuhkan

Jumlah air yang dibutuhkan dalam setiap 1 m³ campuran adukan beton dapat ditentukan berdasarkan diameter maksimum agregat dan nilai slump.

5. Menentukan *Water Cement Ratio (WCR)*

Water Cement Ratio ditentukan dari nilai terendah antara pengaruh kuat desak rata-rata dan pengaruh keawetan elemen struktur terhadap kondisi lingkungan.

6. Menentukan kebutuhan semen dalam adukan beton

Dalam menghitung kebutuhan semen didasarkan hasil penentuan langkah keempat dan kelima dengan membagi kebutuhan air dengan nilai *WCR*. Dari nilai yang didapat, kemudian dibandingkan dengan kadar semen minimum dan maksimum. Nilai kebutuhan semen diambil bila lebih besar dari kadar semen minimum dan lebih kecil daripada kadar semen maksimum.

7. Memperkirakan volume agregat kasar

Penetapan volume agregat kasar berdasarkan rasio optimum dari berat jenis agregat kasar terhadap total volume agregat yang tergantung pada ukuran agregat maksimum dan zona agregat halus.

8. Menghitung volume agregat halus yang diperlukan

Perhitungan volume agregat halus didasarkan pada pengurangan jumlah volume beton 1 m³ terhadap volume agregat kasar, volume semen, dan volume air.

9. Penyesuaian perbandingan campuran

Dalam bentuk-bentuk umum *workability* dapat berubah, tetapi kekuatan tetap tidak terpengaruh dan *Water Cement Ratio* tidak boleh berubah. Perubahan-perubahan dapat dibuat dalam faktor agregat semen.

Metode (ACI) *American Concrete Institute* mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan dan kekuatan pekerjaan beton. Cara ACI melihat dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air per kubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*). Berikut adalah langkah perancangannya:

1. Menghitung Kuat Tekan Rata-rata Beton

Kuat tekan rata-rata beton berdasarkan kuat tekan rencana dan margin

$$f'_{cr} = f'_c + m; \text{ dimana } m = 1.64 \times Sd ; \quad \dots(2.1)$$

Tabel 2.7 Nilai Standar Deviasi

Volume Pekerjaan	Mutu Pelaksanaan (MPa)		
	Baik Sekali	Baik	Cukup
Kecil (< 1000 m ³)	4.5 < Sd ≤ 5.5	5.5 < Sd ≤ 6.5	6.5 < Sd ≤ 8.5
Sedang (1000 – 3000 m ³)	3.5 < Sd ≤ 4.5	4.5 < Sd ≤ 5.5	5.5 < Sd ≤ 7.5
Besar (> 3000 m ³)	2.5 < Sd ≤ 3.5	3.5 < Sd ≤ 4.5	4.5 < Sd ≤ 5.5

2. Menetapkan Nilai Slump, dan Butir Agregat Maksimum

Tabel 2.8 Syarat Slump untuk Berbagai Konstruksi Menurut ACI

Jenis Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding penahan dan pondasi	76.2	25.4
Pondasi sederhana, sumuran, dan dinding sub struktur	76.2	25.4
Balok dan dinding beton	101.6	25.4
Kolom strukural	101.6	25.4
Perkerasan dan slab	76.2	25.4
Beton massal	50.8	25.4

Ukuran maksimum agregat dihitung dari $\frac{1}{3}$ tebal *plate* dan atau $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar baja tulangan, tendon, *bundle bar*, atau *ducting* dan atau $\frac{1}{5}$ jarak terkecil bidang bekisting ambil yang terkecil. Tabel berikut adalah ukuran maksimum agregat.

Tabel 2.9 Ukuran Maksimum Agregat

Dimensi minimum bagian konstruksi (mm)	Ukuran Agregat Maksimum	
	Balok/Kolom	Pelat
62.5	12.5 mm	20 mm
150	40 mm	40 mm
300	40 mm	80 mm
750	80 mm	80 mm

3. Menetapkan Jumlah Air yang Dibutuhkan

Tabel 2.10 Perkiraan Air Campuran dan Persyaratan Kandungan Udara untuk Berbagai Slump dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum

Slump (mm)	Air (lt/m ³)							
	9.5 mm	12.7 mm	19.1 mm	25.4 mm	38.1 mm	50.8 mm	76.2 mm	152.4 mm
25.4 s.d. 50.8	210	201	189	180	165	156	132	114
76.2 s.d. 127	231	219	204	195	180	171	147	126
152 s.d 177.8	246	231	216	204	189	180	162	-
Mendekati jumlah kandungan udara dalam beton <i>air-entrained</i> (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
25.4 s.d. 50.8	183	177	168	162	150	144	123	108
76.2 s.d. 127	204	195	183	177	165	159	135	120
152 s.d 177.8	219	207	195	186	174	168	156	-
Kandungan udara total rata-rata yang disteujui (%)								
Dipaparkan sedikit	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Terpapar menengah	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Sangat terpapar	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

- a. Banyaknya air campuran di sini dipakai untuk menghitung faktor air semen untuk suatu campuran percobaan (*trial batch*). Harga-harga ini adalah maksimal butirnya 1.5 in (40 mm) untuk suatu agregat bentuk dan gradasinya cukup baik dan dalam batas yang diterima oleh spesifikasi.
- b. Nilai slump untuk beton yang mengandung agregat dengan ukuran maksimum 1.5 in (38.1 mm atau 40 mm) ini adalah berdasarkan percobaan-percobaan

yang dibuat setelah membuang partikel agregat yang lebih besar dari 38 atau 40 mm.

Banyaknya air campuran di sini dipakai untuk menghitung *water cement ratio* (*WCR*) untuk suatu campuran percobaan (*trial batch*). Jika digunakan butiran maksimum agregat 3 in (76.2 mm) atau 6 in (152.4 mm). Harga-harga ini adalah maksimal untuk suatu agregat kasar bentuk dan gradasinya cukup baik dari halus sampai kasar.

- c. Rekomendasi lainnya tentang kandungan air dan toleransi yang diperlukan untuk control di lapangan tercantum dokumen ACI, seperti ACI 201, 318, 304, dan 302. Batas-batas kandungan air dalam beton juga diberikan oleh ASTM C-94 untuk beton *ready mix*. Persyaratan-persyaratan ini bisa saja tidak sama untuk masing-masing peraturan, sehingga perancangan beton perlu ditinjau lebih lanjut dalam menentukan kandungan air yang memenuhi syarat untuk pekerjaan yang juga memenuhi syarat peraturan.
- d. Untuk beton yang menggunakan agregat lebih besar dari 1.5 in (40 mm) dan tertahan di atasnya, persentase udara yang diharapkan pada 1.5 in, dikurangi material ditabelkan di kolom 38.1 mm. Akan tetapi, dalam perhitungan komposisi awal seharusnya kandungan udara juga ada sebagai suatu persen keseluruhan.
- e. Jika menggunakan agregat kasar pada beton dengan *WCR* besar, gelembung udara yang ada bisa saja tidak mengurangi kekuatan. Dalam banyak hal, persyaratan air campuran akan berkurang jika *WCR* bertambah, artinya pengaruh reduksi kekuatan akibat *air-entrained* akan berkurang.
- f. Harga-harga ini berdasarkan kriteria 9% udara diperlukan pada fase mortar. Jika volume mortar sangat berbeda dengan yang ditentukan dalam rekomendasi praktis ini, besarnya dapat dihitung dengan mengambil 9% dari volume mortar sesungguhnya.

4. Menentukan Nilai *Water Cement Ratio* (*WCR*)

Menentukan Nilai *WCR* dari nilai kuat tekan (MPa) yang berada di antara yang diberikan dilakukan interpolasi.

Tabel 2.11 Nilai *Water Cement Ratio*

Kekuatan Tekan 28 hari (MPa)*	Water Cement Ratio	
	Beton Air-entrained	Beton Non Air-entrained
41.4	0.41	-
34.5	0.48	0.4
27.6	0.57	0.48
20.7	0.68	0.59
13.8	0.62	0.74

* Besar kekuatan tekan diestimasi atas beton yang mempunyai kandungan udara tidak melebihi seperti yang ada. Untuk harga *Water Cement Ratio* yang konstan, kekuatan tekan beton akan berkurang jika kandungan udara bertambah. Kekuatan ini berdasarkan beton yang kelembabannya dijaga (*curing*) pada temperatur $23 \pm 1.7^\circ C$, sesuai ASTM C-31 “membuat dan merawat benda uji tekan dan lentur di lapangan”, dengan uji silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm.

5. Menentukan Semen yang Diperlukan

Menentukan semen yang diperlukan yaitu jumlah air dibagi dengan *Water Cement Ratio*

$$C = W / WCR \quad \dots(2.2)$$

6. Menentukan Volume Agregat Kasar

Menentukan volume agregat kasar berdasarkan agregat maksimum dan modulus halus butir (MHB) agregat halusnya sehingga didapat persen agregat kasar (pada tabel 2.12). jika nilai modulus halus butirnya berada di antaranya, maka dilakukan interpolasi. Volume agregat kasar adalah persen agregat kasar dikalikan berat kering agregat kasar.

$$CA = \%CA \times BJ \text{ Agregat Kasar} \quad \dots(2.3)$$

7. Menentukan Volume Agregat Halus

Mengestimasi berat beton segar berdasarkan tabel 2.13 kemudian menghitung agregat halus = berat beton segar – (berat air + berat semen + berat agregat kasar)

$$S = \text{Fresh concrete} - (W + C + CA) \quad \dots(2.4)$$

8. Menghitung Proporsi Bahan

Berat air (W)

$$\text{Berat Semen (C)} = W/WCR \quad \dots(2.5)$$

$$\text{Berat Agregat Kasar (CA)} = \%CA \times BJ \text{ Agregat Kasar} \quad \dots(2.6)$$

$$\text{Berat Agregat Halus (S)} = \text{Fresh concrete} - (W + C + CA) \quad \dots(2.7)$$

9. Mengkoreksi Proporsi Campurannya Berdasarkan Nilai Daya Serap Air pada Agregat.

Tabel 2.12 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton (m^3)

Ukuran Agregat Maks (mm)	Volume Agregat Kasar Kering /per satuan Volume untuk berbagai angka kehalusan pasir (FM)**			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	0.59	0.57	0.55	0.53
19.1	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	0.78	0.76	0.74	0.72
76.2	0.82	0.80	0.78	0.76
152.4	0.85	0.85	0.83	0.81

** Volume ini didasarkan atas agregat kasar kondisi kering oven (*dry-rodded*) sesuai ASTM C-29, “Satuan Berat Agregat”. Volume ini dihasilkan dari hubungan empiris yang menghasilkan beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang tinggi, cocok untuk beton

biasa. Untuk beton yang kurang mudah dikerjakan dalam syarat konstruksi maka nilai ini dapat dinaikkan sekitar 40%. Untuk beton yang lebih mudah dikerjakan kandungan agregat kasarnya dapat dikurangi sekitar 10%, apabila nilai slump dan *WCR* telah dipenuhi.

Table 2.13 Estimasi Berat Awal Beton Segar (kg/m^3)

Ukuran Agregat Maks (mm)	Beton Air-entrained***	Beton Non Air-entrained***
9.5	2304	2214
12.7	2334	2256
19.1	2376	2304
25.4	2406	2340
38.1	2442	2376
50.8	2472	2400
76.2	2496	2424
152.4	2538	2472

*** Harga-harga yang dicantumkan adalah untuk beton dengan semen sedang dan agregat sedang. Persyaratan air campuran dengan slump 3-4 in atau 76.2 mm – 12.5 mm.

2.6.2 Metode *US. Bureau*

Mix design harus dipilih sedemikian rupa sehingga didapatkan campuran beton yang ekonomis, menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan, *workability* (kemudahan pekerjaan), dan durabilitas sesuai yang diinginkan. Pada prinsipnya *mix design* dilakukan dengan cara coba-coba dan garis besarnya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian terhadap material beton

Pengujian terhadap material beton untuk mengetahui sifat-sifat dari material tersebut dan untuk menentukan apakah material tersebut memenuhi persyaratan sebagai material pembentuk beton.

Jenis uji yang digunakan untuk masing-masing bahan:

- a. Pasir:
 1. Uji *Spesific Gravity* dan *Absorption*
 2. Pemeriksaan berat isi
 3. Analisa saringan dan modulus kehalusan
 4. Uji kadar lumpur
 5. Pemeriksaan bahan lewat saringan No. 200
 6. Uji kandungan zat organik

- b. Agregat kasar:
 1. Uji *Spesific Gravity* dan *Absorption*
 2. Pemeriksaan berat isi
 3. Analisa saringan
 2. Pemeriksaan keausan dengan mesin *Los Angelas*

- c. Semen: tidak ada pengujian secara khusus di laboratorium biasanya pengujian sudah dilakukan di pabrik

2. Menentukan ukuran maksimum butir agregat kasar

Ukuran maksimum butir agregat kasar ditentukan berdasarkan jenis, dimensi, dan kerapatan tulangan pada struktur tersebut.

Tabel 2.14 Ukuran Agregat Maksimum

Dimensi bagian Konstruksi (cm)	Ukuran Agregat Maksimum (mm)		
	Dinding, balok, kolom bertulangan	Slab dengan penulangan maksimum	Slab dengan penulangan minimum
12.5	-	20 – 40	20 – 40
15 – 30	20 – 40	40	40 – 80
30 – 75	40 – 80	80	80 – 150
75	40 – 80	80	150

Sumber: US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual" 8th Edition 1975. Table 17

3. Menentukan kelecakan (*workability*) campuran beton

Kelecakan (*workability*) campuran beton adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kemudahan pekerjaan dari beton tersebut yang dinyatakan dengan slump

dalam cm. semakin tinggi nilai slump maka semakin tinggi juga tingkat kemudahan dalam pekerjaan, semakin tinggi juga kadar air yang diperlukan, dan kuat tekan beton semakin rendah. Slump beton sebaiknya ditentukan serendah-rendahnya, tetapi dikerjakan dengan baik.

Tabel 2.15 Standar Slump Beton untuk Beberapa Pekerjaan

Jenis Konstruksi	Maksimum (cm)
1. <i>Heavy mass concrete</i>	5
2. <i>Canal lining t > 8 cm</i>	8
3. <i>Slab and tunnel invert</i>	5
4. <i>Walls, pier, parapet, and curb</i>	5
5. <i>Side walls, tunnel lining</i>	10
6. Konstruksi lainnya	8

Sumber: US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual" 8th Edition 1975. Table 13

4. Menentukan jumlah air adukan

Untuk mendapatkan *strength* yang terbesar, *durability* dan sifat-sifat lainnya yang dikehendaki dengan baik, beton harus dibuat menggunakan jumlah air adukan yang terkecil tetapi masih dapat dikerjakan dengan baik. Jumlah air adukan yang diperlukan untuk membuat campuran beton dengan kekentalan yang dikehendaki dipengaruhi oleh ukuran agregat maksimum, bentuk partikel dan gradasi dari agregat dan jumlah tambahan kandungan udara.

Dengan menggunakan tabel 2.16 dapat diperkirakan harga-harga daripada jumlah agregat kasar, jumlah air adukan dan presentase pasir terhadap agregat yang dibutuhkan per meter cubic beton untuk bermacam-macam ukuran maximum agregat kasar.

Tabel 2.16 Penentuan Jumlah Air Berdasarkan *S/A*

of aggregate (cm)	Unit coarse Agregate conten by volume (%)	Concrete without AE ad.				Air entrained aggregate			
		Entrapped air (%)	Sand percent (%)	Water content W (%)	Air content (%)	with good quality AE admixture		with good quality water reducing ad.	
						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	185	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

5. Menentukan *Water Cement Ratio (WCR)*

Menentukan *Water Cement Ratio (WCR)* berdasarkan 2 kriteria:

1. Berdasarkan kuat tekan yang diinginkan

Tabel 2.17 Kekuatan Berdasarkan *WCR*

<i>Water-Cement Ratio (W/C)</i>	<i>Compressive Strength</i> pada umur 28 hari (kg/cm^2)	
	Beton dengan A.E saja	Beton dengan A.E + W.R.A
0.40	400	450
0.45	340	390
0.50	290	340
0.55	250	290
0.60	220	250
0.65	180	220
0.70	150	190

Sumber: US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual" 8th Edition 1975. Table 13

2. Berdasarkan lokasi dan kondisi di mana struktur beton akan berada, dengan memperhatikan pengaruh lingkungan

Tabel 2.18 Faktor yang Mempengaruhi Proporsi Beton

	Jumlah Semen Minimum per m^3 Beton (kg)	Nilai <i>Water Cement Ratio</i> Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap-uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,6 0,6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung		
Beton yang masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325 375	0,55 0,52
b. Mendapat pengaruh sulfat alkali dari tanah atau air tanah		
Beton yang kontinu berhubungan dengan air		
a. Air tawar	275	0,57
b. Air laut	375	0,52

Target Strength

Target Strength adalah suatu *strength* yang harus dicapai oleh beton (biasanya dalam umur 28 hari) yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan perbandingan campuran beton

Target Strength ini pada umumnya ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

- *Standard Design Strength*
- Macam-macam kualitas beton yang mungkin dihasilkan di lapangan
- Kepentingan/kegunaan dari pada struktur

Compressive strength beton yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai *coefficient of variation* yang tidak boleh lebih dari 15%. *coefficient of variation* adalah *coefficient* yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama.

Coefficient of variation ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\% \quad \dots(2.8)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{X_i}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad \dots(2.9)$$

di mana:

V = *Coefficient of variation*

\bar{X} = *Coefficient strength* rata-rata dari silinder tes beton

Σ = *Standard deviaton*

X_i = *Compressive strength* silinder tes ke- i

n = jumlah silinder tes yang diuji

Besarnya *Coefficient of variation* ini berkisar antara 5% sampai 25%, dan ini sangat tergantung pada:

- Keadaan cuaca pada waktu produksi

- Perubahan dari pada sifat-sifat fisik agregat dan semen
- Perubahan dari pada gradasi agregat
- Ketelitian dan keterampilan pada waktu pencampuran dan pengecoran.

Semakin tinggi ketelitian dan keterampilan maka akan semakin kecil harga *Coefficient of variation* yang dapat ditentukan.

Hubungan antara *Target Strength* dan *Standard Design Strength*, ditentukan dengan rumus berikut:

$$\sigma_w = \frac{\sigma_{ds}}{1 - t \times v}$$

...(2.10)

di mana:

σ_w = *Target Strength*

σ_{ds} = *Standard Design Strength*

t = Konstanta, tergantung pada perbandingan silinder tes yang dapat menghasilkan *strength* di atas *design*

V = *Coefficient of Variation*

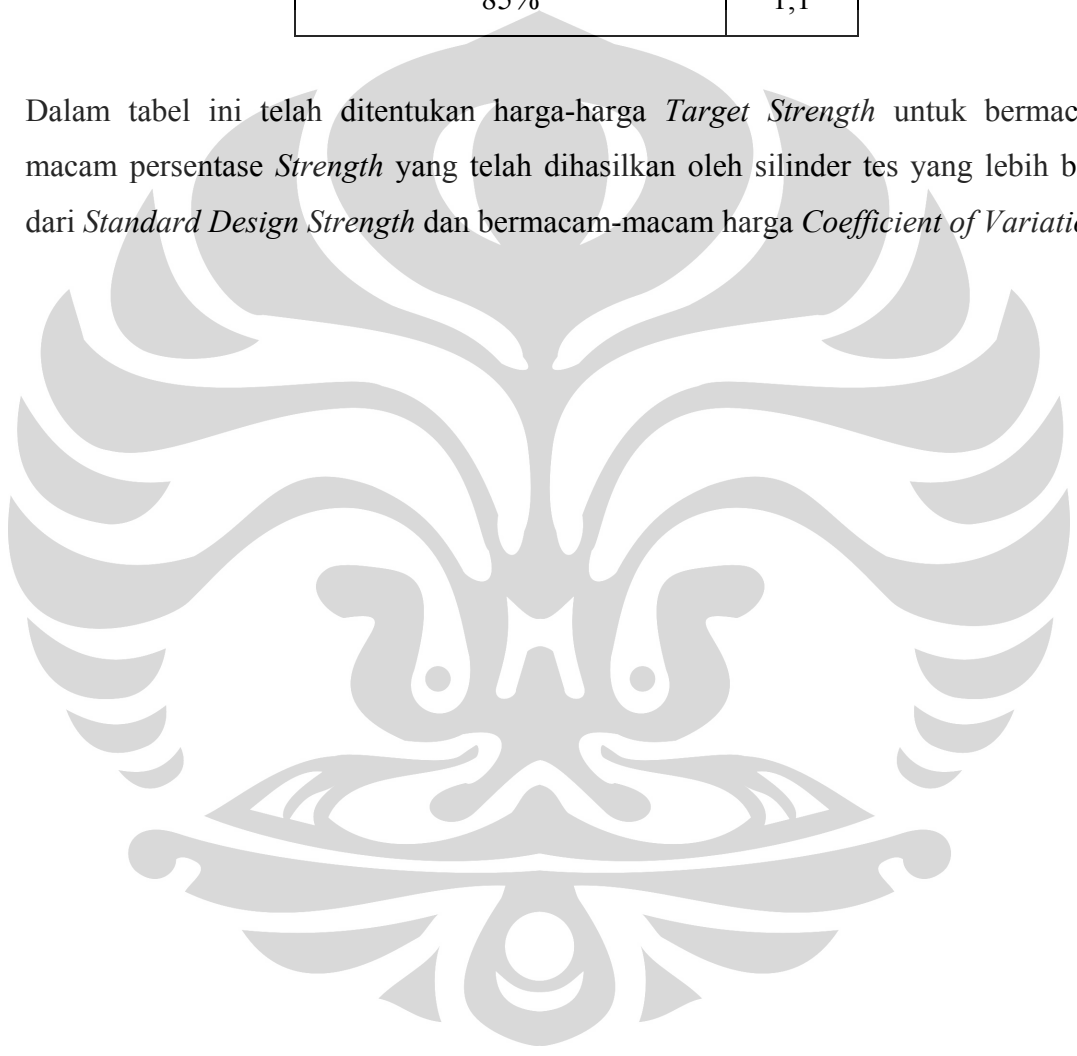
Dan harga dari $\frac{\sigma_{ds}}{1 - t \times v}$ dinamakan "*Increment Coefficient*". Harga dari pada t ini ditentukan oleh banyaknya silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama akan mencapai *Compressive Strength* di atas *Standard Design Strength*. Dari pengalaman-pengalaman biasanya dari sejumlah silinder tes yang dites 75% atau lebih akan mencapai *Compressive Strength* di atas *Standard Design Strength*.

$$\text{Target kuat tekan} = c \times \text{kuat tekan rencana} = \frac{\text{kuat tekan rencana}}{1 - t \times v} \quad \dots(2.11)$$

Tabel 2.19 Konstanta t Berdasarkan Persentase Kuat Tekan Rencana

Persentase Kuat Tekan yang Lebih Besar dari Rencana	t
75%	0,703
80%	0,883
85%	1,1

Dalam tabel ini telah ditentukan harga-harga *Target Strength* untuk bermacam-macam persentase *Strength* yang telah dihasilkan oleh silinder tes yang lebih besar dari *Standard Design Strength* dan bermacam-macam harga *Coefficient of Variation*.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. STANDAR PENGUJIAN

Semua prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan standar yang berlaku yaitu *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Adapun standar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian limbah beton (agregat kasar) dan pasir (agregat halus) meliputi :
 - a. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sesuai dengan ASTM C-127-04
 - b. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai dengan ASTM C-128-04
 - c. Berat isi agregat kasar dan agregat halus sesuai dengan ASTM C-29M-97(2003)
 - d. Bahan lolos ayakan no.200 sesuai dengan ASTM C-117-04
 - e. Analisa saringan agregat dan agregat halus sesuai dengan ASTM C-136-05
 - f. Keausan agregat kasar dengan mesin abrasi Los Angeles sesuai dengan ASTM C-131-03

2. Pengujian Agregat kaca meliputi :
 - a. Tes *X-Ray Flourescent* (XRF)

Bertujuan untuk mendapatkan kandungan kimia yang terdapat dalam kaca. Pada penelitian kali ini akan diuji 3 buah sampel kaca dengan warna yang berbeda untuk dibandingkan kandungan kimianya mana yang lebih tidak menimbulkan efek samping jika nanti dicampur dengan limbah beton.

- b. Berat jenis dan penyerapan air sesuai dengan ASTM C-127-04
 - c. Analisa saringan sesuai dengan ASTM C-136-05
3. Pengujian beton segar meliputi Slump test sesuai dengan ASTM C-143M-05
4. Pengujian beton keras meliputi :
- a. Kuat tekan sesuai dengan ASTM C 39/C 39M – 04a

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari dan menggunakan 4 kadar tambahan kaca yang berbeda. Setiap pengujian diperlukan 3 sampel silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.

Tabel 3.1 Jumlah sampel kuat tekan

Kadar kaca (%)	Umur beton		
	7 hari	14 hari	28 hari
0	3 sampel	3 sampel	3 sampel
10	3 sampel	3 sampel	3 sampel
20	3 sampel	3 sampel	3 sampel
30	3 sampel	3 sampel	3 sampel
40	3 sampel	3 sampel	3 sampel

- b. Kuat tarik belah sesuai dengan ASTM C 496/C 496M - 04

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan sebanyak 2 kali untuk setiap kadar kaca yang dipakai, yaitu pada hari ke-7 dan 28. Setiap pengujian dibutuhkan 3 sampel silinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm.

