

**STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK  
BELAH PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN  
AGREGAT DAUR ULANG**

**SKRIPSI**

Oleh

**ANNIE WULANDARI**  
**04 04 01 702 8**



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

**STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK  
BELAH PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN  
AGREGAT DAUR ULANG**

**SKRIPSI**

Oleh

**ANNIE WULANDARI**  
**04 04 01 702 8**

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

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

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT DAUR ULANG**

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, 27 Juni 2008

Annie Wulandari

NPM 04 04 01 7028

## **PENGESAHAN**

Skripsi dengan judul :

### **STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH PADA BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT DAUR ULANG**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diajukan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 3 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 3 Juli 2008

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Dr.-Ing. Josia Irwan R, ST, MT.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan kepada :

**Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA**

**Dr. -Ing. Josia Irwan R, ST, MT**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

Annie Wulandari  
NPM 04 04 01 702 8  
Departemen Teknik Sipil

Dosen Pembimbing  
I. Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA  
II. Dr.-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST, MT.

**STUDI PERILAKU KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH PADA  
BETON DENGAN MENGGUNAKAN AGREGAT DAUR ULANG**

**ABSTRAK**

Perkembangan teknologi engineering tidak lagi hanya berupa analisa dan evaluasi yang didasarkan dari aspek teknis saja, namun mulai diperhatikan latar belakang akan akibatnya pada kondisi lingkungan. Permasalahan kerusakan alam yang diakibatkan oleh penambangan batuan yang berlebihan dan pembuangan limbah beton tersebut dapat dikurangi dengan cara memanfaatkan atau mendaur ulang limbah beton sebagai agregat alternatif. Namun, pemanfaatan limbah sebagai agregat daur ulang tersebut perlu dikaji lebih mendalam, dengan melakukan pengujian eksperimental dan analisis terhadap karakteristik yang dimiliki, yaitu dengan melakukan penelitian terhadap material daur ulang dan dibandingkan dengan penelitian terhadap agregat alam sehingga dapat diperkirakan sejauh mana agregat daur ulang ini dapat digunakan sebagai bahan pembuat beton. Selanjutnya dilakukan pembuatan sampel beton dengan delapan komposisi agregat daur ulang-agregat alam, dengan *target strength* yang direncanakan adalah  $25\text{MPa}$ . Kemudian dilakukan penelitian terhadap kuat tekan dan kuat tarik belahnya. Metode dan prosedur pelaksanaan pengujian tersebut dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM.

Berdasarkan hasil pengujian agregat halus daur ulang, terdapat kandungan semen yang cukup tinggi, yang apabila dilihat dari analisa saringan, terdapat 6,27% partikel yang lolos hingga pan dimana partikel ini merupakan sisa pasta semen. Sedangkan hasil pengujian agregat kasar daur ulang menunjukkan tingkat absorpsi yang mencapai 13,67% dan tingkat keausan yang mencapai 41,22%. Beberapa perbedaan kualitas serta sifat-sifat fisik dari agregat daur ulang tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan. Dari hasil pengujian terhadap beton yang telah mengeras, perbedaan yang terjadi diantaranya adalah menurunnya kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitasnya seiring dengan penambahan rasio agregat daur ulangnya, baik agregat kasar daur ulang maupun agregat halus daur ulang. Besarnya persentase agregat kasar daur ulang yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan memenuhi *target strength* adalah 25%. Sedangkan besarnya persentase agregat halus daur ulang yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan memenuhi *target strength* juga 25%.

**Kata kunci : Agregat Alam, Agregat Daur Ulang, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus Elastisitas**

Annie Wulandari NPM 04 04 01 702 8 Civil Engineering Department	Counsellor I. Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA II. Dr.-Ing. Josia Irwan Rastandi, ST, MT.
---	---

**STUDY ON BEHAVIOUR OF COMPRESSIVE STRENGTH AND  
SPLITTING TENSILE STRENGTH ON HARDENED CONCRETE  
WITH RECYCLED AGGREGATE**

**ABSTRACT**

Nowadays, the development of engineering technology is not just based on the analysis and evaluation from technical aspects only, but also concerning the impact to the environment. Concrete, as the main material on building construction, are produced using many kinds of material taken from the natural site, so on years after, this production will lead into an environmental crisis. The environmental problem caused by the quarry of aggregate and the dumping of concrete waste could be reduced by using and recycling the concrete waste to be an alternative aggregate. But then, the using of concrete waste as a recycled aggregate should be evaluated more with experimental and analytical study which is to do research on recycled material and then compare it with the natural one so that it could estimate on how much this recycled aggregate could be useful as a material for producing concrete. Next step is to make samples with eight compositions of recycled-natural aggregate with the target strength of  $25MPa$ . After that is doing the test on its compressive strength and splitting tensile strength. Method and procedure of the research are based on ASTM standards.

Based on the research of fine recycled aggregate, there is a quite high amount of cement, which could be seen from the Sieve Analysis, there is 6,27% constituent part that passed until pan, which this passing constituent is the cement. From the research on coarse recycled aggregate, the amount of absorption is 13,67% and from abrasion test with Los Angeles Machine, the aggregate abraded until 41,22%. These differences in quality and physic properties produce different kind of concrete. This difference could be seen from its degradation in compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity. The amount percentage of recycled coarse aggregate that could be used to gain compressive strength fulfills the target strength is 25%. Also, the amount of recycled fine aggregate that could perform as the target strength is 25%.

**Key words : Natural Aggregate, Recycled Aggregate, Compressive Strength, Splitting Tensile Strength, Modulus of Elasticity**

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1. LATAR BELAKANG	I-1
1.2. BATASAN MASALAH	I-2
1.3. TUJUAN PENELITIAN	I-3
1.4. HIPOTESIS DASAR	I-3
1.5. SISTEMATIKA PENULISAN	I-4
BAB II LANDASAN TEORI	II-1
2.1. BAHAN BAKU PEMBUATAN BETON	II-2
2.1.1. Semen Portland	II-1
2.1.1.1. Pembuatan semen Portland	II-2
2.1.1.2. Komposisi kimiawi semen Portland	II-4
2.1.1.3. Hidrasi Semen Portland	II-4
2.1.1.4. Setting	II-5
2.1.1.5. Fineness dari semen	II-6
2.1.1.6. Portland Composite Cement	II-7
2.1.2. Agregat	II-8

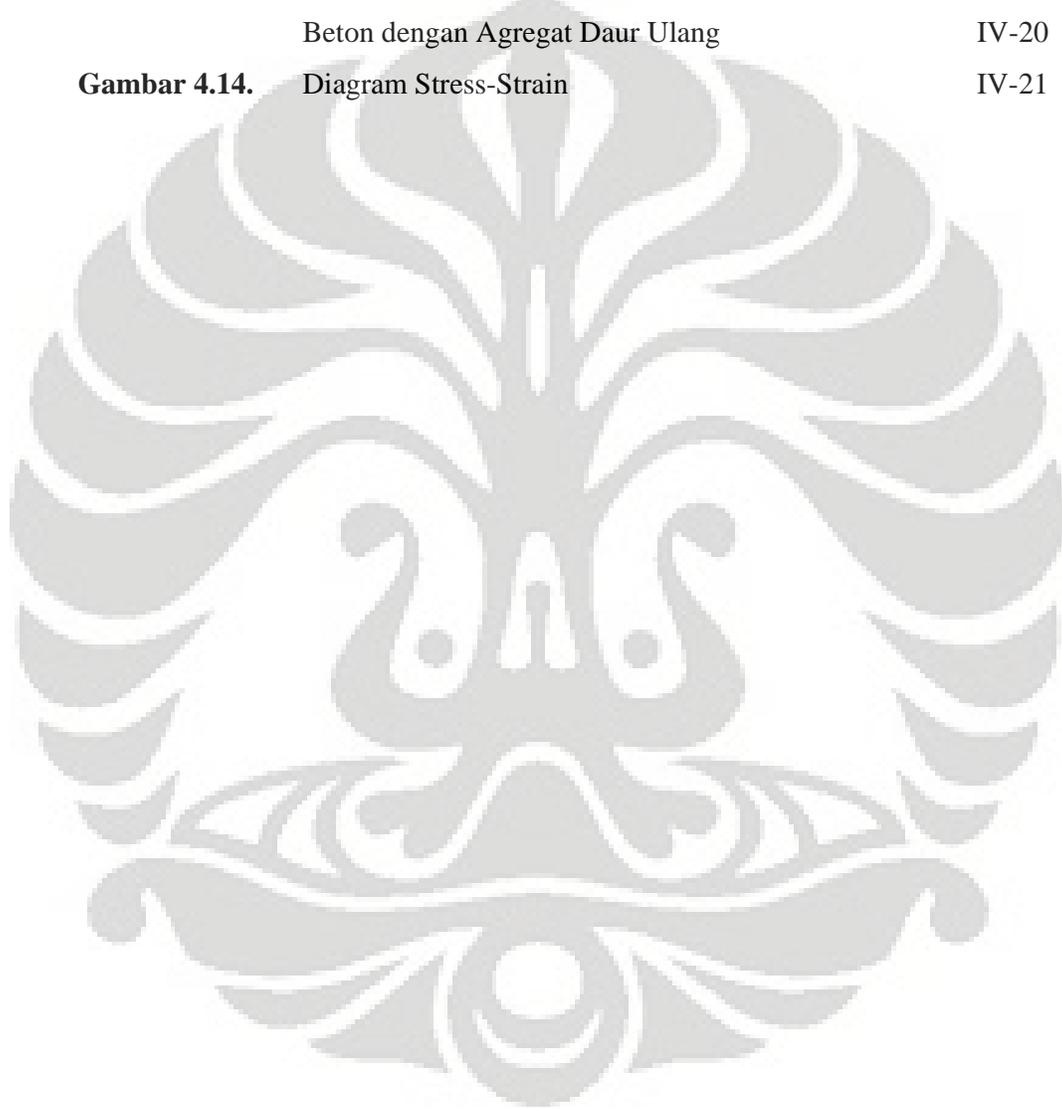
2.1.2.1. <i>Tekstur dan bentuk agregat</i>	II-8
2.1.2.2. <i>Ikatan agregat</i>	II-10
2.1.2.3. <i>Kekuatan agregat</i>	II-10
2.1.2.4. <i>Gradasi dari agregat</i>	II-12
2.1.2.5. <i>Berat jenis dan penyerapan air</i>	II-15
2.1.3. Air dan Udara	II-16
2.1.3.1. <i>Air</i>	II-16
2.1.3.2. <i>Udara</i>	II-16
2.1.4. Agregat Sisa Campuran Beton	II-17
2.2. BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)	II-18
2.3. BETON YANG TELAH MENGERAS (HARDENED CONCRETE)	II-23
<b>BAB III PENELITIAN LABOATORIUM</b>	<b>III-1</b>
3.1. PENGADAAN BAHAN DAUR ULANG	III-1
3.2. PENELITIAN TERHADAP BAHAN BAKU PENELITIAN	III-2
3.2.1. Percobaan Terhadap Agregat Kasar	III-2
3.2.2. Percobaan Terhadap Agregat Halus	III-1
3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN	III-3
3.4. ALAT-ALAT PERCOBAAN	III-4
3.5. PENENTUAN KOMPOSISI CAMPURAN AGGREGAT DAUR ULANG-AGGREGAT ALAM	III-4
3.6. PEMBUATAN BENDA UJI BETON	III-9
3.7. PENGUJIAN TERHADAP BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)	III-11
3.8. PENGUJIAN TERHADAP BETON YANG TELAH MENERAS	III-11
3.8.1. Uji Kuat Tekan (Compressive Strength Test)	III-11
3.8.2. Uji Kuat Tarik Belah (Splitting Tensile Strength Test)	III-13
3.8.3. Uji Modulus Elastisitas	III-14
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA</b>	<b>IV-1</b>
4.1. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP AGGREGAT	IV-1

4.1.1. Hasil dan Analisa Pengujian Terhadap Agregat Kasar	IV-1
4.1.2. Hasil dan Analisa Pengujian Terhadap Agregat Halus	IV-4
4.2. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)	IV-7
4.3. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP BETON YANG TELAH MENGERAS	IV-8
4.3.1. Analisa Kuat Tekan	IV-9
4.3.2. Analisa Kuat Tarik Belah	IV-13
4.3.3. Analisa Modulus Elastisitas	IV-19
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1. KESIMPULAN	V-1
5.2. SARAN	V-2
DAFTAR ACUAN	V-6
DAFTAR PUSTAKA	V-8
LAMPIRAN	1
LAMPIRAN 1 FOTO PENELITIAN	1
LAMPIRAN 2 DATA ANALISA AGREGAT HALUS ALAM	6
LAMPIRAN 3 DATA ANALISA AGREGAT HALUS DAUR ULANG	8
LAMPIRAN 4 DATA ANALISA AGREGAT KASAR ALAM	10
LAMPIRAN 5 DATA ANALISA AGREGAT KASAR DAUR ULANG	12
LAMPIRAN 6. HASIL PERCOBAAN KUAT TEKAN	14
LAMPIRAN 7. HASIL PERCOBAAN KUAT TARIK BELAH	18
LAMPIRAN 8. HASIL PERCOBAAN MODULUS ELASTISITAS	21

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1.</b>	Proses Pembuatan Semen Portland Wet Process II-3
<b>Gambar 2.2.</b>	Proses Pembuatan Semen Portland Dry Process II-3
<b>Gambar 2.3.</b>	Macam-Macam Bentuk Agregat II-9
<b>Gambar 2.4.</b>	Pengaruh Bentuk Agregat dengan Void Ratio II-9
<b>Gambar 2.5.</b>	Macam-Macam Kondisi Slump II-22
<b>Gambar 2.6.</b>	Hubungan antara Kekuatan Beton dengan Rasio Water/Cement II-23
<b>Gambar 3.1.</b>	Pengujian Kuat Tekan III-12
<b>Gambar 3.2.</b>	Uji Tekan III-13
<b>Gambar 3.3.</b>	Pengujian Kuat Tarik Belah III-13
<b>Gambar 3.4.</b>	Uji Tarik Belah III-14
<b>Gambar 3.5.</b>	Pengujian Modulus Elastisitas Beton III-15
<b>Gambar 4.1.</b>	Gradasi Agregat Kasar IV-3
<b>Gambar 4.2.</b>	Gradasi Agregat Halus IV-6
<b>Gambar 4.3.</b>	Gradasi Agregat Halus Alam dalam Zona 2 IV-6
<b>Gambar 4.4.</b>	Kuat Tekan 28 Hari Masing-Masing Komposisi IV-9
<b>Gambar 4.5.</b>	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Rasio Agregat Halus Daur Ulang dan Rasio Agregat Kasar Daur Ulang IV-11
<b>Gambar 4.6.</b>	Tipe Pola Retak IV-12
<b>Gambar 4.7.</b>	Kondisi Retak akibat <i>Compression</i> pada Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang IV-13
<b>Gambar 4.8.</b>	Kondisi Retak akibat <i>Compression</i> pada Beton dengan Menggunakan Agregat Halus Daur Ulang IV-14
<b>Gambar 4.9.</b>	Kuat Tarik Belah 28 Hari Masing-Masing Komposisi IV-16

<b>Gambar 4.10.</b>	Pola Retak Tarik Belah Beton dengan Menggunakan Agregat Halus Daur Ulang	IV-17
<b>Gambar 4.11.</b>	Pola Retak Tarik Belah Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang	IV-17
<b>Gambar 4.12.</b>	Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan	IV-19
<b>Gambar 4.13.</b>	Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton dengan Agregat Daur Ulang	IV-20
<b>Gambar 4.14.</b>	Diagram Stress-Strain	IV-21



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.1.</b> Komposisi Campuran yang Akan Diuji	I-1
<b>Tabel 2.1.</b> Kandungan Utama Semen Portland	II-4
<b>Tabel 2.2.</b> Komposisi dari Semen Portland	II-4
<b>Tabel 2.3.</b> Tipe Portland Composite Cement	II-7
<b>Tabel 2.4.</b> Persyaratan Kekerasan Agregat	II-11
<b>Tabel 2.5.</b> Persyaratan Grading untuk Agregat pada Beton Normal	II-13
<b>Tabel 2.6.</b> Persyaratan Grading untuk Agregat Halus Berdasarkan BS dan ASTM	II-13
<b>Tabel 2.7.</b> Proporsi yang Disarankan Berdasarkan Berat dari Agregat Kasar terhadap Agregat Halus pada Masing-Masing Zona	II-14
<b>Tabel 2.8.</b> Properties dari Beton terbuat dari Agregat dengan Specific Surface yang Konstan	II-14
<b>Tabel 2.9.</b> Kandungan Air untuk Berbagai Ukuran Slump dan Ukuran Agregat Maksimum	II-20
<b>Tabel 2.10.</b> Workability, Slump, and Compacting Factor dari Beton dengan MSA 19 atau 38 mm ( $\frac{3}{4}$ atau $1\frac{1}{2}$ in)	II-22
<b>Tabel 3.1.</b> Perbandingan Properti Fisik dari Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam	III-1
<b>Tabel 3.2.</b> Perbandingan Properti Fisik dari Agregat Halus Daur Ulang dan Alam	III-2
<b>Tabel 3.3.</b> Komposisi Agregat Daur Ulang dan Agregat Alam	III-5
<b>Tabel 3.4.</b> Ukuran Agregat Maksimum yang Dianjurkan Dipakai dalam Konstruksi	III-5
<b>Tabel 3.5.</b> Nilai Konstanta t	III-6

<b>Tabel 3.6.</b>	Macam-Macam Ukuran Agregat Maksimum	III-6
<b>Tabel 3.7.</b>	Tabel Koreksi untuk Perhitungan S/A dan W	III-7
<b>Tabel 3.8.</b>	Tabel Komposisi Campuran I, II, III, IV	III-8
<b>Tabel 3.9.</b>	Tabel Komposisi Campuran V, VI, VII, VIII	III-9
<b>Tabel 4.1.</b>	Hasil Percobaan Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar	IV-1
<b>Tabel 4.2.</b>	Hasil Percobaan Berat Isi Agregat Kasar	IV-1
<b>Tabel 4.3.</b>	Hasil Percobaan Los Angeles	IV-2
<b>Tabel 4.4.</b>	Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Kasar	IV-3
<b>Tabel 4.5.</b>	Perhitungan Data Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus	IV-4
<b>Tabel 4.6.</b>	Perhitungan Data Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus	IV-4
<b>Tabel 4.7.</b>	Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Halus	IV-5
<b>Tabel 4.8.</b>	Hasil Percobaan Bahan Lewat Saringan No. 200	IV-7
<b>Tabel 4.9.</b>	Komposisi Komposisi Semen dan Air yang Direncanakan dan yang Dikerjakan	IV-7
<b>Tabel 4.10.</b>	Perkiraan Nilai Kuat Tekan akibat Penambahan Rasio W/C	IV-8
<b>Tabel 4.11.</b>	Hasil Kuat Tekan Masing-Masing Komposisi	IV-9
<b>Tabel 4.12.</b>	Hasil Kuat Tarik Belah Masing-Masing Komposisi	IV-15
<b>Tabel 4.13.</b>	Perbandingan Kuat Tarik Belah Hasil Percobaan dengan Rumus	IV-19
<b>Tabel 4.14.</b>	Hasil Percobaan Modulus Elastisitas	IV-20
<b>Tabel 4.15.</b>	Hasil Percobaan Poisson Ratio	IV-22

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Beton merupakan bahan yang mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan bahan konstruksi yang lain, diantaranya mempunyai kuat tekan yang besar, tahan terhadap api, mudah dibentuk, tidak diperlukan keahlian khusus dalam pembuatannya, dan bahan bakunya mudah untuk didapatkan, sehingga beton unggul dari segi biaya. Karena itu, saat ini beton menjadi pilihan utama bagi masyarakat dalam mendirikan suatu bangunan.

Beton terbentuk dari campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah), udara, dan terkadang bahan admixture. Campuran pasta ini diletakkan pada sebuah cetakan, kemudian di-*curing* untuk memperoleh *chemical hydration*. Telah disebutkan bahwa sifat beton yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas material penyusunnya, yaitu agregat sebagai bahan pengisi, serta semen hidrolis dan air sebagai bahan pengikat. Bahan-bahan pembentuk beton ini pada umumnya berasal dari alam, sehingga cepat atau lambat ketersediaan bahan-bahan ini pada akhirnya akan habis karena jumlahnya yang menurun akibat keperluan pembetonan.

Seiring dengan makin maraknya penggunaan beton sebagai bahan konstruksi bangunan, maka produksi beton juga semakin akan meningkat, baik produksi beton yang digunakan untuk keperluan konstruksi maupun produksi untuk keperluan penelitian. Pada produksi untuk keperluan konstruksi, misalnya pada beton siap pakai (*ready mix*) yang saat ini sedang marak digunakan untuk membuat konstruksi bangunan, pada penerapannya sering terjadi kelebihan supply atau terkadang beton yang sampai ke *site* ternyata ditolak karena mutunya tidak terpenuhi, sehingga beton yang tidak terpakai ini terkadang dibuang di sembarang tempat, menyebabkan adanya tumpukan limbah beton. Selain itu, pada produksi untuk keperluan penelitian, sample-sampel yang diuji biasanya tidak digunakan lagi, dan sisa-sisa sampel ini biasanya juga dibuang di sembarang tempat. Pembuangan limbah padat seperti ini dapat mengganggu ekosistem serta menurunkan nilai estetika pada lokasi-lokasi pembuangan.

Dengan demikian, percobaan yang berkelanjutan diperlukan dalam penentuan komposisi beton yang digunakan, dengan asumsi-asumsi yang berdasarkan pada kondisi lingkungan, ketersediaan bahan, beberapa keinginan owner, kebutuhan arsitektural, peraturan-peraturan yang telah ditetapkan, serta kondisi lingkungan.

Dengan meninjau asumsi-asumsi dasar di atas, maka dapatlah diambil suatu bahan alternatif material pengisi beton, yaitu dengan memanfaatkan atau mendaur ulang limbah beton, yang dihasilkan dari suatu aktivitas pembongkaran atau pengadaan konstruksi sebagai agregat alternatif, yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran beton.

## 1.2. BATASAN MASALAH

Secara khusus penelitian ini difokuskan pada penelitian sampel beton yang menggunakan limbah beton sebagai bahan agregat kasarnya serta sampel beton yang menggunakan agregat alam. Pada penelitian ini, semen yang digunakan adalah semen tipe Portland Composite Cement. Material agregat daur ulang yang digunakan adalah sisa-sisa adukan atau campuran beton yang telah dipergunakan.

Pengujian terhadap material agregat daur ulang berupa pengujian sifat-sifat fisik, meliputi uji berat jenis dan penyerapan, uji kadar air agregat, uji keausan agregat dengan mesin abrasi los angeles, uji berat isi dan analisa saringan. Selain itu juga dilakukan pengujian sifat-sifat fisik pada agregat dari alam sebagai perbandingan, dimana pengujian yang dilakukan adalah sama dengan pengujian pada agregat daur ulang.

Untuk komposisi campuran, digunakan delapan macam komposisi agregat daur ulang dengan agregat alam, yaitu

**Tabel I.1.** Komposisi Campuran yang Akan Diuji

Komposisi	Agregat Kasar		Agregat Halus	
	DU(%)	Alam(%)	DU(%)	Alam(%)
I	0	100	0	100
II	0	100	25	75
III	0	100	50	50
IV	0	100	100	0
V	25	75	0	100
VI	25	75	25	75
VII	50	50	0	100
VIII	50	50	25	75

Pada beton yang kemudian dihasilkan, pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan dan uji kuat tarik belah, dimana mutu beton yang digunakan adalah beton  $f_c'$  25, dengan benda uji berupa silinder berukuran  $300mm \times 150mm$ . Pengujian untuk uji kuat tekan akan dilakukan pada beton saat berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Uji kuat tarik belah akan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.

### **1.3. TUJUAN PENELITIAN**

Pada penelitian ini, terdapat beberapa tujuan yang akan dicapai. Tujuan tersebut antara lain:

- mengetahui sifat-sifat fisik dari agregat daur ulang yang akan digunakan.
- mengetahui komposisi agregat daur ulang dan agregat alam yang efektif dan dapat memenuhi *target strength* yang diinginkan.
- mengetahui kuat tekan dan kuat tarik belah dari komposisi-komposisi tersebut.

### **1.4. HIPOTESIS DASAR**

Sifat beton sangat dipengaruhi oleh komposisi dan kualitas material penyusunnya, yaitu agregat sebagai bahan pengisi, serta semen hidrolis dan air sebagai bahan pengikat. Agregat sebagai bahan pengisi menempati 70% dari total komposisi beton, dimana kurang lebih 30% adalah agregat halus dan 40% adalah agregat kasar. Untuk mengetahui seberapa jauh kegunaan limbah beton dalam memberikan kekuatan bagi beton, maka pada langkah awal diperlukan penelitian mengenai material ini sendiri, dengan melakukan pengujian eksperimental dan analisis terhadap karakteristik yang dimiliki.

Agregat kasar dari limbah beton tentu memiliki kekuatan yang berbeda dengan agregat dari alam, karena adanya kandungan pasta sekitar 25% hingga 45%<sup>1</sup>. Hal ini mengakibatkan agregat kasar akan menjadi lebih porus atau berpori, sehingga kekerasannya berkurang, bidang temu (*interface*) yang bertambah, dan unsur-unsur kimia agresif (seperti  $Na_2SO_4$  dan  $MgSO_4$ ) lebih mudah masuk dan merusak.

Beberapa perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat (properties) material beton yang dihasilkan. Karena kualitas agregat daur ulang ini tentunya telah berkurang, maka perlu adanya percampuran antara agregat daur ulang dengan agregat alam untuk menghasilkan beton yang mampu memenuhi *target strength* yang direncanakan.

Tentunya untuk mendapatkan beton sesuai dengan perencanaan, kandungan agregat kasar daur ulang tidak dapat terlalu dominan, di mana komposisi yang memungkinkan untuk *target strength* terpenuhi adalah penggunaan agregat kasar daur ulang hingga 50%. Sedangkan kandungan agregat daur ulang dapat digunakan hingga persentase 100%.

## **1.5. SISTEMATIKA PENULISAN**

Berikut adalah sistematika penulisan pada penelitian uji kuat tekan dan uji kuat tarik pada beton dengan agregat dari limbah beton.

Bab I : Pendahuluan. Pendahuluan membahas mengenai latar belakang penelitian, pembatasan masalah yang akan diteliti, tujuan penelitian, serta hipotesis dasar penelitian.

Bab II : Dasar Teori. Pada bab ini akan dibahas mengenai bahan-bahan pembuat beton, diantaranya semen, agregat, air dan udara. Selain itu juga dibahas mengenai fresh concrete serta hardened concrete.

Bab III : Penelitian Laboratorium. Pada bab ini, akan dibahas mengenai pengujian-pengujian yang dilakukan pada agregat daur ulang, pengujian terhadap beton segar, hingga pengujian kuat tarik dan kuat tekan

Bab IV : Analisis. Pada bab ini akan dibahas analisis berdasarkan hasil pengujian yang didapat.

Bab V : Kesimpulan dan Saran

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

Untuk memahami dan menginterpretasikan perilaku secara keseluruhan dari suatu komposit, maka dibutuhkan pengetahuan mengenai karakteristik dari komponen penyusunnya. Beton diperoleh dari hasil interaksi mekanis dan kimiawi berbagai macam konstituen material. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk membahas mengenai fungsi dari masing-masing komponen tersebut. Dalam hal ini, desainer dan material engineer dapat mengembangkan kemampuan untuk memilih bahan dan komposisi yang tepat dengan tujuan mendapatkan beton yang efisien serta memenuhi kebutuhan akan *strength* dan *serviceability*.

#### **2.1. BAHAN BAKU PEMBUATAN BETON**

##### **2.1.1. Semen Portland**

Semen dapat didefinisikan sebagai material yang memiliki sifat adesif dan kohesif, sehingga memungkinkannya untuk menyatukan bagian-bagian dari mineral menjadi suatu kesatuan. Dalam lingkup konstruksi, pengertian dari semen ini terbatas pada material penyatu yang digunakan bersamaan dengan batu, pasir, bata, dan lainnya. Material utama dari semen ini adalah campuran dari kapur. Semen, dalam hubungannya dengan beton, memiliki sifat akan *setting* dan *hardening* di dalam air akibat adanya reaksi-reaksi kimia, dan oleh karena itu disebut sebagai semen hidraulis.

Semen hidraulis pada umumnya terdiri dari *silicate* dan *alluminate* yang berasal dari kapur, dan dapat diklasifikasikan atas semen alam, semen Portland, dan *high-alumina cement*. Pada bagian ini, akan lebih difokuskan pada pembahasan semen Portland, mengingat semen yang umum digunakan dalam pembuatan beton merupakan jenis semen Portland.

Nama semen Portland berasal dari gabungan antara warna dan kualitas dari semen yang berasal dari batu Portland – batu kapur yang ditambang di Dorset. Pada saat ini, nama semen Portland telah mendunia sebagai semen yang diperoleh dengan cara mencampur *calcareous* dan *argillaceous*, atau -silika, -alumina dan material yang teroksidasi oleh besi, kemudian dibakar pada temperatur yang sangat tinggi, dan abunya diperhalus lagi.

### 2.1.1.1. Pembuatan semen Portland

Dari definisi semen Portland sebelumnya, dapat diketahui bahwa semen ini pada umumnya terbuat dari mineral kristal halus yang memiliki komposisi akan kalsium dan aluminium silikat. Proses dari pembuatan semen ditekankan pada penghancuran bahan baku, mencampurnya dalam proporsi tertentu, dan membakarnya dalam sebuah *rotary kiln* (oven yang berotasi) pada temperatur 1400°C hingga material bercampur menjadi bola-bola yang disebut *clinker*. Setelah itu, *clinker* didinginkan dan menjadi bubuk halus, dan dengan penambahan gypsum menjadikannya semen Portland yang digunakan secara luas di seluruh dunia.

Bahan baku dari pembuatan semen Portland ini adalah :

1. Lime (CaO) – dari batu kapur
2. Silica (SiO<sub>2</sub>) – dari tanah liat
3. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – dari tanah liat
4. Presentase kecil akan Magnesia (MgO) dan oksida baja

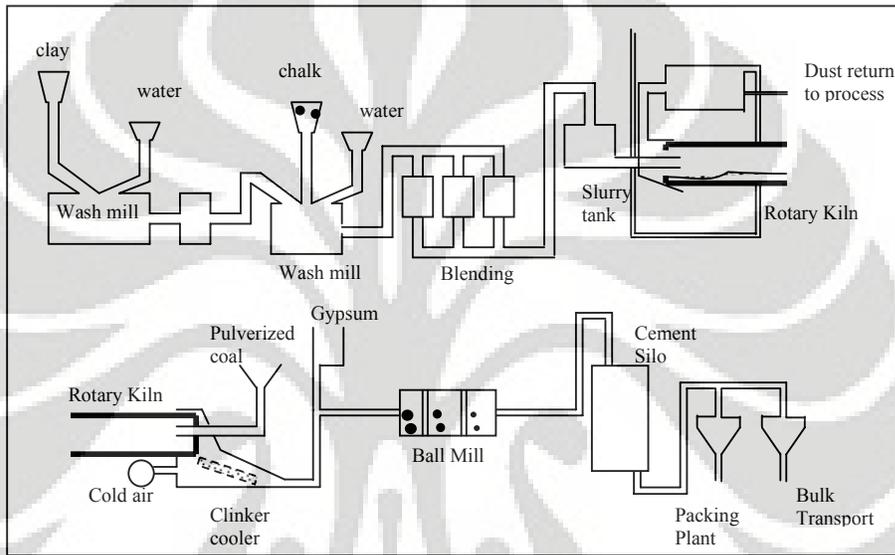
Pada pembuatan semen, proses awalnya yang berupa pencampuran bahan dan penumbukan dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dalam keadaan kering maupun basah, oleh karena itu disebut proses “kering” dan proses “basah”. Pemilihan dari kedua proses ini dilakukan berdasarkan tingkat kekerasan bahan baku yang digunakan dan kondisi kelembaban bahan bakunya.

Proses pembuatan dari semen pada umumnya adalah sebagai berikut :

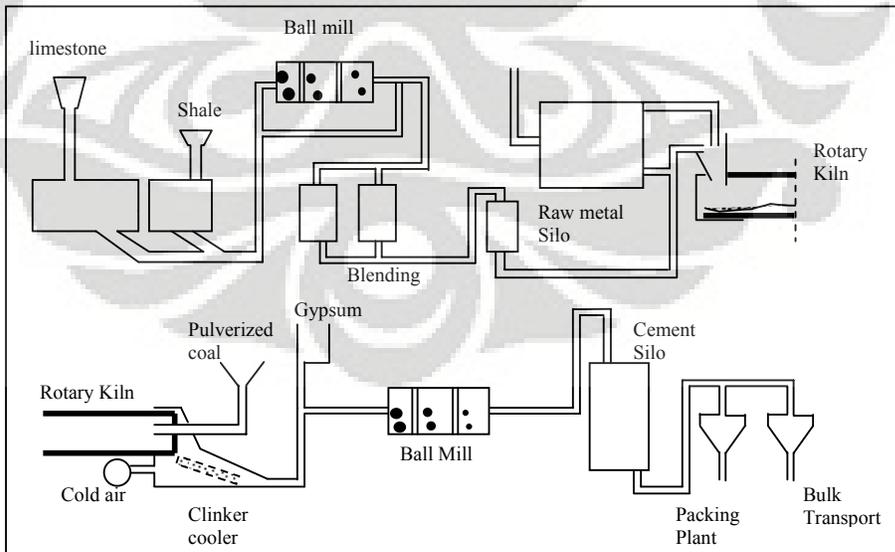
1. Menghancurkan bahan baku yang terdiri dari Lime, Silica, Alumina, dan juga dengan material minor lainnya, baik dalam keadaan basah maupun kering. Dalam kondisi basah, bentuk ini dinamakan *slurry*.
2. Setelah dihancurkan, bahan-bahan ini dimasukkan ke dalam *rotary kiln* dari bagian atas.
3. Selama panas didapatkan pada saat *kiln* beroperasi, bahan-bahan ini melewati bagian atas dari kiln menuju bagian bawah dari kiln pada kecepatan yang tertentu.
4. Temperatur dari campuran ini dinaikkan hingga pada titik permulaan *fusion*, yang disebut dengan *clinkering temperature*. Temperatur ini terus dijaga konstan hingga bahan-bahan menyatu dan membentuk bola-bola pada

temperatur 1500°C. Bola-bola ini, yang ukurannya berkisar antara 1/16 hingga 2 inchi, disebut *clinkers*.

5. *Clinker* didinginkan kemudian diperhalus hingga berbentuk bubuk.
6. Pada saat penumbukan dilakukan, ditambahkan gypsum dengan presentase yang kecil untuk mengontrol atau menghambat *setting time* dari semen ketika berada di lapangan
7. Semen portland yang sudah jadi ini langsung didistribusikan untuk dipasarkan.



**Gambar 2.1.**Proses Pembuatan Semen Portland Wet Process



**Gambar 2.2.**Proses Pembuatan Semen Portland Dry Process

### 2.1.1.2. Komposisi kimiawi semen Portland

Telah disebutkan bahwa bahan baku pembuatan semen Portland didominasi oleh kapur, silika, alumina, dan oksida. Bahan-bahan ini berinteraksi satu dengan lainnya di dalam oven (*kiln*) untuk membentuk sebuah produk yang kompleks. Secara sederhana, pada proses pembuatan semen ini, dapat diasumsikan bahwa komposisi kimiawi semen mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*) ketika berada pada *clinkering temperature*. Dengan asumsi ini, komposisi dari semen dihitung berdasarkan kuantitas dari oksida yang ada dalam *clinker* sebagai produk kesetimbangan reaksi.

Empat senyawa utama penyusun semen ini antara lain:

**Tabel II.1.** Kandungan Utama Semen Portland<sup>2</sup>

Nama Bahan	Komposisi Oksida	Simbol
<i>Tricalcium silicate</i>	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
<i>Dicalcium silicate</i>	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
<i>Tricalcium aluminate</i>	2CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> A
<i>Tetracalcium aluminoferrite</i>	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Selain kandungan senyawa yang dijabarkan pada tabel diatas, terdapat juga kandungan senyawa lain dalam presentase yang sangat kecil. Kandungan ini berupa MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Na<sub>2</sub>O.

Besarnya kuantitas yang sebenarnya pada berbagai macam senyawa ini sangat beragam dari satu semen ke semen lainnya, dan oleh karena itu berbagai tipe semen didapatkan dengan cara mengatur komposisinya. Secara garis besar, komposisi dari semen dapat dilihat pada tabel II.2 berikut.

**Tabel II.2.** Komposisi dari Semen Portland<sup>3</sup>

Oksida	Kandungan, persen
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-0.6
MgO	0.1-4.0
Alkalis	0.2-1.3
SO <sub>3</sub>	1-3

### 2.1.1.3. Hidrasi semen Portland

Hidrasi semen Portland dapat didefinisikan sebagai reaksi ketika semen Portland menjadi bahan penyatu ketika berada dalam pasta *water-cement*. Atau dengan kata lain, dengan pencampuran air, bahan silika dan alumina yang

dijabarkan pada tabel **II.1**. membentuk suatu produk hidrasi, dimana produk ini akan menjadi pasta semen yang mengeras.

Le Chatelier adalah yang pertama mengobservasi dan menemukan bahwa hidrasi dari semen secara kimiawi menghasilkan produk yang sama dengan hidrasi dari masing-masing senyawa. Kandungan kalsium silikat pada semen merupakan senyawa *cementious* yang utama dalam semen, dan perilaku fisik dari kedua senyawa ini ketika berhidrasi sendiri adalah serupa dengan semen ketika mengalami hidrasi<sup>4</sup>.

Produk dari semen yang telah terhidrasi ini memiliki *solubility* yang rendah di dalam air sebagaimana ditunjukkan dari stabilitas pasta semen yang mengeras apabila terkena air.

Progres hidrasi dari semen dapat dijelaskan dengan berbagai cara, antara lain dengan mengetahui :

1. Jumlah  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam pasta
2. Panas yang dihasilkan ketika proses hidrasi berlangsung
3. *Specific gravity* dari pasta
4. Jumlah bahan kimia yang bereaksi dengan air

#### 2.1.1.4. *Setting*

Istilah *setting* digunakan untuk mendefinisikan pengerasan dari pasta semen, atau dalam pengertiannya, *setting* merupakan proses perubahan dari fluida menjadi solid. Walaupun ketika proses *setting* pasta ini juga mengalami peningkatan kekuatan, perlu dipisahkan pengertian *setting* dengan *hardening*, di mana *hardening* merupakan kondisi peningkatan kekuatan pasta semen.

*Setting* disebabkan oleh proses bertahap dari hidrasi, yang pertama adalah reaksi dari  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_3\text{S}$ . Namun, adanya penambahan gypsum menghambat hidrasi dari kalsium alumina sehingga  $\text{C}_3\text{S}$  akan mengalami hidrasi terlebih dahulu. Hal ini penting untuk dilakukan karena apabila  $\text{C}_3\text{A}$  berhidrasi terlebih dahulu maka akan terbentuk suatu kalsium alumina yang bersifat porous. Hal ini mengakibatkan kandungan semen lainnya akan terhidrasi dalam kondisi porous dan selanjutnya akan berakibat signifikan pada kekuatan pasta semen.

Proses *setting* bergantung pada temperatur sekitar. Waktu *setting* dari semen akan berkurang seiring dengan peningkatan temperatur. Namun setelah

temperatur melebihi 30°, akan terjadi efek sebaliknya. Pada temperatur rendah, proses setting akan terhambat.

Dalam setting, kondisi *false set* perlu dihindari, yaitu kondisi dimana semen mengeras secara cepat dalam beberapa menit setelah ditambahkan air. Beberapa penyebab dari false set diperkirakan berasal dari dehidrasi dari gypsum ketika diberikan pada *clinker* yang temperturnya terlalu tinggi : *hemihydrate* ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) atau *anhydrite* ( $\text{CaSO}_4$ ) akan terbentuk dan ketika semen ditambahkan air, maka ketika hidrasi berlangsung, gypsum mendominasi reaksi yang mengakibatkan pada pengerasan semen.

Selain itu, *false set* dapat juga terjadi akibat pengaruh alkali dalam semen, dimana pada saat penyimpanan semen, dapat terjadi karbonasi pada semen. Alkali karbonat ini kemudian akan bereaksi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan hal ini akan menyebabkan pasta dengan cepat mengeras. Penyebab lain dari *false set* adalah akibat aktivitas  $\text{C}_3\text{S}$  ketika semen berada pada lingkungan dengan kelembaban tinggi. Air akan terserap dalam semen dan semen ini kemudian akan bereaksi secara cepat ketika ditambahkan dengan air, sehingga akan menghasilkan proses hidrasi yang terlampau cepat.

#### 2.1.1.5. Fineness dari semen

Salah satu tahapan akhir dari pembuatan semen adalah penghancuran *clinker* yang dicampur dengan gypsum. Karena proses hidrasi dimulai pada permukaan dari partikel semen, maka jumlah permukaan semen ini merepresentasikan material yang dapat terhidrasi. Dengan demikian, tingkat hidrasi semen bergantung pada kehalusan semen, dan untuk peningkatan kekuatan yang cepat, permukaan semen yang halus sangat diperlukan.

Di satu sisi, proses penumbukan *clinker* menjadi semen yang benar-benar halus juga meningkatkan *cost* pembuatan semen, dan juga, semakin halus semen, maka semakin mudah partikel semen terbang dan lolos ke udara. Bagaimanapun juga, semen yang lebih halus akan mengalami *bleeding* yang lebih rendah dibandingkan semen yang lebih kasar.

Peningkatan tingkat kehalusan semen ikut meningkatkan jumlah gypsum yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan perlambatan hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  karena pada semen yang lebih halus, terdapat lebih banyak  $\text{C}_3\text{A}$  yang dapat berhidrasi lebih

awal. Jumlah air yang dibutuhkan dari pasta yang terkonsistensi adalah lebih banyak pada semen yang permukaannya halus ini, namun sebaliknya, semakin halus semen, semakin meningkatkan *workability* pada campuran beton.

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa kondisi kehalusan semen berpengaruh pada kekuatan beton yang akan didapatkan.

#### 2.1.1.6. Portland Composite Cement

Portland Composite Cement (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut memiliki kadar total 6 % hingga 35% dari massa semen portland komposit<sup>5</sup>. Bahan anorganik ini antara lain:

- S = blast furnace slag
- D = silica fume
- P = natural pozzolana
- Q = natural calcined pozzolana
- V = siliceous fly ash (e.g. pfa)
- W = calcareous pfa (e.g. high lime pfa)
- T = burnt shale
- L = limestone
- M = a composite cement

Selain itu, Berdasarkan British Standard Cements yang baru (BS EN 197-1), PCC dibagi atas dua jenis berdasarkan kandungan *clinker* yang ada, yaitu:

**Tabel II.3.** Tipe Portland Composite Cement<sup>6</sup>

Tipe PCC	Kandungan clinker (%)	Kandungan lainnya
CEM II/A-M	80 – 94	6 – 20
CEM II/B-M	65 – 79	21 – 35

Penggunaan PCC meningkatkan efisiensi ekologis dari konstruksi beton, dimana penggunaan bahan lain selain *clinker* dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> selama pembuatan semen. Oleh karena itu, dewasa ini, PCC mulai marak digunakan, menggantikan Portland Cement biasa.

### 2.1.2. Agregat

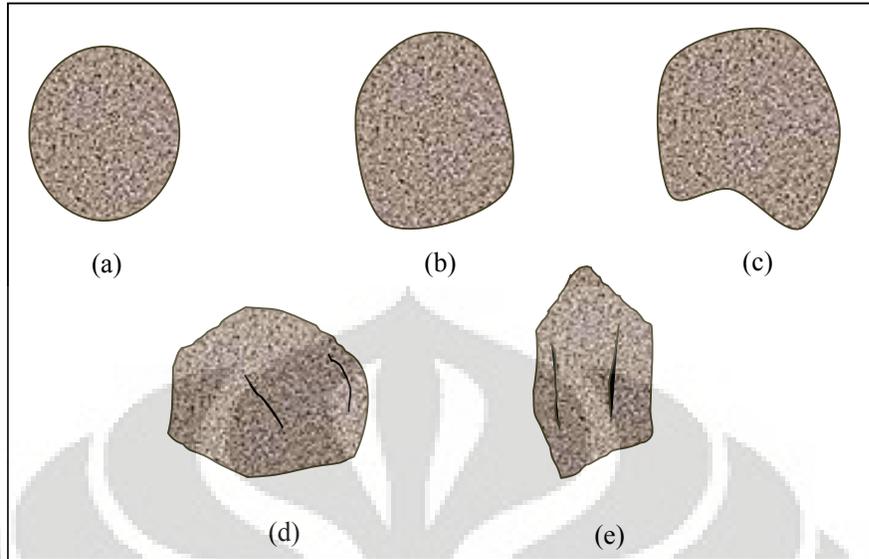
Agregat merupakan material penyusun beton yang jumlahnya kurang lebih 70% dari volume beton yang dihasilkan. Dengan demikian, kualitas agregat yang digunakan merupakan hal yang penting. Selain menentukan kekuatan dari beton, properti dari agregat juga ikut menentukan *durability* dan perilaku struktural dari beton.

Ukuran agregat yang digunakan dalam pembuatan beton bervariasi, dari kurang lebih 10 milimeter hingga yang lebih kecil lagi. Ukuran dari agregat ini haruslah bergradasi baik, dari yang paling besar hingga yang paling kecil. Dalam produksi agregat, paling tidak terdapat dua jenis ukuran agregat, agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus, seringkali disebut pasir, memiliki ukuran yang tidak lebih besar dari 5mm, dan agregat kasar memiliki ukuran paling tidak 5mm.

#### 2.1.2.1. Tekstur dan bentuk agregat

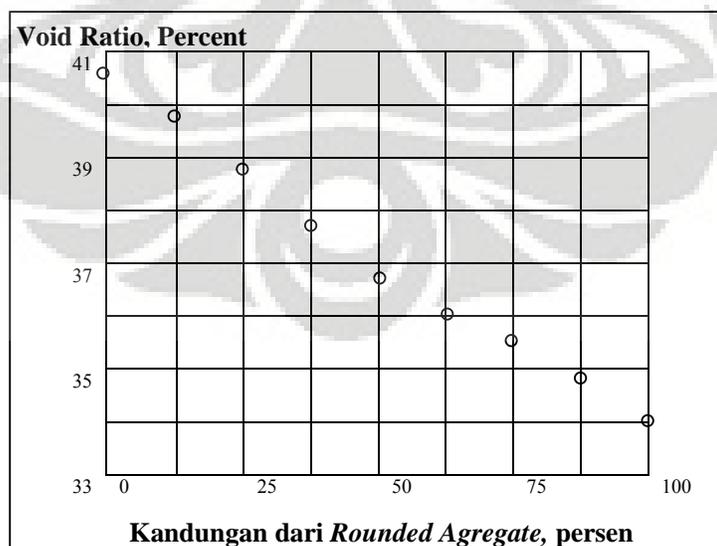
Agregat untuk pembuatan beton memiliki berbagai ukuran dan bentuk yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah satu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini, terdapat istilah *roundness*, yaitu ukuran relatif besarnya sudut-sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed aggregates*, bentuk dari agregat bergantung pada kondisi alami dari batu induk dan juga dari tipe penghancurnya serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan ke dalam alat penghancur dengan produk agregat yang dihasilkan. Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah sebagai berikut:

- *well rounded* – bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada
- *rounded* – bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang
- *subrounded* – permukaan sudah halus namun bentuk asli batu induk masih ada
- *Subangular* – terdapat permukaan yang halus
- *Angular* – bentuk tidak beraturan



**Gambar 2.3.** Macam-Macam Bentuk Agregat (a) well rounded, (b) rounded, (c) subrounded, (d) subangular, (e) angular

Kandungan void dari agregat dapat dihitung dari perubahan volume udara ketika tekanan diberikan, dimana volume udara yang tak lain adalah volume rongga, dapat dihitung<sup>7</sup>. Presentase void dalam hubungannya dengan bentuk partikel dapat dilihat pada gambar 2.4, berdasarkan percobaan Shergold<sup>8</sup>. Sampel yang digunakan terdiri dari dua jenis agregat, yaitu angular dan rounded, dalam proporsi yang berbeda-beda. Dapat dilihat bagaimana agregat rounded dapat mengurangi presentase void yang ada.



**Gambar 2.4.** Pengaruh Bentuk Agregat dengan Void Ratio<sup>8</sup>

Selain dari bentuk agregat, perlu diperhatikan juga tekstur permukaan agregat. Tekstur permukaan agregat ini bergantung pada kekerasan, ukuran butiran, porositas dari material induknya, dan juga besarnya energi yang terjadi pada permukaan, yang membuat agregat lebih halus atau lebih kasar. Klasifikasi tekstur permukaan agregat ini didasarkan pada derajat apakah permukaan agregat licin atau tidak, halus atau kasar.

Bentuk dan tekstur permukaan dari agregat mempengaruhi kekuatan dari beton, dimana *flexural strength* lebih terpengaruh dibandingkan dengan *compressive strength*. Pengaruh ini didasarkan pada asumsi bahwa tekstur yang lebih kasar akan menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih besar antara partikel dengan matriks semen. Sama halnya dengan semakin luas permukaan dari agregat maka semakin besar kekuatan adhesi yang dapat dihasilkan. Namun di satu sisi, dengan digunakannya agregat yang permukaannya kasar, akan menyebabkan dibutuhkan air yang lebih banyak pada campuran beton.

Selain agregat kasar, bentuk dan tekstur dari agregat halus juga memiliki pengaruh yang signifikan dalam mendapatkan kebutuhan air ketika proses pembuatan beton.

#### 2.1.2.2. Ikatan agregat

Ikatan antar agregat dan pasta semen adalah faktor penting dalam menyumbang kekuatan beton, terutama dalam kuat tariknya. Pada permukaan yang kasar, seperti pecahan batu, akan memberikan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen. Ikatan yang lebih baik juga didapatkan dari partikel yang kandungan mineralnya heterogen dan bersifat porous. Selain itu, ikatan agregat juga dipengaruhi oleh properti fisik dan kimiawi dari agregat, yang berhubungan dengan komposisi mineral serta kimiawi serta kondisi elektrostatis dari permukaan agregat.

#### 2.1.2.3. Kekuatan agregat

Kekuatan dari agregat yang digunakan sebagai bahan pembentuk beton haruslah lebih besar dari kekuatan beton yang akan dicapai, karena *stress* yang terjadi pada titik kontak dari satu partikel dalam beton dapat menjadi lebih besar daripada *compressive stress* yang diberikan pada beton itu sendiri. Namun, bagaimanapun juga, adalah hal yang sulit dalam mengukur kekuatan dari agregat.

Oleh karena itu, data mengenai kekuatan agregat didapat secara tidak langsung dari percobaan seperti: *crushing strength* dari sampel bebatuan, *crushung value* dari bulk agregat, atau performa agregat dalam beton.

Dengan demikian, penggunaan suatu agregat dalam pembuatan beton didasarkan pada pengalaman sebelumnya atau dengan coba-coba. Jika hasil tes agregat menunjukkan kekuatan yang lebih rendah daripada *compressive strength* beton, atau apabila terdapat beberapa agregat yang retak setelah sample beton dihancurkan, maka kekuatan dari agregat tersebut lebih rendah daripada kuat nominal *compressive strength* dari mix beton, atau dengan kata lain agregat tersebut hanya dapat digunakan pada mix beton dengan kekuatan yang lebih rendah.

Kekuatan agregat yang tidak mencukupi menunjukkan bahwa properti dari agregat memiliki pengaruh pada *strength* dari beton. Jika dibandingkan antara beton yang dibuat dengan agregat jenis lain, dapat dilihat bahwa pengaruh agregat pada kekuatan beton secara kualitas adalah sama bagaimanapun juga proporsinya, baik ketika di tes pada *compression* maupun *tensile*<sup>9</sup>. Pengaruh agregat pada kekuatan beton tidak hanya akibat kekuatan mekanik dari agregat, namun juga karena karakteristik ikatan dan juga absorsi dari agregat. Dengan demikian, pada umumnya kekuatan dan elastistias dari agregat tergantung pada komposisinya, teksturnya, dan strukturnya.

Untuk mengetahui seberapa kekuatan dari agregat, biasanya pengujian yang dilakukan adalah dengan test abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles sesuai dengan SNI 03-2417-1991, Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Berdasarkan SII No. 52-1980, persyaratan kekerasan agregat untuk beton adalah sebagai berikut:

**Tabel II.4.** Persyaratan Kekerasan Agregat

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dengan bejana geser Los Angeles; bagian hancur menembus ayakan 1.7mm (%)
Beton Kelas I dan mutu B0 serta B1	40 – 50
Beton Kelas II : K125, K175, K225	27 – 40
Beton Kelas III : Beton mutu di atas K225 atau beton pratekan	Kurang dari 27

#### 2.1.2.4. Gradasi dari agregat

Grading merupakan tingkatan ukuran butir-butir agregat, dimana hal ini penting untuk pembuatan beton selama grading ini berpengaruh pada *workability* dari beton. Kebutuhan agregat sebagai bahan dengan volume relatif yang paling besar pada campuran beton, tidak hanya dilihat dari segi ekonomisnya mengingat harga agregat yang lebih murah dibandingkan dengan semen, namun juga dilihat dari segi teknisnya, yaitu berdasarkan asumsi bahwa semakin besar partikel solid yang dapat disumbangkan dalam sebuah mix beton, maka akan semakin besar kekuatan beton tersebut. Namun, apabila kerapatan dari mix beton ini mencapai maksimum, maka akan tercipta sebuah campuran yang kasar dan *unworkable*. *Workability* dapat dicapai ketika terdapat kelebihan pasta yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga dalam pasir, dan juga kelebihan mortar (pasir dan semen) yang digunakan untuk mengisi rongga-rongga pada agregat kasar.

Dalam suatu kondisi, terdapat istilah agregat bergradasi celah atau *gap grading*. *Gap grading* ini merupakan kondisi di mana terdapat satu atau lebih ukuran sedang dari agregat yang diabaikan. Percobaan yang dilakukan oleh Shacklock<sup>10</sup> menunjukkan bahwa pada rasio agregat/semen dan air/semen, *workability* yang lebih tinggi didapatkan pada agregat dengan kandungan pasir yang lebih sedikit pada kasus *gap grading*, dibandingkan pada beton dengan agregat bergradasi baik. Namun, agregat bergradasi celah ini memiliki kemungkinan lebih besar akan segregasi. Untuk alasan inilah, agregat bergradasi celah direkomendasikan untuk digunakan oleh yang sudah berpengalaman dalam hal mix beton, serta dibutuhkan kontrol yang intensif dan penanganan yang lebih hati-hati untuk menghindari terjadinya segregasi.

Dengan demikian, tidak diragukan bahwa grading dari agregat adalah faktor utama dalam pencapaian *workability* campuran beton. *Workability*, mempengaruhi kebutuhan akan air dan semen, mengontrol segregasi, berpengaruh pada bleeding, serta mempengaruhi proses finishing dari beton. Faktor-faktor ini merepresentasikan karakteristik penting dari pasta beton dan juga porperti beton, yaitu *strength*, *shrinkage*, dan *durability*. Berikut adalah tabel grading untuk beton normal.