Tabel 3.2 Jumlah sampel kuat tarik

Kadar kaca (%)	Umur beton	
	7 hari	28 hari
0	3 Sampel	3 Sampel
10	3 sampel	3 sampel
20	3 sampel	3 sampel
30	3 sampel	3 sampel
40	3 sampel	3 sampel

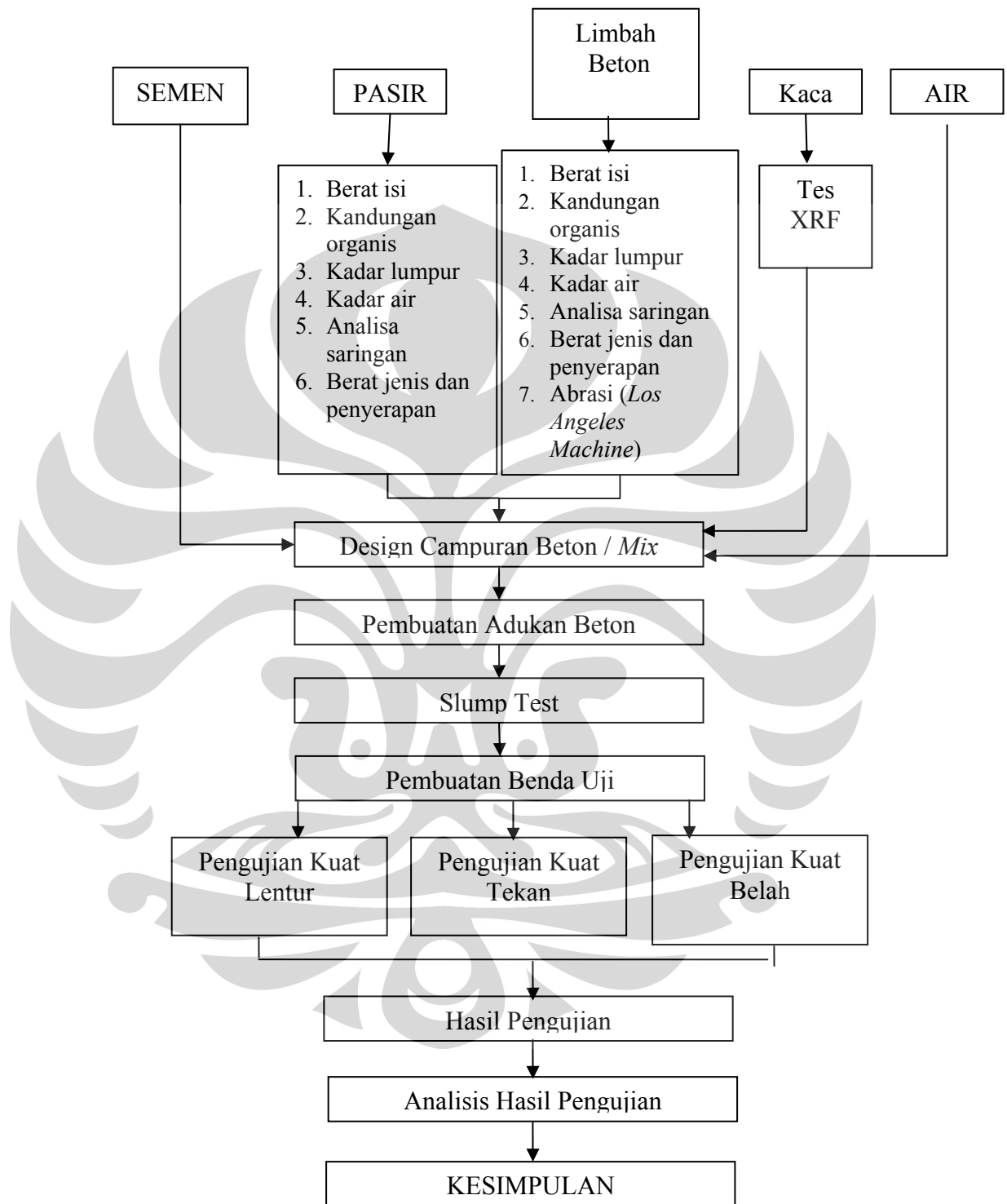
c. Kuat lentur dengan ASTM 78-02

Pengujian untuk kuat lentur dilakukan sebanyak 1 kali untuk setiap kadar kaca yang dipakai, yaitu pada hari ke- 28. Setiap pengujian dibutuhkan 3 sampel silinder balok 15x15x55 cm.

Tabel 3.3 Jumlah sampel kuat lentur

Kadar kaca (%)	Hari
	28 hari
0	3 Sampel
10	3 sampel
20	3 sampel
30	3 sampel
40	3 sampel

Urutan dari penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dalam diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Skema Pemeriksaan Bahan

3.2. PERALATAN LABORATORIUM

Adapun peralatan-peralatan yang digunakan untuk pengujian dan penelitian di laboratorium adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan
- 2) Saringan
- 3) Pengaduk beton
- 4) Pemanas
- 5) Caping kit
- 6) Alat uji tarik beton, uji tarik belah, uji lentur
- 7) Peralatan lain (cetakan beton, ember, alat slump test).

3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN

a. Semen

Pada penelitian ini digunakan semen *Portland Composite Cement* (PCC) dari PT. Indocement Tunggal Prakarsa

b. Agregat

Agregat kasar diambil dari limbah beton benda uji yang terdapat di laboratorium beton jurusan Sipil FTUI yang dihancurkan dan telah melalui uji saringan berdasarkan syarat ASTM, sedangkan untuk agregat halus terdiri dari pasir kemudian ditambahkan limbah kaca sebagai filler.

c. Air

Air yang digunakan bersumber dari air tanah di universitas Indonesia Depok. Air ini dapat digunakan karena tidak mengandung minyak, bening dan dapat digunakan sebagai air minum

d. Kaca

Kaca yang digunakan adalah limbah kaca botol Heineken dan bir bintang yang telah digiling menjadi serbuk dengan menggunakan mesin Los Angeles.

3.4. PENENTUAN DAN PEMERIKSAAN BAHAN

3.4.1. Pengujian Agregat Halus

3.4.1.1. Analisa Specific Gravity dan Absorption dari Agregat Halus¹²

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air meliputi penentuan berat jenis butir (*bulk specific gravity*), *apparent specific gravity*, dan penyerapan air (*absorption*) pada umumnya digunakan untuk perhitungan volume pasir yang akan dicampur dalam beton.

Alat-alat yang digunakan:

- Timbangan dengan kapasitas 1 kg dengan spesifikasi 0.1 gram
- Piknometer untuk kapasitas 500 gram pasir atau lebih
- Cetakan (*mold*) logam dengan bentuk kerucut terpancung

Persiapan percobaan:

1. Mengira-ngira 1000 gram pasir diperoleh dengan cara membagi empat (*quartering*).
2. Mengeringkan pasir di dalam oven dengan menggunakan pan dengan temperatur 100°C – 110°C selama satu hari.
3. Mengangkat pan dan dinginkan, kemudian direndam dengan air dan biarkan selama 24 ± 4 jam.
4. Dengan hati-hati menuangkan yang kelebihan untuk menghindari kehilangan butir pasir, menebarkan contoh bahan di atas permukaan rata terbuka untuk

¹² ASTM C-128-04 *Test method for Density, Specific Gravity, and Absorption of Fine Aggregate*

diangin-anginkan udara panas dan gerakkan berulang-ulang samapai kering secara merata. Meneruskan prosedur ini sampai contoh bahan ini mendekati keadaan mengalir bebas (*free flowing condition*).

5. Kemudian memasukkan sebagian dari pasir kering ke dalam metal *sand cone mold*, kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat (*tamper*) sebanyak 25 kali tumbukan, lalu angkat *mold* tersebut tegak lurus.
6. Kalau permukaan masih lembab, maka pasir akan bertahan dalam bentuk cetakan *mold*.
7. Mengeringkan terus pasir dengan gerakan tetap dan dilakukan tes berulang-ulang sampai slump pasir yang dipukul berpindah sedikit dari atas *mold*. Hal ini membuktikan bahwa pasir sudah mencapai kering permukaan SSD (*surface dry condition*) diperoleh jika cetakan diangkat, pasir akan runtuh/longsor.

Prosedur pemeriksaan:

1. Memasukkan 500 *gram* pasir dalam keadaan SSD ke dalam piknometer kemudian isi dengan air sampai 90% dari kapasitas tabung. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyangkan piknometer. Merendam dalam air dengan temperatur air $73.4 \pm 3^{\circ}F$ selama paling sedikit 1 hari. Menentukan berat piknometer benda uji dan air.
2. Mengeluarkan pasir dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur air $212 \pm 230^{\circ}F$ selama 1 hari.
3. Menentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur air $73.4 \pm 30^{\circ}F$, dengan ketelitian 0.1 *gram*

Perhitungannya:

$$\text{Bulk Spesific Gravity (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} \dots(3.1)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B + A - C} \quad \dots (3.2)$$

$$\text{Persentase Absorpsi} = \frac{500 - A}{A} \times 100\% \quad \dots(3.3)$$

A = Berat dari benda uji oven dry (*gram*)

B = Berat dari piknometer berisi air (*gram*)

C = Berat dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi (*gram*).

3.4.1.2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus¹³

Pemeriksaan berat isi dan gembur pasir dimaksudkan untuk mengetahui berat isi pasir dalam keadaan padat dan gembur.

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 *gram*
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan agregat
3. Tongkat pemadat
4. Mistar perata
5. Wadah baja berbentuk silinder

Keadaan pasir kering udara: Gembur (lepas) dan padat

Prosedur percobaan:

1. Berat isi lepas
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Memasukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 *cm* di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - c. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.

¹³ ASTM C-29M-97(2003) *Test method for Bulk Density (Unit weight) in Aggregate*

- d. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - e. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
2. Berat isi padat agregat dengan ukuran butir maksimum dengan cara penusukan
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Mengisi wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan, tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
 - c. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - d. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - e. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
 3. Berat isi pada agregat ukuran butir dengan cara penggoyangan
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Mengisi wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 - c. Memadatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah sebagai berikut:
 - o Meletakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, kemudian mengangkat salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian melepaskannya.
 - o Mengulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Memadatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
 - d. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - e. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - f. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

Perhitungannya:

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{w_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)} \quad \dots(3.4)$$

$$V = \text{Isi wadah (dm}^3\text{)}$$

3.4.1.3. Analisa Saringan Agregat Halus¹⁴

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan.

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2 % dari benda uji.
2. Satu set jaringan: 76.2 mm (3"); 63.5 mm (2½"); 50.8 mm (2"); 37.5 mm (1½"); 25 mm (1"); 19.1 mm (¾"); 12.5 mm (½"); 9.5 mm (¼"); No. 4; No. 8; No. 16; No. 30; No. 50; No. 100; No. 200 (standar ASTM).
3. Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5)°C.
4. Alat pemisah contoh (*Sample Splitter*).
5. Mesin penggetar saringan.
6. Talam-talam
7. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Bahan yang digunakan:

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak:

- Ukuran maksimum No. 4; berat minimum 500 gram.
- Ukuran maksimum No. 8; berat minimum 100 gram.

Benda uji disiapkan sesuai dengan prosedur, kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

Prosedur pemeriksaan:

- Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C, sampai berat tetap.
- Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran paling besar ditempatkan paling atas, kemudian mengguncangkan saringan dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

¹⁴ ASTM C-136-05 *Test Method for Sieve Analysis of Fine Aggregate*

- Percobaan ini dilakukan dua atau tiga kali agar lebih akurat hasil yang didapatkan.
- Menimbang berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan. Kemudian dicatat dan dihitung persentase agregat yang lolos saringan.
- Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai susunan butir dari agregat, dibuat suatu gambaran secara grafik yang disebut diagram butir.

3.4.1.4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200¹⁵

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan No. 200 dengan cara pencucian.

Alat-alat yang digunakan:

1. Saringan No. 16 dan No. 200.
2. Wadah pencucian benda uji berkapasitas cukup besar sehingga pada waktu diguncang-guncang benda uji atau air pencuci tidak tumpah.
3. Oven, yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
4. Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh.
5. Talam berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat.

Bahan yang digunakan:

1. Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai tabel 3.4

Tabel 3.4 Ukuran Agregat Maksimum

Ukuran Agregat Maksimum		Berat Contoh Agregat Kering Minimum
<i>Mm</i>	<i>inch</i>	<i>Gram</i>
2.36	No. 8	100
1.18	No. 4	500
9.5	$\frac{1}{4}$	2000
19.1	$\frac{3}{4}$	2500
38.1	$1\frac{1}{2}$	5000

¹⁵ ASTM C-117-04 *Test Method for Materials Finer Than 75- μm (No.200)*

2. Persiapan benda uji
 - Masukkan contoh agregat lebih kurang 1.25 kali berat benda uji ke dalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - Siapkan benda uji dengan berat (w_1) sesuai tabel 3.1

Prosedur pemeriksaan:

1. Memasukkan benda uji ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
2. Menggucang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian ke dalam susunan saringan No. 16 dan No. 200. Pada waktu menuangkan air cucian, mengusahakan agar bahan-bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
3. Memasukkan air pencuci baru, dan mengulang langkah sebelumnya sampai air cucian menjadi jernih.
4. Semua bahan yang tertahan saringan No. 16 dan No. 200 dikembalikan ke dalam wadah talam yang telah diketahui beratnya (w_2) dan dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
5. Setelah kering ditimbang dan dicatat beratnya (w_3)
6. Menghitung berat bahan kering tersebut ($w_4 = w_3 - w_2$)

Perhitungannya:

$$\text{Jumlah bahan lewat saringan No. 200} = \frac{w_1 - w_4}{w_1} \times 100\% \quad \dots(3.5)$$

w_1 = Berat benda uji semula (*gram*)

w_4 = Berat bahan tertahan saringan No. 200 (*gram*)

3.4.2. Pengujian Agregat Kasar

3.4.2.1. Analisa Specific Gravity dan Absorption dari Agregat Kasar¹⁶

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dengan ketelitian 0.5 gram, dengan kapasitas maksimum 5 kg
2. Panjang besi 8 in dan tinggi 2.5 in
3. Alat penggantung keranjang
4. Oven
5. Handuk

Prosedur pemeriksaan:

1. Benda uji direndam 24 jam.
2. Benda uji dikeringkan dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tanpa lembab (kondisi SSD). Kemudian menimbang berat benda uji.
3. Benda uji dimasukkan ke dalam keranjang dan direndam kembali dalam air, kemudian digoyang-goyangkan dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap. Kemudian menimbang kembali kontainer yang berisi benda uji.
4. Benda uji dikeringkan pada temperatur 212 – 230°F. Didinginkan kemudian ditimbang kembali berat benda uji.

Perhitungannya:

$$\text{Bulk Specific Gravity (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad \dots(3.6)$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{A}{B + A - C} \quad \dots(3.7)$$

$$\text{Persentase Absorpsi} = \frac{500 - A}{A} \times 100\% \quad \dots(3.8)$$

A = Berat dari benda uji oven dry (gram)

¹⁶ ASTM C-127-04 Test Method for Density, Specific Gravity, and Absorption of Coarse Aggregate

B = Berat dari piknometer berisi air (*gram*)

C = Berat dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi (*gram*)

3.4.2.2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar¹⁷

Pemeriksaan berat isi dan gembur agregat kasar dimaksudkan untuk mengetahui berat isi agregat kasar dalam keadaan padat dan gembur:

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 *gram*
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan agregat
3. Tongkat pemadat
4. Mistar perata
5. Wadah baja berbentuk silinder

Keadaan pasir kering udara: Gembur (lepas) dan padat

Prosedur pemeriksaan:

1. Berat isi lepas
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Memasukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 *cm* di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - c. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - d. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - e. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
2. Berat isi padat agregat dengan ukuran butir maksimum dengan cara penusukan
 - a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
 - b. Mengisi wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan

¹⁷ ASTM C-29M-97(2003) *Test Method for Bulk Density (Unit Weight) in Aggregate*

secara merata. Pada pemadatan, tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.

- c. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- d. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
- e. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

3. Berat isi pada agregat ukuran butir antara dengan cara penggoyangan

- a. Menimbang dan mencatat beratnya (w_1).
- b. Mengisi wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
- c. Memadatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah sebagai berikut:
 - o Meletakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, kemudian mengangkat salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian melepaskannya.
 - o Mengulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Memadatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
- d. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
- e. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta benda uji (w_2).
- f. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

Perhitungannya:

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{w_3}{V} \text{ (kg/dm}^3\text{)} \quad \dots(3.9)$$

$$V = \text{Isi wadah (dm}^3\text{)}$$

3.4.2.3. *Analisa Saringan Agregat Kasar*¹⁸

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan.

Alat-alat yang digunakan:

1. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dari benda uji.

¹⁸ ASTM C-136-05 *Test Method for Sieve Analysis of Coarse Aggregate*

2. Satu set jaringan: 76.2 mm (3"); 63.5 mm (2¹/₂") ; 50.8 mm (2"); 37.5 mm (1¹/₂"); 25 mm (1"); 19.1 mm (3/4"); 12.5 mm (1/2"); 9.5 mm (1/4"); No. 4; No. 8; No. 16; No. 30; No. 50; No. 100; No. 200 (standar ASTM).
3. Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai (110 ± 5)°C.
4. Alat pemisah contoh (*Sample Splitter*).
5. Mesin penggetar saringan.
6. Talam-talam
7. Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

Bahan yang digunakan:

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak:

- o Ukuran maksimum 3.5"; berat minimum 35 kg.
- o Ukuran maksimum 3"; berat minimum 30 kg.
- o Ukuran maksimum 2.5"; berat minimum 25 kg.
- o Ukuran maksimum 2"; berat minimum 20 kg.
- o Ukuran maksimum 1.5"; berat minimum 15 kg.
- o Ukuran maksimum 1"; berat minimum 10 kg.
- o Ukuran maksimum 3/4"; berat minimum 5 kg.
- o Ukuran maksimum 1/2"; berat minimum 2.5 kg.
- o Ukuran maksimum 1/4"; berat minimum 1 kg.

Benda uji disiapkan sesuai dengan prosedur, kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

Prosedur pemeriksaan:

1. Mengeringkan benda uji di dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C, sampai berat tetap.
2. Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran paling besar ditempatkan paling atas, kemudian mengguncangkan saringan dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

3. Percobaan ini dilakukan dua atau tiga kali agar lebih akurat hasil yang didapatkan.
4. Menimbang berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan. Kemudian dicatat dan dihitung persentase agregat yang lolos saringan.
5. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai susunan butir dari agregat, dibuat suatu gambaran secara grafik yang disebut diagram butir.

3.4.2.4. Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles¹⁹

Alat-alat yang digunakan:

1. Mesin Los Angeles
2. Saringan No. 12
3. Timbangan dengan ketelitian 5 gram
4. Bola-bola baja dengan diameter 4.68 cm dan berat masing-masing 390 – 445 gram
5. Oven

Prosedur pemeriksaan:

1. Benda uji dan bola-bola baja dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*.
2. Memutar mesin dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm, 500 putaran untuk gradasi A, B, C, dan D; 1000 putaran untuk gradasi E, F, dan G.
3. Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian disaring dengan saringan No. 12. Butiran yang tertahan dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven sampai beratnya tetap.

Perhitungannya:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad \dots(3.11)$$

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram)

¹⁹ ASTM C-131-03 *Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in The Los Angeles Machine*

3.5. DESAIN KOMPOSISI BENDA UJI (*MIX DESIGN*) PERHITUNGAN DENGAN METODE *US. BUREAU*

f_c'	=	25 MPa
MSA	=	40 mm
Slump	=	100 mm
<i>Spesific Gravity</i> (SG) <i>Cement</i>	=	3.15
<i>Spesific Gravity</i> (SG) <i>Sand</i>	=	2.577(kondisi SSD)
<i>Spesific Gravity</i> (SG) <i>Coarse Agregates</i>	=	2.45 (kondisi SSD)
<i>Fine Modulus</i> (FM) <i>Sand</i>	=	2.26

1. Menghitung Target Strenght

$$\text{Target kuat tekan adalah} = \frac{250}{1 - 0.833 \times 0.15} = 288.168 \text{ kg / cm}^2$$

2. Menetapkan Nilai WCR (*Water Cement Ratio*)

Dari tabel 2.17 didapat *WCR* berdasarkan interpolasi = 0.5023

Penentuan Jumlah Air Berdasarkan *S/A*

Dari tabel 2.16 didapatkan :

$$A = 1.2 \%$$

$$S/A = 36 \%$$

$$W = 165 \text{ kg}$$

3. Penyesuaian untuk FM = 2.26

Tabel 3.5 Penyesuaian nilai *S/A* dan *W*

Penyesuaian	<i>S/A</i>	<i>W</i>
1. FM = 2.26	$36 + \frac{2.26 - 2.8}{0.1} \times 0.5 = 33.3$	-
2. Slump = 10 cm	-	$165 + \frac{1.2}{100} (10 - 8) \times 165$
3. CA	$33.4 + 4 = 37.3$	$168.96 + 9 = 177.96 \text{ kg}$
4. C/A	-	$177.96 + 1.5(37.3 - 36) = 179.91 \text{ kg}$

4. Menentukan Semen yang Diperlukan

$$WCR = 0.5023 \text{ dan } W = 179.91 \text{ kg}$$

$$C = 358.172 \text{ kg}$$

5. Menentukan Volume Agregat Halus

$$Ag = 1 - \frac{179.91}{1000} - \frac{358.172}{3150} - \frac{1.2}{100} = 0.6943m^3$$

$$S/A = 37.3$$

$$S = \frac{37.3}{100} \times 0.6943m^3 = 0.25897 \times 2577 = 667.375kg$$

6. Menentukan Volume Agregat Kasar

$$CA = 0.6943 - 0.25897 = 0.43533 \times 2450 = 1066.5585kg$$

Jadi proporsi bahan untuk membuat beton dengan mutu beton $f_c' = 25MPa$ adalah :

Semen (C) = **358.172 kg**

Air (W) = **179.91 kg**

Pasir (S) = **667.375 kg**

Agregat Kasar (CA) = **1066.558kg**

3.6. PROSEDUR PEMBUATAN BENDA UJI²⁰

Prosedur ini dibagi kedalam 3 tahap, yaitu :

1. Pengadukan

- Seluruh agregat dicek kondisi kandungan airnya, terutama pada pasir.
- Bahan baku disiapkan dan ditimbang sesuai dengan proporsi berat yang telah ditentukan pada masing-masing campuran
- Agregat kasar (limbah beton) dan pasir ditambah dengan agregat kaca seluruhnya dimasukkan ke dalam mesin pengaduk lalu diaduk hingga merata.
- Kemudian matikan mesin, lalu masukkan semen dari 2/3 bagian air lalu nyalakan kembali mesin pengaduk

²⁰ ASTM C 192-95 ' Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in Laboratory'

- Mesin dimatikan setelah 2 menit, lalu material yang berada di dasar mesin pengaduk diaduk dengan sendok semen sehingga teraduk dengan merata.
- Mesin dijalankan kembali setelah 2 menit sambil menuangkan sisa air sedikit demi sedikit

2. Pencetakan sampel

- Siapkan cetakan sebelumnya dan beri pelumas pada bagian dinding dalam cetakan
- Untuk nilai slump 25-75 mm pemadatan dapat ditusuk atau digetar, sedangkan untuk nilai slump > 75 mm, pemadatan dilakukan dengan cara ditusuk.
- Adukan dimasukkan ke dalam cetakan dalam 3 lapisan. Setiap pengambilan campuran beton diaduk kembali dengan menggunakan sendok aduk agar tidak terjadi segregasi
- Pada lapisan akhir ditambahkan adukan beton sampai melebihi permukaan sehingga tidak perlu penambahan kembali setelah beton dipadatkan
- Setelah cetakan terisi penuh dan pemadatan telah selesai dilakukan bagian luar cetakan dipukul-pukul dengan palu ringan dengan tujuan untuk menutup lubang-lubang sisa pemadatan dan untuk melepas gelembung-gelembung udara yang ada.
- Lalu permukaan beton diratakan dan dapat ditambahkan lapisan tipis pasta semen untuk merapikan dan meratakan permukaan beton
- Kemudian benda uji didiamkan di udara terbuka kurang lebih 24 jam hingga mengeras dan dihindari adanya hubungan langsung dengan air.

3. Perawatan (Curing)

- Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam bak air sampai umur 6 hari untuk uji tekan 7 hari, 13 hari untuk uji tekan 14 hari dan 27 hari untuk uji tekan 28 hari.

- Suhu air rata-rata pada saat perendaman berkisar 25-27° C
- Berikan tanda/ kode pada benda uji untuk memudahkan identifikasi

3.7. PENGUJIAN TERHADAP BETON

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi penelitian terhadap beton segar berupa pengecekan slump serta pengujian terhadap beton yang sudah mengeras meliputi kuat tekan, lentur dan kuat tarik belah.

3.7.1. Pengecekan Slump²¹

Pengecekan slump bermaksud untuk mengukur kekentalan dari adukan beton yang dihasilkan pada setiap proses pengadukan. Kekentalan beton akan mempunyai pengaruh pada tingkat *workability* dari beton. Adukan beton untuk keperluan pengujian ini harus diambil langsung dari mesin pengaduk.