**Tabel II.5.** Persyaratan Grading untuk Agregat pada Beton Normal

US standard sieve size	Percent passing				
	Coarse aggregate				Fine Agregate
	No.4. to 2 in	No.4 to 1 ½ in	No.4 to 1 in	No 4 to ¾ in	
2 in	95 – 100	100	--	--	--
1 ½ in	--	95 – 100	100	--	--
1 in	25 – 70	--	95 – 100	100	--
¾ in	--	35 – 70	--	90 – 100	--
½ in	10 – 30	--	25 – 60	--	--
3/8 in	--	10 – 30	--	20 – 55	100
No. 4	0 – 5	0 – 5	0 – 10	0 – 10	95 – 100
No. 8	0	0	0 – 5	0 – 5	80 – 100
No. 16	0	0	0	0	50 – 85
No. 30	0	0	0	0	25 – 60
No. 50	0	0	0	0	10 – 30
No. 100	0	0	0	0	2 – 10

Sedangkan untuk agregat halus, terdapat empat jenis zona grading berdasarkan presentase lolos saringan, yang dijelaskan pada tabel berikut:

**Tabel II.6.** Persyaratan Grading untuk Agregat Halus Berdasarkan BS and ASTM<sup>11</sup>

Sieve Size		Percentage by weight passing sieves				
		BS 882 : 1973				ASTM Standard C 33 - 78
		BS	ASTM	Grading Zone 1	Grading Zone 2	
9.5 mm	¾ in	100	100	100	100	100
4.75 mm	3/16 in	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100	95 – 100
2.36 mm	8	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100	80 – 100
1.18 mm	16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100	50 – 85
600 µm	30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100	25 – 60
300 µm	50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50	10 – 30
150 µm	100	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15	2 – 10

Pasir yang terdapat pada setiap zona pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan pembuat beton, walaupun pada beberapa keadaan kecocokan penggunaan pasir tersebut bergantung pada grading dan bentuk dari agregat kasar.

Kondisi agregat halus pada zona 4 untuk penggunaan beton bertulang harus dites terlebih dahulu. Karena sebagian besar pasir ini lebih kecil dari saringan ukuran 600µm (No. 30 ASTM), maka pasir ini termasuk gap graded atau hampir gap graded dan perhatian khusus pada mix desain harus dilakukan. Kandungan pasir pada campuran sebaiknya rendah dan disarankan rasio agregat kasar/halus seperti yang diberikan pada tabel berikut :

**Tabel II.7.** Proporsi yang Disarankan Berdasarkan Berat dari Agregat Kasar terhadap Agregat Halus pada Masing-Masing Zona<sup>12</sup>

Maximum Size of Coarse Agregate		Coarse/Fine Agregat Ratio for sand of zone -			
Mm	in	1	2	3	4
9.52	$\frac{3}{8}$	1	1½	2	3
19.05	$\frac{3}{4}$	1½	2	3	3½
38.1	1½	2	3	3½	-

Namun, beton dengan kualitas baik tetap dapat dihasilkan dari pasir zona 4 bila menggunakan vibration.

Pada pasir zona 1, akan dihasilkan campuran yang kasar dan kandungan pasir yang tinggi diperlukan untuk mendapatkan workability yang bagus. Pasir jenis ini lebih baik digunakan pada beton *rich mixes*, yaitu dimana presentase penggunaan semen akan lebih banyak, dan beton dengan workability rendah.

Zona 2 merepresentasikan tipe pasir pada umumnya, dengan perbandingan agregat halus terhadap agregat kasar adalah 1 : 2, apabila ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm atau  $\frac{3}{4}$  in.

Pada umumnya, rasio dari agregat kasar terhadap agregat halus haruslah semakin besar seiring dengan semakin halusnya grading dari agregat halus. Jika crushed agregat yang digunakan, proporsi agregat halus yang lebih tinggi diperlukan daripada gravel agregat, dengan maksud untuk menyeimbangkan workability yang rendah dari bentuk angular partikel agregat kasar tersebut.

Pemilihan dari proporsi yang tepat adalah hal yang penting dilakukan karena kelemahan-kelemahan pasir pada zone 1 dan zone 4 dapat ditanggulangi. Penggunaan pasir pada setiap zona dapat menghasilkan campuran beton yang baik apabila menggunakan ketentuan pada table **II.8**, berdasarkan penelitian Buliding Research Station.

**Tabel II.8.** Properties dari Beton terbuat dari Agregat dengan Spesific Surface yang Konstan<sup>13</sup>

Properties Of Concrete	Sand Grading Zone			
	1	2	3	4
Overall specific surface, m <sup>2</sup> /kg	2.55	2.55	2.55	2.55
Percentage of material passing 4.76 mm	46	36	29	24
App. propotion by volume	1 : 2 ½ : 3 ½	1 : 2 : 4	1 : 1 ½ : 4 ½	1 : 1 ¼ : 4 ¾
Water/cement ratio by weight	0.60	0.60	0.60	0.60
Compacting factor	0.92	0.93	0.93	0.94
28-day crushing strength, MPa	27.1	28.1	29.2	29.0
Psi	3930	4080	4230	4200

#### 2.1.2.5. Berat jenis dan penyerapan air

Sebelum merancang campuran beton, perlu diketahui berat jenis agregat yang akan digunakan, karena berat dari beton ini dipengaruhi dari berat jenis agregat yang akan digunakan. Selain itu, data berat jenis juga menentukan komposisi agregat dalam campuran beton.

Berat jenis pada agregat terdapat tiga macam, yaitu:

1. Absolut Specific Gravity, yaitu 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 kapiler yang dapat terisi oleh air.
2. Saturated Surface Dry (SSD), yaitu perbandingan antara berat suatu benda pada keadaan jenuh kering muka 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.
3. Apparent Specific Gravity, yaitu perbandingan antara berat suatu benda dalam keadaan kering mutlak dengan berat air murni yang sama dengan volume benda termasuk seluruh pori-pori yang terkandung di dalamnya.

Karena pada beton kondisi agregat berada pada keadaan jenuh, maka dalam perhitungan untuk mix desain, digunakan adalah berat SSD.

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

Penyerapan air pada agregat mempengaruhi daya rekat antara pasta semen dengan agregat, serta keawetan dari agregat itu sendiri. Pada umumnya, agregat dengan tingkat penyerapan yang tinggi akan memiliki daya rekat dengan semen yang tinggi. Namun, semakin tinggi daya serap ini, dapat menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air akan cepat hilang sehingga keawetan dari agregat akan berkurang.

### 2.1.3. Air dan Udara

#### 2.1.3.1. Air

Air dibutuhkan dalam produksi beton untuk menghasilkan reaksi kimia dengan semen, untuk membasahi agregat, serta untuk melicinkan campuran sehingga mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya, air minum biasa dapat digunakan untuk campuran beton. Bahan-bahan yang tidak boleh terkandung pada air untuk bahan campuran beton antara lain:

- Silt
- Minyak
- Gula

Selain itu, perlu juga dihindari bahan-bahan kimiawai yang merusak kekuatan dan setting dari semen. Hal ini dapat mempengaruhi hubungan antara agregat dengan pasta semen dan demikian dapat mempengaruhi *workability* dari campuran.

Karena karakter dari pasta semen adalah hasil dari reaksi kimia antara semen dan air, maka proporsi yang perlu dipertimbangkan bukanlah perbandingan antara jumlah air dengan keseluruhan material solid pembentuk beton, namun adalah perbandingan antara air dengan semen. Kelebihan air akan menyebabkan beton yang terlalu lemah setelah proses hidrasi berlangsung. Namun kekurangan akan air akan menghambat reaksi kimia dengan semen.

#### 2.1.3.2. Udara

Dengan adanya evaporasi air pada campuran beton, akan timbul lubang-lubang pada beton. Jika pori-pori ini terdistribusi merata, maka akan memperbaiki karakteristik dari beton. Untuk mendapatkan pori-pori yang terdistribusi merata ini, dapat diberikan suatu bahan *air-entraining* seperti vinsol resin. Penambahan *air entrainment* ini meningkatkan *workability*, mengurangi kerapatan, meningkatkan *durability*, mengurangi *bleeding* dan segregasi, serta mengurangi kebutuhan akan pasir dalam campuran. Untuk alasan ini, presentase dari *entrained air* harus tetap dijaga pada kondisi optimumnya untuk kualitas beton yang diinginkan. Kandungan udara yang optimum adalah 9% dari mortar beton. Kandungan udara yang melebihi 6% dari seharusnya dapat mengurangi kekuatan beton.

#### 2.1.4. Agregat Sisa Campuran Beton

Pada agregat limbah yang berasal dari sisa campuran beton, material yang ada sudah bukanlah murni agregat dari alam, melainkan terdapat bahan-bahan lain. Bahan-bahan lain ini berupa material penyusun beton lainnya, yaitu semen dan air yang menyatu menjadi pasta. Pasta semen ini dapat menempel pada permukaan agregat akibat adanya sifat adhesive dari agregat maupun pasta tersebut. Sifat lain dari agregat, yaitu kadar porositas dan penyerapan, mengakibatkan agregat dari sisa campuran ini tentu telah menyerap air akibat pencampurannya dengan pasta.

Dengan demikian, akan terdapat perbedaan *properties* pada agregat dari alam dengan agregat dari sisa campuran beton. Perbedaan itu diantaranya :

1. Berat Jenis. Agregat dari sisa campuran beton ini telah mengandung bahan-bahan dari pasta semen air sehingga berat jenis dari agregat ini akan berbeda dibandingkan dengan agregat alam. Hal ini akan berpengaruh pada desain campuran beton yang akan digunakan, yaitu mengenai presentase banyaknya jumlah agregat kasar yang akan digunakan. Selain itu, berat jenis dari agregat juga akan mempengaruhi berat dari beton, mengingat agregat merupakan bahan penyusun utama beton.
2. Penyerapan. Agregat sisa campuran beton ini sebelumnya telah mengalami penyerapan air dari campuran sebelumnya, dimana air ini telah masuk ke dalam pori-pori dari agregat. Air dalam pori-pori ini cenderung akan merusak agregat sehingga akan menimbulkan lebih banyak pori dan cenderung melemahkan agregatnya. Oleh karena itu, agregat dari sisa campuran ini akan memiliki tingkat penyerapan yang cukup tinggi serta keawetan yang kurang dibandingkan dengan agregat dari alam.
3. Gradasi. Dilihat dari penampilan, agregat sisa campuran ini tampaknya berukuran sangat variatif, dari paling besar hingga paling kecil. Namun ukuran besarnya agregat ini akibat adanya beberapa agregat yang menyatu menjadi besar, yang apabila diberi tekanan sedikit agregat tersebut akan mudah hancur menjadi beberapa agregat yang lebih kecil. Oleh karena itu, sebenarnya agregat ini berukuran seragam dan kecil. Akibat seragamnya gradasi ini, maka akan berpengaruh pada workability beton yang dihasilkan, dimana selanjutnya

akan berpengaruh pada kebutuhan air dan semen, segregasi, bleeding, dan proses finishing beton.

## 2.2. BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)

Dalam pembuatan beton, hal pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan *mix design*. *Mix design* merupakan proses menyeleksi bahan-bahan yang cocok untuk beton dan menghasilkan jumlah dari bahan-bahan tersebut, dengan tetap memperhatikan aspek ekonomis tanpa melupakan properties, konsistensi, kekuatan serta durability dari beton yang akan dihasilkan.

Biaya dari pembuatan beton terdiri dari biaya material, pabrik, serta pekerja. Variasi dari biaya material akan meningkat berdasarkan keadaan bahwa semen lebih mahal dari pada agregat, sehingga wajar apabila *mix design* dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan semen seekonomis mungkin. Penggunaan semen seminimal mungkin ini juga mempertimbangkan aspek teknis, tidak hanya pada keadaan *mass concrete* dimana perkembangan panas dari hidrasi semen akan mengakibatkan *crack*, namun juga pada beton struktural dimana *rich mix* ini akan menghasilkan beton dengan shrinkage yang besar serta *cracking*. Maka jelas bahwa beton *rich mix* tidak dianjurkan, walaupun misalnya biaya bukanlah masalah.

Dalam mengestimasi biaya pembuatan beton, adalah hal yang penting untuk meninjau juga kekuatan beton karena kekuatan minimum inilah yang dispesifikasikan oleh desainer struktur dan juga merupakan kriteria dari diterima atau tidaknya beton yang dihasilkan. Biaya inilah yang sebenarnya berhubungan dengan material untuk membuat beton dengan kekuatan tertentu. Hal ini kemudian akan sangat berhubungan dengan masalah *quality control*. Karena terkadang masalah akan *quality control* ini tidak dibahas, maka penting bahwa derajat kontrol diestimasi pada awal dari perhitungan *mix design* sehingga perbedaan antara karakteristik rata-rata dengan kekuatan minimum dapat diketahui. Hal inilah yang menyebabkan perlu adanya *compressive strength* yang akan dicapai.

Batas-batas yang menentukan dalam proporsi *mix design* adalah:

- Compressive strength minimum yang perlu untuk pertimbangan struktural

- Rasio water/cement maksimum dan/atau kandungan semen maksimum, dan pada beberapa kondisi tertentu yaitu kandungan entrained air
- Kandungan semen maksimum untuk menghindari retak akibat perubahan temperatur
- Kandungan semen maksimum untuk menghindari retak akibat shrinkage akibat kelembaban yang kurang
- Kepadatan minimum untuk bendungan atau bangunan sejenisnya.

Dengan menentukan proporsi mix design yang baik, diharapkan beton yang dihasilkan akan memiliki *strength* yang direncanakan serta *workability* yang baik. Beton yang memenuhi syarat *workability* adalah beton yang mudah untuk dikerjakan, dalam hal ini *workability* menjelaskan kemudahan dari pentransportasian, penempatan dan ketahanan beton dari segregasi. *Workability* ini didefinisikan sebagai properti fisik dari beton itu sendiri, tanpa dipengaruhi oleh tipe konstruksi tertentu.

Untuk mendapatkan definisi tersebut di atas, perlu mengetahui apa yang akan terjadi apabila beton di-*compact*. Apakah *compaction* dilakukan dengan ramming atau dengan vibrator, proses tersebut bertujuan untuk mengurangi udara yang berada dalam beton hingga sedapat mungkin tercapai konfigurasi sesuai dengan desain campuran yang ada. Selain itu, pekerjaan tersebut juga dilakukan untuk mengatasi gesekan antara material-material dalam beton itu sendiri dan juga beton dengan permukaan mould atau tulangan baja. Dengan demikian *workability* dapat didefinisikan sebagai banyaknya kerja internal yang diperlukan untuk memproduksi *full compaction*<sup>14</sup>.

Adanya void pada beton sangat mempengaruhi kekuatan beton; 5 persen dari void dapat mengurangi kekuatan hingga 30 persen dan bahkan 2 persen dari void dapat menurunkan kekuatan hingga 10 persen. Void pada beton dapat berupa gelembung dari *entrapped air* atau sisa ruang yang ada setelah kelebihan air telah hilang. Volume void akibat kelebihan air yang hilang ini bergantung ada *water/cement ratio* dari campuran. Gelembung udara dapat diatasi dengan adanya partikel halus pada campuran dan lebih mudah untuk dikeluarkan dari campuran yang basah daripada campuran yang lebih kering. Dengan demikian, terdapat kandungan air optimum pada campuran dimana jumlah volume gelembung udara

dan ruang air akan menjadi minimum. Pada kandungan air optimum ini akan dicapai rasio kepadatan tertinggi.

Faktor utama yang mempengaruhi *workability* adalah mengestimasi kandungan air pada campuran, dengan satuan kilogram per meter kubik, untuk mengasumsikan bahwa dari tipe dan grading agregat dan *workability* beton tertentu, sehingga kandungan air ini independen dari rasio agregat/semen. Kandungan air ini dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel II.9.** Kandungan Air untuk Berbagai Ukuran Slump dan Ukuran Agregat Maksimum<sup>15</sup>

Maximum size of agregate		Water content of concrete					
		25 – 50 mm slump		75 – 100 mm slump		150 – 175 mm slump	
Mm	in.	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>
9•5	3/8	190	210	200	225	230	430
19•0	3/4	170	195	190	210	210	380
38•1	1 1/2	160	170	170	190	190	350
50•8	2	150	165	165	180	180	330
76•2	3	135	155	155	165	160	310

Jika kandungan air dan proporsi campuran lainnya telah fix, *workability* akan bergantung pada ukuran agregat maksimum, grading, bentuk, dan teksturnya. Grading dan rasio water/cement harus dilihat bersama-sama, karena semakin tinggi rasio water/cement, maka agregat dengan grading yang lebih halus akan dibutuhkan untuk mendapatkan *workability* yang terbaik.

Pada prakteknya, memprediksi pengaruh dari proporsi campuran pada *workability* membutuhkan perhatian karena dari tiga faktor yaitu rasio water/cement, agregat/cement, dan kandungan air ini, hanya dua yang independen. Misalnya, jika rasio agregat/cement dikurangi dan rasio water/cement tetap konstan, kandungan air akan meningkat dan akibatnya *workability* juga naik. Namun, jika kandungan air tetap konstan ketika rasio agregat/cement dikurangi, amaka rasio water/cement akan berkurang namun *workability* tidak akan banyak terpengaruh.

Kualifikasi terakhir diperlukan karena beberapa efek tambahan: rasio agregat/cement menunjukkan jumlah area permukaan solid (semen dan agregat) yang lebih besar dengan jumlah air yang sama akan mengurangi tingkat *workability*. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan agregat yang lebih kasar.

Tingkat workability ini sulit untuk diukur. Namun terdapat suatu tes yang dapat memberikan informasi mengenai variasi dari workability, diantaranya adalah slump test. Slump test ini mendeteksi keseragaman campuran dari proporsi yang ada. Test ini diatur pada ASTM C 143 – 78.

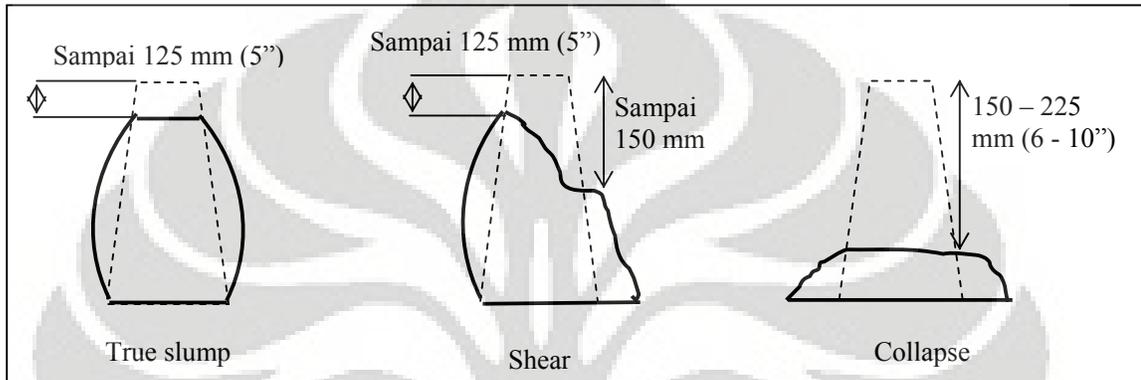
Mould yang digunakan pada tes ini berupa kerucut yang terpotong di bagian lancipnya, 305 mm (12 inchi). Kerucut ini diletakkan pada permukaan yang rata, kemudian diisi dengan campuran beton pada tiga layer. Pada masing-masing layer ditumbuk sebanyak 25 kali dengan besi berdiameter 16 mm ( $\frac{5}{8}$  in.) kemudian permukaannya diratakan dengan besi ini. Pada proses ini, mould haruslah benar-benar diletakkan pada dasarnya dan tidak bergoyang, untuk itu ketika proses berlangsung, dasar mould harus dipegang erat atau dapat ditahan dengan kaki.

Setelah pengisian, kerucut kemudian diangkat perlahan dan beton ini kemudian akan jatuh. Penurunan ketinggian inilah yang disebut *slump*, dan diukur pada pendekatan  $\frac{1}{4}$  in (5mm). Untuk mengurangi gesekan antara beton dengan mould ketika diangkat, maka sebelumnya pada bagian dalam mould diberi lapisan oli untuk melicinkan permukaan, dan pada sekeliling mould harus dibersihkan ketika mould akan diangkat.

Jika penurunan yang terjadi bukanlah penurunan yang seragam, melainkan membentuk lereng, maka telah terjadi shear slump dan percobaan harus diulang. Jika shear slump terjadi lagi, maka campuran beton tersebut terlalu kasar dan mengindikasikan kurangnya kohesi pada campuran.

Ketinggian dari slump diperlihatkan pada tabel **II.10**. Namun perlu diingat, dengan penggunaan agregat yang berbeda dan slump yang sama, dapat terjadi workability yang berbeda. Pengetesan ini dapat menunjukkan kondisi beton yang dihasilkan ketika proses pencampuran. Slump yang meningkat dapat menunjukkan telah terjadi peningkatan kadar air pada agregat atau perubahan grading agregat, misalnya kurangnya agregat halus. Slump yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memberikan peringatan bahwa beton tersebut kurang baik pencampurannya.

Dalam menentukan komposisi dari campuran beton harus diasumsikan bahwa proporsi yang sebenarnya sesuai dengan spesifikasi beton yang akan dicapai. Namun, pada prakteknya, kesalahan dan eror dapat menghasilkan proporsi campuran yang tidak tepat, dan ada baiknya untuk terlebih dahulu menghitung komposisi beton pada awal penelitian, terutama dalam menentukan kandungan semen dan rasio water/cement.



Gambar 2.5. Macam-Macam Kondisi Slump

Tabel II.10. Workability, Slump, and Compacting Factor dari Beton dengan MSA 19 atau 38 mm ( $\frac{3}{4}$  atau  $1\frac{1}{2}$  in)<sup>16</sup>

Degree Workability	Slump		Compacting Factor		Use for Which Concrete is Suitable
	mm	In	Small Aparatus	Large Aparatus*	
Very low	0 – 25	0 – 1	0.78	0.8	Roads vibrated by power operated machines. At more workable end this group, concrete may be compacted in certain cases with hand operated machines
Low	25 – 50	1 – 2	0.85	0.87	Road vibrated by hand-operated machines. At more workable end of this group, concrete may be manually compacted on roads using agregat of rounded or irregular shape. Mass concrete foundations without vibration or lightly reinforced section with vibration.
Medium	5 – 100	2 – 4	0.92	0.935	At the less workable end of this group, manually compacted flat slabs using crushed agregates. Normal reinforced concrete manually compacted and heavily sections with vibration
High	100 – 175	4 – 7	0.95	0.96	For sections with congested reinforcement. Not normally suitable for vibration

\* Not normally used

Untuk Slump Test, tes tersebut harus dilaksanakan segera setelah beton dikeluarkan dari mixer. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya kandungan

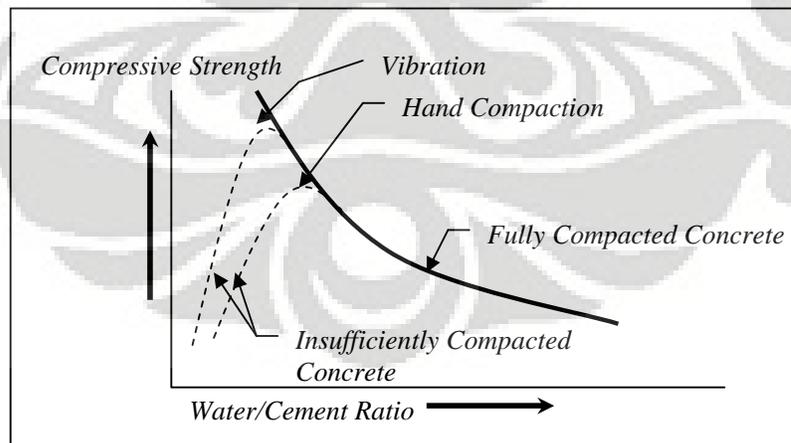
air yang hilang, walaupun jika ada perlindungan terhadap evaporasi, dapat terjadi hidrasi kapan saja pada setiap waktu.

### 2.3. BETON YANG TELAH MENERAS (HARDENED CONCRETE)

Material-material pembentuk beton serta parameter-parameter yang telah disebutkan sebelumnya dapat digunakan untuk mendesain dan mendapat beton dengan karakteristik dan fungsi sesuai dengan yang diinginkan. Proporsi dan tipe dari bahan-bahan ini membangun suatu kualitas dari beton dan demikian juga akhirnya berpengaruh pada kualitas struktur. Tak hanya material yang baik yang harus dipilih, namun juga *uniformity* harus dipelihara pada keseluruhan produk. Dalam penggunaannya, karakteristik beton yang paling diperhatikan adalah kekuatannya, karena kekuatan beton ini memberikan gambaran umum mengenai kualitas beton.

Berdasarkan gambar 2.6, kekuatan beton pada usia tertentu dan temperatur curing tertentu dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu rasio *water/cement* serta derajat *compactness*-nya. Rasio *water/cement* ini akan menentukan porositas dari pasta semen pada saat proses hidrasi berlangsung, dan derajat *compactness* akan berpengaruh pada ruang void dari beton. Pada tahun 1896 Feret memformulasikan rumus mengenai kekuatan beton:

$$f_c = K \left( \frac{c}{c + w + a} \right)^{17}$$



Gambar 2.6. Hubungan antara Kekuatan Beton dengan Rasio Water/Cement<sup>17</sup>

Walau rasio antara semen dan air adalah hal yang penting, kekuatan beton tidak hanya bergantung pada faktor tersebut. Menurut Gilkey<sup>18</sup>, kekuatan beton yang dihasilkan dipengaruhi oleh :

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

Faktor (b) dan (d) dapat dieliminasi karena tidak terlalu *crucial* jika dibandingkan dengan faktor (a), karena pada prakteknya ukuran maksimum agregat yang digunakan berkisar 40mm. Oleh karena itu, kekuatan beton didapatkan oleh (1) kekuatan dari mortar; (2) ikatan antara mortar dengan agregat kasar; (3) kekuatan dari partikel agregat kasar, yaitu kemampuannya untuk menahan gaya yang diberikan.

Pasta semen dikenal dengan keadaannya yang berongga atau berpori, namun mekanisme dimana rongga ini mempengaruhi kekuatan tidaklah diketahui. Void sendiri tidak dapat didefinisikan sebagai cacat, namun cacat dapat diakibatkan oleh retak akibat adanya void, atau akibat shrinkage atau ikatan yang kurang kuat. Karena mekanisme keruntuhan tidak diketahui dengan pasti, maka keruntuhan pada beton mungkin terkait dengan ikatan dalam pasta semen dan juga antara pasta semen dengan agregat.

Retak dapat menyebar pada seluruh bagian dari benda uji yang diberikan tegangan, atau dengan kata lain, kejadian yang terjadi pada elemen benda uji diidentifikasi sebagai kejadian yang terjadi pada keseluruhan benda uji. Retak vertikal pada benda uji yang diberikan beban uniaksial dimulai dari beban yang besarnya 50 hingga 75 persen dari beban ultimit. Hal ini telah diteliti oleh pengukuran dari kecepatan suara dalam beton<sup>19</sup> dan juga teknik kecepatan getaran ultrasonik<sup>20</sup>. Tegangan yang menyebabkan retak bergantung pada sifat-sifat dari agregat, dimana bebatuan yang halus akan menyebabkan retak pada tegangan yang rendah dibandingkan dengan bebatuan pecah (split) yang permukaannya kasar, dimana hal ini disebabkan karena ikatan mekanis dipengaruhi oleh properties permukaan dan bentuk dari agregat kasar<sup>21</sup>.

Properties dari agregat mempengaruhi retak akibat beban ultimit, dimana beban pada tekan dan lentur adalah sama, sehingga hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur dapat dipisahkan dari pengaruh agregat terhadap beton. Pada hasil penelitian Jones dan Kaplani, hubungan antara kekuatan tekan dan tarik bergantung pada jenis agregat yang digunakan, karena properties dari agregat, terutama pada bentuk dan permukaannya, mempengaruhi kuat ultimit pada tekan. Pada beton percobaan, penggunaan keseluruhan agregat dengan permukaan yang halus akan memberikan kuat tekan yang lebih kecil, sekitar 10 persen, dibandingkan dengan beton dengan penggunaan agregat dengan permukaan yang kasar<sup>22</sup>.