Peralatan yang digunakan :

- Tongkat baja berdiameter 16 mm dan panjang 60 mm dengan ujung yang dibulatkan
- Pelat baja sebagai alat cetakan, perata dan penggaris
- Kerucut abrams

Proses pengujian :

- Alat-alat yang akan digunakan pada pengujian ini sebelumnya dibasahi permukaannya untuk menghindari penyerapan air pada bagian alat
- Kerucut diletakkan di atas pelat atau bidang rata diikuti dengan menekan ke bawah pada penyokong-penyokongnya
- Adukan beton secara pelahan diisikan ke dalam kerucut dalam 3 lapis yang sama tebalnya dan setiap lapis ditusuk-tusuk dengan menggunakan tongkat baja sebanyak 25 kali

²¹ ASTM C-143M-05 *Test method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*

- Bidang bagian atas diratakan dan dibiarkan selama 30 detik
- Kerucut ditarik vertikal ke atas dengan perlahan
- Setelah itu ukur penurunan kerucut terhadap penurunan semula
- Hasil pengukuran ini disebut slump dan merupakan ukuran dari kekentalan adukan beton tersebut.

3.7.2. Pengujian kuat lentur beton²²

Prosedur pengujian kuat lentur pada penelitian ini mengacu pada ASTM 78-02 Test Method for *flexural strength of concrete* (using simple beam with *third-point loading*). Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Memasang benda uji pada alat penguji kuat lentur. Benda uji harus diletakkan tepat berada ditengah antara kedua perletakan. Beban yang bekerja sebanyak 2 buah dengan jarak antara titik beban adalah 1/3 panjang span (L).
- Memasang sistem pembebanan (loading system) di tengah-tengah permukaan balok
- Pembebanan dilakukan secara kontinyu tanpa adanya goncangan/ kejutan (shock). Pembebanan yang diberikan terhadap balok harus konstan



Gambar 3.2. Uji Tes lentur

²² ASTM 78-02 Test Method for Flexural Strength of Concrete

3.7.3. Pengujian kuat tekan beton²³

Prosedur pengujian kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan nilai f_c' , yaitu kuat tekan yang disyaratkan. Tahapannya adalah sebagai berikut

- Menimbang dan mencatat berat uji, kemudian bagian atas permukaan benda uji yang kasar diberi lapisan belerang (capping) yang bertujuan meratakan permukaan beton
- Setelah lapisan belerang mengeras, benda uji diletakkan pada mesin/ alat penekan dan posisinya diatur agar tepat berada di tengah-tengah pelat penekan.
- Pembebanan dilakukan perlahan-lahan secara kontinu dengan mesin hidraulik sampai benda uji mengalami kehancuran (jarum penunjuk berhenti kemudian salah satunya bergerak turun)
- Catat beban maksimum yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk



Gambar 3.3. Uji tekan silinder

²³ ASTM C 39/C 39M – 04a *Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen.*

3.7.4 Pengujian kuat tarik belah beton²⁴

Prosedur dalam melakukan pengujian ini mengacu pada ASTM C 496/C 496M - 04. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- Timbang benda uji serta ukur panjang dan diameternya.
- Siapkan alat perlengkapan pengujian tarik dan (splitting test) berupa pelat dasar yang tebal dan dilengkapi dengan alat untuk menahan benda uji.
- Letakkan benda uji secara mendatar sejajar dengan meja mesin tekan, pasang pada bagian atas benda uji dengan bantalan penekan berupa pelat besi
- Lakukan pembebanan sampai benda uji terbelah menjadi dua bagian. Catat beban maksimum.



Gambar 3.4 Uji tarik belah

²⁴ ASTM C 496/C 496M – 04 *Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

4.1. ANALISA LIMBAH BETON

Tabel 4.1 Hasil pengujian limbah beton

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat Menurut SII 0052-80
1.	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2.4	Termasuk agregat normal (2.2-2.6)
2.	<i>Apparent Spesific Gravity</i>	2.95	Termasuk agregat normal (2.6-3)
3.	Penyerapan air (%)	2.4905	< 3 %
4.	Berat isi padat (kg/liter)	1.36	> 1.2
5.	Rongga udara	47.62	-
6.	Analisa Saringan	-	-
7.	Tes Abrasi	37.34	Termasuk beton kelas 3

4.1.1. Berat Jenis dan Penyerapan air

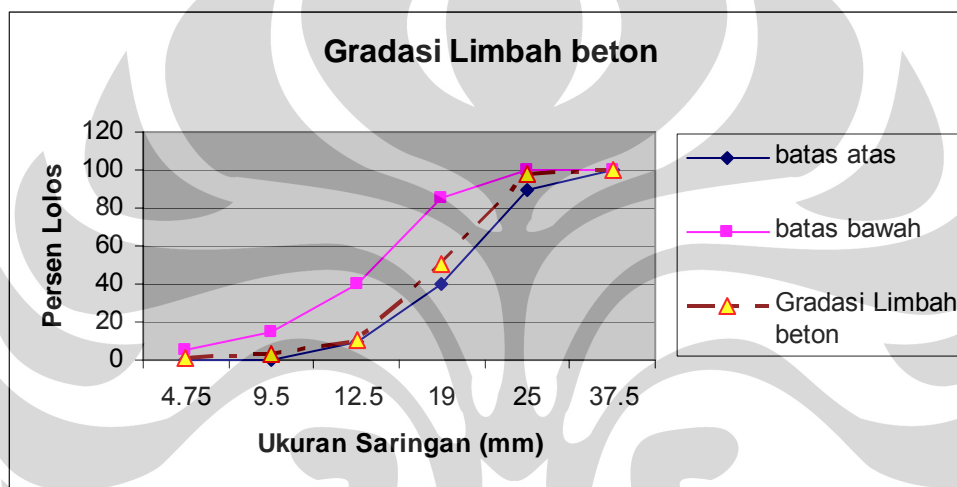
Dari Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air didapat berat jenis SSD (*Bulk Spesific Gravity*) sebesar 2.4 . Dengan berat jenis seperti ini dapat diklasifikasikan sebagai agregat normal. Sehingga beton yang dapat dibuat adalah beton normal. Hal ini dapat dimengerti karena limbah beton tersebut berasal dari beton normal yang memiliki berat jenis 2.4 ton/m^3 . Dari pengujian penyerapan air didapat 2.4905 lebih kecil dari 3 % sehingga termasuk agregat normal. Hal ini karena teknik pemecahan yang digunakan yaitu dengan memilah-milah batu yang akan dipakai yaitu dengan tidak mengambil yang banyak pasta semennya karena pasta semen banyak menyerap air.

4.1.2. Berat Isi dan Rongga udara

Berat isi didapatkan sebesar 1.36, nilai ini lebih besar dari yang disyaratkan minimal yaitu 1.2. Berat isi dan rongga udara mempengaruhi kepadatan agregat pada waktu dibuat beton. Hal ini tergantung pada cara pematatannya, bentuk (*shape*) agregat, serta tekstur dari permukaan agregat.

4.1.3. Analisa saringan

Berikut adalah grafik gradasi limbah beton



Gambar 4.1 Gradasi Limbah beton

Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa gradasi butiran dari limbah beton yang dipecahkan masuk dalam syarat butiran yang ada. Grafik yang didapat nyaris mendekati batas bawah yang diperbolehkan, hal itu berarti butiran yang ada didominasi oleh butiran-butiran yang kasar / berukuran besar. Hal ini dikarenakan pemecahan limbah tersebut menggunakan cara manual yaitu dengan tenaga manusia.

4.1.4. Kekerasan Agregat

Dari hasil pengujian didapat hasil 37.74 % Dari hasil tersebut yang paling banyak mengalami keausan adalah yang butirannya yang kecil. Karena butiran yang kecil didominasi oleh pasta semen (perekat). Dari hasil tersebut dapat diklasifikasikan sebagai beton kelas 3 sehingga dapat menghasilkan beton dengan kekuatan diatas 20 MPa sesuai dengan target beton yang akan dibuat yaitu dengan kekuatan f_c' 25 MPa

Dari tes yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa limbah beton tersebut dapat dipakai sebagai agregat kasar untuk membuat beton dengan mutu beton $f_c' 25$ MPa.

Hal ini dikarenakan perubahan metode yang digunakan yaitu :

1. Penggunaan limbah beton yang berasal dari beton yang mempunyai kekuatan $f_c' 35$ MPa lebih tinggi dari target kekuatan yang hendak dicapai yaitu $f_c' 25$ MPa.
2. Teknik pemecahan beton yaitu dengan memilah-milah limbah beton yang dipecahkan dengan hanya mengambil batunya saja dan tidak menggunakan batu yang banyak semennya. Sehingga agregat yang didapat akan mempunyai kualitas yang hampir sama dengan agregat baru.



Gambar 4.2 Hasil pemecahan limbah beton

4. 2. ANALISA LIMBAH KACA

4.2.1. Teknik Pemecahan Limbah Kaca

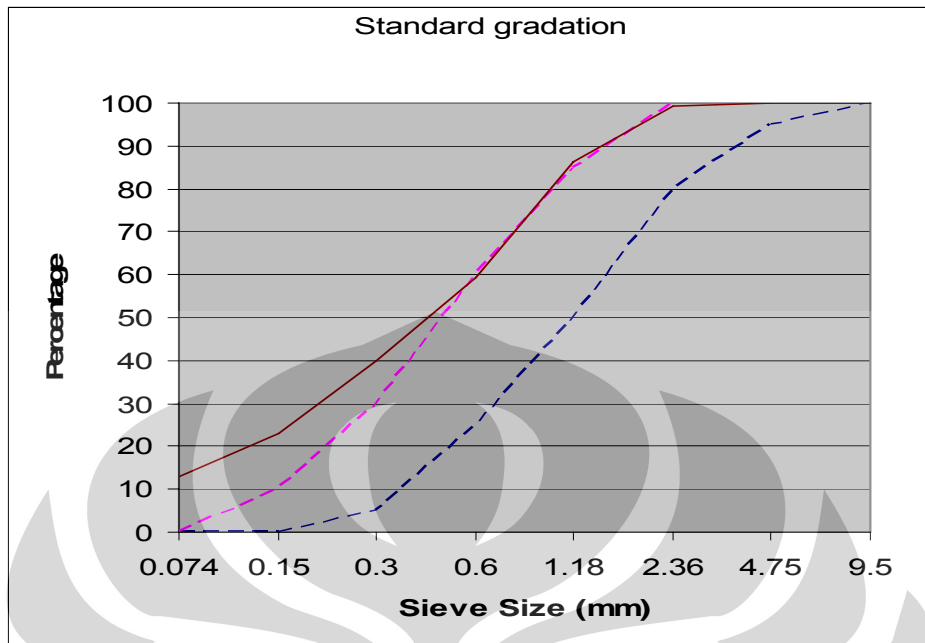
Penggunaan kaca sebagai bahan tambahan (*filler*) pada beton terbukti dapat menambah kekuatan beton dalam hal kekutan tekan, tarik, dan lentur. Ini disebabkan oleh metode yang digunakan sesuai dengan yang ada dalam referensi yaitu :

1. Dengan menggunakan kaca yang berwarna hijau yang terbukti dapat mengurangi reaksi ASR yang dapat memperlemah beton²⁵
2. Dengan menggiling kaca sampai halus dengan menggunakan mesin mesin Los Angeles yang mendapatkan hasil *Fine Modulus* (FM) untuk kaca yang rendah yaitu 1.98 lebih rendah dari FM pasir yang dipakai yaitu 2.26, sehingga mempunyai butiran yang lebih halus yang dapat menutupi rongga-rongga pada beton sehingga dapat meningkatkan kekuatan pada beton.

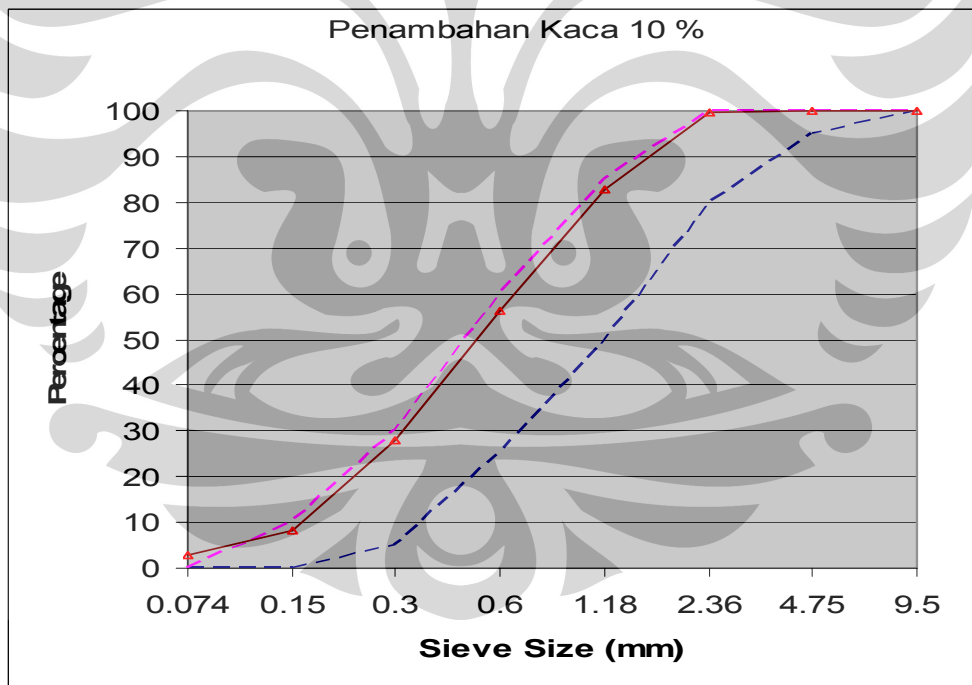


Gambar 4.3 Hasil pemecahan kaca menggunakan Mesin Los Angeles

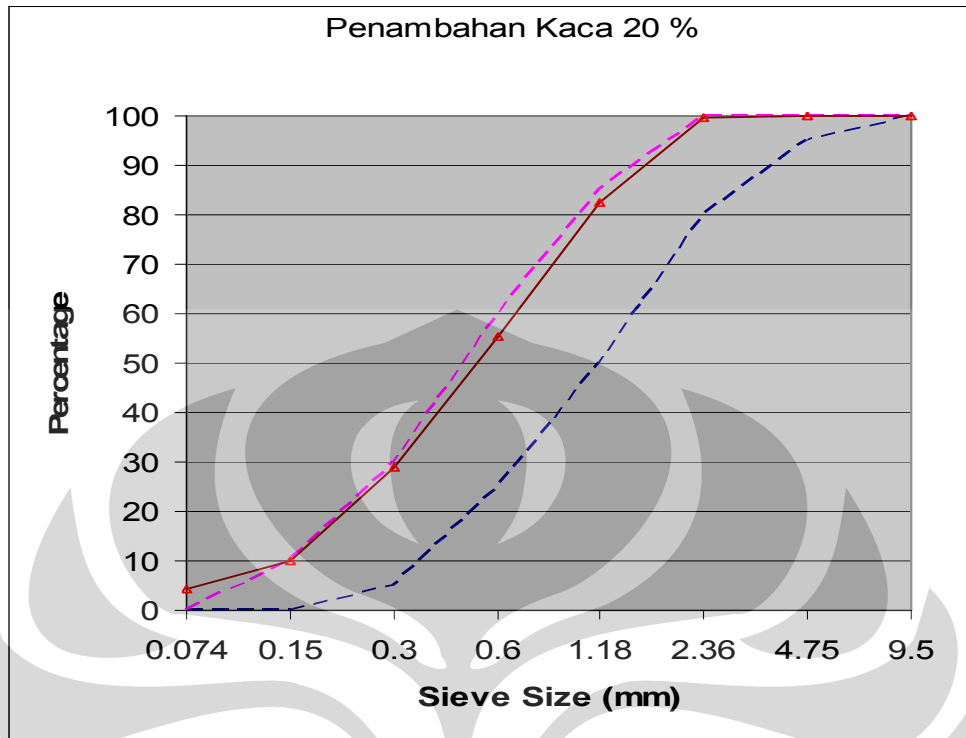
²⁵ www.google.com/Concrete Materials Research at Columbia university



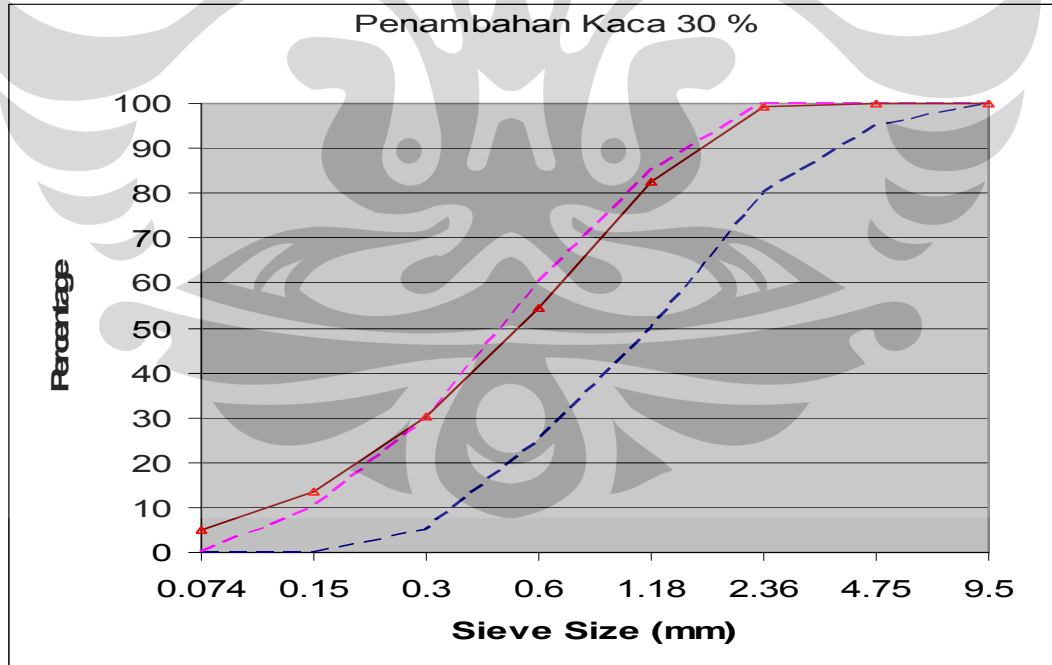
Gambar 4.4 Gradasi pada kaca



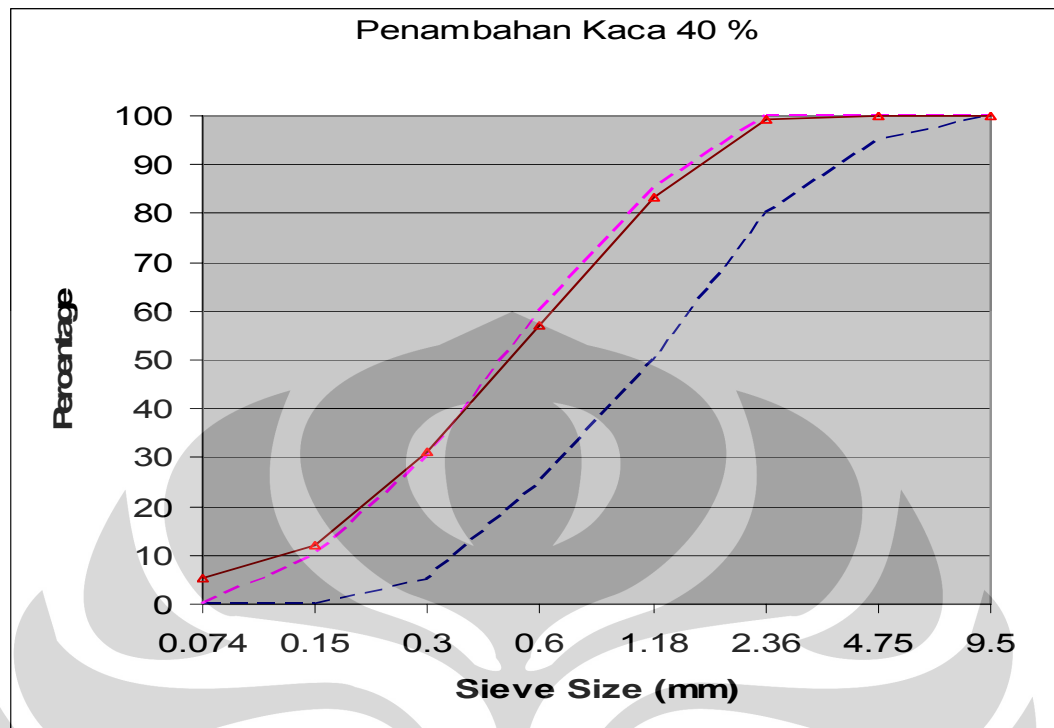
Gambar. 4.5 Gradasi pasir dengan penambahan kaca 10 %



Gambar. 4.6 Gradasi pasir dengan penambahan kaca 20 %



Gambar. 4.7 Gradasi pasir dengan penambahan kaca 30 %



Gambar. 4.8 Gradasi pasir dengan penambahan kaca 40 %

Dari grafik gradasi pasir pada setiap kadar penambahan kaca dapat terlihat bahwa dengan semakin banyak penambahan kaca akan membuat gradasi dari agregat halus semakin halus sehingga akan semakin dapat mengisi rongga-rongga antara agregat kasar dan halus dalam campuran beton. Angka kehalusan yang terjadi pada setiap kadar akan menurun seiring dengan penambahan persen kaca, yaitu

- Pada penambahan 10 % kaca, FM = 2.25
- Pada penambahan 10 % kaca, FM = 2.23
- Pada penambahan 10 % kaca, FM = 2.2
- Pada penambahan 10 % kaca, FM = 2.17

FM agregat halus (pasir) yang dipakai adalah 2.26. Ini menandakan bahwa tingkat kehalusan akan meningkat seiring dengan penambahan kaca yang ada.

4.2.2. Analisa Kandungan kimia dalam kaca

Untuk membuktikan apakah benar kaca yang berwarna hijau mempunyai kandungan kromium yang tinggi, diadakan penelitian kandungan kimia yang ada

dalam kaca dengan test X-Ray Flourescent pada 3 jenis kaca yaitu kaca berwarna bening, berwarna merah dan berwarna hijau. Berikut adalah hasil tes tersebut.

Tabel 4.2 Kandungan kaca berwarna merah

No.	Atom	Chem. Formula	Percentage weight (%)
1	11	Na	13.5331
2	13	Al	1.141
3	14	Si	62.7808
4	16	S	0.2018
5	19	K	0.7628
6	20	Ca	21.0082
7	22	Ti	0.1574
8	24	Cr	0.0674
9	26	Fe	0.2854
10	38	Sr	0.0621

Tabel 4.3 Kandungan kaca berwarna hijau

No.	Atom	Chem. Formula	Percentage weight (%)
1	11	Na	12.5525
2	12	Mg	2.9906
3	13	Al	1.9446
4	14	Si	62.5855
5	19	K	2.0552
6	20	Ca	16.8784
7	22	Ti	0.0644
8	24	Cr	0.4236
9	25	Mn	0.031
10	26	Fe	0.8229
11	33	As	0.0398
12	56	Ba	0.6122
13	82	Pb	0.1092

Tabel 4.4 Kandungan kaca berwarna bening

No.	Atom	Chem. Formula	Percentage weight (%)
1	11	Na	12.4909

2	13	Al	1.7602
3	14	Si	61.9696
4	19	K	2.2525
5	20	Ca	20.5908
6	22	Ti	0.1559
7	26	Fe	0.7497
8	38	Sr	0.0304

Dari hasil tes lab didapatkan bahwa kaca berwarna hijau mempunyai kandungan Cromium yang tertinggi dibandingkan kaca berwarna merah dan bening. Cromium dapat mengurangi reaksi Alkali Silika Reaction (ASR) yang terjadi pada beton²⁶.

Pada penelitian kali ini reaksi ASR yang akan menyebabkan beton retak tidak terlalu terlihat seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini. Karena pada dasarnya reaksi ASR akan terjadi dalam jangka waktu tahunan, sedangkan umur beton yang paling lama dalam pengetesan beton kali ini hanya selama 28 hari, jadi pada sampel benda uji tidak terdapat retakan akibat reaksi ASR begitu juga gel yang terbentuk akibat reaksi ini.