Pengaruh dari jenis agregat kasar pada kekuatan beton juga bergantung pada rasio water/cement dalam campuran beton. Untuk rasio water/cement dibawah 0.4, penggunaan agregat dengan permukaan kasar mempengaruhi kekuatan beton hingga 38 persen jika dibandingkan dengan penggunaan agregat kasar dengan permukaan yang lebih halus. Kenaikan rasio water/cement mengurangi pengaruh dari agregat. Hal ini disebabkan karena kekuatan dari pasta menjadi lebih besar dan pada rasio water/cement lebih dari 0.65, tidak ada perbedaan pengaruh penggunaan agregat dengan permukaan kasar atau permukaan halus<sup>23</sup>.

Pengaruh dari agregat pada kuat tarik juga dipengaruhi oleh kandungan air pada beton ketika waktu pengetesan<sup>24</sup>. Penelitian yang dilakukan oleh Kaplan<sup>21</sup> menunjukkan bahwa kuat tarik pada beton pada umumnya lebih kecil daripada kekuatan tarik dari mortar yang digunakan. Dengan demikian, mortar merupakan komponen yang memberikan kuat tarik tertinggi dari beton dan dengan adanya agregat pada beton pada umumnya mengurangi kuat tarik dari beton. Pada satu sisi, kuat tekan dari beton ini lebih tinggi dari kuat tariknya, dimana kuat tekan ini diberikan oleh agregat yang merupakan komponen utama dari beton.

- 
- <sup>2</sup> W. CZERIN, *Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers* (London, Crosby Lockwood, 1962)
- <sup>3</sup> A.M. NEVILLE, Approximate Composition Limits of Portland Cement, *Properties of Concrete*, pp. 11 (London, 1981)
- <sup>4</sup> E.P. FLINT and L.S. WELLS. Study of System CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at 30°C and the reaction of water on the anhydrous calcium silicates. *J.Res. Nat. Bur. Stand.*, **12**, No.687, pp.751-83 (1934)
- <sup>5</sup> SNI-15-7064-2004 (Semen Portland Komposit)
- <sup>6</sup> BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BS EN 197-1:2000, Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements
- <sup>7</sup> E.KEMPSTER, Measuring void content: new apparatus for aggregates, sands and fillers, *Current Paper CP 19/69* (Building Research Station, Garston, May 1969)
- <sup>8</sup> F.A.SHERGOLD, The percentage voids in compacted gravel as measured of its angularity, *Mag. Concr. Res.*, **5**, No.13, pp.3-10 (Aug.1953)
- <sup>9</sup> S. WALKER and D.L. BLOEM, Studies of flexural strength of concrete, Part 1 : Effects of different gravels and cements, *Nat. Ready Mixed Concr. Assoc. Joint Research Laboratory Publicn. No.3* (Washington D.C., July 1956)
- <sup>10</sup> B.W. SHACKLOCK, Comparison of gap- and continuously graded concrete mixes, *Cement Concr. Assoc. tech. Rep. TRA/240* (London, Sept 1959)
- <sup>11</sup> A.M. NEVILLE, BS and ASTM Grading Requirements for Fine Agregate, *Properties of Concrete*, pp. 11 (London, 1981)
- <sup>12</sup> D.S.I.R. BUILDING RESEARCH STATION, *Principles of Modern Building* (London, H.M.S.O., 1959)
- <sup>13</sup> A.J. NEWMAN and D.C. ERNTROY, The workability of concrete mixes with  $\frac{3}{8}$  in. aggregates, *Cement Concr. Assoc. Res. Rep. No.2* (London, June 1955)
- <sup>14</sup> W.H. GLANVILLE, A. R. COLLINS and D. D. MATTHEWS, The Grading of aggregates and workability of concrete, *Road Research Tech. Paper No.5*, (London, H.M.S.O., 1947)
- <sup>15</sup> NATIONAL READY-MIXED CONCRETE ASSOCIATION, WASHINGTON DC.
- <sup>16</sup> ROAD RESEARCH : Design of concrete mixes, *D.S.I.R. Road Note No. 4* (London, H.M.S.O., 1950)
- <sup>17</sup> NATIONAL SAND AND GRAVEL ASSOCIATION, *Joint Tech. Information Letter No.155* (Washington D.C., 29<sup>th</sup> April 1959)
- <sup>18</sup> Discussion of paper by H.J. GILKEY: Water/cement ratio versus strength-another look, *J. Amer. Concr. Inst.*, **58**, pp. 1851 – 78 (Dec 1961, Part 2)
- <sup>19</sup> R. L'HERMITE, Idees actuelles sur la technologie du beton, *Institut technique du Batiment et des Travaux Publics* (Paris 1955)
- <sup>20</sup> R. JONES and E. N. GATFIELD., Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, *Road Research Tech. Paper No. 34* (London, H. M. S. O., 1955)
- <sup>21</sup> R. JONES and M. F. KAPLAN, The effects of coarse agregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure, *Mag. Concr. Res.*, **9**, No. 26, pp. 89 – 94 (August 1957)
- <sup>22</sup> C. PERRY and J. E. GILLOTT, The influence of mortar- agregate bond strength on the behavior of concrete in uniaxial compression, *Cement and Concrete Research*, **7**, No.5, pp. 553 – 64 (Sept, 1977)
- <sup>23</sup> W. KUCZYNSKI, Wplyw kruszywa grubego na wytrzymaosc betonu (L'influence de l'emploi d'agregats gros sur la resistance du beton). *Achiwum Inzynieru Ladowej*, **4**, No.2, pp. 181 – 209 (1958)
- <sup>24</sup> S. WALKER and D. L. BLOEM, Studies of flexural strength of concrete, Part 3 : Effect of variation in testing procedures, *Proc. ASTM*, **57**, pp. 1122 – 39 (1957)

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

Untuk memahami dan menginterpretasikan perilaku secara keseluruhan dari suatu komposit, maka dibutuhkan pengetahuan mengenai karakteristik dari komponen penyusunnya. Beton diperoleh dari hasil interaksi mekanis dan kimiawi berbagai macam konstituen material. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk membahas mengenai fungsi dari masing-masing komponen tersebut. Dalam hal ini, desainer dan material engineer dapat mengembangkan kemampuan untuk memilih bahan dan komposisi yang tepat dengan tujuan mendapatkan beton yang efisien serta memenuhi kebutuhan akan *strength* dan *serviceability*.

#### **2.1. BAHAN BAKU PEMBUATAN BETON**

##### **2.1.1. Semen Portland**

Semen dapat didefinisikan sebagai material yang memiliki sifat adesif dan kohesif, sehingga memungkinkannya untuk menyatukan bagian-bagian dari mineral menjadi suatu kesatuan. Dalam lingkup konstruksi, pengertian dari semen ini terbatas pada material penyatu yang digunakan bersamaan dengan batu, pasir, bata, dan lainnya. Material utama dari semen ini adalah campuran dari kapur. Semen, dalam hubungannya dengan beton, memiliki sifat akan *setting* dan *hardening* di dalam air akibat adanya reaksi-reaksi kimia, dan oleh karena itu disebut sebagai semen hidraulis.

Semen hidraulis pada umumnya terdiri dari *silicate* dan *alluminate* yang berasal dari kapur, dan dapat diklasifikasikan atas semen alam, semen Portland, dan *high-alumina cement*. Pada bagian ini, akan lebih difokuskan pada pembahasan semen Portland, mengingat semen yang umum digunakan dalam pembuatan beton merupakan jenis semen Portland.

Nama semen Portland berasal dari gabungan antara warna dan kualitas dari semen yang berasal dari batu Portland – batu kapur yang ditambang di Dorset. Pada saat ini, nama semen Portland telah mendunia sebagai semen yang diperoleh dengan cara mencampur *calcareous* dan *argillaceous*, atau -silika, -alumina dan material yang teroksidasi oleh besi, kemudian dibakar pada temperatur yang sangat tinggi, dan abunya diperhalus lagi.

### 2.1.1.1. Pembuatan semen Portland

Dari definisi semen Portland sebelumnya, dapat diketahui bahwa semen ini pada umumnya terbuat dari mineral kristal halus yang memiliki komposisi akan kalsium dan aluminium silikat. Proses dari pembuatan semen ditekankan pada penghancuran bahan baku, mencampurnya dalam proporsi tertentu, dan membakarnya dalam sebuah *rotary kiln* (oven yang berotasi) pada temperatur 1400°C hingga material bercampur menjadi bola-bola yang disebut *clinker*. Setelah itu, *clinker* didinginkan dan menjadi bubuk halus, dan dengan penambahan gypsum menjadikannya semen Portland yang digunakan secara luas di seluruh dunia.

Bahan baku dari pembuatan semen Portland ini adalah :

1. Lime (CaO) – dari batu kapur
2. Silica (SiO<sub>2</sub>) – dari tanah liat
3. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – dari tanah liat
4. Presentase kecil akan Magnesia (MgO) dan oksida baja

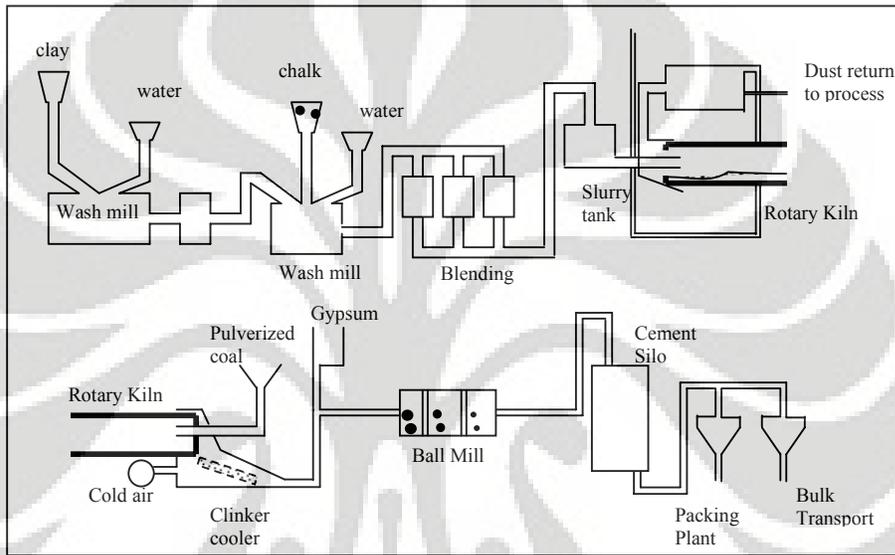
Pada pembuatan semen, proses awalnya yang berupa pencampuran bahan dan penumbukan dapat dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dalam keadaan kering maupun basah, oleh karena itu disebut proses “kering” dan proses “basah”. Pemilihan dari kedua proses ini dilakukan berdasarkan tingkat kekerasan bahan baku yang digunakan dan kondisi kelembaban bahan bakunya.

Proses pembuatan dari semen pada umumnya adalah sebagai berikut :

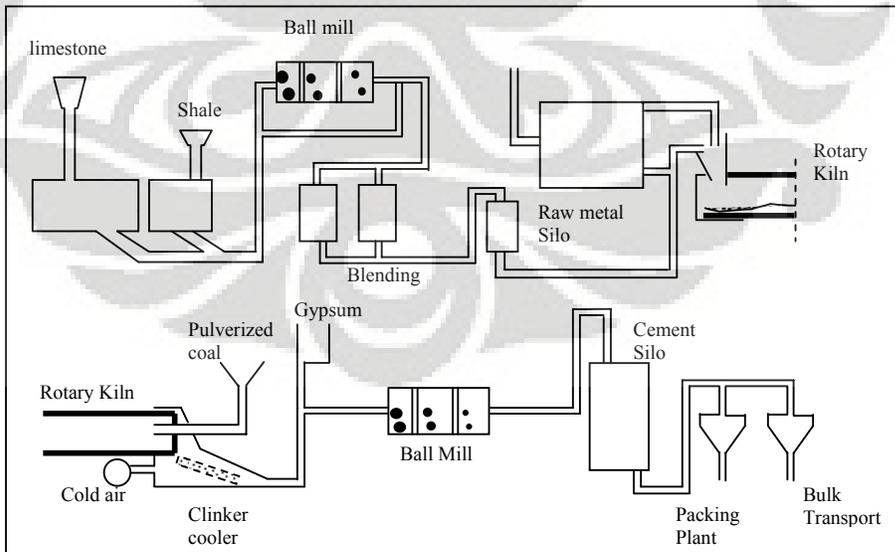
1. Menghancurkan bahan baku yang terdiri dari Lime, Silica, Alumina, dan juga dengan material minor lainnya, baik dalam keadaan basah maupun kering. Dalam kondisi basah, bentuk ini dinamakan *slurry*.
2. Setelah dihancurkan, bahan-bahan ini dimasukkan ke dalam *rotary kiln* dari bagian atas.
3. Selama panas didapatkan pada saat *kiln* beroperasi, bahan-bahan ini melewati bagian atas dari kiln menuju bagian bawah dari kiln pada kecepatan yang tertentu.
4. Temperatur dari campuran ini dinaikkan hingga pada titik permulaan *fusion*, yang disebut dengan *clinkering temperature*. Temperatur ini terus dijaga konstan hingga bahan-bahan menyatu dan membentuk bola-bola pada

temperatur 1500°C. Bola-bola ini, yang ukurannya berkisar antara 1/16 hingga 2 inci, disebut *clinkers*.

5. *Clinker* didinginkan kemudian diperhalus hingga berbentuk bubuk.
6. Pada saat penumbukan dilakukan, ditambahkan gypsum dengan presentase yang kecil untuk mengontrol atau menghambat *setting time* dari semen ketika berada di lapangan
7. Semen portland yang sudah jadi ini langsung didistribusikan untuk dipasarkan.



**Gambar 2.1.**Proses Pembuatan Semen Portland Wet Process



**Gambar 2.2.**Proses Pembuatan Semen Portland Dry Process

### 2.1.1.2. Komposisi kimiawi semen Portland

Telah disebutkan bahwa bahan baku pembuatan semen Portland didominasi oleh kapur, silika, alumina, dan oksida. Bahan-bahan ini berinteraksi satu dengan lainnya di dalam oven (*kiln*) untuk membentuk sebuah produk yang kompleks. Secara sederhana, pada proses pembuatan semen ini, dapat diasumsikan bahwa komposisi kimiawi semen mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*) ketika berada pada *clinkering temperature*. Dengan asumsi ini, komposisi dari semen dihitung berdasarkan kuantitas dari oksida yang ada dalam *clinker* sebagai produk kesetimbangan reaksi.

Empat senyawa utama penyusun semen ini antara lain:

**Tabel II.1.** Kandungan Utama Semen Portland<sup>2</sup>

Nama Bahan	Komposisi Oksida	Simbol
<i>Tricalcium silicate</i>	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
<i>Dicalcium silicate</i>	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
<i>Tricalcium aluminate</i>	2CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> A
<i>Tetracalcium aluminoferrite</i>	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Selain kandungan senyawa yang dijabarkan pada tabel diatas, terdapat juga kandungan senyawa lain dalam presentase yang sangat kecil. Kandungan ini berupa MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Na<sub>2</sub>O.

Besarnya kuantitas yang sebenarnya pada berbagai macam senyawa ini sangat beragam dari satu semen ke semen lainnya, dan oleh karena itu berbagai tipe semen didapatkan dengan cara mengatur komposisinya. Secara garis besar, komposisi dari semen dapat dilihat pada tabel II.2 berikut.

**Tabel II.2.** Komposisi dari Semen Portland<sup>3</sup>

Oksida	Kandungan, persen
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-0.6
MgO	0.1-4.0
Alkalis	0.2-1.3
SO <sub>3</sub>	1-3

### 2.1.1.3. Hidrasi semen Portland

Hidrasi semen Portland dapat didefinisikan sebagai reaksi ketika semen Portland menjadi bahan penyatu ketika berada dalam pasta *water-cement*. Atau dengan kata lain, dengan pencampuran air, bahan silika dan alumina yang

dijabarkan pada tabel **II.1**. membentuk suatu produk hidrasi, dimana produk ini akan menjadi pasta semen yang mengeras.

Le Chatelier adalah yang pertama mengobservasi dan menemukan bahwa hidrasi dari semen secara kimiawi menghasilkan produk yang sama dengan hidrasi dari masing-masing senyawa. Kandungan kalsium silikat pada semen merupakan senyawa *cementious* yang utama dalam semen, dan perilaku fisik dari kedua senyawa ini ketika berhidrasi sendiri adalah serupa dengan semen ketika mengalami hidrasi<sup>4</sup>.

Produk dari semen yang telah terhidrasi ini memiliki *solubility* yang rendah di dalam air sebagaimana ditunjukkan dari stabilitas pasta semen yang mengeras apabila terkena air.

Progres hidrasi dari semen dapat dijelaskan dengan berbagai cara, antara lain dengan mengetahui :

1. Jumlah  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam pasta
2. Panas yang dihasilkan ketika proses hidrasi berlangsung
3. *Specific gravity* dari pasta
4. Jumlah bahan kimia yang bereaksi dengan air

#### 2.1.1.4. *Setting*

Istilah *setting* digunakan untuk mendefinisikan pengerasan dari pasta semen, atau dalam pengertiannya, *setting* merupakan proses perubahan dari fluida menjadi solid. Walaupun ketika proses *setting* pasta ini juga mengalami peningkatan kekuatan, perlu dipisahkan pengertian *setting* dengan *hardening*, di mana *hardening* merupakan kondisi peningkatan kekuatan pasta semen.

*Setting* disebabkan oleh proses bertahap dari hidrasi, yang pertama adalah reaksi dari  $\text{C}_3\text{A}$  dan  $\text{C}_3\text{S}$ . Namun, adanya penambahan gypsum menghambat hidrasi dari kalsium alumina sehingga  $\text{C}_3\text{S}$  akan mengalami hidrasi terlebih dahulu. Hal ini penting untuk dilakukan karena apabila  $\text{C}_3\text{A}$  berhidrasi terlebih dahulu maka akan terbentuk suatu kalsium alumina yang bersifat porous. Hal ini mengakibatkan kandungan semen lainnya akan terhidrasi dalam kondisi porous dan selanjutnya akan berakibat signifikan pada kekuatan pasta semen.

Proses *setting* bergantung pada temperatur sekitar. Waktu *setting* dari semen akan berkurang seiring dengan peningkatan temperatur. Namun setelah

temperatur melebihi 30°, akan terjadi efek sebaliknya. Pada temperatur rendah, proses setting akan terhambat.

Dalam setting, kondisi *false set* perlu dihindari, yaitu kondisi dimana semen mengeras secara cepat dalam beberapa menit setelah ditambahkan air. Beberapa penyebab dari false set diperkirakan berasal dari dehidrasi dari gypsum ketika diberikan pada *clinker* yang temperaturnya terlalu tinggi : *hemihydrate* ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) atau *anhydrite* ( $\text{CaSO}_4$ ) akan terbentuk dan ketika semen ditambahkan air, maka ketika hidrasi berlangsung, gypsum mendominasi reaksi yang mengakibatkan pada pengerasan semen.

Selain itu, *false set* dapat juga terjadi akibat pengaruh alkali dalam semen, dimana pada saat penyimpanan semen, dapat terjadi karbonasi pada semen. Alkali karbonat ini kemudian akan bereaksi dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan hal ini akan menyebabkan pasta dengan cepat mengeras. Penyebab lain dari *false set* adalah akibat aktivitas  $\text{C}_3\text{S}$  ketika semen berada pada lingkungan dengan kelembaban tinggi. Air akan terserap dalam semen dan semen ini kemudian akan bereaksi secara cepat ketika ditambahkan dengan air, sehingga akan menghasilkan proses hidrasi yang terlampaui cepat.

#### 2.1.1.5. Fineness dari semen

Salah satu tahapan akhir dari pembuatan semen adalah penghancuran *clinker* yang dicampur dengan gypsum. Karena proses hidrasi dimulai pada permukaan dari partikel semen, maka jumlah permukaan semen ini merepresentasikan material yang dapat terhidrasi. Dengan demikian, tingkat hidrasi semen bergantung pada kehalusan semen, dan untuk peningkatan kekuatan yang cepat, permukaan semen yang halus sangat diperlukan.

Di satu sisi, proses penumbukan *clinker* menjadi semen yang benar-benar halus juga meningkatkan *cost* pembuatan semen, dan juga, semakin halus semen, maka semakin mudah partikel semen terbang dan lolos ke udara. Bagaimanapun juga, semen yang lebih halus akan mengalami *bleeding* yang lebih rendah dibandingkan semen yang lebih kasar.

Peningkatan tingkat kehalusan semen ikut meningkatkan jumlah gypsum yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan perlambatan hidrasi  $\text{C}_3\text{A}$  karena pada semen yang lebih halus, terdapat lebih banyak  $\text{C}_3\text{A}$  yang dapat berhidrasi lebih

awal. Jumlah air yang dibutuhkan dari pasta yang terkonsistensi adalah lebih banyak pada semen yang permukaannya halus ini, namun sebaliknya, semakin halus semen, semakin meningkatkan *workability* pada campuran beton.

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa kondisi kehalusan semen berpengaruh pada kekuatan beton yang akan didapatkan.

#### 2.1.1.6. Portland Composite Cement

Portland Composite Cement (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut memiliki kadar total 6 % hingga 35% dari massa semen portland komposit<sup>5</sup>. Bahan anorganik ini antara lain:

- S = blast furnace slag
- D = silica fume
- P = natural pozzolana
- Q = natural calcined pozzolana
- V = siliceous fly ash (e.g. pfa)
- W = calcareous pfa (e.g. high lime pfa)
- T = burnt shale
- L = limestone
- M = a composite cement

Selain itu, Berdasarkan British Standard Cements yang baru (BS EN 197-1), PCC dibagi atas dua jenis berdasarkan kandungan *clinker* yang ada, yaitu:

**Tabel II.3.** Tipe Portland Composite Cement<sup>6</sup>

Tipe PCC	Kandungan clinker (%)	Kandungan lainnya
CEM II/A-M	80 – 94	6 – 20
CEM II/B-M	65 – 79	21 – 35

Penggunaan PCC meningkatkan efisiensi ekologis dari konstruksi beton, dimana penggunaan bahan lain selain *clinker* dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> selama pembuatan semen. Oleh karena itu, dewasa ini, PCC mulai marak digunakan, menggantikan Portland Cement biasa.

### 2.1.2. Agregat

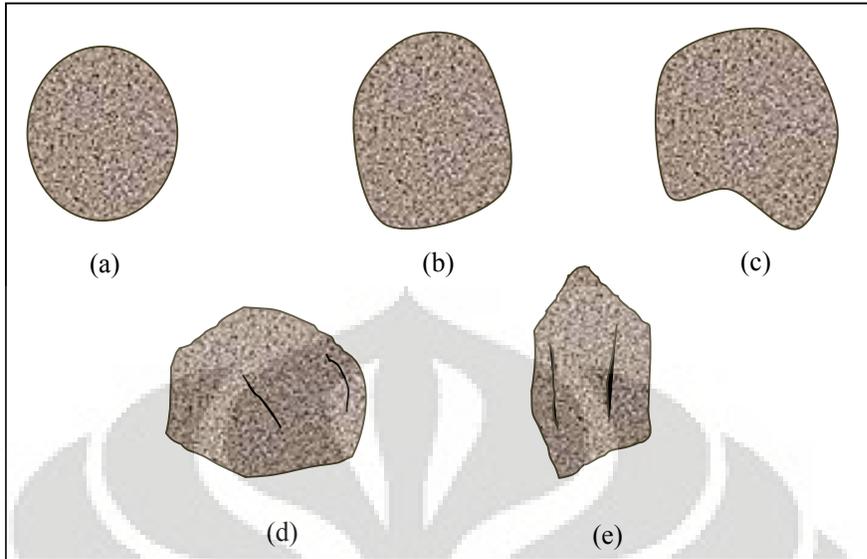
Agregat merupakan material penyusun beton yang jumlahnya kurang lebih 70% dari volume beton yang dihasilkan. Dengan demikian, kualitas agregat yang digunakan merupakan hal yang penting. Selain menentukan kekuatan dari beton, properti dari agregat juga ikut menentukan *durability* dan perilaku struktural dari beton.

Ukuran agregat yang digunakan dalam pembuatan beton bervariasi, dari kurang lebih 10 milimeter hingga yang lebih kecil lagi. Ukuran dari agregat ini haruslah bergradasi baik, dari yang paling besar hingga yang paling kecil. Dalam produksi agregat, paling tidak terdapat dua jenis ukuran agregat, agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus, seringkali disebut pasir, memiliki ukuran yang tidak lebih besar dari 5mm, dan agregat kasar memiliki ukuran paling tidak 5mm.

#### 2.1.2.1. Tekstur dan bentuk agregat

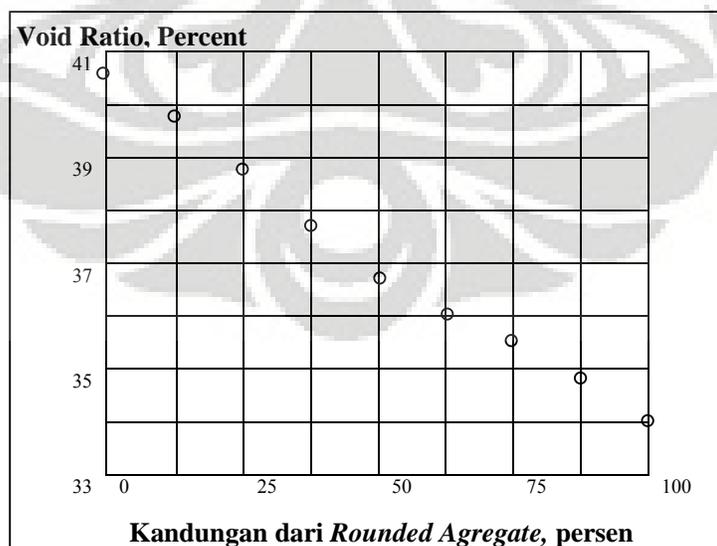
Agregat untuk pembuatan beton memiliki berbagai ukuran dan bentuk yang sangat bervariasi. Ukuran dan bentuk dari agregat adalah satu hal yang penting dalam karakteristik agregat. Dalam hal ini, terdapat istilah *roundness*, yaitu ukuran relatif besarnya sudut-sudut dari tepi agregat. *Roundness* pada umumnya dikontrol oleh kekuatan dan ketahanan dari batu induk. Dalam kasus *crushed aggregates*, bentuk dari agregat bergantung pada kondisi alami dari batu induk dan juga dari tipe penghancurnya serta rasio reduksinya, yaitu rasio ukuran dari material yang dimasukkan ke dalam alat penghancur dengan produk agregat yang dihasilkan. Klasifikasi dari bentuk agregat pada umumnya adalah sebagai berikut:

- *well rounded* – bentuk asli dari batuan induk sudah tidak ada
- *rounded* – bentuk asli batuan induk sudah hampir hilang
- *subrounded* – permukaan sudah halus namun bentuk asli batu induk masih ada
- *Subangular* – terdapat permukaan yang halus
- *Angular* – bentuk tidak beraturan



**Gambar 2.3.** Macam-Macam Bentuk Agregat (a) well rounded, (b) rounded, (c) subrounded, (d) subangular, (e) angular

Kandungan void dari agregat dapat dihitung dari perubahan volume udara ketika tekanan diberikan, dimana volume udara yang tak lain adalah volume rongga, dapat dihitung<sup>7</sup>. Presentase void dalam hubungannya dengan bentuk partikel dapat dilihat pada gambar 2.4, berdasarkan percobaan Shergold<sup>8</sup>. Sampel yang digunakan terdiri dari dua jenis agregat, yaitu angular dan rounded, dalam proporsi yang berbeda-beda. Dapat dilihat bagaimana agregat rounded dapat mengurangi presentase void yang ada.



**Gambar 2.4.** Pengaruh Bentuk Agregat dengan Void Ratio Error! Bookmark not defined.

Selain dari bentuk agregat, perlu diperhatikan juga tekstur permukaan agregat. Tekstur permukaan agregat ini bergantung pada kekerasan, ukuran butiran, porositas dari material induknya, dan juga besarnya energi yang terjadi pada permukaan, yang membuat agregat lebih halus atau lebih kasar. Klasifikasi tekstur permukaan agregat ini didasarkan pada derajat apakah permukaan agregat licin atau tidak, halus atau kasar.

Bentuk dan tekstur permukaan dari agregat mempengaruhi kekuatan dari beton, dimana *flexural strength* lebih terpengaruh dibandingkan dengan *compressive strength*. Pengaruh ini didasarkan pada asumsi bahwa tekstur yang lebih kasar akan menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih besar antara partikel dengan matriks semen. Sama halnya dengan semakin luas permukaan dari agregat maka semakin besar kekuatan adhesi yang dapat dihasilkan. Namun di satu sisi, dengan digunakannya agregat yang permukaannya kasar, akan menyebabkan dibutuhkan air yang lebih banyak pada campuran beton.

Selain agregat kasar, bentuk dan tekstur dari agregat halus juga memiliki pengaruh yang signifikan dalam mendapatkan kebutuhan air ketika proses pembuatan beton.

#### 2.1.2.2. Ikatan agregat

Ikatan antar agregat dan pasta semen adalah faktor penting dalam menyumbang kekuatan beton, terutama dalam kuat tariknya. Pada permukaan yang kasar, seperti pecahan batu, akan memberikan ikatan yang lebih kuat dengan pasta semen. Ikatan yang lebih baik juga didapatkan dari partikel yang kandungan mineralnya heterogen dan bersifat porous. Selain itu, ikatan agregat juga dipengaruhi oleh properti fisik dan kimiawi dari agregat, yang berhubungan dengan komposisi mineral serta kimiawi serta kondisi elektrostatis dari permukaan agregat.

#### 2.1.2.3. Kekuatan agregat

Kekuatan dari agregat yang digunakan sebagai bahan pembentuk beton haruslah lebih besar dari kekuatan beton yang akan dicapai, karena *stress* yang terjadi pada titik kontak dari satu partikel dalam beton dapat menjadi lebih besar daripada *compressive stress* yang diberikan pada beton itu sendiri. Namun, bagaimanapun juga, adalah hal yang sulit dalam mengukur kekuatan dari agregat.

Oleh karena itu, data mengenai kekuatan agregat didapat secara tidak langsung dari percobaan seperti: *crushing strength* dari sampel bebatuan, *crushung value* dari bulk agregat, atau performa agregat dalam beton.

Dengan demikian, penggunaan suatu agregat dalam pembuatan beton didasarkan pada pengalaman sebelumnya atau dengan coba-coba. Jika hasil tes agregat menunjukkan kekuatan yang lebih rendah daripada *compressive strength* beton, atau apabila terdapat beberapa agregat yang retak setelah sample beton dihancurkan, maka kekuatan dari agregat tersebut lebih rendah daripada kuat nominal *compressive strength* dari mix beton, atau dengan kata lain agregat tersebut hanya dapat digunakan pada mix beton dengan kekuatan yang lebih rendah.

Kekuatan agregat yang tidak mencukupi menunjukkan bahwa properti dari agregat memiliki pengaruh pada *strength* dari beton. Jika dibandingkan antara beton yang dibuat dengan agregat jenis lain, dapat dilihat bahwa pengaruh agregat pada kekuatan beton secara kualitas adalah sama bagaimanapun juga proporsinya, baik ketika di tes pada *compression* maupun *tensile*<sup>9</sup>. Pengaruh agregat pada kekuatan beton tidak hanya akibat kekuatan mekanik dari agregat, namun juga karena karakteristik ikatan dan juga absorsi dari agregat. Dengan demikian, pada umumnya kekuatan dan elastistias dari agregat tergantung pada komposisinya, teksturnya, dan strukturnya.

Untuk mengetahui seberapa kekuatan dari agregat, biasanya pengujian yang dilakukan adalah dengan test abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles sesuai dengan SNI 03-2417-1991, Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Berdasarkan SII No. 52-1980, persyaratan kekerasan agregat untuk beton adalah sebagai berikut:

**Tabel II.4.** Persyaratan Kekerasan Agregat

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dengan bejana geser Los Angeles; bagian hancur menembus ayakan 1.7mm (%)
Beton Kelas I dan mutu B0 serta B1	40 – 50
Beton Kelas II : K125, K175, K225	27 – 40
Beton Kelas III : Beton mutu di atas K225 atau beton pratekan	Kurang dari 27

#### 2.1.2.4. Gradasi dari agregat

Grading merupakan tingkatan ukuran butir-butir agregat, dimana hal ini penting untuk pembuatan beton selama grading ini berpengaruh pada *workability* dari beton. Kebutuhan agregat sebagai bahan dengan volume relatif yang paling besar pada campuran beton, tidak hanya dilihat dari segi ekonomisnya mengingat harga agregat yang lebih murah dibandingkan dengan semen, namun juga dilihat dari segi teknisnya, yaitu berdasarkan asumsi bahwa semakin besar partikel solid yang dapat disumbangkan dalam sebuah mix beton, maka akan semakin besar kekuatan beton tersebut. Namun, apabila kerapatan dari mix beton ini mencapai maksimum, maka akan tercipta sebuah campuran yang kasar dan *unworkable*. *Workability* dapat dicapai ketika terdapat kelebihan pasta yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga dalam pasir, dan juga kelebihan mortar (pasir dan semen) yang digunakan untuk mengisi rongga-rongga pada agregat kasar.

Dalam suatu kondisi, terdapat istilah agregat bergradasi celah atau *gap grading*. *Gap grading* ini merupakan kondisi di mana terdapat satu atau lebih ukuran sedang dari agregat yang diabaikan. Percobaan yang dilakukan oleh Shacklock<sup>10</sup> menunjukkan bahwa pada rasio agregat/semen dan air/semen, *workability* yang lebih tinggi didapatkan pada agregat dengan kandungan pasir yang lebih sedikit pada kasus *gap grading*, dibandingkan pada beton dengan agregat bergradasi baik. Namun, agregat bergradasi celah ini memiliki kemungkinan lebih besar akan segregasi. Untuk alasan inilah, agregat bergradasi celah direkomendasikan untuk digunakan oleh yang sudah berpengalaman dalam hal mix beton, serta dibutuhkan kontrol yang intensif dan penanganan yang lebih hati-hati untuk menghindari terjadinya segregasi.

Dengan demikian, tidak diragukan bahwa grading dari agregat adalah faktor utama dalam pencapaian *workability* campuran beton. *Workability*, mempengaruhi kebutuhan akan air dan semen, mengontrol segregasi, berpengaruh pada bleeding, serta mempengaruhi proses finishing dari beton. Faktor-faktor ini merepresentasikan karakteristik penting dari pasta beton dan juga porperti beton, yaitu *strength*, *shrinkage*, dan *durability*. Berikut adalah tabel grading untuk beton normal.

**Tabel II.5.** Persyaratan Grading untuk Agregat pada Beton Normal

US standard sieve size	Percent passing				
	Coarse aggregate				Fine Agregate
	No.4. to 2 in	No.4 to 1 ½ in	No.4 to 1 in	No 4 to ¾ in	
2 in	95 – 100	100	--	--	--
1 ½ in	--	95 – 100	100	--	--
1 in	25 – 70	--	95 – 100	100	--
¾ in	--	35 – 70	--	90 – 100	--
½ in	10 – 30	--	25 – 60	--	--
3/8 in	--	10 – 30	--	20 – 55	100
No. 4	0 – 5	0 – 5	0 – 10	0 – 10	95 – 100
No. 8	0	0	0 – 5	0 – 5	80 – 100
No. 16	0	0	0	0	50 – 85
No. 30	0	0	0	0	25 – 60
No. 50	0	0	0	0	10 – 30
No. 100	0	0	0	0	2 – 10

Sedangkan untuk agregat halus, terdapat empat jenis zona grading berdasarkan presentase lolos saringan, yang dijelaskan pada tabel berikut:

**Tabel II.6.** Persyaratan Grading untuk Agregat Halus Berdasarkan BS and ASTM<sup>11</sup>

Sieve Size		Percentage by weight passing sieves				
		BS 882 : 1973				ASTM Standard C 33 – 78
		BS	ASTM	Grading Zone 1	Grading Zone 2	
9.5 mm	¾ in	100	100	100	100	100
4.75 mm	3/16 in	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100	95 – 100
2.36 mm	8	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100	80 – 100
1.18 mm	16	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100	50 – 85
600 µm	30	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100	25 – 60
300 µm	50	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50	10 – 30
150 µm	100	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15	2 – 10

Pasir yang terdapat pada setiap zona pada umumnya dapat digunakan sebagai bahan pembuat beton, walaupun pada beberapa keadaan kecocokan penggunaan pasir tersebut bergantung pada grading dan bentuk dari agregat kasar.

Kondisi agregat halus pada zona 4 untuk penggunaan beton bertulang harus dites terlebih dahulu. Karena sebagian besar pasir ini lebih kecil dari saringan ukuran 600µm (No. 30 ASTM), maka pasir ini termasuk gap graded atau hampir gap graded dan perhatian khusus pada mix desain harus dilakukan. Kandungan pasir pada campuran sebaiknya rendah dan disarankan rasio agregat kasar/halus seperti yang diberikan pada tabel berikut :

**Tabel II.7.** Proporsi yang Disarankan Berdasarkan Berat dari Agregat Kasar terhadap Agregat Halus pada Masing-Masing Zona<sup>12</sup>

Maximum Size of Coarse Agregate		Coarse/Fine Agregat Ratio for sand of zone -			
Mm	in	1	2	3	4
9.52	$\frac{3}{8}$	1	1½	2	3
19.05	$\frac{3}{4}$	1½	2	3	3½
38.1	1½	2	3	3½	-

Namun, beton dengan kualitas baik tetap dapat dihasilkan dari pasir zona 4 bila menggunakan vibration.

Pada pasir zona 1, akan dihasilkan campuran yang kasar dan kandungan pasir yang tinggi diperlukan untuk mendapatkan workability yang bagus. Pasir jenis ini lebih baik digunakan pada beton *rich mixes*, yaitu dimana presentase penggunaan semen akan lebih banyak, dan beton dengan workability rendah.

Zona 2 merepresentasikan tipe pasir pada umumnya, dengan perbandingan agregat halus terhadap agregat kasar adalah 1 : 2, apabila ukuran maksimum agregat kasar adalah 20 mm atau  $\frac{3}{4}$  in.

Pada umumnya, rasio dari agregat kasar terhadap agregat halus haruslah semakin besar seiring dengan semakin halusnya grading dari agregat halus. Jika crushed agregat yang digunakan, proporsi agregat halus yang lebih tinggi diperlukan daripada gravel agregat, dengan maksud untuk menyeimbangkan workability yang rendah dari bentuk angular partikel agregat kasar tersebut.

Pemilihan dari proporsi yang tepat adalah hal yang penting dilakukan karena kelemahan-kelemahan pasir pada zone 1 dan zone 4 dapat ditanggulangi. Penggunaan pasir pada setiap zona dapat menghasilkan campuran beton yang baik apabila menggunakan ketentuan pada table **II.8**, berdasarkan penelitian Buliding Research Station.

**Tabel II.8.** Properties dari Beton terbuat dari Agregat dengan Spesific Surface yang Konstan<sup>13</sup>

Properties Of Concrete	Sand Grading Zone			
	1	2	3	4
Overall specific surface, m <sup>2</sup> /kg	2.55	2.55	2.55	2.55
Percentage of material passing 4.76 mm	46	36	29	24
App. propotion by volume	1 : 2 ½ : 3 ½	1 : 2 : 4	1 : 1 ½ : 4 ½	1 : 1 ¼ : 4 ¾
Water/cement ratio by weight	0.60	0.60	0.60	0.60
Compacting factor	0.92	0.93	0.93	0.94
28-day crushing strength, MPa	27.1	28.1	29.2	29.0
Psi	3930	4080	4230	4200

#### 2.1.2.5. Berat jenis dan penyerapan air

Sebelum merancang campuran beton, perlu diketahui berat jenis agregat yang akan digunakan, karena berat dari beton ini dipengaruhi dari berat jenis agregat yang akan digunakan. Selain itu, data berat jenis juga menentukan komposisi agregat dalam campuran beton.

Berat jenis pada agregat terdapat tiga macam, yaitu:

1. Absolut Specific Gravity, yaitu 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 kapiler yang dapat terisi oleh air.
2. Saturated Surface Dry (SSD), yaitu perbandingan antara berat suatu benda pada keadaan jenuh kering muka 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.
3. Apparent Specific Gravity, yaitu perbandingan antara berat suatu benda dalam keadaan kering mutlak dengan berat air murni yang sama dengan volume benda termasuk seluruh pori-pori yang terkandung di dalamnya.

Karena pada beton kondisi agregat berada pada keadaan jenuh, maka dalam perhitungan untuk mix desain, digunakan adalah berat SSD.

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

Penyerapan air pada agregat mempengaruhi daya rekat antara pasta semen dengan agregat, serta keawetan dari agregat itu sendiri. Pada umumnya, agregat dengan tingkat penyerapan yang tinggi akan memiliki daya rekat dengan semen yang tinggi. Namun, semakin tinggi daya serap ini, dapat menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air akan cepat hilang sehingga keawetan dari agregat akan berkurang.

### 2.1.3. Air dan Udara

#### 2.1.3.1. Air

Air dibutuhkan dalam produksi beton untuk menghasilkan reaksi kimia dengan semen, untuk membasahi agregat, serta untuk melicinkan campuran sehingga mudah untuk dikerjakan. Pada umumnya, air minum biasa dapat digunakan untuk campuran beton. Bahan-bahan yang tidak boleh terkandung pada air untuk bahan campuran beton antara lain:

- Silt
- Minyak
- Gula

Selain itu, perlu juga dihindari bahan-bahan kimiawai yang merusak kekuatan dan setting dari semen. Hal ini dapat mempengaruhi hubungan antara agregat dengan pasta semen dan demikian dapat mempengaruhi *workability* dari campuran.

Karena karakter dari pasta semen adalah hasil dari reaksi kimia antara semen dan air, maka proporsi yang perlu dipertimbangkan bukanlah perbandingan antara jumlah air dengan keseluruhan material solid pembentuk beton, namun adalah perbandingan antara air dengan semen. Kelebihan air akan menyebabkan beton yang terlalu lemah setelah proses hidrasi berlangsung. Namun kekurangan akan air akan menghambat reaksi kimia dengan semen.

#### 2.1.3.2. Udara

Dengan adanya evaporasi air pada campuran beton, akan timbul lubang-lubang pada beton. Jika pori-pori ini terdistribusi merata, maka akan memperbaiki karakteristik dari beton. Untuk mendapatkan pori-pori yang terdistribusi merata ini, dapat diberikan suatu bahan *air-entraining* seperti vinsol resin. Penambahan *air entrainment* ini meningkatkan *workability*, mengurangi kerapatan, meningkatkan *durability*, mengurangi *bleeding* dan segregasi, serta mengurangi kebutuhan akan pasir dalam campuran. Untuk alasan ini, presentase dari *entrained air* harus tetap dijaga pada kondisi optimumnya untuk kualitas beton yang diinginkan. Kandungan udara yang optimum adalah 9% dari mortar beton. Kandungan udara yang melebihi 6% dari seharusnya dapat mengurangi kekuatan beton.

#### 2.1.4. Agregat Sisa Campuran Beton

Pada agregat limbah yang berasal dari sisa campuran beton, material yang ada sudah bukanlah murni agregat dari alam, melainkan terdapat bahan-bahan lain. Bahan-bahan lain ini berupa material penyusun beton lainnya, yaitu semen dan air yang menyatu menjadi pasta. Pasta semen ini dapat menempel pada permukaan agregat akibat adanya sifat adhesive dari agregat maupun pasta tersebut. Sifat lain dari agregat, yaitu kadar porositas dan penyerapan, mengakibatkan agregat dari sisa campuran ini tentu telah menyerap air akibat pencampurannya dengan pasta.

Dengan demikian, akan terdapat perbedaan *properties* pada agregat dari alam dengan agregat dari sisa campuran beton. Perbedaan itu diantaranya :

1. Berat Jenis. Agregat dari sisa campuran beton ini telah mengandung bahan-bahan dari pasta semen air sehingga berat jenis dari agregat ini akan berbeda dibandingkan dengan agregat alam. Hal ini akan berpengaruh pada desain campuran beton yang akan digunakan, yaitu mengenai presentase banyaknya jumlah agregat kasar yang akan digunakan. Selain itu, berat jenis dari agregat juga akan mempengaruhi berat dari beton, mengingat agregat merupakan bahan penyusun utama beton.
2. Penyerapan. Agregat sisa campuran beton ini sebelumnya telah mengalami penyerapan air dari campuran sebelumnya, dimana air ini telah masuk ke dalam pori-pori dari agregat. Air dalam pori-pori ini cenderung akan merusak agregat sehingga akan menimbulkan lebih banyak pori dan cenderung melemahkan agregatnya. Oleh karena itu, agregat dari sisa campuran ini akan memiliki tingkat penyerapan yang cukup tinggi serta keawetan yang kurang dibandingkan dengan agregat dari alam.
3. Gradasi. Dilihat dari penampilan, agregat sisa campuran ini tampaknya berukuran sangat variatif, dari paling besar hingga paling kecil. Namun ukuran besarnya agregat ini akibat adanya beberapa agregat yang menyatu menjadi besar, yang apabila diberi tekanan sedikit agregat tersebut akan mudah hancur menjadi beberapa agregat yang lebih kecil. Oleh karena itu, sebenarnya agregat ini berukuran seragam dan kecil. Akibat seragamnya gradasi ini, maka akan berpengaruh pada workability beton yang dihasilkan, dimana selanjutnya

akan berpengaruh pada kebutuhan air dan semen, segregasi, bleeding, dan proses finishing beton.

## 2.2. BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)

Dalam pembuatan beton, hal pertama yang perlu dilakukan adalah melakukan *mix design*. *Mix design* merupakan proses menyeleksi bahan-bahan yang cocok untuk beton dan menghasilkan jumlah dari bahan-bahan tersebut, dengan tetap memperhatikan aspek ekonomis tanpa melupakan properties, konsistensi, kekuatan serta durability dari beton yang akan dihasilkan.

Biaya dari pembuatan beton terdiri dari biaya material, pabrik, serta pekerja. Variasi dari biaya material akan meningkat berdasarkan keadaan bahwa semen lebih mahal dari pada agregat, sehingga wajar apabila *mix design* dimaksudkan untuk mengurangi penggunaan semen seekonomis mungkin. Penggunaan semen seminimal mungkin ini juga mempertimbangkan aspek teknis, tidak hanya pada keadaan *mass concrete* dimana perkembangan panas dari hidrasi semen akan mengakibatkan *crack*, namun juga pada beton struktural dimana *rich mix* ini akan menghasilkan beton dengan shrinkage yang besar serta *cracking*. Maka jelas bahwa beton *rich mix* tidak dianjurkan, walaupun misalnya biaya bukanlah masalah.

Dalam mengestimasi biaya pembuatan beton, adalah hal yang penting untuk meninjau juga kekuatan beton karena kekuatan minimum inilah yang dispesifikasikan oleh desainer struktur dan juga merupakan kriteria dari diterima atau tidaknya beton yang dihasilkan. Biaya inilah yang sebenarnya berhubungan dengan material untuk membuat beton dengan kekuatan tertentu. Hal ini kemudian akan sangat berhubungan dengan masalah *quality control*. Karena terkadang masalah akan *quality control* ini tidak dibahas, maka penting bahwa derajat kontrol diestimasi pada awal dari perhitungan *mix design* sehingga perbedaan antara karakteristik rata-rata dengan kekuatan minimum dapat diketahui. Hal inilah yang menyebabkan perlu adanya *compressive strength* yang akan dicapai.

Batas-batas yang menentukan dalam proporsi *mix design* adalah:

- Compressive strength minimum yang perlu untuk pertimbangan struktural

- Rasio water/cement maksimum dan/atau kandungan semen maksimum, dan pada beberapa kondisi tertentu yaitu kandungan entrained air
- Kandungan semen maksimum untuk menghindari retak akibat perubahan temperatur
- Kandungan semen maksimum untuk menghindari retak akibat shrinkage akibat kelembaban yang kurang
- Kepadatan minimum untuk bendungan atau bangunan sejenisnya.

Dengan menentukan proporsi mix design yang baik, diharapkan beton yang dihasilkan akan memiliki *strength* yang direncanakan serta *workability* yang baik. Beton yang memenuhi syarat *workability* adalah beton yang mudah untuk dikerjakan, dalam hal ini *workability* menjelaskan kemudahan dari pentransportasian, penempatan dan ketahanan beton dari segregasi. *Workability* ini didefinisikan sebagai properti fisik dari beton itu sendiri, tanpa dipengaruhi oleh tipe konstruksi tertentu.

Untuk mendapatkan definisi tersebut di atas, perlu mengetahui apa yang akan terjadi apabila beton di-*compact*. Apakah *compaction* dilakukan dengan ramming atau dengan vibrator, proses tersebut bertujuan untuk mengurangi udara yang berada dalam beton hingga sedapat mungkin tercapai konfigurasi sesuai dengan desain campuran yang ada. Selain itu, pekerjaan tersebut juga dilakukan untuk mengatasi gesekan antara material-material dalam beton itu sendiri dan juga beton dengan permukaan mould atau tulangan baja. Dengan demikian *workability* dapat didefinisikan sebagai banyaknya kerja internal yang diperlukan untuk memproduksi *full compaction*<sup>14</sup>.

Adanya void pada beton sangat mempengaruhi kekuatan beton; 5 persen dari void dapat mengurangi kekuatan hingga 30 persen dan bahkan 2 persen dari void dapat menurunkan kekuatan hingga 10 persen. Void pada beton dapat berupa gelembung dari *entrapped air* atau sisa ruang yang ada setelah kelebihan air telah hilang. Volume void akibat kelebihan air yang hilang ini bergantung ada *water/cement ratio* dari campuran. Gelembung udara dapat diatasi dengan adanya partikel halus pada campuran dan lebih mudah untuk dikeluarkan dari campuran yang basah daripada campuran yang lebih kering. Dengan demikian, terdapat kandungan air optimum pada campuran dimana jumlah volume gelembung udara

dan ruang air akan menjadi minimum. Pada kandungan air optimum ini akan dicapai rasio kepadatan tertinggi.

Faktor utama yang mempengaruhi *workability* adalah mengestimasi kandungan air pada campuran, dengan satuan kilogram per meter kubik, untuk mengasumsikan bahwa dari tipe dan grading agregat dan *workability* beton tertentu, sehingga kandungan air ini independen dari rasio agregat/semen. Kandungan air ini dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel II.9.** Kandungan Air untuk Berbagai Ukuran Slump dan Ukuran Agregat Maksimum<sup>15</sup>

Maximum size of agregate		Water content of concrete					
		25 – 50 mm slump		75 – 100 mm slump		150 – 175 mm slump	
Mm	in.	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>	Rounded Agregate kg/m <sup>3</sup>	Angular Agregate kg/m <sup>3</sup>
9•5	3/8	190	210	200	225	230	430
19•0	3/4	170	195	190	210	210	380
38•1	1 1/2	160	170	170	190	190	350
50•8	2	150	165	165	180	180	330
76•2	3	135	155	155	165	160	310

Jika kandungan air dan proporsi campuran lainnya telah fix, *workability* akan bergantung pada ukuran agregat maksimum, grading, bentuk, dan teksturnya. Grading dan rasio water/cement harus dilihat bersama-sama, karena semakin tinggi rasio water/cement, maka agregat dengan grading yang lebih halus akan dibutuhkan untuk mendapatkan *workability* yang terbaik.

Pada prakteknya, memprediksi pengaruh dari proporsi campuran pada *workability* membutuhkan perhatian karena dari tiga faktor yaitu rasio water/cement, agregat/cement, dan kandungan air ini, hanya dua yang independen. Misalnya, jika rasio agregat/cement dikurangi dan rasio water/cement tetap konstan, kandungan air akan meningkat dan akibatnya *workability* juga naik. Namun, jika kandungan air tetap konstan ketika rasio agregat/cement dikurangi, amaka rasio water/cement akan berkurang namun *workability* tidak akan banyak terpengaruh.

Kualifikasi terakhir diperlukan karena beberapa efek tambahan: rasio agregat/cement menunjukkan jumlah area permukaan solid (semen dan agregat) yang lebih besar dengan jumlah air yang sama akan mengurangi tingkat *workability*. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan agregat yang lebih kasar.

Tingkat workability ini sulit untuk diukur. Namun terdapat suatu tes yang dapat memberikan informasi mengenai variasi dari workability, diantaranya adalah slump test. Slump test ini mendeteksi keseragaman campuran dari proporsi yang ada. Test ini diatur pada ASTM C 143 – 78.

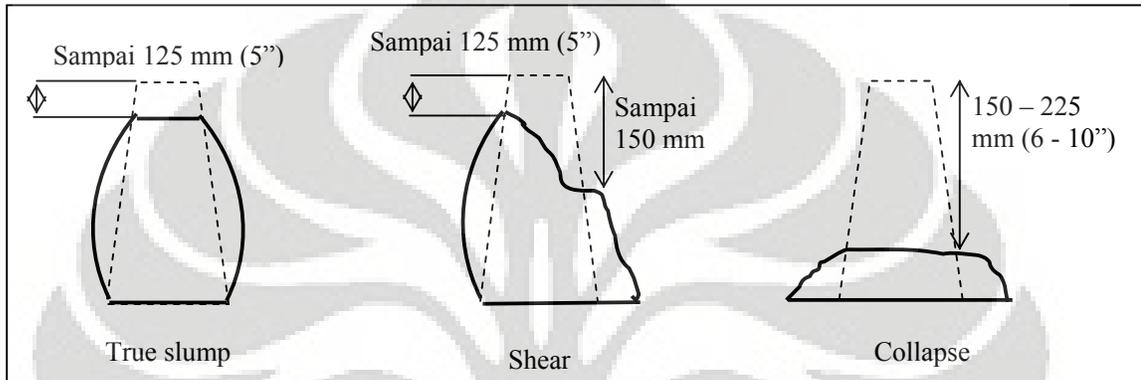
Mould yang digunakan pada tes ini berupa kerucut yang terpotong di bagian lancipnya, 305 mm (12 inchi). Kerucut ini diletakkan pada permukaan yang rata, kemudian diisi dengan campuran beton pada tiga layer. Pada masing-masing layer ditumbuk sebanyak 25 kali dengan besi berdiameter 16 mm ( $\frac{5}{8}$  in.) kemudian permukaannya diratakan dengan besi ini. Pada proses ini, mould haruslah benar-benar diletakkan pada dasarnya dan tidak bergoyang, untuk itu ketika proses berlangsung, dasar mould harus dipegang erat atau dapat ditahan dengan kaki.

Setelah pengisian, kerucut kemudian diangkat perlahan dan beton ini kemudian akan jatuh. Penurunan ketinggian inilah yang disebut *slump*, dan diukur pada pendekatan  $\frac{1}{4}$  in (5mm). Untuk mengurangi gesekan antara beton dengan mould ketika diangkat, maka sebelumnya pada bagian dalam mould diberi lapisan oli untuk melicinkan permukaan, dan pada sekeliling mould harus dibersihkan ketika mould akan diangkat.

Jika penurunan yang terjadi bukanlah penurunan yang seragam, melainkan membentuk lereng, maka telah terjadi shear slump dan percobaan harus diulang. Jika shear slump terjadi lagi, maka campuran beton tersebut terlalu kasar dan mengindikasikan kurangnya kohesi pada campuran.

Ketinggian dari slump diperlihatkan pada tabel **II.10**. Namun perlu diingat, dengan penggunaan agregat yang berbeda dan slump yang sama, dapat terjadi workability yang berbeda. Pengetesan ini dapat menunjukkan kondisi beton yang dihasilkan ketika proses pencampuran. Slump yang meningkat dapat menunjukkan telah terjadi peningkatan kadar air pada agregat atau perubahan grading agregat, misalnya kurangnya agregat halus. Slump yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memberikan peringatan bahwa beton tersebut kurang baik pencampurannya.