Gambar 4.9 Sampel beton

4.3. HASIL DAN ANALISA HASIL TES TEKAN BETON

²⁶ www.google.com/Concrete Materials Research at Columbia university

4.3.1. Hasil Tes Tekan Beton

Berikut adalah hasil yang didapat dari tes laboratorium

Tabel 4.5 Kekuatan tekan beton kadar 0 % kaca

TES TEKAN 0 % Kaca*					
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	f_c' (MPa)	f_c' (Mpa) rata-rata
7 hari	1	3702	15000	18.3733464	18.78164299
	2	3714	15000	18.3733464	
	3	3674	16000	19.59823616	
14 hari	1	3699	10000	12.2488976	22.66046056
	2	3724	18000	22.04801568	
	3	3667	19000	23.27290544	
28 hari	1	3719	20000	24.4977952	25.11024008
	2	3556	21000	25.72268496	
	3	3539	24500	30.00979912	

*Angka yang diberi warna merah tidak digunakan dalam analisis

Tabel 4.6 Kekuatan tekan beton kadar 10 % kaca

TES TEKAN 10 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	f_c' (MPa)	f_c' (MPa) rata-rata
7 hari	1	3732	7500	9.186673199	16.0766781
	2	3697	11250	13.7800098	
	3	3712	15000	18.3733464	
14 hari	1	3759	15000	18.3733464	22.35423812
	2	3705	18750	22.966683	
	3	3668	21000	25.72268496	
28 hari	1	3759	16000	19.59823616	25.72268496
	2	3693	20000	24.4977952	
	3	3717	22000	26.94757472	

Tabel 4.7 Kekuatan tekan beton kadar 20 % kaca

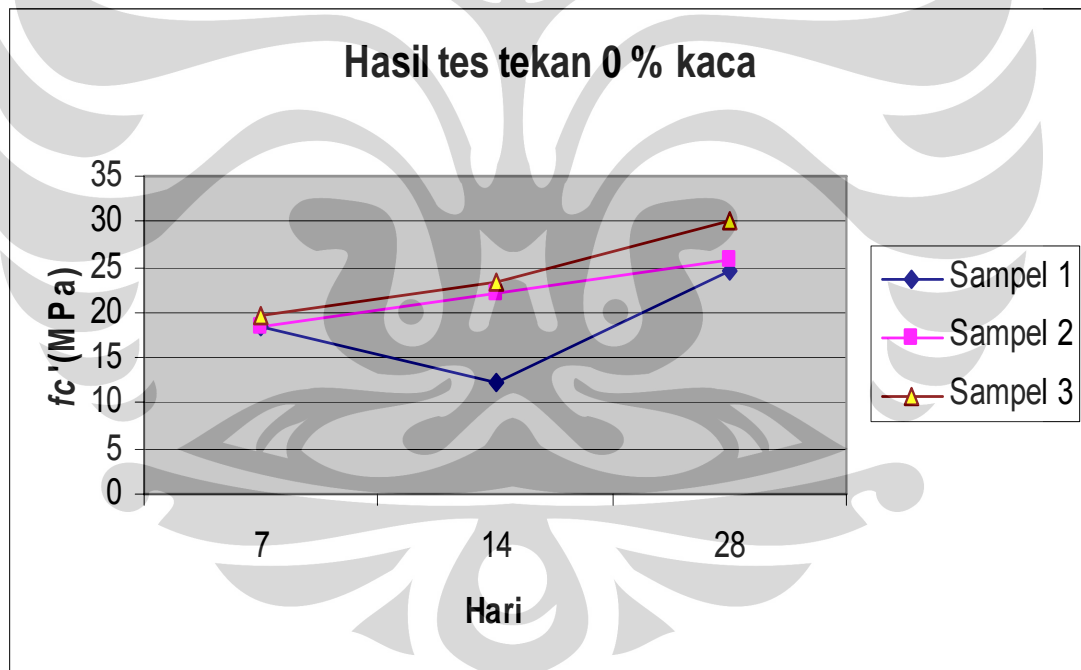
TES TEKAN 20 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	f_c' (MPa)	f_c' (MPa) rata-rata
7 hari	1	3422	10500	12.86134248	14.29038053
	2	3425	10500	12.86134248	
	3	3395	14000	17.14845664	
14 hari	1	3678	16500	20.21068104	22.25216397
	2	3713	19000	23.27290544	
	3	3690	19000	23.27290544	
28 hari	1	3724	21000	25.72268496	26.33512984
	2	3649	21000	25.72268496	
	3	3688	22500	27.5600196	

Tabel 4.8 Kekuatan tekan beton kadar 30 % kaca

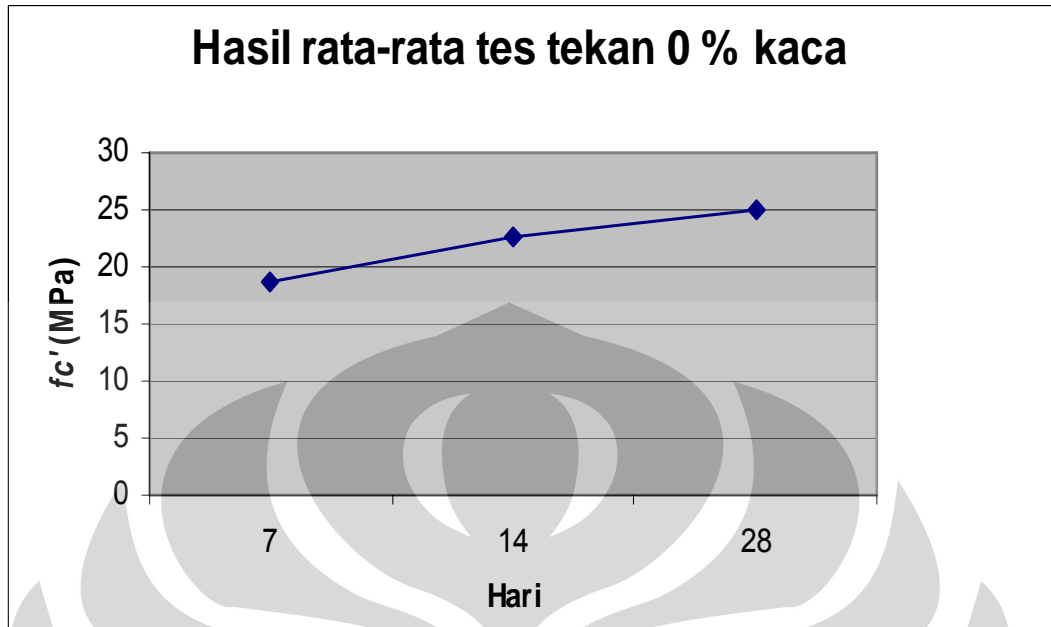
TES TEKAN 30 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	f_c' (MPa)	f_c' (MPa) rata-rata
7 hari	1	3634	12000	14.69867712	18.16919811
	2	3699	15750	19.29201372	
	3	3638	16750	20.51690348	
14 hari	1	3693	12500	15.311122	20.61897763
	2	3730	16000	19.59823616	
	3	3681	22000	26.94757472	
28 hari	1	3604	21500	26.33512984	27.25379716
	2	3675	23000	28.17246448	
	3	3619	27500	33.6844684	

Tabel 4.9 Kekuatan tekan beton kadar 40 % kaca

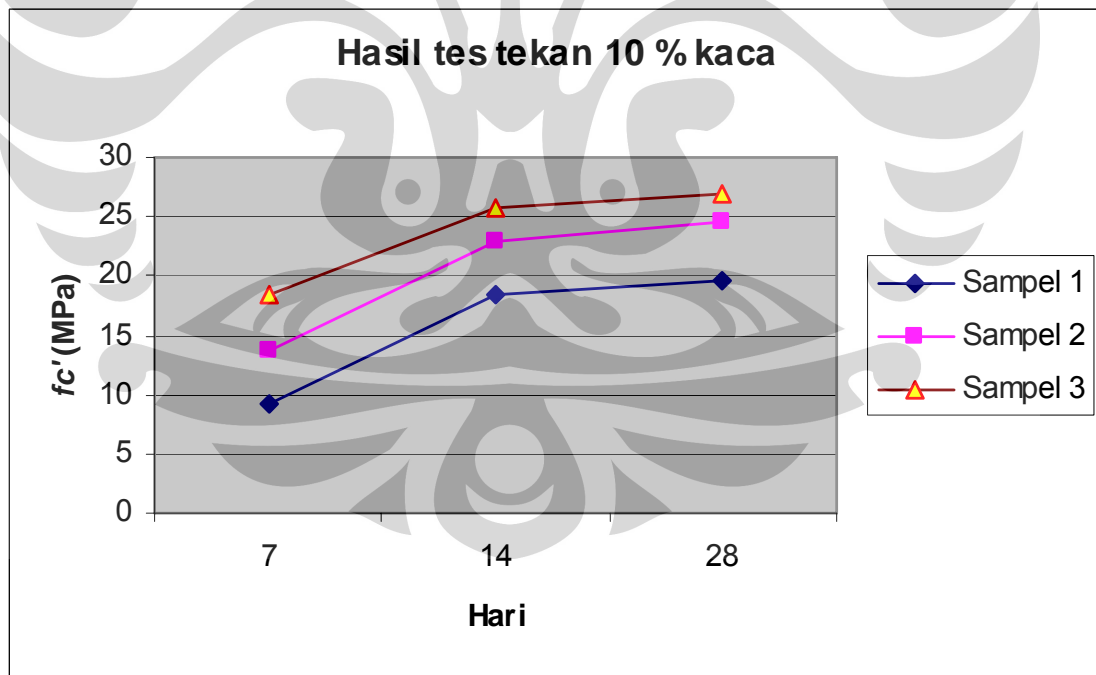
TES TEKAN 40 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	f_c' (MPa)	f_c' (MPa) rata-rata
7 hari	1	3457	15000	18.3733464	21.4355708
	2	3741	18500	22.66046056	
	3	3689	19000	23.27290544	
14 hari	1	3710	15000	18.3733464	24.80401764
	2	3682	19000	23.27290544	
	3	3648	21500	26.33512984	
28 hari	1	3641	22500	27.5600196	28.17246448
	2	3709	23000	28.17246448	
	3	3668	23500	28.78490936	



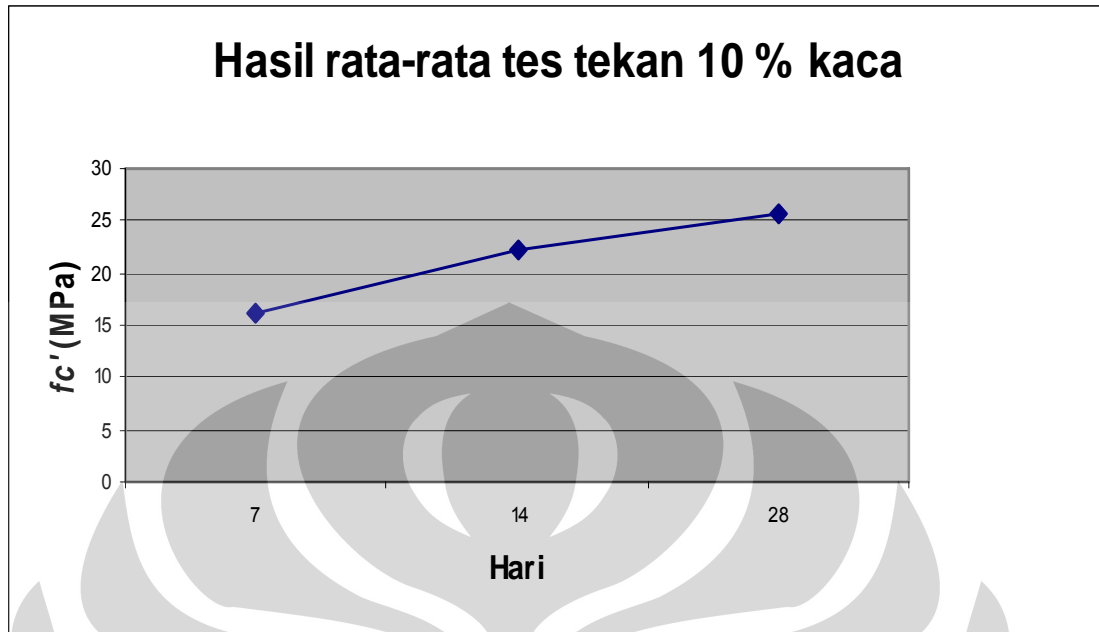
Gambar 4.10 Grafik kenaikan kekuatan tekan 0 % kaca



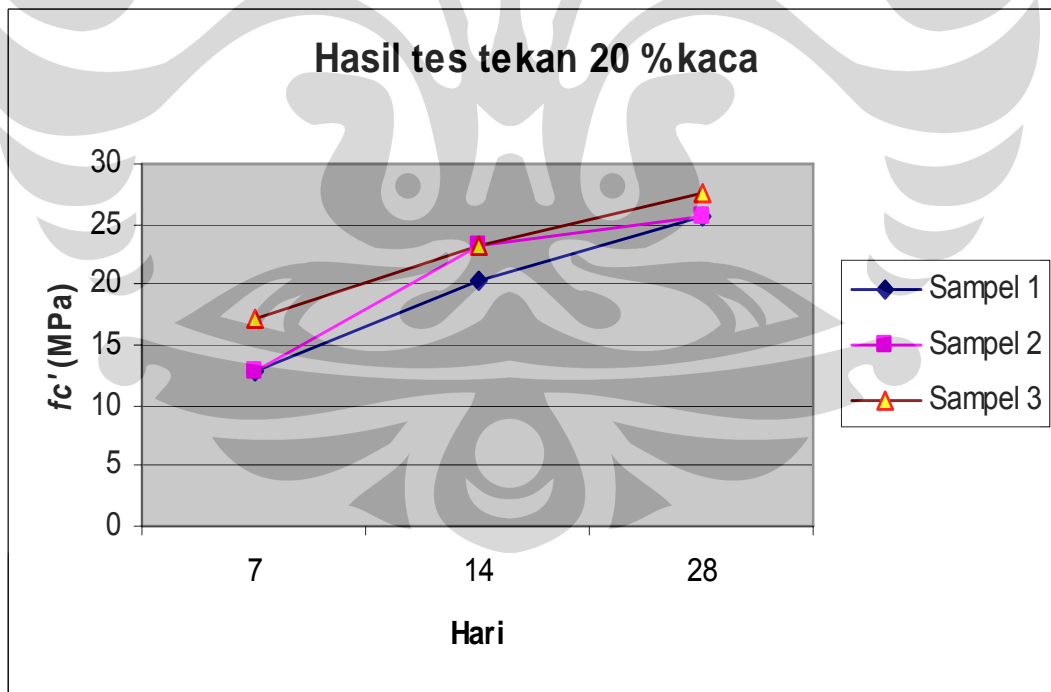
Gambar 4.11 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 0 % kaca



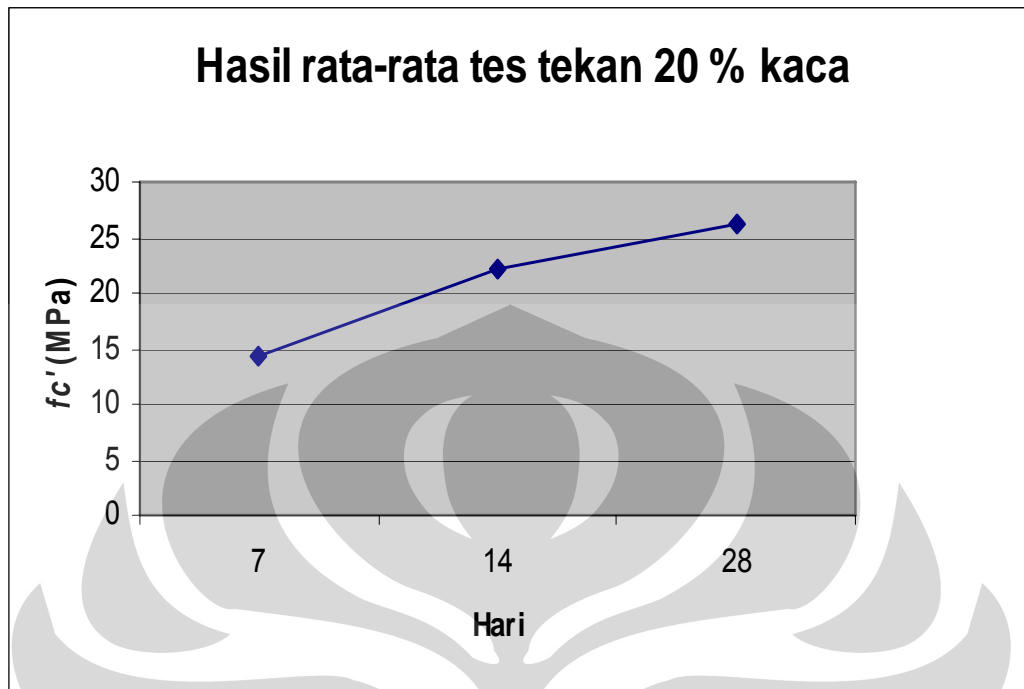
Gambar 4.12 Grafik kenaikan kekuatan tekan 10 % kaca



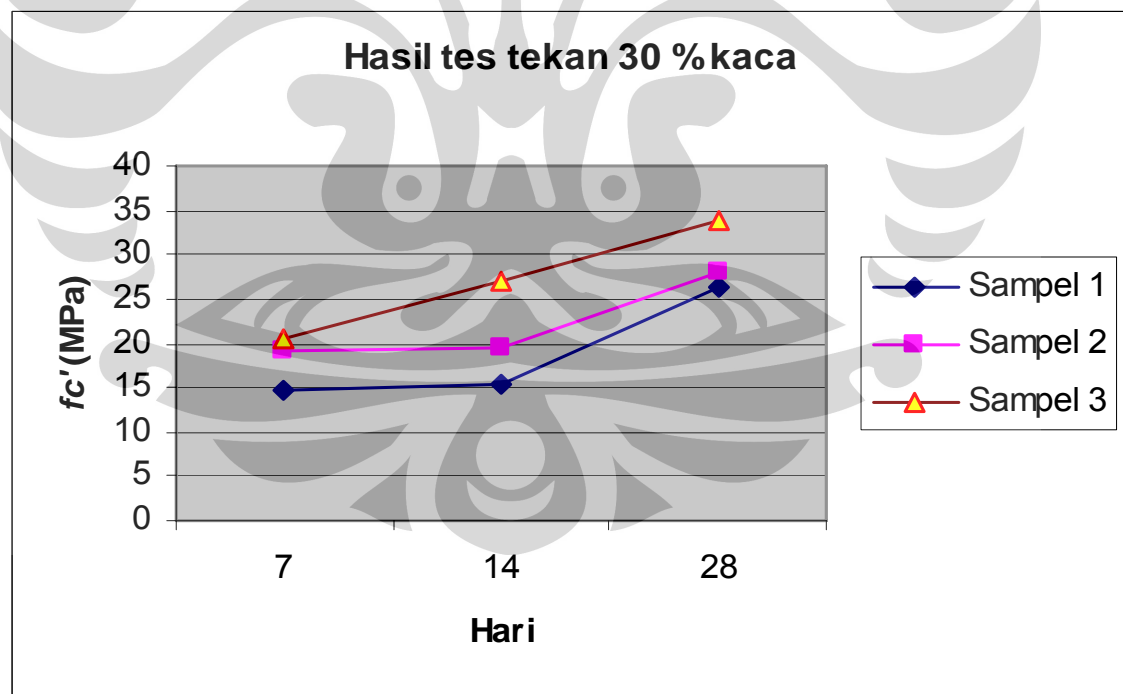
Gambar 4.13 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 10 % kaca



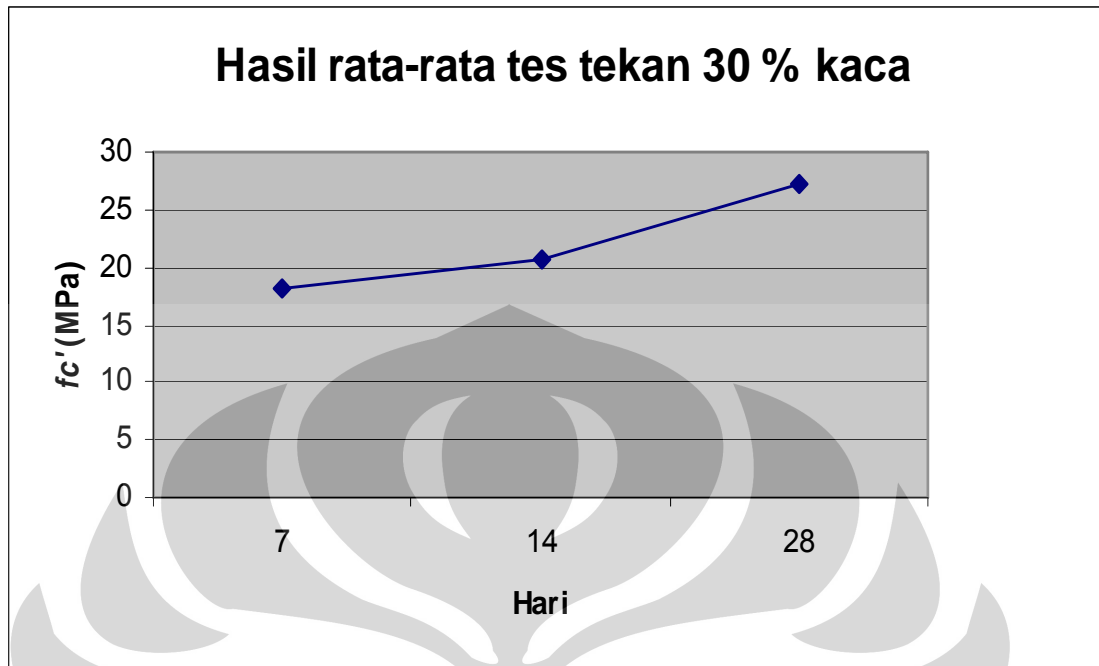
Gambar 4.14 Grafik kenaikan kekuatan tekan 20 % kaca



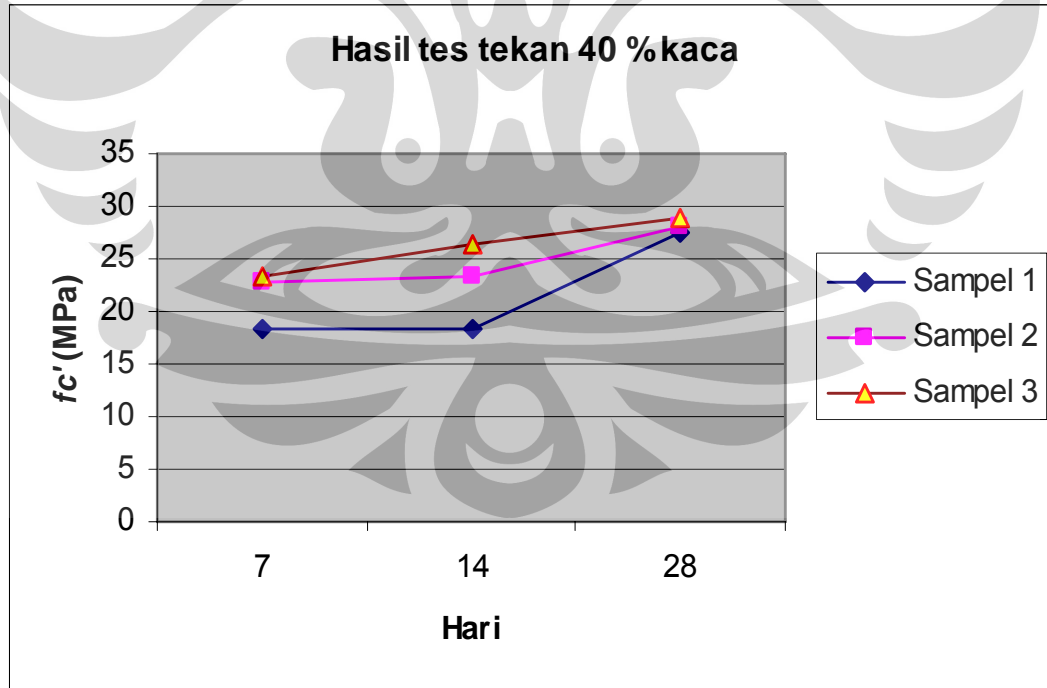
Gambar 4.15 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 20 % kaca



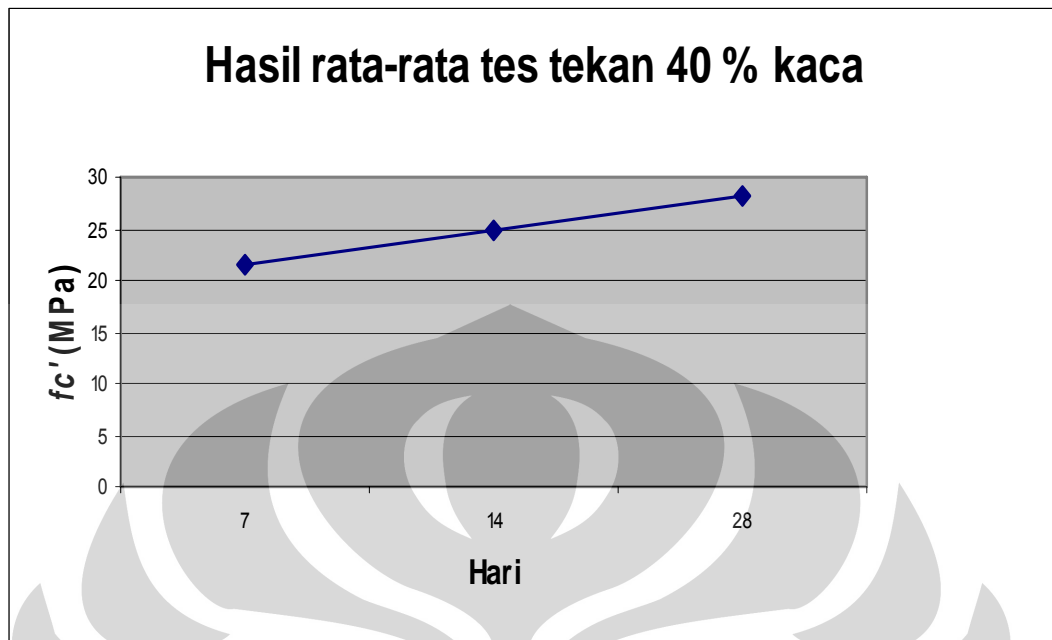
Gambar 4.16 Grafik kenaikan kekuatan tekan 30 % kaca