Dalam menentukan komposisi dari campuran beton harus diasumsikan bahwa proporsi yang sebenarnya sesuai dengan spesifikasi beton yang akan dicapai. Namun, pada prakteknya, kesalahan dan eror dapat menghasilkan proporsi campuran yang tidak tepat, dan ada baiknya untuk terlebih dahulu menghitung komposisi beton pada awal penelitian, terutama dalam menentukan kandungan semen dan rasio water/cement.



Gambar 2.5. Macam-Macam Kondisi Slump

Tabel II.10. Workability, Slump, and Compacting Factor dari Beton dengan MSA 19 atau 38 mm ( $\frac{3}{4}$  atau  $1\frac{1}{2}$  in)<sup>16</sup>

Degree Workability	Slump		Compacting Factor		Use for Which Concrete is Suitable
	mm	In	Small Aparatus	Large Aparatus*	
Very low	0 – 25	0 – 1	0.78	0.8	Roads vibrated by power operated machines. At more workable end this group, concrete may be compacted in certain cases with hand operated machines
Low	25 – 50	1 – 2	0.85	0.87	Road vibrated by hand-operated machines. At more workable end of this group, concrete may be manually compacted on roads using agregat of rounded or irregular shape. Mass concrete foundations without vibration or lightly reinforced section with vibration.
Medium	5 – 100	2 – 4	0.92	0.935	At the less workable end of this group, manually compacted flat slabs using crushed agregates. Normal reinforced concrete manually compacted and heavily sections with vibration
High	100 – 175	4 – 7	0.95	0.96	For sections with congested reinforcement. Not normally suitable for vibration

\* Not normally used

Untuk Slump Test, tes tersebut harus dilaksanakan segera setelah beton dikeluarkan dari mixer. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya kandungan

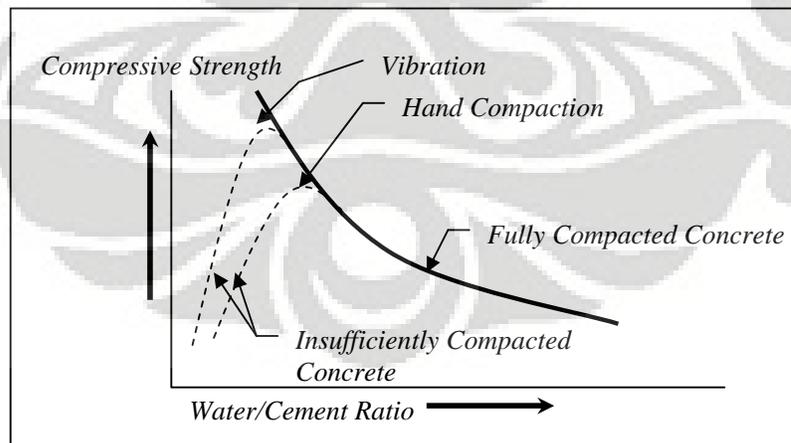
air yang hilang, walaupun jika ada perlindungan terhadap evaporasi, dapat terjadi hidrasi kapan saja pada setiap waktu.

### 2.3. BETON YANG TELAH MENERAS (HARDENED CONCRETE)

Material-material pembentuk beton serta parameter-parameter yang telah disebutkan sebelumnya dapat digunakan untuk mendesain dan mendapat beton dengan karakteristik dan fungsi sesuai dengan yang diinginkan. Proporsi dan tipe dari bahan-bahan ini membangun suatu kualitas dari beton dan demikian juga akhirnya berpengaruh pada kualitas struktur. Tak hanya material yang baik yang harus dipilih, namun juga *uniformity* harus dipelihara pada keseluruhan produk. Dalam penggunaannya, karakteristik beton yang paling diperhatikan adalah kekuatannya, karena kekuatan beton ini memberikan gambaran umum mengenai kualitas beton.

Berdasarkan gambar 2.6, kekuatan beton pada usia tertentu dan temperatur curing tertentu dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu rasio *water/cement* serta derajat *compactness*-nya. Rasio *water/cement* ini akan menentukan porositas dari pasta semen pada saat proses hidrasi berlangsung, dan derajat *compactness* akan berpengaruh pada ruang void dari beton. Pada tahun 1896 Feret memformulasikan rumus mengenai kekuatan beton:

$$f_c = K \left( \frac{c}{c + w + a} \right)^{17}$$



Gambar 2.6. Hubungan antara Kekuatan Beton dengan Rasio Water/Cement<sup>17</sup>

Walau rasio antara semen dan air adalah hal yang penting, kekuatan beton tidak hanya bergantung pada faktor tersebut. Menurut Gilkey<sup>18</sup>, kekuatan beton yang dihasilkan dipengaruhi oleh :

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

Faktor (b) dan (d) dapat dieliminasi karena tidak terlalu *crucial* jika dibandingkan dengan faktor (a), karena pada prakteknya ukuran maksimum agregat yang digunakan berkisar 40mm. Oleh karena itu, kekuatan beton didapatkan oleh (1) kekuatan dari mortar; (2) ikatan antara mortar dengan agregat kasar; (3) kekuatan dari partikel agregat kasar, yaitu kemampuannya untuk menahan gaya yang diberikan.

Pasta semen dikenal dengan keadaannya yang berongga atau berpori, namun mekanisme dimana rongga ini mempengaruhi kekuatan tidaklah diketahui. Void sendiri tidak dapat didefinisikan sebagai cacat, namun cacat dapat diakibatkan oleh retak akibat adanya void, atau akibat shrinkage atau ikatan yang kurang kuat. Karena mekanisme keruntuhan tidak diketahui dengan pasti, maka keruntuhan pada beton mungkin terkait dengan ikatan dalam pasta semen dan juga antara pasta semen dengan agregat.

Retak dapat menyebar pada seluruh bagian dari benda uji yang diberikan tegangan, atau dengan kata lain, kejadian yang terjadi pada elemen benda uji diidentifikasi sebagai kejadian yang terjadi pada keseluruhan benda uji. Retak vertikal pada benda uji yang diberikan beban uniaksial dimulai dari beban yang besarnya 50 hingga 75 persen dari beban ultimit. Hal ini telah diteliti oleh pengukuran dari kecepatan suara dalam beton<sup>19</sup> dan juga teknik kecepatan getaran ultrasonik<sup>20</sup>. Tegangan yang menyebabkan retak bergantung pada sifat-sifat dari agregat, dimana bebatuan yang halus akan menyebabkan retak pada tegangan yang rendah dibandingkan dengan bebatuan pecah (split) yang permukaannya kasar, dimana hal ini disebabkan karena ikatan mekanis dipengaruhi oleh properties permukaan dan bentuk dari agregat kasar<sup>21</sup>.

Properties dari agregat mempengaruhi retak akibat beban ultimit, dimana beban pada tekan dan lentur adalah sama, sehingga hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur dapat dipisahkan dari pengaruh agregat terhadap beton. Pada hasil penelitian Jones dan Kaplani, hubungan antara kekuatan tekan dan tarik bergantung pada jenis agregat yang digunakan, karena properties dari agregat, terutama pada bentuk dan permukaannya, mempengaruhi kuat ultimit pada tekan. Pada beton percobaan, penggunaan keseluruhan agregat dengan permukaan yang halus akan memberikan kuat tekan yang lebih kecil, sekitar 10 persen, dibandingkan dengan beton dengan penggunaan agregat dengan permukaan yang kasar<sup>22</sup>.

Pengaruh dari jenis agregat kasar pada kekuatan beton juga bergantung pada rasio water/cement dalam campuran beton. Untuk rasio water/cement dibawah 0.4, penggunaan agregat dengan permukaan kasar mempengaruhi kekuatan beton hingga 38 persen jika dibandingkan dengan penggunaan agregat kasar dengan permukaan yang lebih halus. Kenaikan rasio water/cement mengurangi pengaruh dari agregat. Hal ini disebabkan karena kekuatan dari pasta menjadi lebih besar dan pada rasio water/cement lebih dari 0.65, tidak ada perbedaan pengaruh penggunaan agregat dengan permukaan kasar atau permukaan halus<sup>23</sup>.

Pengaruh dari agregat pada kuat tarik juga dipengaruhi oleh kandungan air pada beton ketika waktu pengetesan<sup>24</sup>. Penelitian yang dilakukan oleh Kaplan<sup>21</sup> menunjukkan bahwa kuat tarik pada beton pada umumnya lebih kecil daripada kekuatan tarik dari mortar yang digunakan. Dengan demikian, mortar merupakan komponen yang memberikan kuat tarik tertinggi dari beton dan dengan adanya agregat pada beton pada umumnya mengurangi kuat tarik dari beton. Pada satu sisi, kuat tekan dari beton ini lebih tinggi dari kuat tariknya, dimana kuat tekan ini diberikan oleh agregat yang merupakan komponen utama dari beton.

## BAB III

### PENELITIAN LABORATORIUM

#### 3.1. PENGADAAN BAHAN DAUR ULANG

Untuk melakukan penelitian, maka tahap pertama adalah mengambil bahan penelitian. Bahan penelitian berupa limbah sisa campuran beton yang diambil dari PT. Pioneer Beton, Pulogadung. Limbah sisa campuran beton ini merupakan buangan dari hasil mix beton yang tidak dipergunakan. Setelah di ambil dari PT. Pioneer Beton, Pulogadung, limbah tersebut ditempatkan di halaman Lab Material Departemen Sipil FTUI. Pada perencanaan awal, material awal yang akan digunakan adalah agregat kasar saja. Namun setelah melihat kondisi material, maka diputuskan untuk menggunakan agregat halus juga.

Material limbah yang akan digunakan tentu berbeda dengan material alam yang telah biasa digunakan. Perbedaan berdasarkan kondisi fisik adalah sebagai berikut:

##### a. Agregat Kasar

**Tabel III.1.** Perbandingan Properti Fisik dari Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam

	Daur Ulang	Alam
Kondisi fisik		
Tekstur	Permukaan kasar namun rapuh seperti bebatuan apung	Tekstur kasar dan tidak rapuh
Bentuk agregat	subrounded	Angular
Warna	Cenderung berwarna putih karena ada ikatan dengan semen	Berwarna hitam
Ukuran	Sangat bervariasi, namun sebenarnya berukuran seragam karena agregat yang besar merupakan kumpulan agregat-agregat yang menyatu	Bervariasi, dengan ukuran maksimum berkisar 1 ½ " s.d 2"

b. Agregat Halus

**Tabel III.2.** Perbandingan Properti Fisik dari Agregat Halus Daur Ulang dan Alam

	Daur Ulang	Alam
Kondisi Fisik		
Warna	Putih karena mengandung semen	Kecoklatan

### 3.2. PENELITIAN TERHADAP BAHAN BAKU PENELITIAN

Karena material daur ulang yang akan digunakan untuk penelitian ini sudah mengalami proses setting, maka properties dari agregatnya telah berubah akibat adanya ikatan dengan semen. Untuk menentukan komposisi yang efektif dalam penelitian, maka perlu untuk mengetahui properties agregat daur ulang yang akan digunakan ini. Selain itu, perlu juga dilakukan percobaan untuk material alam sebagai bahan perbandingan. Berikut adalah percobaan yang dilakukan.

#### 3.2.1. Percobaan Terhadap Agregat Kasar

- I. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar (ASTM C127-04)
- II. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C29/29M-97)
- III. Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (ASTM C131-03)
- IV. Analisa Saringan Agregat Kasar (ASTM 136-05)

#### 3.2.2. Percobaan Terhadap Agregat Halus

- I. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus (ASTM C 128-04)
- II. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C29/29M-97)
- III. Analisa Saringan Agregat Halus (ASTM C136-05)

#### IV. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 (ASTM C117-04)

### 3.3. BAHAN BAKU PENELITIAN

#### a. Semen Portland

Merk	: Tiga Roda
Pabrik	: PT. Indocement Tunggal Prakarsa
Tipe	: Portland Composite Cement
Berat Jenis	: 3,15 t/m <sup>3</sup>

#### b. Agregat Kasar Daur Ulang

Tipe	: Agregat Daur Ulang
Sumber agregat	: PT. Pioneer Beton, Pulogadung
Ukuran Agregat	: $\leq 40$ mm
Specific Gravity	: 2,778

#### c. Agregat Kasar Alam

Tipe	: Batu pecah
Sumber agregat	: PT. Adhimix, Lenteng Agung, Depok
Ukuran Agregat	: $\leq 25$ mm
Specific Gravity	: 2,604

#### d. Agregat Halus Daur Ulang

Tipe	: Agregat Daur Ulang
Sumber agregat	: PT. Pioneer Beton, Pulogadung
FM	: 2,487
Specific Gravity	: 2,582

#### e. Agregat Halus Alam

Tipe	: Pasir alam
Sumber agregat	: PT. Adhimix, Lenteng Agung, Depok
FM	: 2,258
Specific Gravity	: 2,586

**f. Air**

Sumber : Air Lab Struktur dan Material,  
Departemen Sipil, FTUI

Jenis : jernih, tidak berwarna, tidak berbau

**3.4. ALAT- ALAT PERCOBAAN**

Dalam melakukan penelitian ini, maka alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Cetakan Silinder yang terbuat dari besi dengan ukuran garis tengah lingkaran 15 cm dan tinggi 30 cm. Cetakan ini berisi benda uji yang digunakan untuk melakukan tes terhadap kuat tekan (*compressive strength test*), kuat tarik belah (*splitting tensile test*), dan modulus elastisitas beton.
2. Timbangan dengan kepekaan 1 gram untuk menimbang berat material yang akan digunakan dalam penelitian.
3. Molen untuk mempersiapkan adonan beton sehingga adukan beton yang dihasilkan cukup stabil.
4. Alat uji kuat tekan.
5. Dial untuk test modulus elastisitas.

**3.5. PENENTUAN KOMPOSISI CAMPURAN AGREGAT DAUR ULANG-AGREGAT ALAM**

Dilihat dari hasil percobaan terhadap agregat kasar, dapat dilihat bahwa kondisi agregat kasar daur ulang cenderung memiliki tingkat absorpsi yang sangat tinggi dibandingkan dengan agregat kasar alam. Selain itu, pada pengujian dengan mesin Los Angeles, tingkat keausannya juga tinggi dibandingkan dengan agregat kasar alam. Karena kondisi agregat daur ulang yang cenderung rapuh ini, maka perlu dilakukan pengaturan komposisi agregat sehingga *target strength* tercapai. Berikut adalah komposisi agregat daur ulang dengan agregat alam:

**Tabel III.3.** Komposisi Agregat Daur Ulang dan Agregat Alam

Komposisi	Agregat Kasar		Agregat Halus	
	DU(%)	Alam(%)	DU(%)	Alam(%)
I	0	100	0	100
II	0	100	25	75
III	0	100	50	50
IV	0	100	100	0
V	25	75	0	100
VI	25	75	25	75
VII	50	50	0	100
VIII	50	50	25	75

Setelah menentukan komposisi yang memungkinkan, maka selanjutnya adalah menentukan komposisi campuran beton, yaitu *mix design*. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan dari campuran beton dengan menggunakan metode US Bureau:

1. Menentukan desain kriteria, meliputi *compressive strength*, ukuran agregat maksimum (MSA), kandungan udara, slump, berat jenis semen, berat jenis pasir, berat jenis agregat kasar, serta fine modulus pasir.

Ukuran agregat maksimum yang digunakan dalam campuran beton untuk suatu konstruksi tertentu dapat ditentukan dengan menggunakan tabel berikut:

**Tabel III.4.** Ukuran Agregat Maksimum yang Dianjurkan Dipakai dalam Konstruksi<sup>25</sup>

Dimensi Bagian Konstruksi (cm)	Ukuran Agregat Maksimum (mm) untuk :		
	Dinding, Balok, Kolom Bertulang	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

Dalam tahap ini, perlu juga menentukan target strength, yaitu suatu strength yang harus dicapai oleh beton (biasanya dalam 28 hari) yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan campuran beton.

*Compressive strength* yang telah ditentukan dalam konstruksi harus mempunyai *coefficient of variation* yang tidak boleh lebih dari 15%. *Coefficient of variation* ini adalah koefisien yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang memiliki variasi yang sama.

Hubungan antara *target strength* dengan *standard design strength*

ditentukan dengan rumus:  $\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1 - t.v}$ , dimana :

$\sigma_{ts}$  = target strength

$\sigma_{ds}$  = standard design strength

t = konstanta

v = coefficient of variation

Nilai konstanta t ini sendiri diambil berdasarkan banyaknya silinder tes yang mempunyai strength yang lebih besar dari *standard design strength*, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel III.5.** Nilai Konstanta t

Persentase Strength yang Lebih Besar dari Design Strength	T
75 %	0,703
80%	0,883
85%	1,100

- Menentukan ukuran agregat maksimum, slump, dan water-cement ratio. Menurut workability, durability, dan strength yang diperlukan, dimana kualitas beton ini diukur dari ketiga kriteria ini dan sebanding dengan jumlah semen yang digunakan.
- Dalam memilih water-cement ratio dengan berdasarkan pada strength, dapat dilakukan dengan mencari hubungan water-cement ratio dengan compressive strength, yaitu dengan persamaan dari Japan Cement Association:  
 $\sigma_{28} = -113 + 214 \frac{C}{W}$
- Menentukan rasio S/A dan jumlah air adukan. Nilai yang dicari dapat dilihat dari tabel berikut

**Tabel III.6.** Macam-Macam Ukuran Agregat Maksimum<sup>25</sup>

Max Size of Agregate	Coarse Agregate content by volume	Concrete without AE ad.				Air Entrained Agregate			
		Entrapped air (%)	Sand Percent (S/A) (%)	Water content (W) (kg)	Air content (%)	With good quality AE ad.		With good quality wat 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

Tabel di atas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2,8 dan slump 8 cm. Untuk pasir dengan FM dan slump yang berbeda, maka dilakukan penyesuaian sesuai dengan tabel berikut:

**Tabel III.7.** Tabel Koreksi untuk Perhitungan S/A dan W<sup>25</sup>

Change in Material or Proportion		Corection on S/A and W	
		Sand Percent S/A (%)	Water content W (kg)
1.	Each 0.1 increase or decrease in FM of sand	± 0.5	No correction
2.	Each 1 cm increase or decrease in slump	No correction	± 1.2 %
3.	Each 1 % increase or decrease in air content	± 0.5 ~ 1	± 3 %
4.	Using crushed coarse aggregate	± 3 ~ 5	± 9 ~ 15
5.	Using crushed coarse sand	± 2 ~ 3	± 6 ~ 9
6.	Each 0.05 increase or decrease in water cement ratio	± 4	No correction
7.	Each 1 % increase or decrease in S/A	No correction	± 1.5

5. Menghitung berat satuan semen dari berat satuan air dan water cement ratio,

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

6. Kandungan total agregat dapat dicari dengan persamaan

$$A_g = 1 - W - \frac{C}{g} - A, \text{ dimana } g \text{ adalah specific gravity dari semen}$$

7. Dengan diketahuinya kandungan agregat total dan presentase pasir terhadap agregat kasar, maka dapat dihitung volume pasir (S) yaitu  $S = A_g \times \frac{S}{A}$ , dan begitu juga dengan kandungan agregat kasar, yaitu  $A = A_g (1 - \frac{S}{A})$  dan kemudian volume kandungan pasir dan agregat kasar ini diubah ke dalam berat dengan dibagi oleh specific gravity masing-masing.

Setelah langkah-langkah di atas dilakukan, maka dapat ditentukan komposisi campuran beton, yaitu sebagai berikut:

**Tabel III.8.**Tabel Komposisi Campuran I, II, III, IV

No.	Sebutan	Refe- rensi	Nilai							
			I (0-0)	II (0-25)	III (0-50)	IV (0-100)				
1.	Slump Rencana		10 cm	10 cm	10 cm	10 cm				
2.	Kuat Tekan Rencana		25 MPa	25 MPa	25 MPa	25 MPa				
3.	Target Strength		28,8 MPa	28,8 MPa	28,8 MPa	28,8 MPa				
4.	MSA	III-17	25mm	25mm	25mm	25mm				
5.	Berat Jenis Semen		3.15	3.15	3.15	3.15				
6.	Berat Jenis Pasir		2.586	2.585	2.586	2.585				
7.	Berat Jenis Agregat Kasar		2.604	2.604	2.647	2.647				
8.	Fine Modulus Pasir		2.258	2.316	2.258	2.316				
9.	w/c		0.533	0.533	0.533	0.533				
10.	Kandungan Udara (%)	III-19	5	5	4.5	4.5				
11.	S/A	III-19	41	41	36	36				
12.	Rencana Air Adukan	III-19	175	175	165	165				
<b>Penyesuaian Kandungan W dan S/A</b>										
			S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)
13.	Perubahan FM	III-20	38.291	-	38.578		38.864	-	39.437	-
14.	Perubahan Slump	III-20	-	179.17		179.17	-	179.17	-	179.17
15.	Air content	III-20	38.291	179.17	38.578	179.17	38.864	179.17	39.437	179.17
16.	Crushed coarse agg	III-20	42.291	191.17	42.578	179.17	42.864	191.17	43.437	191.17
17.	W/C (0,55)	III-20	40.966		41.253		41.539		42.112	
<b>Perhitungan Komposisi Campuran Beton/m<sup>3</sup></b>										
18.	Kandungan Air	III-20	191.116 kg		191.546 kg		191.97 kg		192.835 kg	
19.	S/A (%)		40.966		41.253		41.539		42.112	
20.	Volume Semen (l)		0.114		0.1140		0.114		0.115	
21.	Volume Air (l)		0.1911		0.1915		0.192		0.193	
22.	Volume Udara (l)		0.005		0.005		0.005		0.005	
23.	Volume Agregat Kasar (l)		0.4074		0.4050		0.403		0.398	
24.	Volume Agregat Halus (l)		0.2827		0.2844		0.286		0.289	
<b>Komposisi Campuran Beton/m<sup>3</sup></b>										
25.	Cement		358.270		359.075		339.524		361.491	
26.	Water		191.116		191.546		191.976		192.835	
27.	Air Content		5		5		5		5	
28.	Fine Agregat		731.253		735.346		739.426		747.545	
29.	Coarse Agregat		1060.774		1054.580		1048.396		1036.059	

**Tabel III.9.**Tabel Komposisi Campuran V, VI, VII, VIII

No.	Sebutan	Refe- rensi	Nilai							
			V (25-0)	VI (25-25)	VII (50-0)	VIII (50-25)				
1.	Slump Rencana		10 cm	10 cm	10 cm	10 cm				
2.	Kuat Tekan Rencana		25 MPa	25 MPa	25 MPa	25 MPa				
3.	Target Strength		28,8 MPa	28,8 MPa	28,8 MPa	28,8 MPa				
4.	MSA	III-17	40mm	40mm	40mm	40mm				
5.	Berat Jenis Semen		3.15	3.15	3.15	3.15				
6.	Berat Jenis Pasir		2.586	2.585	2.585	2.585				
7.	Berat Jenis Agregat Kasar		2.647	2.647	2.647	2.647				
8.	Fine Modulus Pasir		2.258	2.316	2.316	2.316				
9.	w/c		0.533	0.533	0.533	0.533				
10.	Kandungan Udara (%)	III-19	4.5	4.5	4.5	4.5				
11.	S/A	III-19	36	36	36	36				
12.	Rencana Air Adukan	III-19	165	165	165	165				
<b>Penyesuaian Kandungan W dan S/A</b>										
			S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)	S/A (%)	W (kg)
13.	Perubahan FM	III-20	33.291	-	33.578	-	33.291	-	33.578	-
14.	Perubahan Slump	III-20	-	169.17	-	169.17	-	169.17	-	169.17
15.	Air content	III-20	33.291	169.17	33.578	169.17	33.291	169.17	33.578	169.17
16.	Crushed coarse agg	III-20	37.291	181.17	37.578	181.17	37.291	181.17	37.578	181.17
17.	W/C (0,55)	III-20	35.966		36.253		35.966		36.253	
<b>Perhitungan Komposisi Campuran Beton/m3</b>										
18.	Kandungan Air	III-20	181.116 kg		181.546 kg		181.17		181.546	
19.	S/A (%)		35.966		36.253		35.966		36.253	
20.	Volume Semen (l)		0.1078		0.1080		0.1078		0.108	
21.	Volume Air (l)		0.1811		0.1815		0.181		0.181	
22.	Volume Udara (l)		0.0045		0.0045		0.0045		0.0045	
23.	Volume Agregat Kasar (l)		0.4525		0.4500		0.452		0.450	
24.	Volume Agregat Halus (l)		0.2541		0.2559		0.254		0.256	
<b>Komposisi Campuran Beton/m3</b>										
25.	Cement		339.524		340.329		339.524		340.329	
26.	Water		181.116		181.546		181.116		181.546	
27.	Air Content		4.5		4.5		4.5		4.5	
28.	Fine Agregat		657.307		661.639		657.307		661.639	
29.	Coarse Agregat		1197.778		1191.265		1217.510		1210.889	

### 3.6. PEMBUATAN BENDA UJI BETON

Pada proses pembuatan benda uji beton, terdapat tiga tahap utama. Yang pertama adalah tahap persiapan, yaitu persiapan semua bahan yang dibutuhkan. Kedua adalah tahap pengecoran, dimana perlu diperhatikan agar bahan baku beton tercampur secara merata dan homogen. Dan yang ketiga adalah tahap pencetakan, yaitu ketika adukan beton dimasukkan ke dalam cetakkan silinder.

#### **a. Tahap Persiapan**

Pada tahap ini dilakukan persiapan akan bahan-bahan baku yang akan dibutuhkan dalam pengecoran. Banyaknya bahan-bahan baku yang dibutuhkan ini disesuaikan antara komposisi per m<sup>3</sup> dengan banyaknya volume pembuatan benda uji yang akan dibuat.

Setelah bahan baku tersedia, maka selanjutnya adalah menyiapkan mixer yang akan digunakan. Sebelumnya mixer ini harus dibersihkan terlebih dahulu dan dinding di dalamnya dibasahi agar tidak terjadi penyerapan air semen. Selain itu, cetakan juga harus dilapisi dengan olie pada sisi dalamnya agar beton mudah dikeluarkan ketika sudah mengeras. Demikian juga dengan alat test slump.

#### **b. Tahap Pelaksanaan Pengecoran**

Pada pelaksanaan pengecoran, tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Masukkan semua agregat kasar dan agregat halus ke dalam mixer
- Jalankan mixer, tutup mixer, hingga agregat tercampur merata
- Hentikan mixer, kemudian masukan semen secara merata serta kira-kira 50% dari air total. Jalankan kembali mixer selama kurang lebih 3 menit.
- Mixer kembali dihentikan, kemudian campuran dalam mixer tersebut diaduk dengan menggunakan sendok tanah agar campuran lebih merata.
- Jalankan kembali mixer, tutup mixer, dan selama itu masukkan air sisa ke dalam mixer. Jalankan mixer selama kurang lebih 3 menit hingga semua adukan merata. Pengadukan selesai.

#### **c. Tahap Pencetakan**

Pencetakan beton dilakukan dengan memasukkan campuran beton ke dalam cetakan silinder berukuran berdiameter 150mm dan tinggi 300mm. Langkah – langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

- Masukkan beton ke dalam cetakan silinder dalam tiga lapisan yang kurang lebih sama tebalnya.
- Pada masing-masing lapisan, campuran dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat baja  $\varnothing 16mm$ .

- Setelah tiga lapisan dan cetakan terisi penuh, maka getarkan cetakan agar air dan udara yang berada di lapisan bawah cetakan naik ke atas sehingga beton yang dihasilkan tidak bolong-bolong.
- Kemudian ratakan permukaannya dan tunggu hingga 24 jam.
- Setelah 24 jam, buka cetakan dan masukkan ke dalam bak berisi air untuk proses curing hingga umur benda uji tercapai.

### **3.7. PENGUJIAN TERHADAP BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)**

Pengujian yang dilakukan terhadap beton segar adalah Slump Test (ASTM C 143 – 78) yaitu test untuk mengetahui konsistensi dari campuran beton yang telah dihasilkan. Alat yang digunakan berupa kerucut Abrams, yaitu cetakan berbentuk kerucut yang terpotong dengan diameter bagian bawah 20cm, diameter bagian atas 10cm, dan tinggi 30cm, dengan bagian atas dan bawah terbuka.