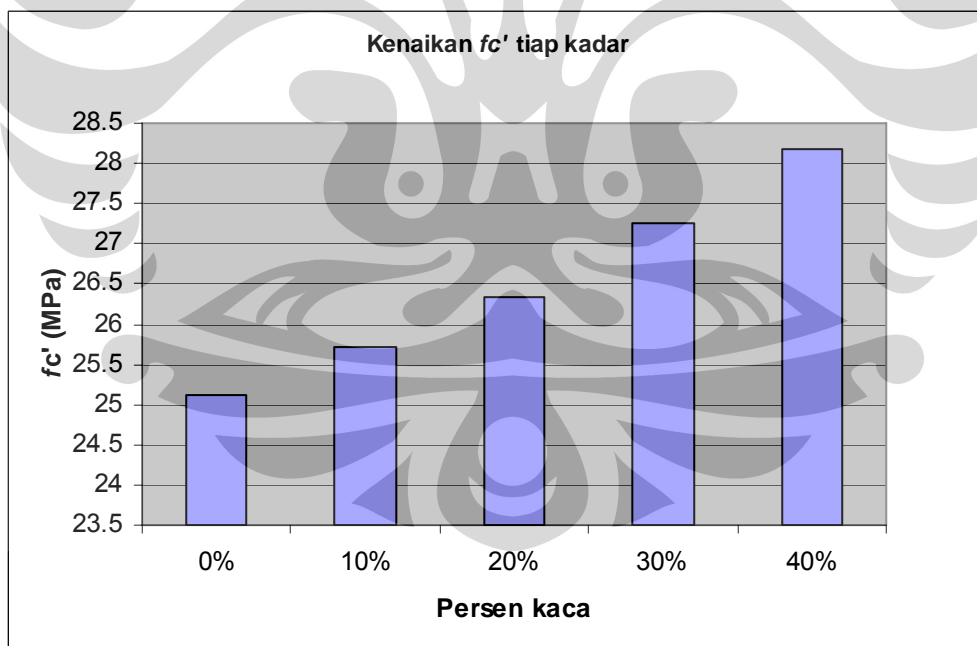
Gambar 4.17 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 30 % kaca



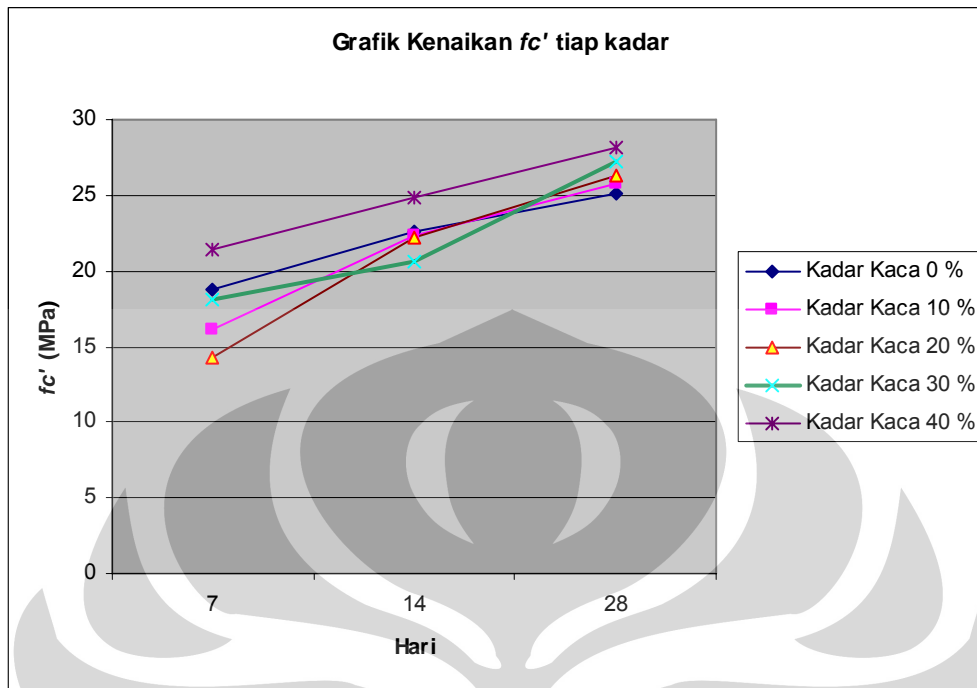
Gambar 4.18 Grafik kenaikan kekuatan tekan 40 % kaca



Gambar 4.19 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan 40 % kaca



Gambar 4.20 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tekan tiap kadar



Gambar 4.21 Grafik gabungan kenaikan kekuatan tekan tiap kadar

4.3.2. Analisa

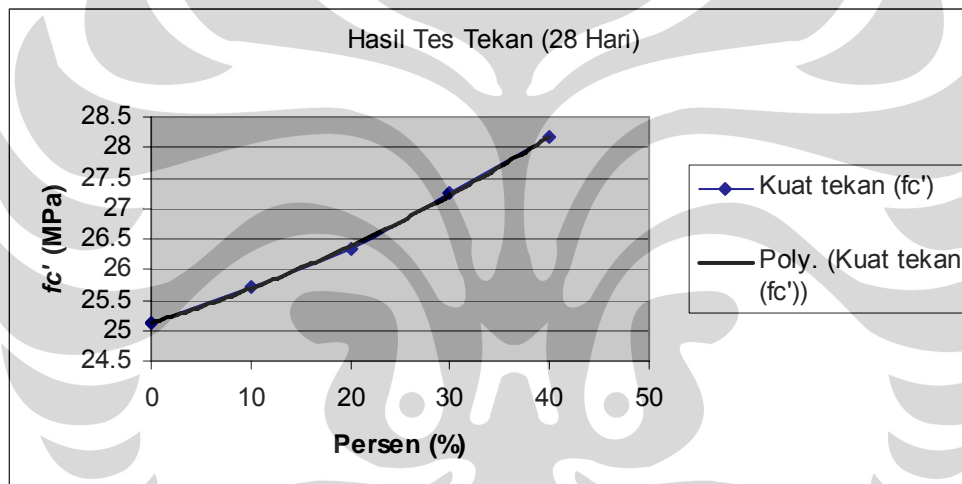
Dari hasil terlihat bahwa penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar dapat menghasilkan kekuatan beton seperti yang telah direncanakan yaitu f_c' 25 MPa, sedangkan dari penelitian serupa sebelumnya oleh Djejen Achmad ” *Pemanfaatan Limbah beton sebagai agregat kasar untuk campuran beton mutu rendah, 1997*” hanya didapatkan f_c' 22 MPa.

Dari gambar 4.20, grafik peningkatan f_c' tiap kadar didapatkan setiap penambahan kaca 10 % selalu akan meningkatkan kekuatan tekan beton, hal ini terus bertambah hingga pada percobaan dengan kadar kaca 40 %, sehingga jika kita menambahkan lebih banyak lagi kaca kemungkinan kekuatan beton terus bertambah masih ada, jadi dari penelitian ini belum didapatkan nilai optimum dari pemakaian kaca sebagai *filler* dalam hal meningkatkan kuat tekan beton. Dari hasil ini juga dapat dilihat bahwa dengan penambahan 40 % kaca akan meningkatkan kekuatan tekan beton sebesar 12.19 % dari beton dengan kadar kaca 0 %.

Tabel 4.10 Persen kenaikan kekuatan tekan terhadap kadar kaca 0 %

Kadar kaca (%)	f_c' (MPa)	% Kenaikan terhadap kadar 0 % (%)
0	25.11024	0
10	25.72268	2.43902439
20	26.33513	4.87804878
30	27.25380	8.536585366
40	28.17246	12.19512195

Dari gambar 4.20 kita dapat membuat sebuah persamaan kuadratik yang menghubungkan antara persen kaca dan tingkat kenaikan kekuatan tekan beton yaitu



Gambar. 4.22. Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan

$$y = 6.5619x^2 + 5.0308x + 25.119$$

dengan :

y = kekuatan tekan beton (MPa)

x = kadar kaca (dalam persen)

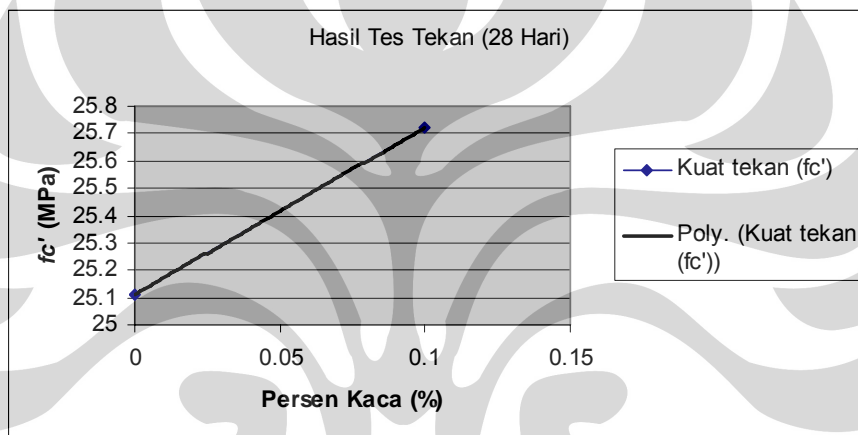
Persamaan ini hanya berlaku untuk kondisi tertentu yaitu

- Jika menggunakan kaca berwarna hijau
- Jika menggunakan limbah beton dari beton dengan kuat tekan rencana f_c' 35 MPa
- Berlaku untuk rentang kadar kaca 0-40 %

Melalui persamaan ini kita bisa mendapatkan berapa kuat tekan yang terjadi jika kita ingin menambahkan kaca dengan kadar kaca selain yang telah diuji.

Verifikasi rumus

Untuk memverifikasi rumus yang ada dipakai data 0-10 % untuk memprediksi kekuatan tekan 20%, 30% dan 40 % kaca. Data 0-20 % untuk memprediksi 30 dan 40 % kaca dan data 0-30 % untuk memprediksi kekuatan tekan pada 40 % kaca, lalu dilihat berapa persen keakuratan dalam memprediksi kekuatan tekan tersebut. Berikut adalah persamaan jika hanya menggunakan data 0-10 % saja.

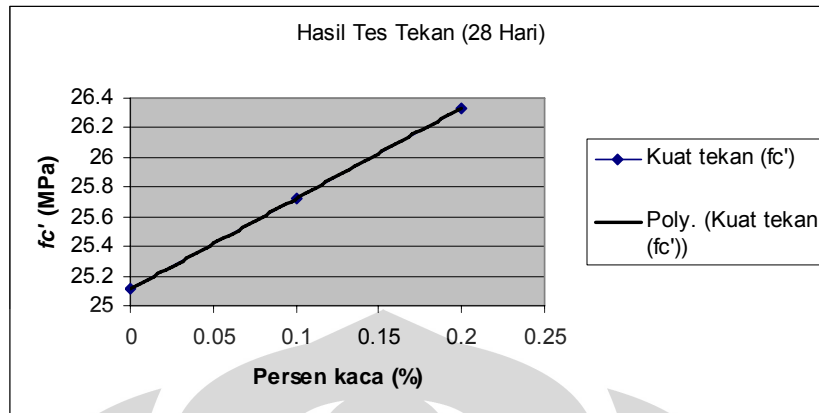


Gambar. 4.23. Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan untuk kadar 0-10 %

$$y = 6.1244x + 25.11$$

Jika kita menggunakan rumus ini untuk memprediksi berapa kuat tekan yang terjadi jika kadar kaca ditambahkan menjadi 20, 30, dan 40 %, kita akan mendapatkan nilai 26.33488 MPa, 26.947 MPa, dan 27.559 MPa. Dibandingkan dengan nilai percobaan untuk kadar 20, 30, dan 40 %, nilai kuat tekan yang terjadi yaitu sebesar 26.335 MPa, 27.2538 MPa, dan 28.1725 MPa. Terdapat perbedaan yang kecil yaitu sebesar 0,002 % untuk memprediksi kekuatan tekan beton pada penambahan 20% kaca, 1.1 % pada 30 % kaca, dan 2.17 % pada kadar 40 % kaca. Jadi persamaan ini cukup valid untuk digunakan memprediksi kuat tekan yang terjadi untuk kadar selanjutnya.

Berikut adalah persamaan jika hanya menggunakan data 0-20 % saja.

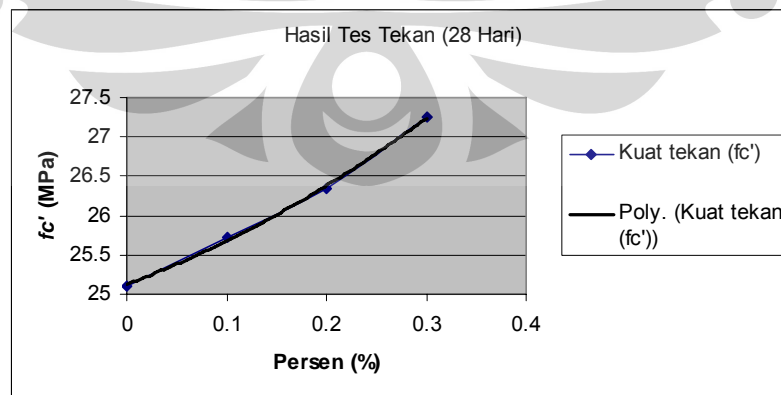


Gambar. 4.24. Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan untuk kadar 0-20 %

$$y = -4.10^{-12} + 6.1244x + 25.11$$

Jika kita menggunakan rumus ini untuk memprediksi berapa kuat tekan yang terjadi jika kadar kaca ditambahkan menjadi 30% dan 40 %, kita akan mendapatkan nilai 26.947 MPa dan 27.559 MPa. Dibandingkan dengan nilai percobaan untuk kadar 20% dan 40 %, nilai kuat tekan yang terjadi yaitu sebesar 27.2538 MPa dan 28.1725 MPa. Terdapat perbedaan yang kecil yaitu sebesar 1.1 % untuk memprediksi kekuatan tekan beton pada penambahan 30% kaca, dan 2.17 % pada kadar 40 % kaca. Jadi persamaan ini cukup valid untuk digunakan memprediksi kuat tekan yang terjadi untuk kadar selanjutnya.

Berikut adalah persamaan jika hanya menggunakan data 0-30 % saja.



Gambar. 4.25. Grafik persamaan kuadrat untuk tes tekan untuk kadar 0-30 %

$$y = 7.6556x^2 + 4.7464x + 25.11$$

Jika kita menggunakan rumus ini untuk memprediksi berapa kuat tekan yang terjadi jika kadar kaca ditambahkan menjadi 40 %, kita akan mendapatkan nilai 28.2424 MPa. Dibandingkan dengan nilai percobaan untuk kadar 40 % nilai kuat tekan yang terjadi yaitu sebesar 28.1172 MPa, terdapat perbedaan yang sangat kecil yaitu sebesar 0,44 %. Jadi persamaan ini cukup valid untuk digunakan memprediksi kuat tekan yang terjadi untuk kadar selanjutnya.

Pada kadar 0 % terdapat sebuah sampel yang pada hari ke empat belas kekuatan tekannya lebih rendah dari hari ketujuh, hal ini terjadi mungkin karena adanya kesalahan dalam proses pencetakan sampel antara lain :

1. Proses pemadatan yang kurang baik
2. Mungkin ini sampel terakhir yang dicetak sehingga agregat yang ada kurang lebih banyak mortarnya sehingga memperlemah beton.

Karena pada percobaan ini setiap kadar dibuat 3 buah sampel, jadi kehilangan satu sampel bisa ditolerir karena masih ada 2 sampel lagi yang bisa digunakan dalam perhitungan, sehingga sampel tersebut dapat dihilangkan dan tidak disertakan dalam perhitungan.

Dari hasil penelitian juga didapatkan hasil bahwa setiap peningkatan penambahan kaca juga disertai dengan penambahan air yang lebih banyak demi untuk mencapai nilai slump yang telah direncanakan yaitu slump 10.

Tabel 4.11 *Water-Cement Ratio* yang terjadi

Kadar Kaca (%)	Banyaknya air yang ditambahkan	Kadar W/C yang terjadi
0	50 gram	0.508215768
10	200 gram	0.525998814
20	-100 gram (tersisa)	0.490432721
30	500 gram	0.561564908
40	850gram	0.603058684

Dapat dilihat pada penambahan kaca 40 % harus ditambahkan air sebesar 850 gram dari yang telah dihitung, hal ini disebabkan karena sifat dari kaca yang tidak menyerap air sehingga sewaktu pengetesan slump akan membuat beton tidak turun karena kaca yang ada tetap kering sehingga akibat penambahan kaca slump yang terjadi menjadi lebih kecil dari yang telah direncanakan Terjadi penyimpangan data pada kadar kaca 20 % yaitu justru air yang dibutuhkan dikurangi. Hal ini mungkin terjadi karena pada saat itu kondisi batu atau pasir dalam keadaan lembab (karena hujan yang sedang turun) sehingga mengakibatkan kadar air yang diperlukan tidak terlalu banyak.

Akibat penambahan air berdampak pada berubahnya nilai *Water-Cement ratio* yang telah ditetapkan, Semakin tinggi nilai *water cement ratio* seharusnya kekuatan beton akan melemah, tetapi yang terjadi tidak demikian karena penghitungan *water-cement ratio* awal tidak memperhitungkan penambahan kaca, semakin banyak kaca yang ditambahkan semakin banyak juga air yang dibutuhkan.

Dari grafik kenaikan f_c' perhari didapatkan kecepatan kenaikan yang berbeda-beda dari tiap kadar, hal ini mungkin dipengaruhi oleh suhu air yang tidak konstan pada saat proses *curing* beton dan kandungan air yang ada pada tiap-tiap kadar sehingga mempengaruhi kecepatan kenaikan kekuatan beton, walaupun pada akhirnya setelah 28 hari sudah kembali stabil. Seperti dapat dilihat pada kadar 20 % kekuatan beton pada waktu berumur 7 hari adalah 14.29 MPa, lebih kecil dari 16.07 Mpa yaitu kekuatan tekan beton dengan kadar 10 %, tetapi pada umur 14 hari kadar 20 % meningkat dan hampir sama dengan kadar 10 % kemudian pada umur 28 hari kekuatan tekan beton kadar 20 % lebih besar dari kekuatan beton dengan kadar 10 %.

4.4. HASIL DAN ANALISA HASIL TES TARIK BETON

4.4.1 . Hasil Tes Tarik Beton

Tabel 4.12 Kekuatan tarik beton kadar 0 % kaca

TES TARIK 0 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat (gr)	F(tarik,kg)	<i>ft</i> (MPa)	<i>ft</i> rata-rata (MPa)
7 hari	1	3595	6100	1.942675159	2.006369427
	2	3611	6600	2.101910828	
	3	3644	6200	1.974522293	
28 hari	1	3047	6500	2.070063694	2.436305732
	2	3049	8800	2.802547771	
	3	-	-	-	

Tabel 4.13 Kekuatan tarik beton kadar 10 %

TES TARIK 10 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat (gr)	F(tarik,kg)	<i>ft</i> (MPa)	<i>ft</i> rata-rata (MPa)
7 hari	1	3637	5000	1.592356688	1.894904459
	2	3562	5000	1.592356688	
	3	3644	7850	2.5	
28 hari	1	3665	7050	2.24522293	2.542462845
	2	3606	7400	2.356687898	
	3	3618	9500	3.025477707	

Tabel 4.14 Kekuatan tarik beton kadar 20 % kaca

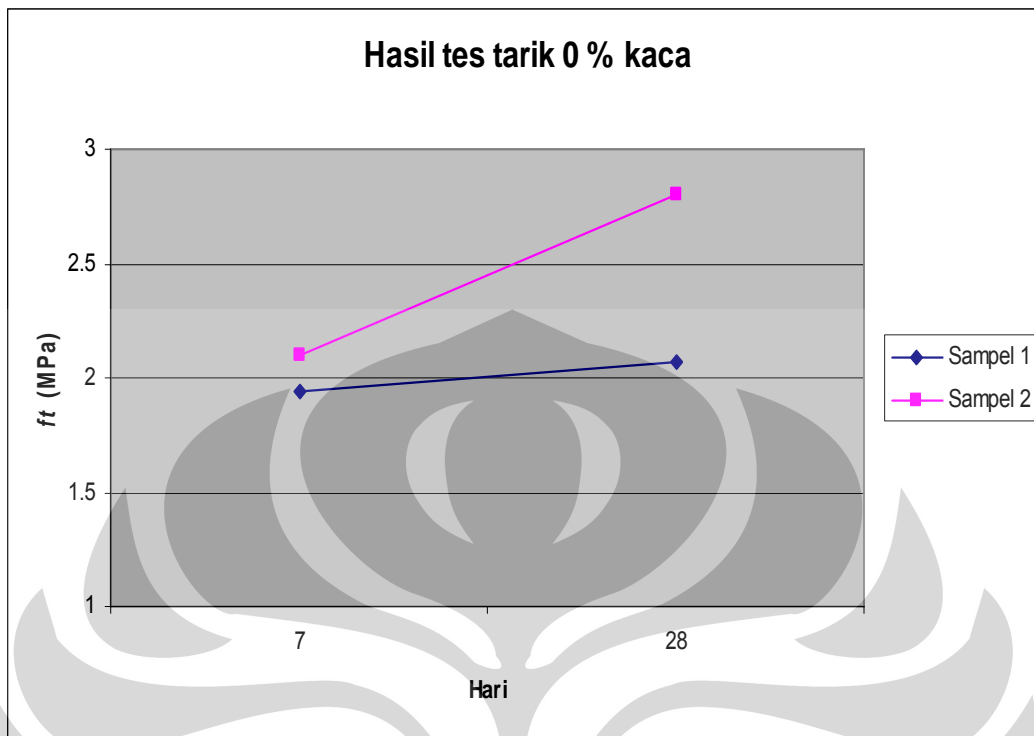
TES TARIK 20 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat (gr)	F(tarik,kg)	<i>ft</i> (MPa)	<i>ft</i> rata-rata (MPa)
7 hari	1	3319	4600	1.464968153	1.602972399
	2	3326	5000	1.592356688	
	3	3311	5500	1.751592357	
28 hari	1	3608	7625	2.428343949	2.496019108
	2	3620	8050	2.563694268	
	3	-	-	-	

Tabel 4.15 Kekuatan tarik beton kadar 30 % kaca

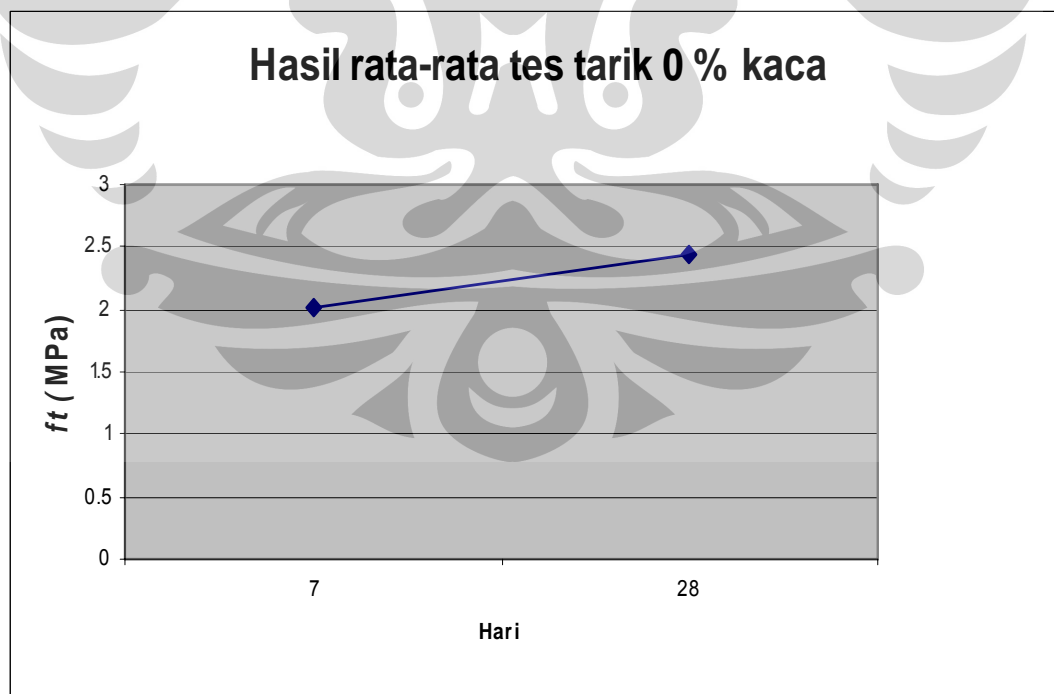
TES TARIK 30 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat (gr)	F(tarik,kg)	<i>f_t</i> (MPa)	<i>f_t</i> rata-rata (MPa)
7 hari	1	3651	6000	1.910828025	2.016985138
	2	3548	6500	2.070063694	
	3	3562	6500	2.070063694	
28 hari	1	3647	7000	2.229299363	2.622080679
	2	3660	8200	2.611464968	
	3	3622	9500	3.025477707	

Tabel 4.16 Kekuatan tarik beton kadar 40 % kaca

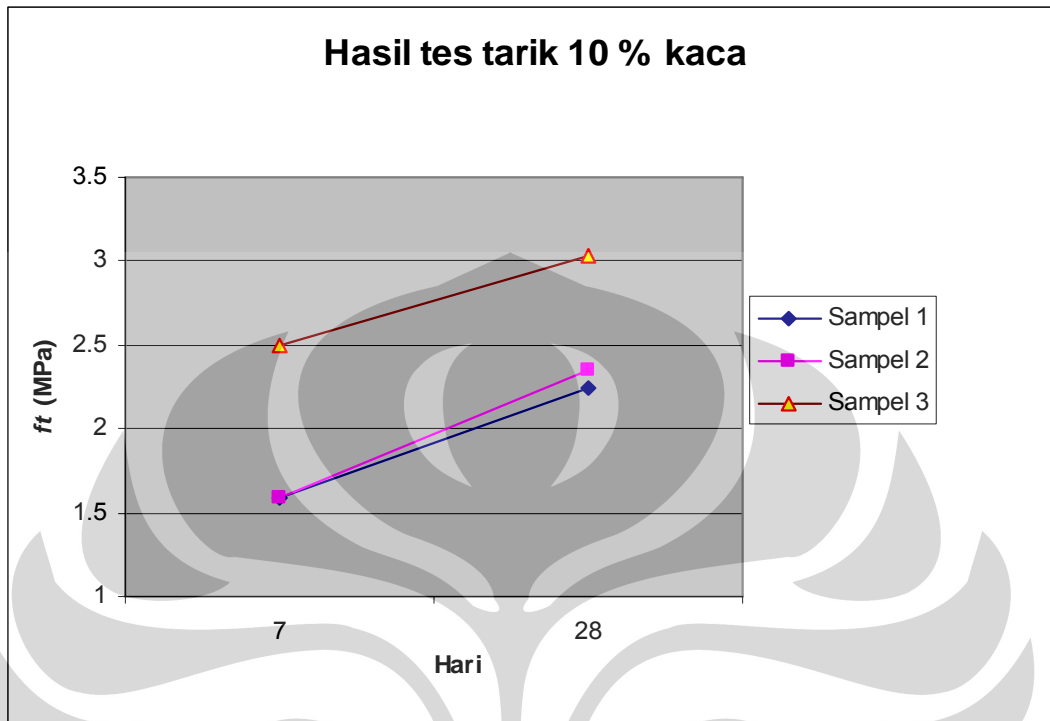
TES TARIK 40 % Kaca					
Hari	Sampel	Berat (gr)	F(tarik,kg)	<i>f_t</i> (MPa)	<i>f_t</i> rata-rata (MPa)
7 hari	1	3648	5000	1.592356688	1.778131635
	2	3521	5500	1.751592357	
	3	3635	6250	1.99044586	
28 hari	1	3684	9000	2.866242038	3.078556263
	2	3597	9500	3.025477707	
	3	3679	10500	3.343949045	



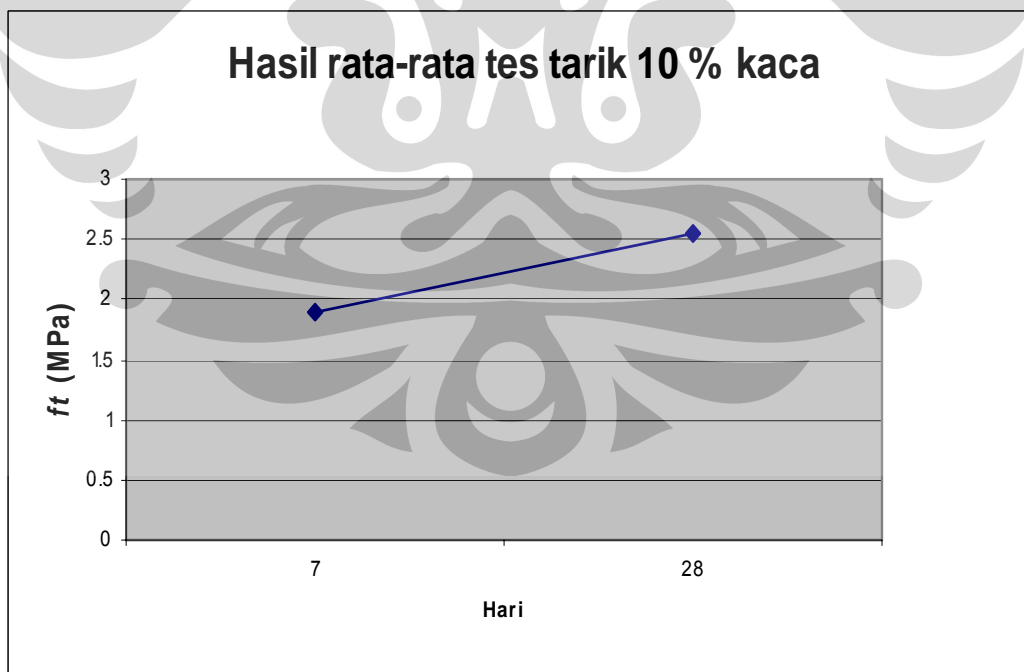
Gambar 4.26 Grafik kenaikan kekuatan tarik 0 % kaca



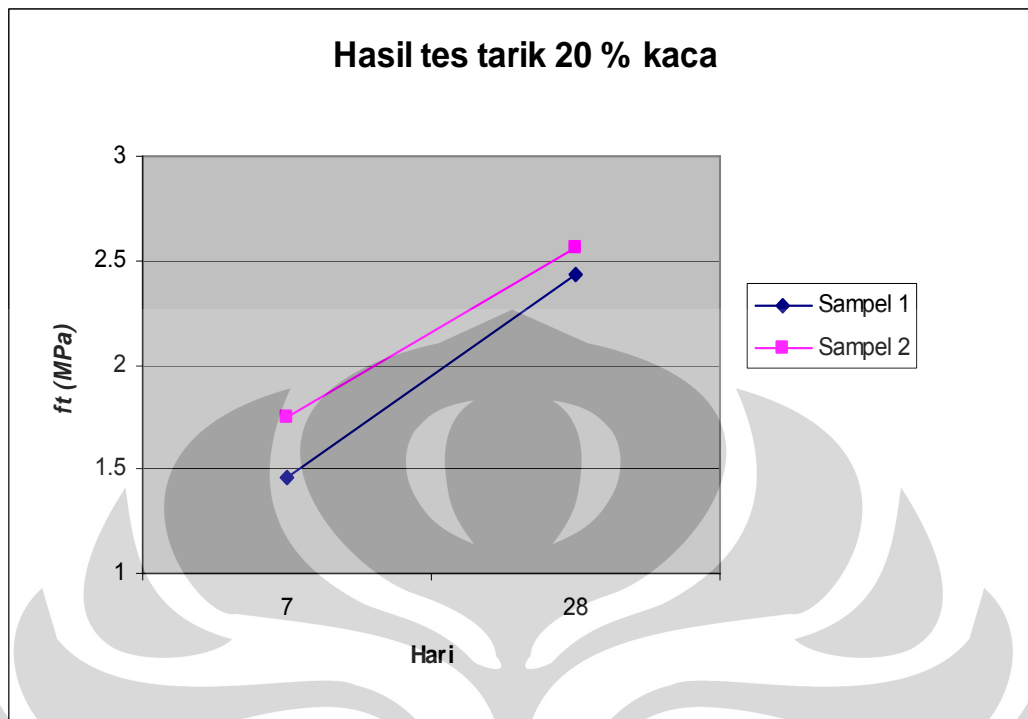
Gambar 4.27 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 0 % kaca



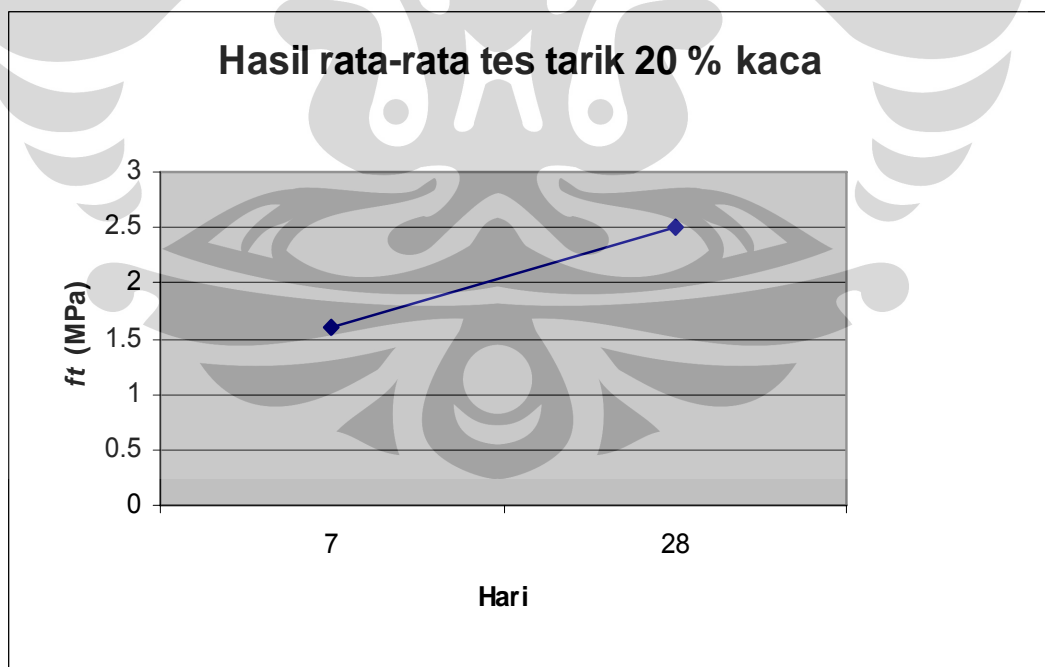
Gambar 4.28 Grafik kenaikan kekuatan tarik 10 % kaca



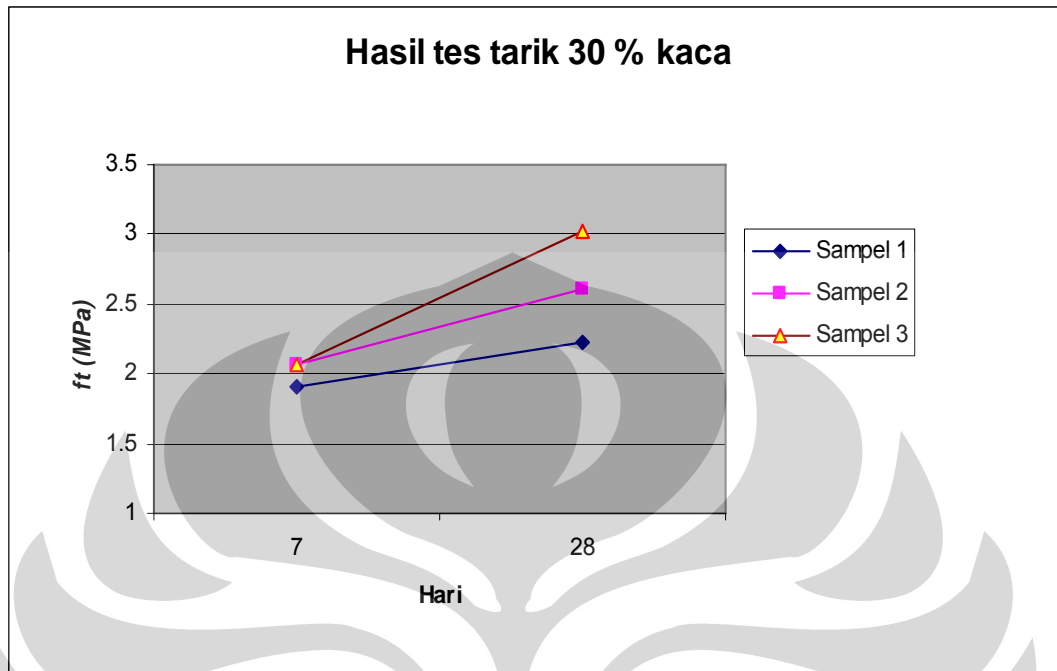
Gambar 4.29 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 10 % kaca



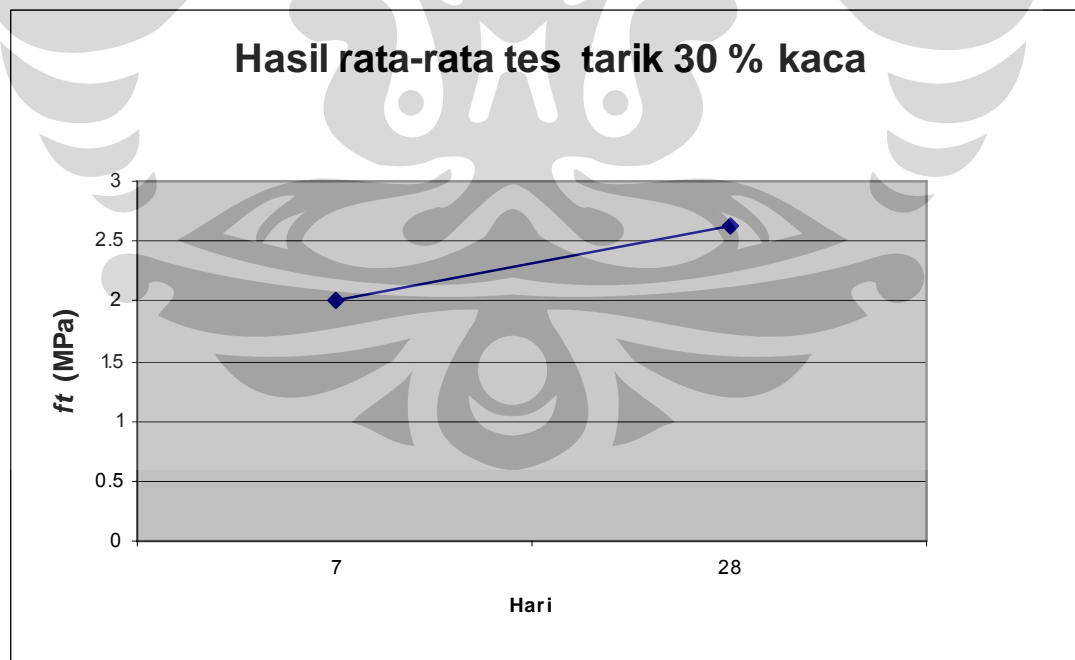
Gambar 4.30 Grafik kenaikan kekuatan tarik 20 % kaca



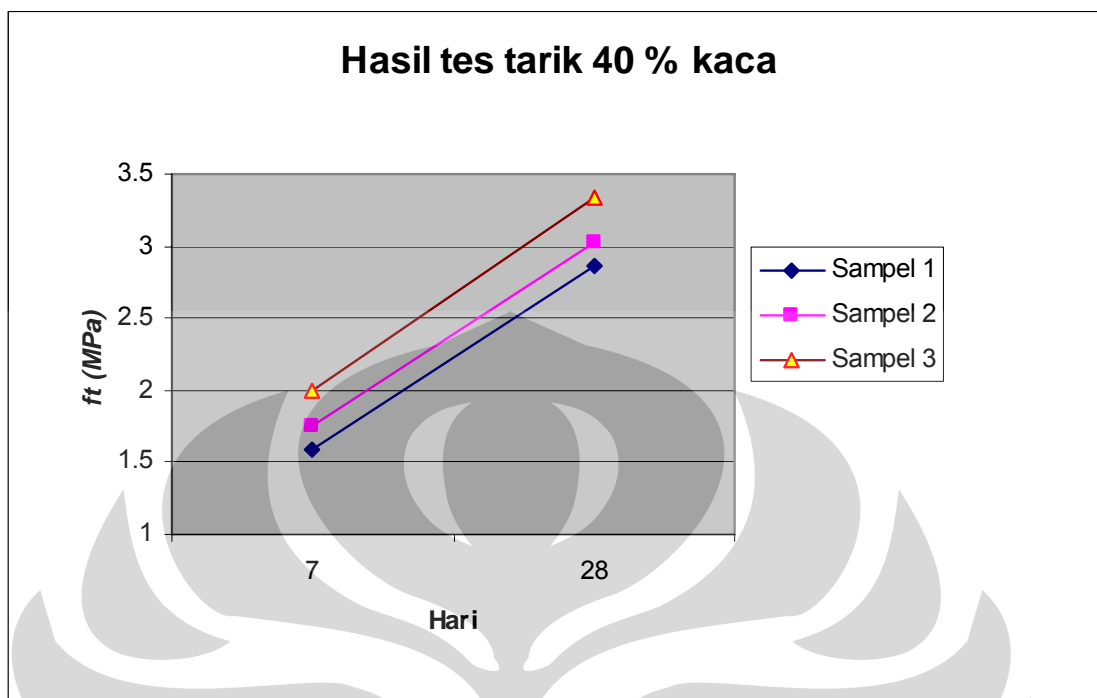
Gambar 4.31 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 20 % kaca



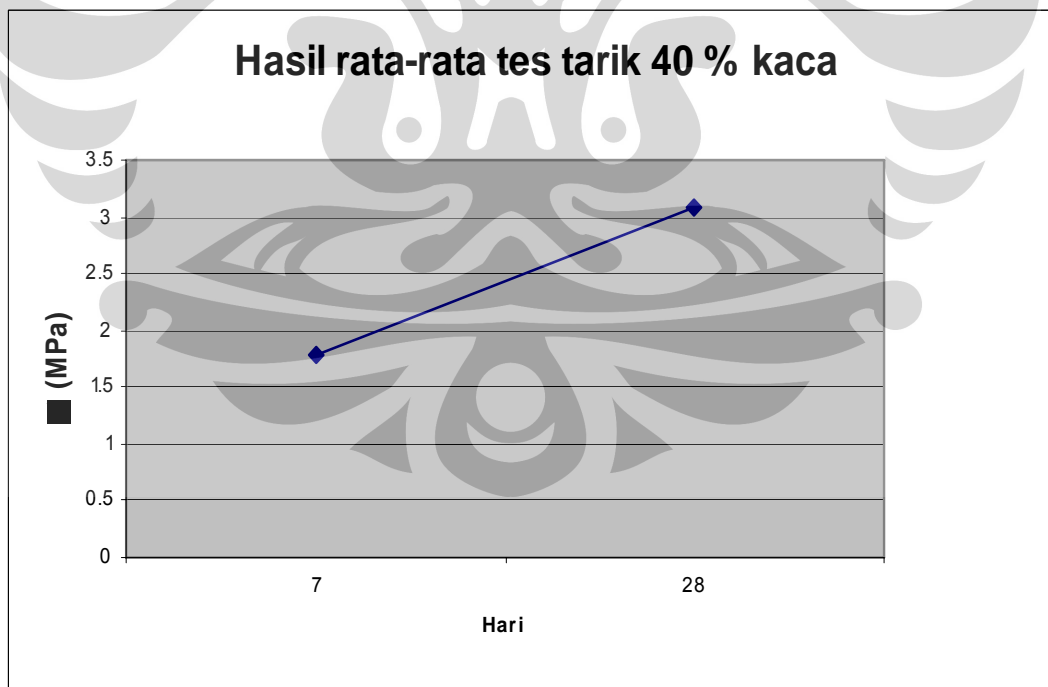
Gambar 4.32 Grafik kenaikan kekuatan tarik 30 % kaca



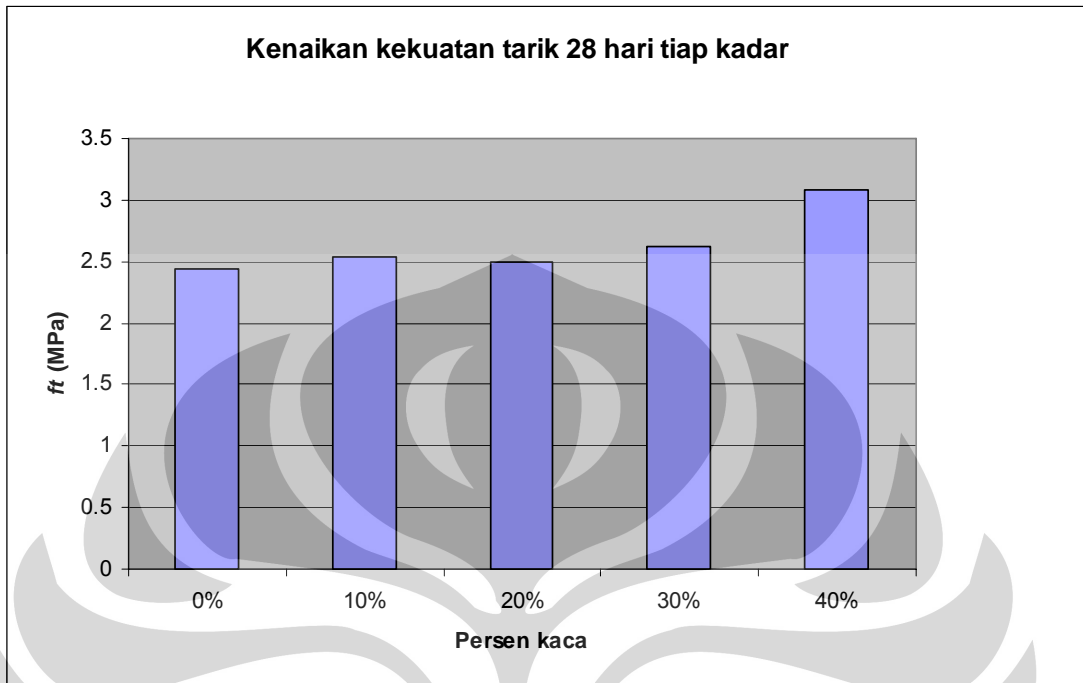
Gambar 4.33 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 30 % kaca



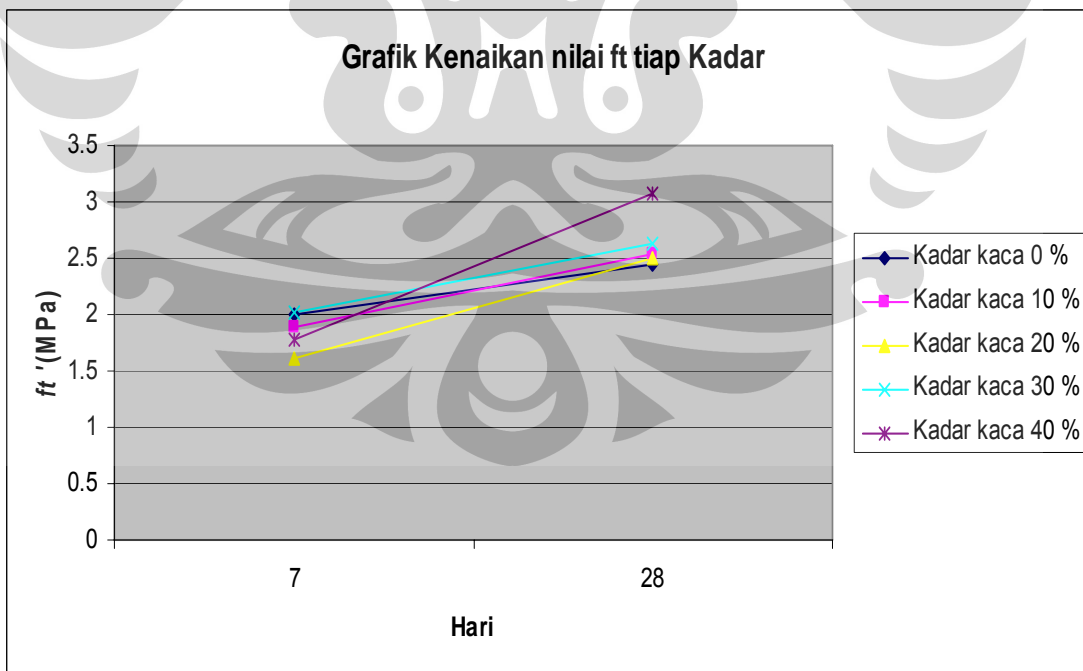
Gambar 4.34 Grafik kenaikan kekuatan tarik 40 % kaca



Gambar 4.35 Grafik rata-rata kenaikan kekuatan tarik 40 % kaca



Gambar 4.36 Grafik kenaikan kekuatan tarik kaca tiap kadar



Gambar 4.37 Grafik gabungan kenaikan kekuatan tarik semua kadar

4.4.2. Analisa

Jika melihat dari hasil yang didapat menurut SNI 03-2461-1991 kekuatan tarik beton adalah sebesar $0.55\sqrt{f_c'}$. Dari hasil yang ada hanya pada penambahan kaca dengan kadar 40 % yang melebihi nilai tersebut. Sehingga dapat disimpulkan disini bahwa penambahan kaca dengan kadar 40 % dapat meningkatkan kekuatan tarik dari beton.

Tabel 4.17 Hubungan kuat tekan dan tarik

Kadar kaca	Tekan (MPa)	Tarik (MPa)	Hubungan kuat Tekan dan Tarik	Persen kenaikan kuat tarik Setiap penambahan kadar (%)
0%	25.11024	2.436305732	$0.486\sqrt{f_c'}$	0
10%	25.72268	2.542462845	$0.501\sqrt{f_c'}$	4.357298475
20%	26.33513	2.496019108	$0.486\sqrt{f_c'}$	2.450980392
30%	27.2538	2.622080679	$0.502\sqrt{f_c'}$	7.625272331
40%	28.17246	3.078556263	$0.58\sqrt{f_c'}$	26.36165577

Dapat dilihat juga disini terdapat kejanggalan data pada kadar kaca 20 % yaitu kekuatan tariknya turun dari kadar kaca yang sebelumnya yaitu 10 % kaca. Hal ini mungkin terjadi karena :

1. Adanya kesalahan pada proses pencetakan terutama pada proses pemadatan, karena pada saat pembuatan sampel dengan kadar kaca 20 % dibantu oleh banyak teman sehingga mungkin terdapat beberapa sampel yang kurang dikerjakan dengan baik proses pemadatannya. Hal ini terbukti karena tidak semua sampel mempunyai kekuatan yang lebih rendah dari kadar sebelumnya yaitu 10 % kaca.
2. Pengadukan yang kurang baik pada waktu beton berada di alat cor sehingga adukan tidak tercampur dengan baik

Dari grafik yang ada didapatkan kecepatan kenaikan kekuatan tarik yang berbeda-beda, ada yang mempunyai tingkat kecepatan kekuatan tarik yang tinggi seperti sampel yang mempunyai kadar 40% kaca, ada juga yang mempunyai tingkat kecepatan kekuatan tarik yang lambat seperti pada kadar 10 % kaca. Hal ini dapat terjadi karena pada proses *curing* sangat tergantung pada suhu yang ada dan kandungan air yang ada pada tiap-tiap kadar. Pada waktu proses pembuatan sampel memang keadaan cuaca sering berubah-ubah. Tapi pada hari ke-28 dimana tingkat kenaikan kekuatan beton sudah mulai stabil dan kekuatan beton sudah tidak meningkat lagi didapatkan hasil dimana setiap kenaikan kadar kaca akan menambah kekuatan tarik beton.