Slump test dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- Pertama, bersihkan cetakan dengan cara dibasahi.
- Cetakan diletakkan pada pelat baja yang permukaannya rata dan juga telah dibasahi
- Isi cetakan dalam tiga lapis yang kira-kira ketebalannya sama. Pada masing-masing lapis, ditumbuk dengan tongkat baja diameter 16mm sebanyak 25 kali.
- Setelah selesai pemadatan, ratakan permukaan benda uji dan bersihkan adukan beton yang jatuh di sekitar cetakan.
- Angkat cetakan tegak lurus ke atas secara perlahan-lahan.
- Balikkan cetakan dan letakkan di samping adukan beton
- Ukur slump yang terjadi.

### **3.8. PENGUJIAN TERHADAP BETON YANG TELAH MENGERAS**

#### **3.8.1. Uji Kuat Tekan (Compressive Strength Test)**

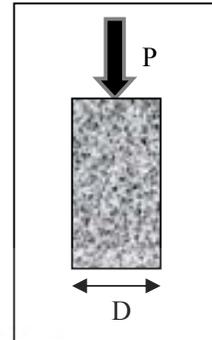
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang telah mengeras dengan benda uji berbentuk silinder. Pengujian ini dilakukan pada beton yang berumur 3, 7, 14, dan 28 hari dan masing-masing tipe pengujian digunakan 3 benda uji. Langkah-langkah pengujian test ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1.** Pengujian Kuat Tekan

- Silinder beton yang akan diuji dikeluarkan dari tempat curing sehari sebelum waktu pengetesan.
- Masing-masing dari silinder dihitung beratnya
- Setelah itu, permukaan benda uji diratakan dengan mortar belerang. Pertama, mortar belerang dilelehkan di dalam *melting pot* sampai suhu kira-kira 130°C. Kemudian tuangkan belerang ke dalam *capping plate* yang dinding dalamnya telah dilapisi oleh oli. Kemudian letakkan benda uji tegak lurus pada *capping plate* hingga mortar belerang mengeras.
- Silinder beton kemudian diletakkan pada mesin tekan dengan sisi atas dan sisi bawah harus rata dan berada pada posisi sentris.
- Mesin dijalankan dengan penambahan beban konstan kurang lebih 2 – 4  $kg/cm^2$  tiap detik.
- Pembebanan dilakukan hingga silinder hancur dan dicatat besarnya beban maksimum, P. Nilai tegangan beton dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$f_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$



**Gambar 3.2.** Uji Tekan

Dimana  $f_c$  = tegangan tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$  atau MPa)

P = gaya tekan yang menyebabkan beton hancur (kg atau kN)

A = luas penampang silinder beton ( $\text{cm}^2$  atau  $\text{mm}^2$ ) dengan D adalah diameter silinder (cm atau mm)

### 3.8.2. Uji Kuat Tarik Belah (Splitting Tensile Strength Test)

Benda uji yang digunakan sama dengan pengujian test tekan, yaitu silinder. Pengujian dilakukan pada beton yang berumur 28 hari dan masing-masing tipe pengujian digunakan 3 buah benda uji.



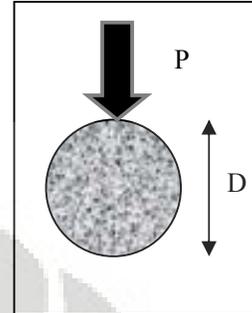
**Gambar 3.3.** Pengujian Kuat Tarik Belah

Langkah pengujian sama dengan uji tekan, hanya saja pada percobaan ini silinder diletakkan secara tertidur. Lempengan kayu dengan panjang 25cm disisipkan di antara silinder dengan landasan mesin uji guna mentransfer beban

dari mesin. Pemberian beban terus dilakukan hingga beton retak dan terbelah menjadi dua.

Nilai kuat tarik belah dapat dihitung dengan persamaan :

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL}$$



Gambar 3.4. Uji Tarik Belah

Dimana  $f_{ct}$  = tegangan tarik belah (kg/cm<sup>2</sup> atau MPa)

P = gaya tekan yang menyebabkan beton terbelah (kg atau kN)

D = diameter silinder (cm atau mm)

L = Panjang silinder

### 3.8.3. Uji Modulus Elastisitas

Pengujian ini memberikan nilai perbandingan *stress* (tegangan), *strain* (regangan) dan perbandingan antara regangan lateral dan longitudinal untuk beton pada suatu umur. Nilai modulus elastisitas dan angka Poissons dapat diaplikasikan di dalam rentang-tegangan yang umum dalam pekerjaan (0 sampai 40% dari kuat beton ultimate), boleh dipakai dalam mengukur bagian struktur yang bertulang maupun tidak bertulang, menetapkan jumlah tulangan (atau fiber) dan menghitung tegangan untuk regangan tertentu.

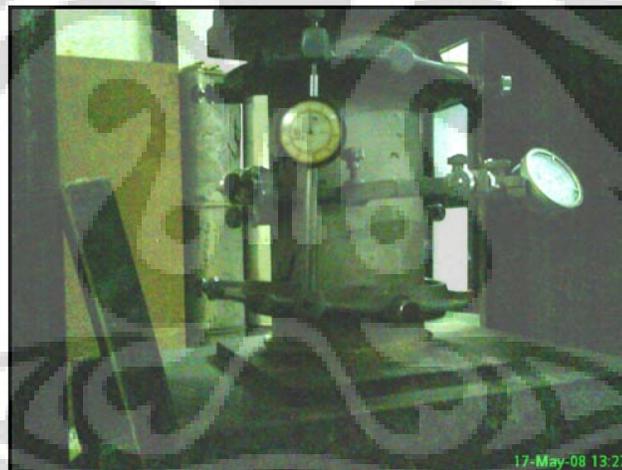
#### Test Specimen

1. *Molded Cylindrical Specimen.* Test silinder dicetak sesuai dengan persyaratan untuk specimen compression test dalam Practice C 192 atau dalam Practice 31. Specimen harus memenuhi kondisi curing tertentu dan ditest pada umur dimana informasi elastisitas diinginkan. Specimen harus ditest dalam waktu 1 jam sesudah dikeluarkan dari tempat curing.
2. Ujung-ujung specimen harus dibuat tegak lurus ( $\pm 0.5^\circ$ ) dan datar (ketetapan 0.002 in). Jika specimen pada waktu dicetak tidak memenuhi kedataran dapat dibuat tutup (cap) sesuai dengan Practice C 167 atau

dengan melapis atau dikikir. Agregat yang mengucur yang terjadi di ujung specimen boleh diperbaiki bila luas total cacat tidak lebih dari 10% luas specimen dan perbaikan dilakukan sebelum penutupan atau pengikiran. Jika dipakai jarum putar sebagai pengukur untuk mengukur deformasi longitudinal, sebaliknya di set lagi sebelum tiap-tiap pembebanan, sehingga indikator melewati titik nol pada strain longitudinal seperlimapuluh juta.

3. Diameter dari specimen harus diukur dengan jangka sorong sampai ketelitian 0,01 in (0,25 mm) dengan merata-ratakan dua diameter yang diukur tegak lurus sesamanya, didekat pertengahan panjang specimen. Diameter rata-rata ini dipakai untuk menghitung luas penampang. Panjang specimen cetak, termasuk tutupnya, diukur dan dilaporkan sampai ketetapan 0,1 in (2,54mm).

Berikut adalah prosedur pengujian ME:



**Gambar 3.5.** Pengujian Modulus Elastisitas Beton

- Specimen diambil dari tambahan untuk menetapkan kuat tekan, sesuai dengan test method C39, sebelum test modulus elastisitas.
- Pada specimen dipasang pengukur strain di atas pelat bawah atau blok penahan atas yang dipasang secara melingkar. Perhatikan pembacaan pada indikator strain. Sementara blok spherical pelan-pelan dipasang untuk menahan specimen, putarlah bagian yang dapat bergerak dengan pelan-pelan menggunakan tangan sehingga letaknya seragam.

- Bebani specimen sebanyak 3 kali dan baca pembacaan pada pengukur strain. Pembebanan dilakukan secara kontinu dan mesin tidak berhenti.
- Catat beban yang diberikan dan strain longitudinal dititik (1) waktu strain longitudinal sama dengan seperlima puluh juta dan (2) bila beban sama dengan 40% beban ultimate.
- Dalam hal ini, yang dimaksud dengan strain longitudinal adalah total deformasi longitudinal dibagi dengan panjang efektif jarum pengukur. Jika akan menghitung Poisson's ratio catat transverse strain di titik-titik yang sama. Jika diinginkan grafik load-strain, catat pembacaan di dua titik tanpa menghentikan pembebanan. Sesaat setelah mencapai beban maksimum, kurangi beban sampai mencapai nol dengan laju yang sama dengan pembebanan. Selesaikan dahulu satu siklus baru diulang.
- Hitung modulus elastisitas, sampai ketepatan 50000 *psi* (344,74MPa) sebagai berikut:

$$E = (S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0,000050)$$

Dimana  $E$  = Modulus Elastisitas

$S_2$  = stress pada 40% beban ultimate

$S_1$  = stress pada longitudinal strain,  $\epsilon_1$ , mencapai seperlima puluh juta, *psi*

$\epsilon_2$  = strain longitudinal yang disebabkan oleh  $S_2$

- Hitung Poisson's ratio, sampai etelitian 0,01, sebagai berikut:

$$\mu = (\epsilon_{t2} - \epsilon_{t1}) / (\epsilon_2 - 0,000050)$$

Dimana  $\mu$  = Poisson's ratio

$\epsilon_{t2}$  = transverse strain di tengah panjang specimen yang disebabkan oleh stress  $S_2$

$\epsilon_{t1}$  = transverse di tengah panjang specimen yang disebabkan oleh stress  $S_2$

## BAB IV

### HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil serta analisa dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan.

#### 4.1. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP AGREGAT

##### 4.1.1. Hasil dan Analisa Pengujian Terhadap Agregat Kasar

##### 1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar (ASTM C127-04)

Dari percobaan specific gravity dan absorpsi, didapat hasil sebagai berikut:

**Tabel IV.1.** Hasil Percobaan Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar

	Nilai Rata-Rata		% beda
	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam	
SSD	2,778	2,604	6.682028
Apparent Specific Gravity	3,860	3,266	18.18739
Presentase Absorpsi	13,67%	3,62%	277.6243

Dari hasil di atas, dapat dilihat bahwa berat jenis dari agregat daur ulang tidaklah terlalu berbeda dengan agregat alam. Hanya saja, pada presentase absorpsi, ternyata agregat daur ulang memiliki tingkat penyerapan yang cukup tinggi dibandingkan dengan agregat alam. Hal ini terjadi karena kondisi agregat daur ulang yang cenderung porous, terutama pada bagian di mana agregat tersebut melekat dengan pasta semen. Tingkat porositas yang tinggi inilah yang dapat menyebabkan beton yang dihasilkan menjadi kurang kuat.

##### 2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C29/29M-97)

Nilai berat isi agregat bergantung pada tiga hal, yaitu bentuk agregat, tekstur agregat, serta cara pemadatannya. Pemeriksaan terhadap berat isi agregat menunjukkan hasil sebagai berikut:

**Tabel IV.2.** Hasil Percobaan Berat Isi Agregat Kasar

Perlakuan	Berat Isi (kg/dm <sup>3</sup> )		% beda
	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam	
Lepas	1.204	1.380	12.7536
Dengan Penusukkan	1.253	1.428	12.2549
Dengan Penggoyangan	1.213	1.437	15.588

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa berat isi dari agregat daur ulang lebih kecil dibandingkan dengan agregat alam. Hal ini berkaitan dengan bentuk agregat yang tidak teratur serta tekstur agregat yang bergelombang sehingga ketika dipadatkan, masih terdapat banyak rongga udara yang tersisa. Akibatnya beton yang dihasilkan menjadi kurang kompak dibandingkan dengan beton dengan agregat alam.

3. Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (ASTM C131-03)

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan berat bahan aus lewat saringan no.12 terhadap berat semula, dalam persen. Dari pengujian ini, didapat hasil sebagai berikut:

Tabel IV.3. Hasil Percobaan Los Angeles

	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Keausan	$\frac{5000 - 2939}{5000} \times 100\% = 41,22\%$	$\frac{5000 - 4046}{5000} \times 100\% = 19,08\%$

Dapat dilihat bahwa kondisi agregat daur ulang sangatlah rapuh, dimana terdapat 41,22% agregat yang lolos saringan No.12. Dengan kondisi seperti ini, apabila agregat kasar daur ulang ini digunakan untuk pembuatan beton (tanpa ada komposisi agregat alam), maka hanya mampu untuk menghasilkan mutu beton B atau kelas I saja.

Tingginya tingkat kelolosan ini juga disebabkan karena agregat yang diujikan sebenarnya telah menyatu dengan pasta semen yang mengeras, yang ketika dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles pasta semen ini akan mudah tergerus, padahal pasta semen ini dihitung sebagai berat benda yang diuji (5000gram). Dengan demikian, dari pengujian ini dapat dilihat juga bahwa agregat daur ulang ini telah mengandung cukup banyak pasta semen.

4. Analisa Saringan Agregat Kasar (ASTM 136-05)

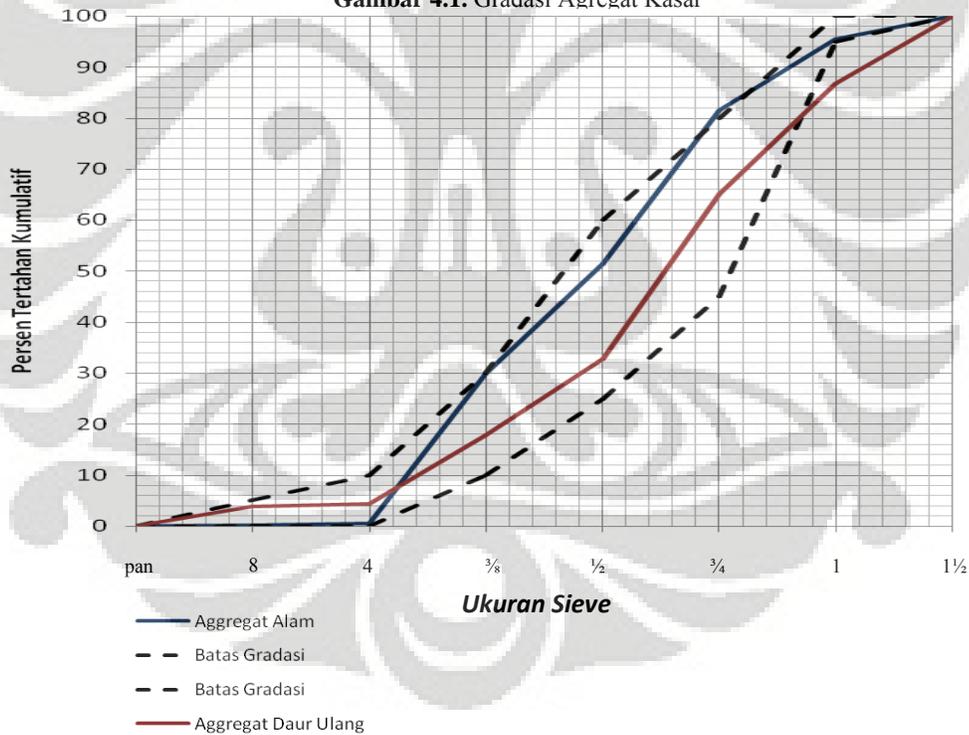
Tujuan dari analisa saringan ini adalah untuk mengetahui gradasi dari anggregat yang diujikan, kemudian menentukan apakah agregat tersebut

memenuhi syarat untuk menghasilkan workability yang memadai. Hasil ayakan agregat kasar alam dan agregat kasar daur ulang dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel IV.4.** Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Sieve	Daur Ulang				Alam			
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lewat	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lewat
1½	0	0	0	100	0	0	0	100
1	663	13.26	13.26	86.74	230	4.6	4.6	95.4
¾	1085	21.7	34.96	65.04	695	13.9	18.5	81.5
½	1610	32.2	67.16	32.84	1500	30	48.5	51.5
⅜	749	14.98	82.14	17.86	1080	21.6	70.1	29.9
4	673	13.46	95.6	4.4	1468	29.36	99.46	0.54
8	27	0.54	96.14	3.86	20	0.4	99.86	0.14
pan	193	3.86	100	0	7	0.14	100	0

**Gambar 4.1.** Gradasi Agregat Kasar



Dari hasil analisa saringan di atas, terlihat bahwa sebaran agregat kasar daur ulang kurang merata dibandingkan dengan agregat kasar alam. Berdasarkan *Grading Requirement in Normal Weigth Concrete* (tabel II.5), dapat dilihat pada agregat daur ulang, terdapat penyimpangan pada persen

tertahan di sieve No.1, dimana ukuran agregat kasar daur ulang terkonsentrasi pada ukuran  $\geq \frac{1}{2}$  in. Namun juga terdapat presentase besar yang tertahan di pan. Hal ini dikarenakan adanya pasta semen yang menjadi halus ketika benda uji digetarkan dengan mesin sieve analysis.

Sedangkan untuk agregat kasar alam, secara umum gradingnya sesuai dengan persyaratan, dan penyimpangan kecil hanya terjadi pada saringan  $\frac{3}{4}$ , di mana agregat yang lewat saringan sedikit lebih banyak daripada kebutuhan grading.

#### 4.1.2. Hasil dan Analisa Pengujian Terhadap Agregat Halus

##### 1. Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus (ASTM C 128-04)

Hasil percobaan specific gravity dan absorpsi adalah sebagai berikut :

**Tabel IV.5.** Perhitungan Data Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus

	Nilai Rata-Rata		% beda
	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam	
SSD	2,582	2,580	0.077519
Apparent Specific Gravity	2,626	2,602	0.922367
Presentase Absorpsi	1,011 %	0,604 %	67.38411

Seperti halnya dengan pengujian specific gravity agregat kasar, nilai SG dari agregat halus daur ulang lebih tinggi dibandingkan dengan agregat alam. Namun nilai ini tidak terlalu jauh dibandingkan dengan agregat alam. Sedangkan nilai absorpsi pada agregat halus daur ulang terlihat cukup lebih besar daripada agregat halus alam.

##### 2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat (ASTM C29/29M-97)

Pemeriksaan terhadap berat isi agregat adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.6.** Perhitungan Data Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Perlakuan	Berat Isi (kg/dm <sup>3</sup> )		% beda
	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam	
Lepas	1,468	1,3693	7.208063
Dengan Penusukkan	1,566	1,4482	8.134236
Dengan Penggoyangan	1,551	1,516	2.308707

Berat isi dari agregat daur ulang cenderung lebih besar daripada agregat alam, baik dengan metode lepas, penusukkan, maupun penggoyangan. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus daur ulang memiliki tekstur

permukaan yang lebih halus sehingga lebih mudah dipadatkan dan menyebabkan berkurangnya rongga-rongga udara. Namun perlu diperhatikan bahwa kehalusan tersebut mungkin diakibatkan oleh kandungan semen yang ada.

### 3. Analisa Saringan Agregat Halus (ASTM C136-05)

Pada analisa saringan agregat halus, didapatkan hasil yang menentukan agregat halus tersebut termasuk ke dalam zona berapa, yang kemudian dari klasifikasi zona tersebut dapat ditentukan secara umum sifat-sifat agregat halus yang diujikan. Selain menentukan jenis agregat halus, dari pengujian analisa saringan, diperoleh juga data mengenai fine modulus (FM) atau angka kehalusan pasir.

**Tabel IV.7.** Hasil Percobaan Analisa Saringan Agregat Halus

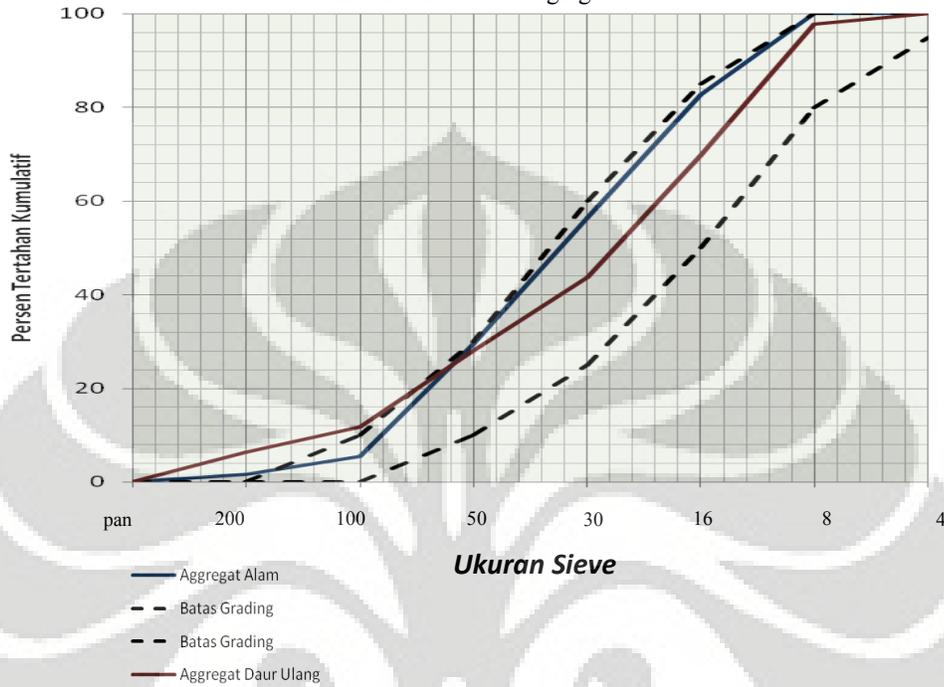
Ukuran Sieve	Daur Ulang				Alam			
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lewat	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	% Kumulatif Lewat
4	0	0	0	100	0	0	0	100
8	11	2.2	2.2	97.8	0	0	0	100
16	139.67	27.93	30.13	69.87	86.67	17.33	17.33	82.67
30	130.67	26.13	56.27	43.73	130.67	26.13	43.47	56.53
50	78.33	15.67	71.93	28.07	136	27.2	70.67	29.33
100	81.33	16.27	88.2	11.8	119.33	23.87	94.53	5.47
200	27.67	5.53	93.73	6.27	19.33	3.87	98.4	1.6
pan	31.33	6.27	100	0	8	1.6	100	0
FM	2.487				2.26			

Dari tabel perolehan data di atas dan memperbandingkannya dengan tabel II.6, dapat dilihat bahwa agregat halus alam dapat dikategorikan dalam zona 2 sedangkan agregat halus daur ulang tidak dapat dikategorikan dalam zona manapun. Berdasarkan *ASTM Requirement*, dapat dilihat dari gambar 4.2 bahwa agregat halus alam memenuhi persyaratan grading sedangkan agregat halus daur ulang tidak.

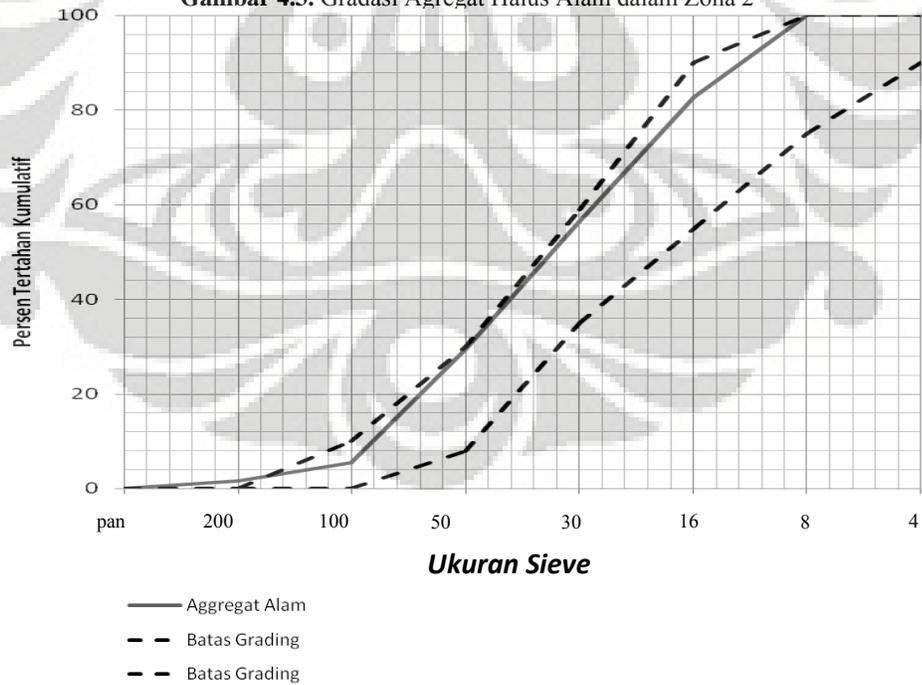
Dengan demikian, untuk mendapatkan gradasi yang baik, maka dalam campuran beton tidak dapat digunakan agregat daur ulang saja, melainkan harus ada kombinasi dengan agregat alam untuk mendapatkan persyaratan

grading yang sesuai, sehingga rongga-rongga antar agregat kasar dapat terisi dan meningkatkan workability dari beton.

**Gambar 4.2.** Gradasi Agregat Halus



**Gambar 4.3.** Gradasi Agregat Halus Alam dalam Zona 2



Sedangkan berdasarkan fineness modulus, dapat dilihat bahwa agregat halus daur ulang memiliki kekasaran yang lebih tinggi daripada agregat halus alam.

#### 4. Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 (ASTM C117-04)

Pada analisa pemeriksaan bahan lewat saringan No.200, didapat hasil sebagai berikut :

**Tabel IV.8.** Hasil Percobaan Bahan Lewat Saringan No. 200

Sampel	Bahan Lewat Saringan no. 200 (%)
Agregat Alam	4.6
Agregat Daur Ulang	7.5

Dari hasil di atas, dapat dilihat bahwa pada agregat daur ulang, terdapat kadar lumpur yang lebih besar dibandingkan dengan agregat alam. Hal ini terjadi karena agregat daur ulang yang diambil memang berasal tempat pembuangan limbah sehingga telah tercampur dengan tanah. Dengan demikian, pada saat setelah pengambilan limbah agregat dan sebelum penggunaan, sebaiknya dilakukan pembersihan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar agregat tersebut.

#### 4.2. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP BETON SEGAR (FRESH CONCRETE)

Pengujian yang dilakukan pada fresh concrete adalah dengan melakukan *slump test*. Pada perhitungannya, diharapkan beton yang dihasilkan memiliki tinggi slump  $10 \pm 2$  cm. Hasil pengujian slump test untuk berbagai tipe komposisi adalah berkisar antara 8 cm hingga 10 cm, di mana besarnya nilai slump yang dihasilkan masih sesuai dengan perencanaan. Namun perlu diperhatikan bahwa guna mendapatkan beton dengan slump yang diinginkan, pada proses pencampuran beton terjadi penambahan air sebanyak 500 hingga 1000gram, untuk 1 kali mix (6 silinder). Berikut adalah jumlah penambahan air yang terjadi :

**Tabel IV.9.** Komposisi Semen dan Air yang Direncanakan dan yang Dikerjakan

	Komposisi Campuran Beton yang Direncanakan (untuk 6 silinder/1 kali mix), kg							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Cement	11.390	11.416	11.441	11.493	10.794	10.820	10.794	10.820
Water	6.076	6.090	6.103	6.130	5.758	5.772	5.758	5.772
W/C Ratio	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533	0.533

Komposisi Campuran di Lapangan (untuk 6 silinder/1 kali mix),kg								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Cement	11.390	11.416	11.441	11.493	10.794	10.820	10.794	10.820
Water	6.076	6.090	7.103	7.130	6.758	6.772	6.758	6.772
W/C Ratio	0.533	0.533	0.621	0.620	0.626	0.626	0.626	0.626

Penambahan air ini tentunya akan menghasilkan kekuatan beton yang berbeda dari yang sudah direncanakan, sebab nilai *strength* yang akan dihasilkan tidak lagi menjadi optimum. Dengan menggunakan persamaan awal dalam menentukan W/C ratio, yaitu  $\sigma_{28} = -113 + 214 \%$ , di mana  $\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1 - t.v}$  (baca bab 3.5), maka dapat diperkirakan nilai kuat tekan yang mungkin didapat akibat perubahan mix desain tersebut, yaitu:

**Tabel IV.10.** Perkiraan Nilai Kuat Tekan akibat Penambahan Rasio W/C

Komposisi Campuran Beton yang Direncanakan (untuk 6 silinder/1 kali mix), kg								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\sigma_{ts}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	288	288	288	288	288	288	288	288
$\sigma_{ds}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	250	250	250	250	250	250	250	250
Komposisi Campuran di Lapangan (untuk 6 silinder/1 kali mix),kg								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\sigma_{ts}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	288.16	288.15	231.70	231.95	228.80	228.92	228.81	228.92
$\sigma_{ds}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	250	250	201.01	201.23	198.50	198.60	198.50	198.60
% Penurunan	0	0	19.60	19.52	20.60	20.56	20.60	20.56

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa untuk komposisi III-VIII akan ada penurunan kekuatan berkisar 20%. Namun penurunan kekuatan ini tidak akan terjadi apabila memang pada saat pencampuran dibutuhkan penambahan air, yaitu misalnya akibat beton yang dihasilkan masih terlalu kental dan tidak *workable*, yang dapat disebabkan karena tingginya kandungan semen pada agregat daur ulang sehingga beton memang membutuhkan penambahan air untuk menyeimbangkan rasio W/C, atau juga pada saat pengecoran, keadaan agregat terlalu kering (bukan kondisi SSD) sehingga perlu penambahan air.