Dari tabel 4.15 didapatkan setiap penambahan kaca 10 % akan meningkatkan kekuatan tarik beton, kecuali pada kadar 20 % dimana terdapat penurunan kekuatan tarik beton yang sebab terjadinya telah dijelaskan sebelumnya. Dari hasil ini juga dapat dilihat bahwa dengan penambahan 40 % kaca akan meningkatkan kekuatan tarik beton sebesar 26.36 % dari beton tanpa penambahan kaca.

Dari tabel 4.15 kita dapat membuat sebuah persamaan pangkat 4 yang menghubungkan antara persen kaca dan hubungan antara kuat tarik dan kuat tekan beton:

$$1. f_t = (a + bx)\sqrt{f_c'}$$

Dari kadar 0 % dengan $f_c' = 25.1102$ MPa dan $f_t = 2.486$ MPa, didapat $a = 0.486$

$$2. f_t = (a + bx)\sqrt{f_c'}$$

Dari kadar 10 % dengan $f_c' = 25.722$ MPa dan $f_t = 2.5424$ MPa, didapat $b = 0.152984$

$$3. f_t = (a + bx + cx^2)\sqrt{f_c'}$$

Dari kadar 20 % dengan $f_c' = 26.335$ MPa dan $f_t = 2.496$ MPa, didapat $c = -0.755288$

$$4. f_t = (a + bx + cx^2 + dx^3)\sqrt{f_c'}$$

Dari kadar 30 % dengan $f_c' = 27.25$ MPa dan $f_t = 2.622$ MPa, didapat $d = 1.42019482$

$$5. f_t = (a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4)\sqrt{f_c'}$$

Dari kadar 40 % dengan $f_c' = 28.17$ MPa dan $f_t = 3.078$ MPa, didapat $e = 2.45189723$
Sehingga menghasilkan persamaan

$$f_t = (0.486 + 0.152984x - 0.755288x^2 + 1.42019482x^3 + 2.45189723x^4)\sqrt{f_c'}$$

dengan :

f_t = Kuat tarik belah (MPa)

f_c' = Kuat tekan (MPa)

x = kadar kaca (persen)

Persamaan ini hanya berlaku untuk kondisi tertentu yaitu :

- Jika menggunakan kaca berwarna hijau
- Jika menggunakan limbah beton dari beton dengan kuat tekan rencana $f_c' = 35$ MPa
- Hanya berlaku dalam rentang persen penambahan kaca sampai dengan 40 %

Melalui persamaan ini kita bisa mendapatkan berapa kuat tarik belah yang terjadi jika kita ingin menambahkan kaca dengan kadar kaca selain yang telah diuji.

Verifikasi rumus

Untuk memverifikasi rumus yang ada dipakai data 0-30 % dan dilihat berapa persen keakuratan dalam memprediksi hubungan antara kekuatan tarik dan tekan untuk kadar selanjutnya. Berikut adalah persamaan jika hanya menggunakan data 0-30 % saja.

$$f_t = (0.486 + 0.152984x - 0.755288x^2 + 1.42019482x^3)\sqrt{f_c'}$$

Jika kita menggunakan rumus ini untuk memprediksi berapa hubungan antara kuat tarik dan tekan yang terjadi jika kadar kaca ditambahkan menjadi 40 %, kita akan mendapatkan nilai $f_t = 0.51723\sqrt{f_c'}$. Dibandingkan dengan nilai percobaan untuk kadar 40 % hubungan nilai kuat tarik dan tekan yang terjadi yaitu sebesar $f_t = 0.58\sqrt{f_c'}$, terdapat perbedaan yang besar yaitu sebesar 10.82 %. Jadi persamaan ini tidak cukup valid untuk digunakan memprediksi berapa hubungan antar kuat tarik dan tekan yang terjadi untuk kadar selanjutnya.

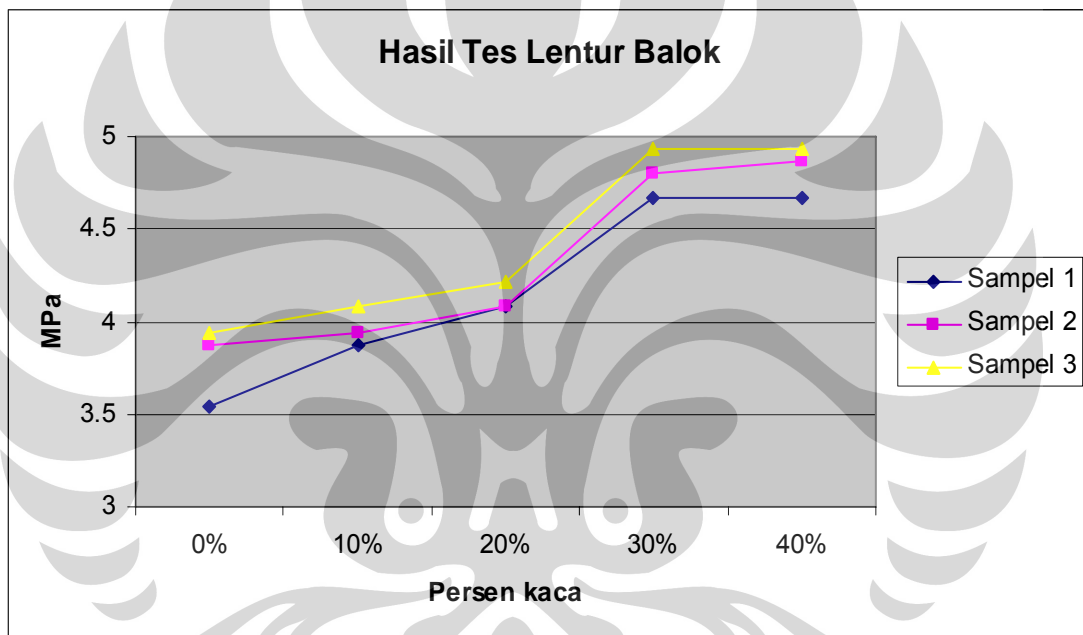
4.5 HASIL DAN ANALISA HASIL TES KUAT LENTUR BETON

4.5.1 Hasil tes kuat lentur beton

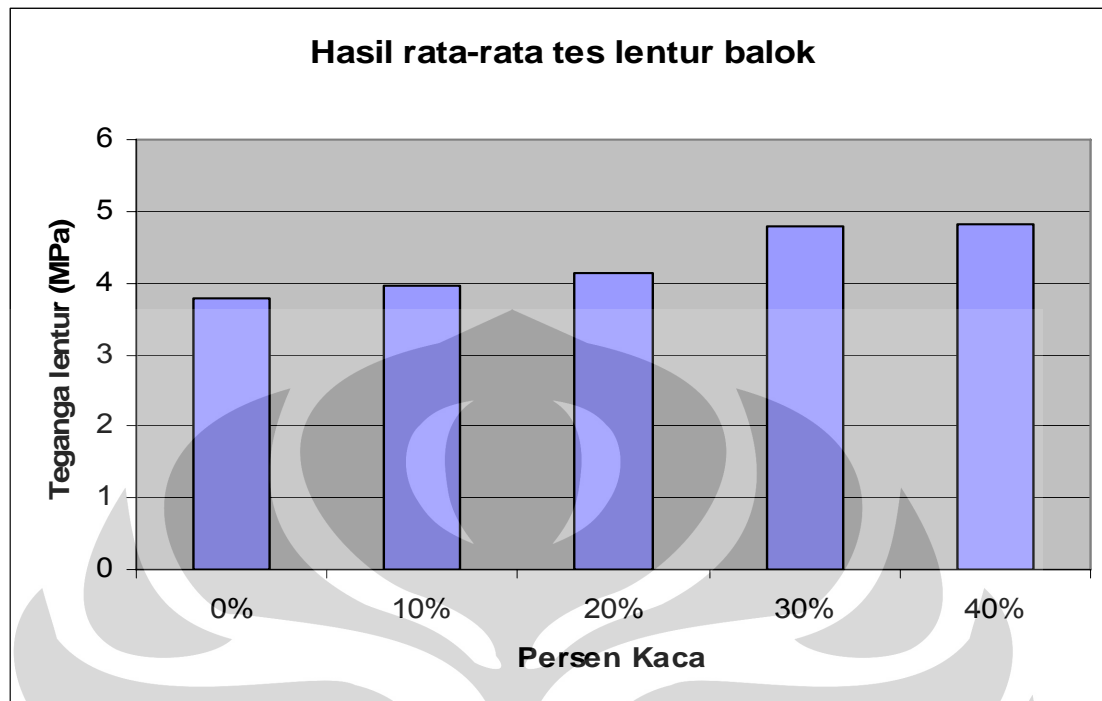
Tabel 4.18 Tegangan Lentur beton tiap kadar

Kadar Kaca	Sampel	Tegangan lentur (MPa)	Tegangan lentur rata-rata (MPa)
0%	1	3.536	3.785333333
	2	3.876	
	3	3.944	
10%	1	3.876	3.966666667
	2	3.944	
	3	4.08	
20%	1	4.08	4.125333333
	2	4.08	

	3	4.216	
30%	1	4.666666667	4.8
	2	4.8	
	3	4.933333333	
40%	1	4.666666667	4.822222222
	2	4.866666667	
	3	4.933333333	



Gambar 4.38 Grafik kenaikan tegangan lentur kaca



Gambar 4.39 Grafik rata-rata kenaikan tegangan lentur semua kadar

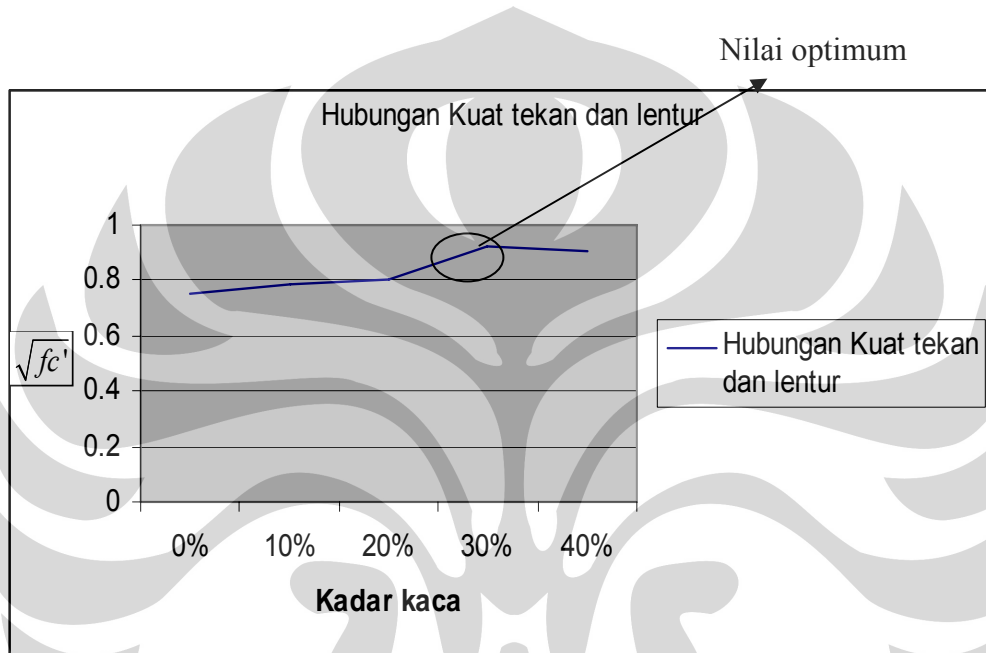
4.5.2. Analisa

Dari hasil yang didapatkan setiap penambahan kaca dapat meningkatkan tegangan lentur yang ada pada beton. Menurut SNI T-15-1991-03 Kuat lentur balok adalah $0.7\sqrt{f_c'}$, dari hasil yang ada terlihat semua melebihi dari nilai tersebut. Sehingga dapat dikatakan dengan penambahan kaca sebagai *filler* pada beton dapat meningkatkan tegangan lentur pada balok. Pada kadar 0 % yang tidak terdapat penambahan kaca pun terjadi kenaikan hubungan kuat tekan dan lentur, berarti dengan pemakaian limbah beton telah dapat meningkatkan kekuatan lentur pada beton.

Tabel 4.19 Hubungan kuat tekan dan kuat lentur beton

Kadar kaca	Tekan (MPa)	Lentur (MPa)	Hubungan kuat Tekan dan Lentur	Persen kenaikan tegangan lentur Setiap penambahan kadar (%)

0%	25.1102	3.785333333	$0.7554\sqrt{f_c'}$	0
10%	25.7227	3.966666667	$0.7821\sqrt{f_c'}$	4.790419162
20%	26.3351	4.125333333	$0.8038\sqrt{f_c'}$	8.982035928
30%	27.2538	4.8	$0.9194\sqrt{f_c'}$	26.8052131
40%	28.1725	4.822222222	$0.908\sqrt{f_c'}$	27.39227427



Gambar 4.40 Grafik hubungan kuat tekan dan lentur

Dapat dilihat disini bahwa telah didapatkan kadar optimum penambahan kaca untuk tegangan lentur yaitu pada kadar kaca 30 %, karena pada kadar 40 % terjadi penurunan antara hubungan kuat tekan dan lentur yang terjadi.

Dari tabel 4.17 terlihat bahwa penambahan 10 % kaca akan meningkatkan tegangan lentur sebesar 4.79 % dari kadar 0 %, lalu ketika ditambah 10 % kaca lagi menjadi 20 % akan meningkatkan tegangan lentur beton sebesar 8.98 % dari kadar 0 %, ketika kadar dinaikkan menjadi 30 % tegangan lentur meningkat drastis menjadi 26.8 % dari kadar 0 %, dan ketika ditambah 10 % lagi menjadi 40 % meningkat menjadi 27.39 %. Pada nilai ini hubungan yang terjadi antara hubungan kuat tekan

dan kuat lentur beton telah menurun dibandingkan kadar sebelumnya sehingga dapat disimpulkan kadar 30 % kaca merupakan kadar optimum yang terjadi

Dari gambar tabel 4.17 kita dapat membuat sebuah persamaan pangkat 4 yang menghubungkan antara persen kaca dan hubungan antara kuat lentur dan kuat tekan beton :

$$1. f_{lt} = (a + bx)\sqrt{fc'}$$

Dari kadar 0 % dengan $fc' = 25.110$ MPa dan $f_{lt} = 3.7853$ MPa, didapat $a = 0.7554$

$$2. f_{lt} = (a + bx)\sqrt{fc'}$$

Dari kadar 10 % dengan $fc' = 25.7227$ MPa dan $f_{lt} = 3.9666$ MPa, didapat $b = 0.26719$

$$3. f_{lt} = (a + bx + cx^2)\sqrt{fc'}$$

Dari kadar 20 % dengan $fc' = 26.33$ MPa dan $f_{lt} = 4.125$ MPa, didapat $c = -0.1234958$

$$4. f_{lt} = (a + bx + cx^2 + dx^3)\sqrt{fc'}$$

Dari kadar 30 % dengan $fc' = 27.2538$ MPa dan $f_{lt} = 4.8$ MPa, didapat $d = 3.5198675$

$$5. f_{lt} = (a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4)\sqrt{fc'}$$

Dari kadar 40 % dengan $fc' = 28.17$ MPa dan $f_{lt} = 4.82$ MPa, didapat $e = 6.220168261$

Sehingga menghasilkan persamaan

$$f_{lt} = (0.7554 + 0.26719x - 0.1234958x^2 + 3.5198675x^3 + 6.220168261x^4)\sqrt{fc'}$$

dengan :

f_{lt} = Tegangan lentur (MPa)

fc' = Kuat tekan (MPa)

x = kadar kaca (persen)

Persamaan ini hanya berlaku untuk kondisi tertentu yaitu :

- Jika menggunakan kaca berwarna hijau
- Jika menggunakan limbah beton dari beton dengan kuat tekan rencana $fc' = 35$ MPa
- Hanya berlaku dalam rentang persen penambahan kaca sampai dengan 40 %

Melalui persamaan ini kita bisa mendapatkan berapa kuat lentur yang terjadi jika kita ingin menambahkan kaca dengan kadar kaca selain yang telah diuji.

Verifikasi rumus

Untuk memverifikasi rumus yang ada dipakai data 0-30 % dan dilihat berapa persen keakuratan dalam memprediksi hubungan antara kuat lentur dan tekan untuk kadar selanjutnya. Berikut adalah persamaan jika hanya menggunakan data 0-30 % saja.

$$f_{lt} = (0.7554 + 0.26719x - 0.1234958x^2 + 3.5198675x^3)\sqrt{f_c'}$$

Jika kita menggunakan rumus ini untuk memprediksi berapa hubungan antara kuat lentur dan tekan yang terjadi jika kadar kaca ditambahkan menjadi 40 %, kita akan mendapatkan nilai $f_{lt} = 1.06\sqrt{f_c'}$. Dibandingkan dengan nilai percobaan untuk kadar 40 % hubungan nilai kuat lentur dan tekan yang terjadi yaitu sebesar $f_t = 0.908\sqrt{f_c'}$, terdapat perbedaan yang besar yaitu sebesar 14.33 %. Jadi persamaan ini tidak cukup valid untuk digunakan memprediksi berapa hubungan antar kuat lentur dan tekan yang terjadi untuk kadar selanjutnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Penggunaan kembali limbah beton dari beton yang mempunyai kuat tekan rencana f_c '35 MPa sebagai agregat kasar dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan f_c '=25 MPa.
2. Sifat-sifat fisik limbah beton yang akan dipakai memenuhi semua persyaratan yang ada untuk bisa dipakai sebagai agregat kasar dalam beton. Sifat-sifat fisik limbah beton adalah sebagai berikut :

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat Menurut SII 0052-80
1.	<i>Bulk Spesific Gravity</i>	2.4	Termasuk agregat normal
2.	<i>Apparent Spesific Gravity</i>	2.95	Termasuk agregat normal
3.	Penyerapan air (%)	2.4905	< 3 %
4.	Berat isi padat (kg/liter)	1.36	> 1.2
5.	Rongga udara	47.62	-
6.	Analisa Saringan	-	-
7.	Tes Abrasi	37.34	Termasuk beton kelas 3

3. Penggunaan kaca yang telah digiling sampai halus sebagai *filler* dalam beton dengan kadar penambahan kaca 10%, 20%, 30%, dan 40 % dari volume agregat halus yang digunakan, dapat meningkatkan kekuatan tekan beton.

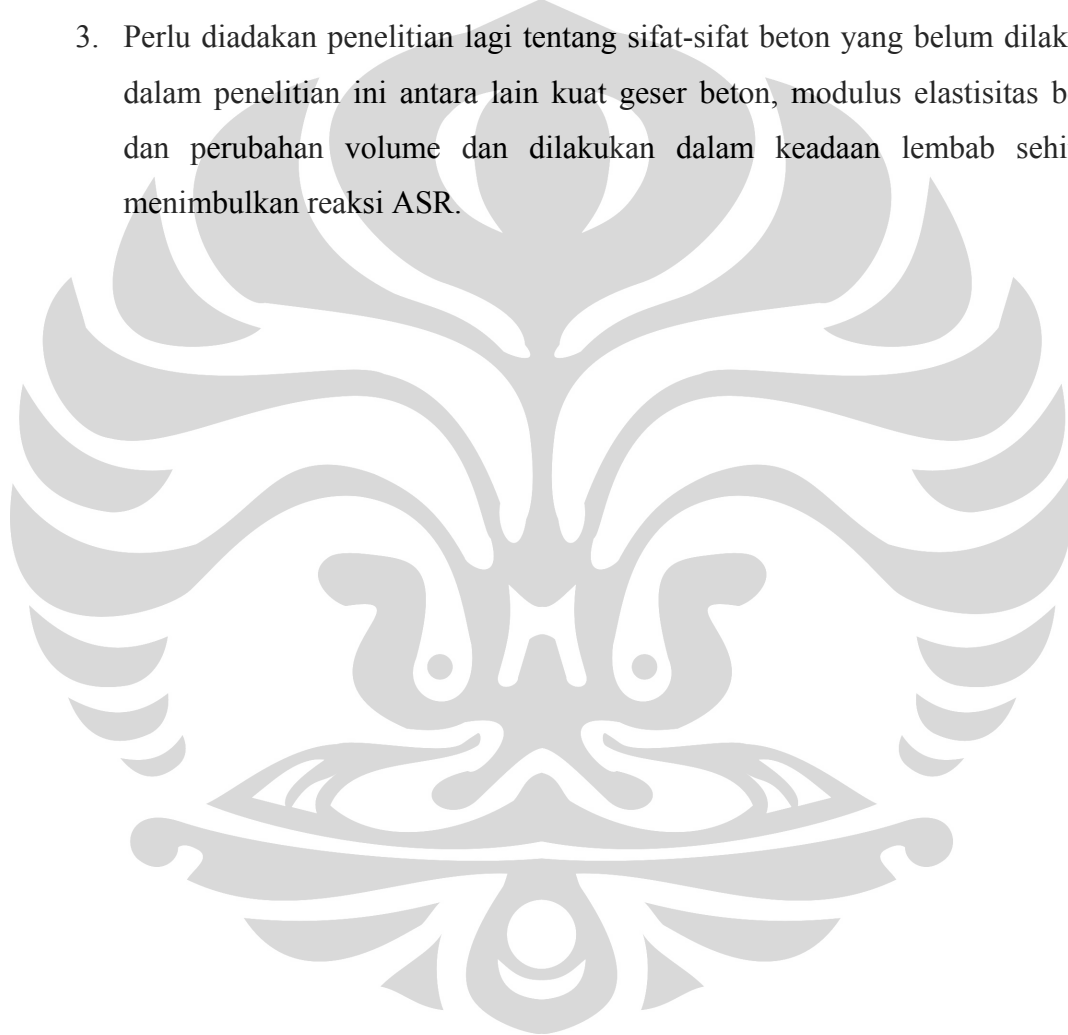
Penggunaan kadar kaca tertinggi yaitu 40 % dapat meningkatkan kekuatan tekan sampai dengan 12.19% dari beton yang tidak ditambahkan kaca.

4. Penggunaan kaca yang telah digiling sampai halus sebagai *filler* dalam beton dengan kadar penambahan kaca 40 % dari volume agregat halus yang digunakan dapat meningkatkan kekuatan tarik beton karena mempunyai hubungan antara kuat tarik dan tekan sebesar $0.58\sqrt{f_c'}$ lebih tinggi dari yang disyaratkan SNI 03-2461-1991 yaitu $0.55\sqrt{f_c'}$.
5. Penggunaan kaca yang telah digiling sampai halus sebagai *filler* dalam beton dengan kadar penambahan kaca 10%, 20%, 30% dapat meningkatkan tegangan lentur pada beton hingga 26.8 % dari beton tanpa penambahan kaca.
6. Didapatkan kadar optimum penambahan kaca untuk meningkatkan tegangan lentur pada beton yaitu pada kadar 30 % kaca, karena pada penambahan kaca dengan kadar 40 % nilai hubungan kuat tekan dan kuat lentur telah mengalami penurunan.
7. Kadar optimum penambahan kaca untuk kuat tekan dan kuat tarik belum didapatkan, sehingga dapat disimpulkan jika ditambahkan kaca lagi kemungkinan kuat tekan dan kuat tarik yang terjadi bisa lebih besar.
8. Kaca berwarna hijau mempunyai kandungan kromium tertinggi diantara kaca berwarna merah dan kaca bening.
9. Rumus yang didapatkan dari data tes tekan cukup valid untuk memprediksi kekuatan tekan pada kadar selanjutnya yang tidak diteliti, sedangkan rumus untuk tes kuat tarik dan tes kuat lentur tidak cukup valid.

5.2 SARAN

Dari kesimpulan yang dikemukakan di atas, maka untuk pemakaian limbah beton sebagai agregat kasar dalam beton dan limbah kaca sebagai bahan tambahan (*filler*) dalam beton, dapat disarankan sebagai berikut :

1. Karena belum didapatkannya kadar optimum untuk penambahan kaca dalam meningkatkan kuat tekan dan tarik beton maka diharapkan adanya penelitian lagi dengan menambahkan kadar kaca yang lebih besar dari 40 %.
2. Perlu diadakan penelitian lagi jika menggunakan limbah beton dengan mutu yang lebih tinggi dari $f_c' 35$ MPa, mungkin akan dapat menghasilkan beton dengan mutu yang lebih tinggi dari $f_c' 25$ MPa
3. Perlu diadakan penelitian lagi tentang sifat-sifat beton yang belum dilakukan dalam penelitian ini antara lain kuat geser beton, modulus elastisitas beton, dan perubahan volume dan dilakukan dalam keadaan lembab sehingga menimbulkan reaksi ASR.



DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute, *ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part I, General Requirement, Fifth Edition*, Skokie, Illinois, USA: PCA. 1990. 5pp.
- American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards 2005.*, Vol.04.02, *Concrete and Aggregates*, Philadelphia: ASTM 2005.
- Standar Nasional Indonesia, *Tara Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, 2002.
- Standar Industri Indonesia, *Mutu dan cara uji Agregat beton*, SII No 0052-80, Departemen Perindustrian, Jakarta
- V K Raina, *Concrete for Construction*, 1993
- Badan Standarisasi Nasional, *Handbook Standar nasional Indonesia*, 2006
- Buku Pedoman Praktikum. *Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton* (Depok: Laboratorium Bahan Departemen Teknik Sipil FTUI, 1998)
- Nofyan NF, Chandra. "Penelitian pemanfaatan limbah beton sebagai agregat kasar dan medium pada campuran laston." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 1999
- Achmad, Djedjen. "Pemanfaatan limbah beton sebagai agregat kasar untuk campuran beton mutu rendah." Skripsi, Program Sarjana Ekstensi Fakultas Teknik UI, Depok, 1997

DAFTAR ACUAN

- US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual" 8th Edition 1975. Table 17*
- US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual" 8th Edition 1975. Table 13*
- ASTM C-128-04 Test method for density, specific gravity, and absorption of fine aggregate*
- ASTM C-29M-97(2003) Test method for Bulk density (Unit weight) in aggregate*
- ASTM C-136-05 Test method for sieve analysis of fine aggregate*
- ASTM C-117-04 Test method for materials finer than 75- μm (No.200)*
- ASTM C-127-04 Test method for density, specific gravity, and absorption of coarse aggregate*
- ASTM C-29M-97(2003) Test method for Bulk density (Unit weight) in aggregate*
- ASTM C-136-05 Test method for sieve analysis of coarse aggregate*
- ASTM C-131-03 Test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles Machine*
- ASTM C 192-95 ' practice for making and curing concrete test specimens in laboratory'*
- ASTM C-143M-05 Test method for slump of hydraulic-cement concrete*
- ASTM 78-02 Test method for flexural strenght of concrete*
- ASTM C 39/C 39M – 04a Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen.*

ASTM C 496/C 496M – 04 *Annual Book of ASTM Standards. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*

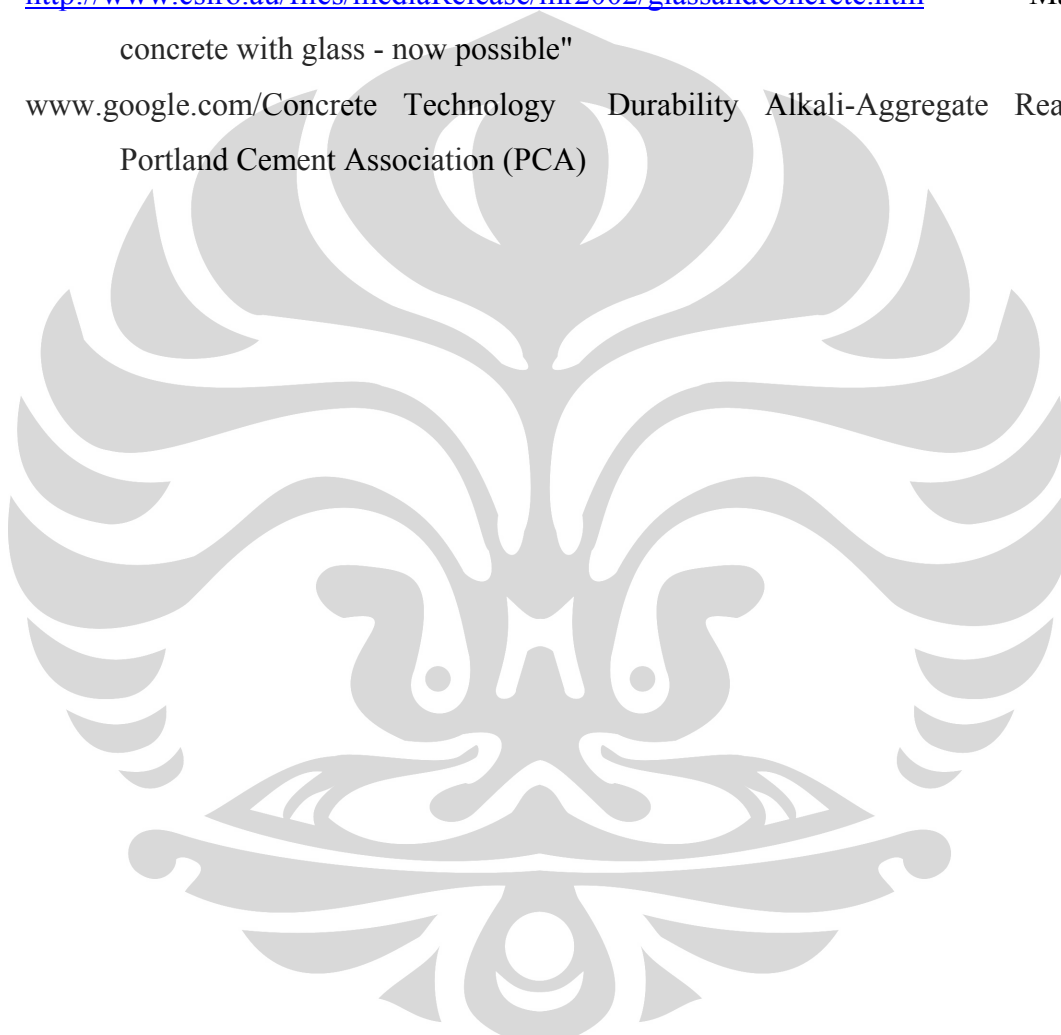
www.google.com/Concrete Materials Research at Columbia university

www.pu.go.id/balitbang

www.cocrete-expert.com

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

www.google.com/Concrete Technology Durability Alkali-Aggregate Reaction
Portland Cement Association (PCA)



Lampiran A

TES TEKAN/TARIK 0 % Kaca									
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	Berat(gr)	F(tarik,kg)	fc' (Mpa)	fc'(Mpa) rata-rata	Fc'(28 hari)	ft (Mpa)
7 hari	1	3702	15000	3595	6100	18.37335	18.78164299	26.83092	2.0063694
	2	3714	15000	3611	6200	18.37335			
	3	3674	16000	3644	6600	19.59824			
14 hari	1	3699	10000			12.2489	22.66046056	25.75052	
	2	3724	18000			22.04802			
	3	3667	19000			23.27291			
28 hari	1	3719	20000	3047	6500	24.4978	25.11024008	25.11024	2.4363057
	2	3556	21000	3049	8800	25.72268			
	3	3539	24500	-	-	30.0098			

TES TEKAN/TARIK 10 % Kaca									
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	Berat(gr)	F(tarik,kg)		fc'(Mpa) rata-rata	Fc'(28 hari)	ft (Mpa)
7 hari	1	3732	7500	3637	5000	9.186673	16.0766781	22.96668	1.8949045
	2	3697	11250	3562	5000	13.78001			
	3	3712	15000	3644	7850	18.37335			
14 hari	1	3759	15000			18.37335	22.35423812	23.53078	
	2	3705	18750			22.96668			
	3	3668	21000			25.72268			
28 hari	1	3759	16000	3665	7050	19.59824	25.72268496	25.72268	2.5424628
	2	3693	20000	3606	7400	24.4978			
	3	3717	22000	3618	9500	26.94757			

TES TEKAN/TARIK 20 % Kaca									
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	Berat(gr)	F(tarik,kg)		fc'(Mpa) rata-rata	Fc'(28 hari)	ft (Mpa)
7 hari	1	3422	10500	3319	4600	12.86134	14.29038053	20.41483	1.6029724
	2	3425	10500	3326	5000	12.86134			
	3	3395	14000	3311	5500	17.14846			
14 hari	1	3678	16500			20.21068	22.25216397	25.28655	
	2	3713	19000			23.27291			
	3	3690	19000			23.27291			
28 hari	1	3724	21000	3608	7625	25.72268	26.33512984	26.33513	2.4960191
	2	3649	21000	3620	8050	25.72268			
	3	3688	22500	-	-	27.56002			

TES TEKAN/TARIK 30 % Kaca									
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	Berat(gr)	F(tarik,kg)	fc' (Mpa)	fc'(Mpa) rata-rata	Fc'(28 hari)	ft (Mpa)
7 hari	1	3634	12000	3651	6000	14.69867712	18.16919811	25.95599729	2.01699
	2	3699	15750	3548	6500	19.29201372			
	3	3638	16750	3562	6500	20.51690348			
14 hari	1	3693	12500			15.311122	20.61897763	23.43065639	
	2	3730	16000			19.59823616			
	3	3681	22000			26.94757472			
28 hari	1	3604	21500	3647	7000	26.33512984	27.25379716	27.25379716	2.62208
	2	3675	23000	3660	8200	28.17246448			
	3	3619	27500	3622	9500	33.6844684			

TES TEKAN/TARIK 40 % Kaca									
Hari	Sampel	Berat(gr)	F(tekan,kg)	Berat(gr)	F(tarik,kg)	fc' (Mpa)	fc'(Mpa) rata-rata	Fc'(28 hari)	ft (Mpa)
7 hari	1	3457	15000	3648	5000	18.3733464	21.4355708	30.622244	1.77813
	2	3741	18500	3521	5500	22.66046056			
	3	3689	19000	3635	6250	23.27290544			
14 hari	1	3710	15000			18.3733464	24.80401764	28.18638368	
	2	3682	19000			23.27290544			
	3	3648	21500			26.33512984			
28 hari	1	3641	22500	3684	9000	27.5600196	28.17246448	28.17246448	3.07856
	2	3709	23000	3597	9500	28.17246448			
	3	3668	23500	3679	10500	28.78490936			

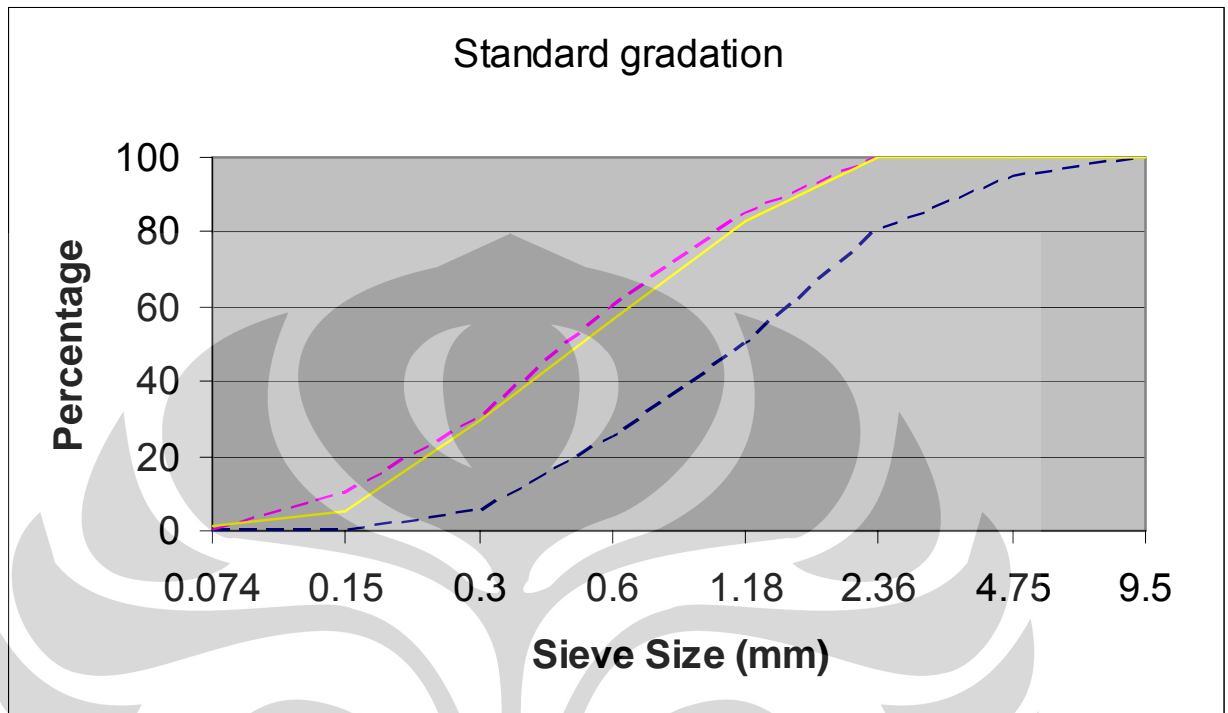
Hasil Tes Lentur Balok

Kadar Kaca	Bentuk Penampang	Bentang (L) (cm)	Dimensi		Beban P (kg)	Beban Rata-rata	W $1/6.b.h^2$ (Cm ³)	Momen Lentur $M = 1/6.P.L$ (Kg.Cm)	Tegangan Lentur (M/W) (Mpa)
			b (cm)	h (cm)					
0%	Balok	45	15	15	2907	2839	562.5	21292.5	3.785333333
					2652				
					2958				
10%	Balok	45	15	15	3060	2975	562.5	22312.5	3.966666667
					2907				
					2958				
20%	Balok	45	15	15	3060	3094	562.5	23205	4.125333333
					3060				
					3162				
30%	Balok	45	15	15	3672	3706	562.5	27795	4.941333333
					3774				
					3672				
40%	Balok	45	15	15	3723	3723	562.5	27922.5	4.964
					3774				
					3672				

SIEVE ANALYSIS

Nama : Erwin Riduan
 Dikerjakan :
 Judul :
 Diperiksa :
 Jenis Contoh :
 Tanggal :
 Tabel : Agregat Halus Alami
 Berat : 500 gram

Sieve Size (mm)	Sample 1				Sample 2				Sample 3				Average	
	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing
4,75 (No.4)	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	100
2,36 (No.8)	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	100
1,18 (No.16)	91	18	18,2	81,8	98	20	20	80,3	71	14	14,2	85,8	17,4	83
0,6 (No.30)	138	28	45,9	54,1	132	27	46	53,7	118	24	37,8	62,2	43,3	57
0,3 (No.50)	133	27	72,5	27,5	132	27	73	27,2	143	29	66,4	33,6	70,6	29
0,15 (No.100)	113	23	95,2	4,81	111	22	95	4,83	134	27	93,2	6,8	94,5	5,5
0,074 (No.200)	17	3	98,6	1,4	17	3	99	1,41	24	5	98	2	98,4	1,6
Pan	7	1	100	0	7	1	100	0	10	2	100	0	100	0
	499				497				500					
FM	2,318637275				2,340040241				2,116					
Rata-rata FM	2,258225839													



PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT

Nama : Erwin Riduan
 Dikerjakan :
 Judul :
 Diperiksa :
 Jenis Contoh :
 Tanggal :
 Tabel : Agregat Halus

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus	Pasir								
	Cara Langsung			Cara pemadatan			Cara Jigling		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3
W wadah (W1-1) (gram)	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055
W wadah + Air (gram)	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055
W wadah + Benda uji (W1-2) (gram)	3823	3786	3790	3921	3961	3972	4095	4062	4104
W3-3 (kg)	2,768	2,731	2,74	2,866	2,906	2,92	3,04	3,007	3,049
W air (gram)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
V wadah (dm3)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Berat Isi Agregat (kg/dm3)	1,384	1,366	1,37	1,433	1,453	1,46	1,52	1,504	15,245
Rata-rata	1,372,333,333			1,448,166,667			1,516		

ANALISA SPECIFIC GRAVITY DAN ABSORPTION AGREGAT

Nama : Erwin Riduan
 Dikerjakan :
 Judul :
 Diperiksa :
 Jenis Contoh :
 Tanggal :
 Tabel : Agregat Halus
 Berat : 500 gram

Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus	Pasir		
	Sample A	Sample B	Sample C
Hasil Pengamatan			
Weight of oven dry specimen in air (gram)	497	497	497
Weight of picnometer filled with water (gram)	668	670	670
Weight of saturated surface dry specimen (gram)	500	500	500
Weight of picnometer with specimen and water to calibration mark (gram)	973	979	976
Bulk Specific Gravity	2,548,71 8	2,602,09 4	2,561,85 6
Rata-rata Bulk Specific Gravity	2,577,889,287		
Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,564,10 3	2,617,80 1	257,732
Rata-rata Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,586,407,733		
Apparent Specific Gravity	2,588,54 2	2,643,61 7	2,602,09 4
Rata-rata Apparent Specific Gravity	2,611,417,643		
Absorption (%)	0,603622	0,603622	0,603622
Rata-rata Absorption	0,60362173		

PEMERIKSAAN BAHAN LEWAT SARINGAN NO. 200

Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : Agregat Halus
Berat : 500 gram

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	Agregat Alami
	Sample 1
Berat Benda uji semula (gram)	500
Berat Benda uji tertahan saringan No.200 (gram)	477
Jumlah bahan lewat saringan No.200 (%)	4,6

ANALISA SPECIFIC GRAVITY DAN ABSORPTION AGREGAT

Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : Agregat Kasar (Limbah beton)
Berat : 5000 gram

Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar	Batu	
	Sample A	Sample B
Hasil Pengamatan		
Weight of oven dry specimen in air (gram)	4876	4881
Weight of SSD Specimen in water (gram)	5000	5000
Weight of saturated specimen in water (gram)	2968	2930
Bulk Specific Gravity	2.3996	2.3580
Rata-rata Bulk Specific Gravity	2.3788	
Ssd Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2.4606	2.4155
Rata-rata Ssd Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2.4380	
Apparent Specific Gravity	2.5556	2.5018
Rata-rata Apparent Specific Gravity	2.5287	
Absorption (%)	2.543068	2.438025
Rata-rata Absorption	2.4905	

TES ABRASI

Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : Agregat kasar

$$\begin{aligned}\text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5000-3133}{5000} \times 100\% = 37.34\end{aligned}$$

Keterangan :

a= Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan no.12 (gram)

PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT

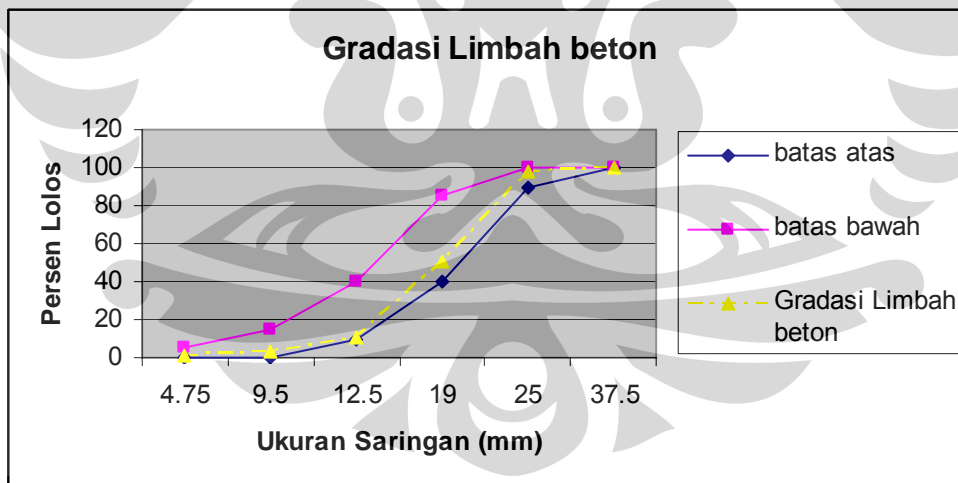
Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : Agregat Kasar (Limbah beton)

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	Limbah beton		
	Cara Langsung	Cara pepadatan	Cara Jigling
W wadah (kg)	5089	5089	5089
W wadah + Air (kg)	14361	14361	14361
Volume Tabung (liter)	9272	9272	9272
W wadah + Benda uji (kg)	17605	17621	17851
Berat Sample (kg)	12,516	12,532	12,762
Unit Weight of aggregate	1.349870578	1.351596204	1.376402071
Average	1.359289617		
Bulk Specific of gravity	2.595		
Unit Weight of water	1		
Rongga udara (%)	47.62		

SIEVE ANALYSIS

Nama : Erwin Riduan
 Dikerjakan :
 Judul :
 Diperiksa :
 Jenis Contoh :
 Tanggal :
 Tabel : Agregat Kasar Limbah beton
 Berat : 5000 gram

Sieve Size (mm)	Sample 1			Sample 2			Average	
	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret
25.4	55	2.2	2.2	65	2.6	2.6	2.4	2.4
19	1218	48.72	50.92	1134	45.36	47.96	47.04	49.44
12.5	1025	41	91.92	995	39.8	87.76	40.4	89.84
9.5	158	6.32	98.24	210	8.4	96.16	7.36	97.2
4.76	28	1.12	99.36	76	3.04	99.2	2.08	99.28
pan	15	0.6	100	15	0.6	100	0.6	100
Total	2499			2495				



PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT

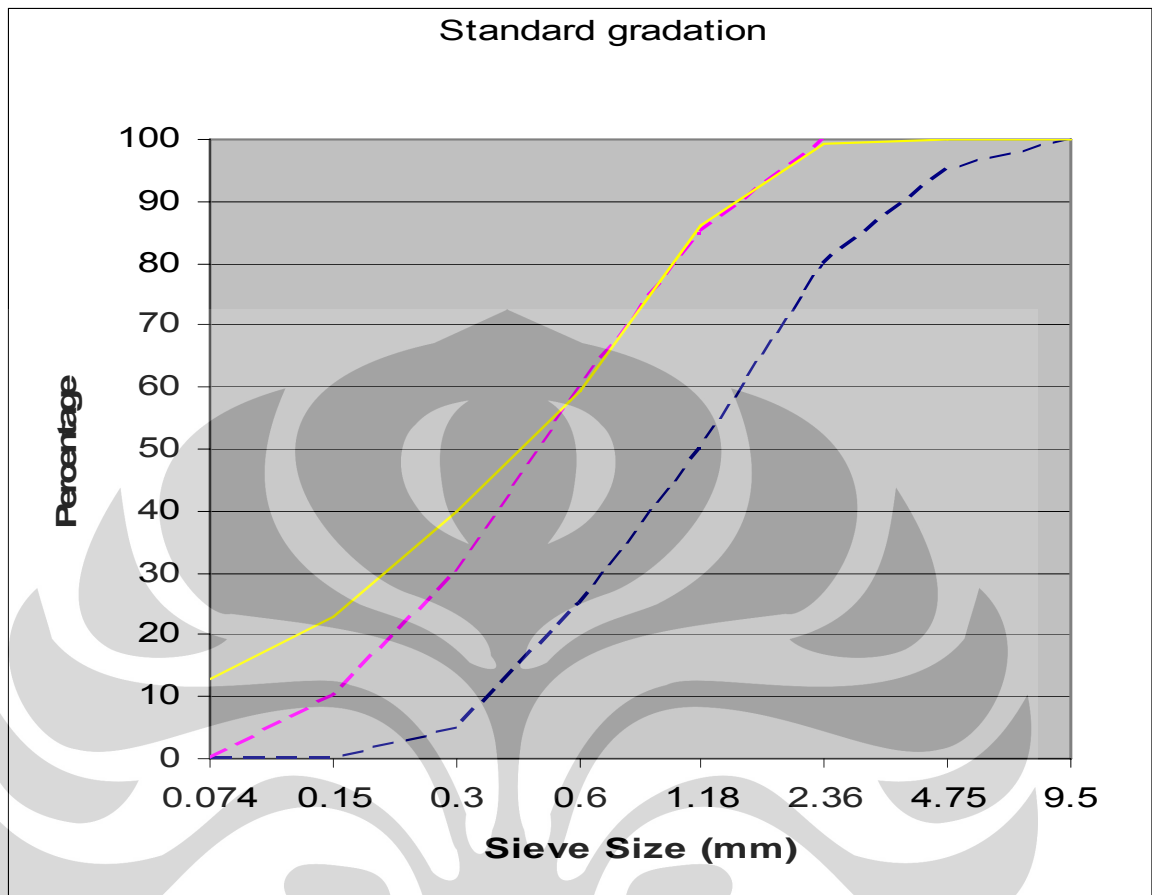
Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : kaca

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	Cara pemadatan		
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
W wadah (W1-1) (gram)	1055	1055	1055
W wadah + Air (gram)	3055	3055	3055
W wadah + Benda uji (W1-2) (gram)	4317	4320	4300
W3-3 (kg)	3.262	3.265	3.245
W air (gram)	2000	2000	2000
V wadah (dm ³)	2	2	2
Berat Isi Agregat (kg/dm ³)	1.631	1.633	1.623
Rata-rata	1.6287		

SIEVE ANALYSIS

Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul : Sieve analysis kaca
Diperiksa :
Tabel :
Tanggal :
Berat : 500 gram

Sieve Size (mm)	Sample 1		
	Weight Ret (grams)	Cum (%) Ret	Ind (%) Ret
4,75 (No.4)	0	0	0
2,36 (No.8)	4	0.8	0.8
1,18(No16)	65	13.8	13
0,6 (No.30)	134	40.6	26.8
0,3 (No.50)	98	60.2	19.6
0,15 (No.100)	84	77	16.8
0,074 (No.200)	51	87.2	10.2
Pan	63	100	12.8
	499		
FM		1.92	



ANALISA SPECIFIC GRAVITY DAN ABSORPTION AGREGAT

Nama : Erwin Riduan
Dikerjakan :
Judul :
Diperiksa :
Jenis Contoh :
Tanggal :
Tabel : Agregat Kaca
Berat : 500 gram

Analisa Spesific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kaca	Kaca	
	Sample A	Sample B
Hasil Pengamatan		
Weight of oven dry specimen in air (gram)	495	496
Weight of picnometer filled with water (gram)	670	668
Weight of saturated surface dry specimen (gram)	500	500
Weight of picnometer with specimen and water to calibration mark (gram)	968	967
Bulk Specific Gravity	2.48	2.49
Rata-rata Bulk Specific Gravity	2.48	
Apparent Specific Gravity	2.51	2.52
Rata-rata Apparent Specific Gravity	2.515	
Absorption (%)	1.01	0.81
Rata-rata Absorption (%)	0.908	

Lampiran B



B.1 Sampel balok



B.2 Sampel Silinder



B.3 Mesin Los Angeles



B.4 Alat cor



B.5 Alat Slump



B.6 Mesin tes lentur



B.7 Proses Pengetesan lentur balok

B.8 Kolam curing





B.9 Sampel balok setelah tes lentur



B.10 Proses tes tekan silinder



B.11 Tes tekan silinder tekan



B.12 Sampel setelah tes



B.13 Tes tarik belah silinder tarik belah



B.14 Sampel setelah tes



B.15 Cetakan balok lentur



B.16 Cetakan silinder