#### 4.3. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TERHADAP BETON YANG TELAH MENGERAS

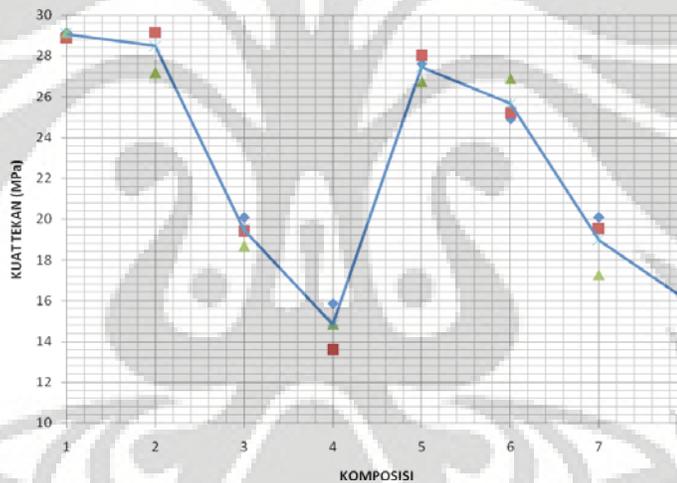
Pada beton yang telah mengeras, dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah serta Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio. Data dari pengujian ini ditabulasikan kemudian dibandingkan dengan pengaruh penambahan agregat daur ulang.

### 4.3.1. Analisa Kuat Tekan

Berikut adalah hasil kuat tekan beton untuk masing-masing tipe komposisi:

Tabel IV.11. Hasil Kuat Tekan Masing-Masing Komposisi

Komposisi	Komposisi				fc' 28 hari (MPa)	Penurunan Kekuatan (acuan komposisi I) (%)
	AKDU	AKA	AH DU	AHA		
I	0%	100%	0	100%	29.06346	0
II	0%	100%	25%	75%	28.49729	1.948051948
III	0%	100%	50%	50%	19.49752	34.44805195
IV	0%	100%	100%	0%	14.82661	51.1038961
V	25%	75%	0	100%	27.45931	5.519480519
VI	25%	75%	25%	75%	25.66643	11.68831169
VII	50%	50%	0	100%	18.96674	34.74025974
VIII	50%	50%	25%	75%	15.99434	44.96753247



Gambar 4.4. Kuat Tekan 28 Hari Masing-Masing Komposisi

#### Pengaruh Penggunaan Agregat Daur Ulang terhadap Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian Kuat Tekan Beton diperlihatkan pada tabel IV.11., dimana pada umumnya penggunaan agregat daur ulang akan mengurangi kuat tekan dari beton yang dihasilkan.

Jika dilihat pengaruh penggunaan agregat kasar daur ulang, dapat ditinjau komposisi V dan VII dimana tidak digunakan agregat halus daur ulang dan hanya terjadi perubahan komposisi pada agregat kasar daur ulang. Dari tabel IV.11., dapat dilihat bahwa pada komposisi V, akibat penambahan agregat kasar daur ulang sebanyak 25%, maka penurunan kuat tekan yang

terjadi adalah 5,52%. Sedangkan pada komposisi VII dimana penggunaan agregat kasar daur ulang adalah 50%, terjadi penurunan kekuatan yang cukup drastis, yaitu 34,74%.

Untuk pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang, dapat ditinjau pada komposisi II, III, dan IV, dimana tidak digunakan agregat kasar daur ulang dan hanya terjadi perubahan komposisi pada agregat halus daur ulang. Dari tabel IV.11., dapat dilihat bahwa pada komposisi II, penurunan kekuatan yang terjadi tidak terlalu signifikan, yaitu hanya 1,95%. Pada komposisi III, dimana digunakan 50% agregat halus daur ulang, terdapat penurunan kekuatan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 34,45%. Kondisi penurunan yang lebih drastis terlihat pada komposisi IV, yaitu penggunaan 100% agregat halus daur ulang hingga, dimana penurunan kekuatan yang terjadi mencapai 51,10%.

Dari delapan komposisi yang telah diujikan ini, terdapat empat komposisi yang memenuhi *target strength* yang diinginkan. Komposisi tersebut adalah komposisi I, yang merupakan komposisi acuan (tanpa penggunaan agregat daur ulang), komposisi II, dimana agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar alam dan digunakan 25% agregat halus daur ulang; komposisi V, di mana agregat kasar daur ulang yang digunakan adalah 25% dan tidak menggunakan agregat halus daur ulang; komposisi VI, yaitu penggunaan agregat kasar daur ulang 25% dan agregat halus daur ulang 25%.

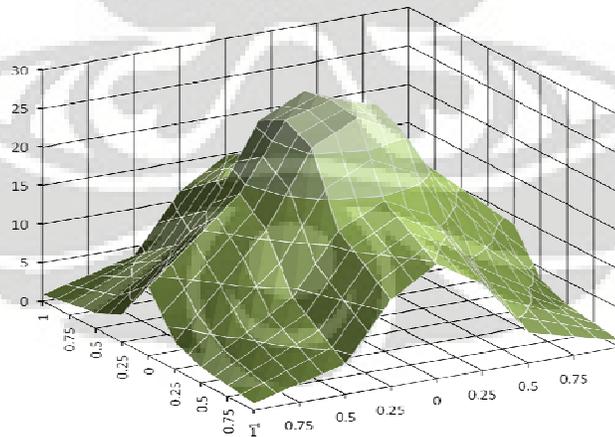
Dengan demikian, besarnya persentase agregat kasar daur ulang yang dapat digunakan untuk mendapatkan mutu beton sesuai dengan *target strength* adalah 25%. Sedangkan persentase agregat halus daur ulang yang dapat digunakan untuk mendapatkan mutu beton sesuai dengan *target strength* jumlah 25%. Penggunaan agregat daur ulang, baik agregat kasar maupun agregat halus, yang hanya mencapai 25% ini tidak dapat dilepaskan dari mutu agregat daur ulang yang cenderung lebih rendah dari agregat alam.

Pertama, akan ditinjau dari kondisi agregat kasar daur ulang. Dari hasil analisa absorpsi agregat kasar, tingkat penyerapan agregat kasar daur ulang mencapai 13,67%. Tingginya daya serap ini dapat menyebabkan mineral yang mudah larut dalam air akan cepat hilang sehingga keawetan dari agregat akan berkurang. Hal inilah yang menyebabkan keawetan dari agregat kasar daur

ulang menjadi jauh berkurang, yang kemudian berpengaruh pada kuat tekan beton yang dihasilkannya. Selain itu, keausan agregat kasar daur ulang yang mencapai 41,22% menunjukkan bahwa apabila agregat ini digunakan pada pembuatan beton tanpa adanya campuran dengan agregat alam, maka beton tersebut hanya akan mampu mencapai mutu Kelas I saja.

Pada kondisi agregat halus daur ulang yang digunakan, agregat halus daur ulang ini memiliki kandungan semen yang cukup tinggi, di mana kandungan semen ini bukanlah agregat halus dan juga bukan bahan perekat antar agregat. Jadi, dengan kata lain, kandungan semen ini merupakan bahan yang tidak berfungsi. Ketika agregat daur ulang ini digunakan sebagai bahan pembuat beton, cenderung akan menurunkan kuat tekan dari beton, sebab kandungan semennya akan mengganggu proses penyatuan antara semen dengan agregat halus serta agregat kasar.

Kondisi-kondisi tersebut di ataslah yang menunjukkan bahwa agregat daur ulang ini menyebabkan beton yang dihasilkan tidak memiliki ketahanan terhadap *compression* yang kemudian akan menyebabkan beton lebih mudah runtuh ketika diberikan pembebanan. Hal ini pulalah yang menyebabkan persentase penggunaan agregat daur ulang untuk mendapatkan beton sesuai dengan *target strength*, baik agregat kasar maupun agregat halus, hanya hingga 25%.



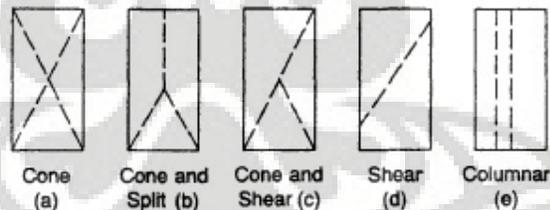
**Gambar 4.5.** Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Rasio Agregat Halus Daur Ulang dan Rasio Agregat Kasar Daur Ulang

Apabila dilihat dari persentase penurunan, dapat dilihat bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang akan cenderung lebih merugikan dan

mengurangi kuat tekan dari beton dibandingkan dengan penggunaan agregat halus daur ulang. Hal ini terjadi karena perbedaan properties yang jauh berbeda antara agregat kasar daur ulang dengan agregat kasar alam, antara lain tingkat penyerapan agregat kasar daur ulang yang mencapai 13,67% yang jauh berbeda dengan agregat kasar alam yang hanya 3,62% serta kondisi keausan agregat kasar daur ulang yang mencapai 41,22% yang jauh berbeda dari agregat kasar alam yang tingkat keausannya adalah 19,08%. Hal inilah yang menyebabkan penambahan persentase agregat kasar daur ulang sebagai bahan pembuat beton tentu akan secara signifikan mengurangi nilai kuat tekan dari beton yang dihasilkan sebab nilai kuat tekan dari beton sangat dipengaruhi oleh kualitas properties agregat kasar yang digunakan tersebut.

#### **Failure akibat Compression dan Hubungannya dengan Agregat Daur Ulang**

Analisa lebih lanjut terhadap pengaruh penggunaan agregat daur ulang dapat diperlihatkan pada kondisi tipikal keruntuhan beton akibat penggunaan agregat kasar daur ulang (Gambar 4.7.) dan penggunaan agregat halus daur ulang (Gambar 4.8.) berdasarkan ASTM C 39-03 yang menunjukkan lima jenis pola retak sebagai berikut :



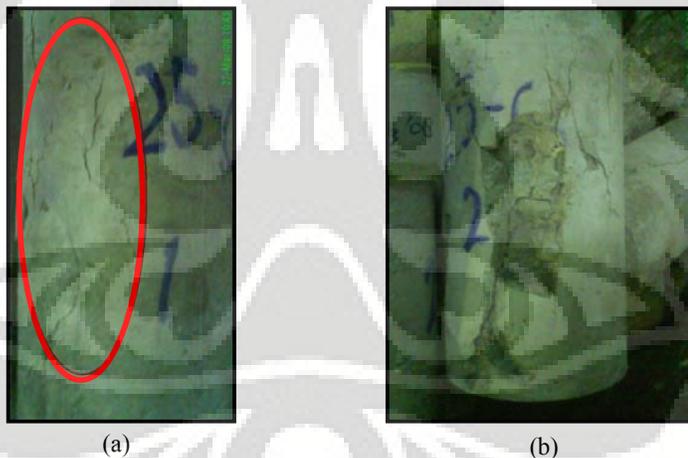
**Fig. 1: Sketches of types of fracture**

**Gambar 4.6.** Tipe Pola Retak

Akibat penambahan agregat kasar daur ulang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7., dapat dilihat bahwa baik komposisi V maupun komposisi VII pada umumnya memiliki pola retak *cone failure*. Hal ini dapat dilihat dari retak pertama yang terbentuk dari sisi atas silinder, kemudian membentuk garis dengan arah diagonal dan retakan memusat pada tengah silinder. Namun dapat dilihat pada gambar 4.7.(b), dimana retakan yang terjadi juga akibat geser. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan yang didapat telah

terpengaruhi oleh nilai kuat geser dari beton tersebut, sehingga terdapat kemungkinan bahwa kegagalan yang terjadi bukan murni akibat tekan, namun ada juga karena geser. *Failure* karena geser ini terjadi karena ketika pengujian, silinder beton tidak benar-benar tertahan pada sisi atas dan sisi bawahnya, namun terdapat sisi yang dapat bergeser, dalam hal ini adalah sisi bawah yang tidak diberi *caping*, sehingga ketika pembebanan berlangsung, beban dari atas maupun dari bawah silinder tidak bertemu dan justru beban menjadi terpusat pada satu sisi. Hal inilah yang dapat mengurangi nilai kuat tekan beton sebenarnya.

Pada gambar 4.7.(a), dimana digunakan 25% agregat kasar daur ulang, setelah pembebanan terdapat retak-retak di mana pada lokasi retak tersebut partikel-partikel beton menjadi terkelupas. Sedangkan pada gambar 4.7.(b), dimana digunakan agregat kasar daur ulang sebanyak 50%, kondisi terlepasnya agregat kasar daur ini terlihat cukup jelas, yang menunjukkan bahwa beton tersebut cukup rapuh.

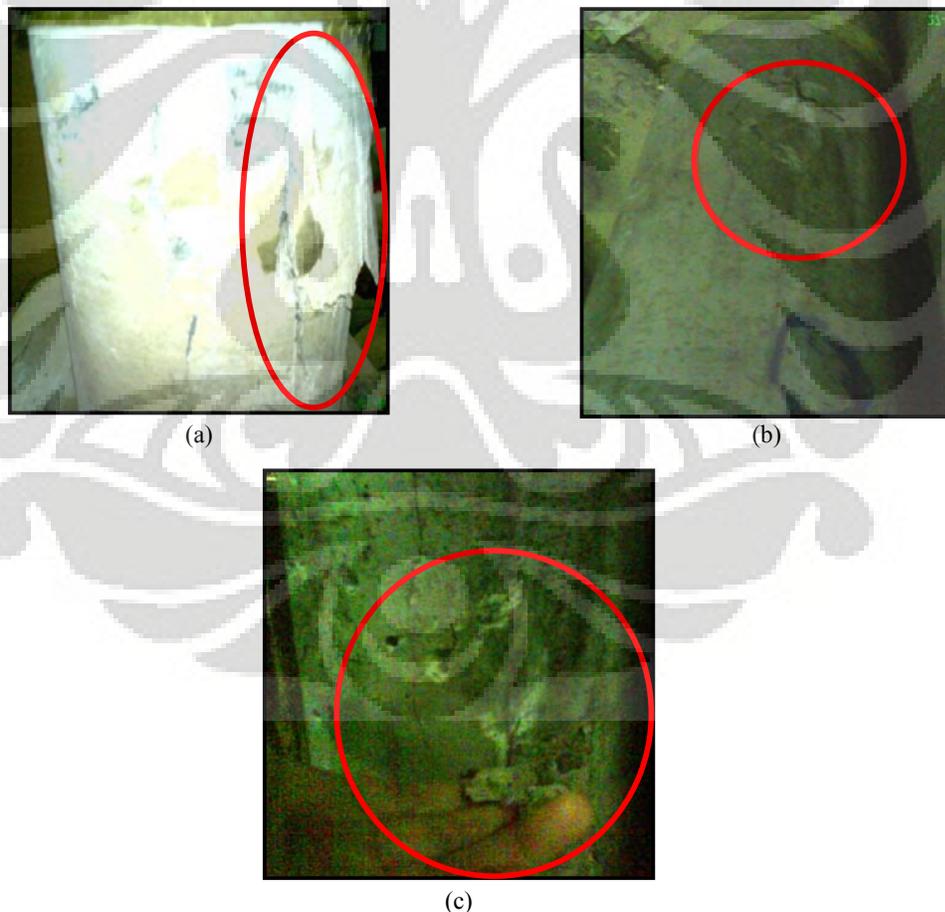


**Gambar 4.7.** Kondisi Retak akibat *Compression* pada Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang (a) Komposisi V (b) Komposisi VII

Sedangkan pada gambar 4.8., dapat dilihat bahwa baik komposisi II, III, maupun IV pada umumnya memiliki pola retak *cone failure*. Hal ini diamati dari garis retak yang mulanya terbentuk dari sisi atas silinder, kemudian membentuk garis diagonal dan terjadi retakan yang memusat pada

tengah silinder. Dengan demikian, hasil kuat tekan yang didapat memang merupakan kuat tekan yang sebenarnya.

Namun selain retak garis terlihat yang didefinisikan oleh ASTM C 39-03, terdapat juga adanya retak lain yang mungkin dipengaruhi oleh penggunaan agregat daur ulang. Pada Gambar 4.8.(a), yaitu penggunaan agregat halus daur ulang 25%, terlihat bahwa pada bagian permukaan beton ini terkuak sedikit namun tidak sampai terjadi coakan. Pada gambar 4.8.(b) dimana digunakan 50% agregat halus daur ulang, terdapat sebuah retakan yang cukup signifikan dimana partikel-partikel beton pada lokasi tersebut menjadi terlepas setelah pembebanan. Sedangkan pada gambar 4.7.(c) terlihat bahwa kondisi beton menjadi lebih rapuh dan pada lokasi sekitar retak, terdapat lebih banyak partikel-partikel beton yang lepas



**Gambar 4.8.** Kondisi Retak akibat *Compression* pada Beton dengan Menggunakan Agregat Halus Daur Ulang (a) Komposisi II (b) Komposisi III (c) Komposisi IV

Dengan demikian, dilihat dari kondisi keretakan yang didapat, penggunaan agregat daur ulang ini cenderung akan mengurangi kuat tekan dari beton sebab kondisi beton menjadi lebih rapuh. Hal ini terjadi karena memang kondisi agregat daur ulang yang kurang baik.

Pada agregat kasar daur ulang, bentuknya juga lebih bulat dan kondisi tekstur permukaannya cenderung lebih halus serta diselimuti oleh pasta semen. Hal inilah yang menyebabkan agregat sulit untuk diikat oleh mortar yang menjadikan ikatan antar agregatnya berkurang, sehingga partikel agregat ini menjadi mudah lepas dari beton tersebut, terlebih apabila diberikan pembebanan.

Sedangkan apabila digunakan agregat halus daur ulang, seperti yang telah dibahas sebelumnya, kondisinya yang mengandung semen tersebutlah yang menyebabkan adanya partikel tidak terpakai dalam campuran beton. Partikel yang bukan merupakan agregat halus dan juga bukan merupakan bahan pengikat inilah yang turut menyebabkan ikatan antar agregat menjadi berkurang sebab mengganggu proses pengikatan antara semen dengan agregat halus maupun dengan agregat kasar.

#### 4.3.2. Kuat Tarik Belah

Berikut adalah hasil pengujian kuat tarik belah:

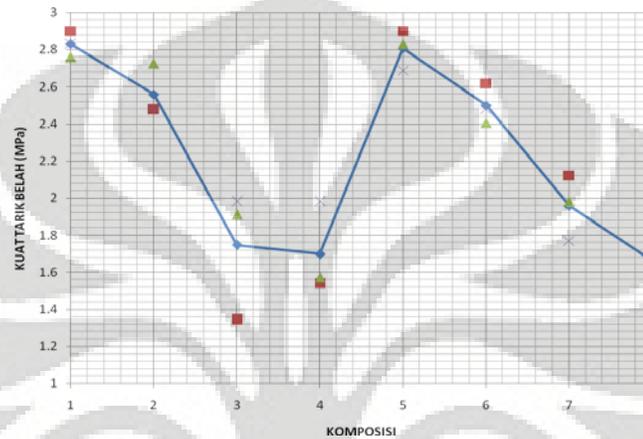
**Tabel IV.12.** Hasil Kuat Tarik Belah Masing-Masing Komposisi

Kompo- Sisi	Komposisi				f <sub>i</sub> (MPa)	Penurunan Kekuatan (Acuan Komposisi I), %
	AKDU	AKA	AH DU	AHA		
I	0%	100%	0	100%	2.830856	0
II	0%	100%	25%	75%	2.559566	9.58
III	0%	100%	50%	50%	1.745695	38.33
IV	0%	100%	100%	0%	1.698514	40
V	25%	75%	0	100%	2.807266	0.83
VI	25%	75%	25%	75%	2.50059	11.67
VII	50%	50%	0	100%	1.958009	30.83
VIII	50%	50%	25%	75%	1.663128	41.25

#### Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Agregat Daur Ulang

Dari tabel IV.12., dapat dilihat pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang pada kuat tarik beton, yang ditinjau pada komposisi II, III, dan IV,

dimana ketiga komposisi tersebut tidak menggunakan agregat kasar daur ulang. Pada komposisi II, dimana digunakan 25% agregat halus daur ulang, terjadi penurunan kuat tarik sebesar 9,58%. Pada komposisi III, dimana digunakan 50% agregat halus daur ulang, terjadi penurunan kekuatan hingga 38,33%. Dan pada komposisi IV, dimana digunakan 100% agregat halus daur ulang, penurunan kuat tarik yang terjadi mencapai 40%.



**Gambar 4.9.** Kuat Tarik Belah 28 Hari Masing-Masing Komposisi

Sedangkan pada pengaruh penggunaan agregat kasar daur ulang, akan ditinjau komposisi V, dan VII dimana tidak digunakan agregat halus daur ulang dan hanya terjadi perubahan komposisi pada agregat kasar daur ulang. Pada komposisi V, akibat penambahan agregat kasar daur ulang sebanyak 25%, maka penurunan kuat tarik yang terjadi adalah 0,83%. Sedangkan pada komposisi VII dimana penggunaan agregat kasar daur ulang adalah 50%, terjadi penurunan kuat tarik yang cukup drastis, yaitu 30,83%.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.10.** Pola Retak Tarik Belah Beton dengan Menggunakan Agregat Halus Daur Ulang (a) Komposisi II (b) Komposisi III (c) Komposisi IV

Gambar 4.10. menunjukkan pola retak pada pengujian kuat tarik belah pada beton yang menggunakan agregat halus daur ulang. Pada gambar 4.10.(a) dimana digunakan 25% agregat halus daur ulang, tampak belahan yang terjadi melewati agregat, namun terdapat bagian dimana terdapat agregat kasar yang tercoak. Pada gambar 4.10.(b) yaitu penggunaan 50% agregat halus daur ulang, belahan yang terjadi tidak melewati agregat dan terdapat lebih banyak coakan akibat lepasnya agregat kasar. Sedangkan pada gambar 4.10.(c), belahan yang terjadi semakin tidak rata dan tidak melewati agregat kasar.



(a)



(b)

**Gambar 4.11.** Pola Retak Tarik Belah Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang (a) Komposisi V (b) Komposisi VII

Kondisi keretakan beton dengan menggunakan agregat kasar daur ulang dapat dilihat pada gambar 4.11. Pada gambar 4.11.(a), yaitu penggunaan 25% agregat kasar daur ulang, belahan retak yang terjadi pada umumnya melewati agregat, walaupun terdapat juga bagian-bagian dimana belahan tidak melewati agregat. Sedangkan pada gambar 4.11.(b) dimana digunakan 50% agregat kasar daur ulang, belahan yang terjadi tidaklah rata dan tidak melewati agregat.

Dari hasil pengujian serta peninjauan dari pola retak yang ada, dapat dilihat bahwa pada umumnya kegagalan pada pengujian kuat tarik belah bukan terjadi pada terbelahnya agregat, melainkan akibat ikatan antara mortar dengan agregat yang tidak kuat pada beton yang menggunakan agregat daur ulang. Hal ini terlihat dari belahan yang tidak melewati agregat dari beton, namun melewati ikatan antar agregatnya.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa agregat daur ulang ini mengandung semen yang cukup banyak, terutama pada agregat halus daur ulang yang apabila dilihat dari analisa saringan agregat halus, terdapat 6,27% bagian yang lolos hingga pan, di mana material lolos ini adalah kandungan semen tsb. Kandungan semen pada agregat ini tidak dapat berfungsi, sebagaimana layaknya agregat halus alam, dalam mengisi rongga-rongga dalam beton. Selain itu, kandungan semen ini juga tidak dapat mengikat agregat kasar satu sama lain karena kandungan semen pada agregat ini telah mengalami masa setting sehingga tidak dapat kembali menjadi bahan perekat antar partikel beton dan sebaliknya, justru mengganggu proses pengikatan antara semen dengan agregat halus maupun dengan agregat kasar. Kurang terisinya rongga-rongga dalam beton dan tidak merekatnya agregat kasar satu sama lain inilah yang mengakibatkan kuat tarik belah beton menjadi menurun.

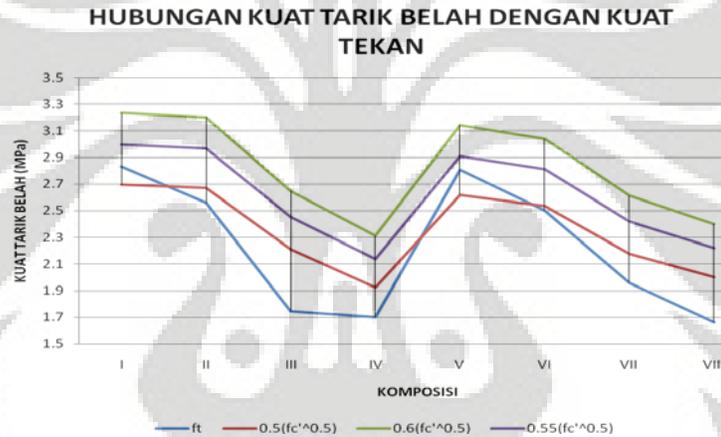
#### **Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan**

Berdasarkan rumus yang diberikan oleh ACI 318R (ACI, 2005) hubungan antara kuat tekan dengan kuat tarik belah ditentukan dengan persamaan  $0,5\sqrt{f_c'}$  hingga  $0,6\sqrt{f_c'}$ . Sedangkan berdasarkan SNI Beton 2002 Pasal 11.5.2.(3), hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah adalah  $0,56\sqrt{f_c'}$ .

Dengan demikian, perlu diperbandingkan antara hasil pengujian dengan rumus tersebut.

**Tabel IV.13.** Perbandingan Kuat Tarik Belah Hasil Percobaan dengan Rumus

	KOMPOSISI				ft (MPa)	fc' (MPa)	Hubungan ft dengan fc'			
	AKDU	AKA	AHDU	AHA			SNI (MPa)	KR (%)	ACI (MPa)	
									$0,5\sqrt{fc'}$	$0,6\sqrt{fc'}$
I	0%	100%	0	100%	2.83	29.06	2.99	5.48	3.23	2.69
II	0%	100%	25%	75%	2.56	28.50	2.97	13.69	3.20	2.67
III	0%	100%	50%	50%	1.74	19.50	2.45	28.84	2.65	2.21
IV	0%	100%	100%	0%	1.70	14.83	2.14	20.60	2.31	1.92
V	25%	75%	0	100%	2.81	27.46	2.91	3.57	3.14	2.62
VI	25%	75%	25%	75%	2.50	25.66	2.81	11.16	3.04	2.53
VII	50%	50%	0	100%	1.96	18.97	2.42	19.07	2.61	2.18
VIII	50%	50%	25%	75%	1.66	15.99	2.22	25.14	2.40	2.0



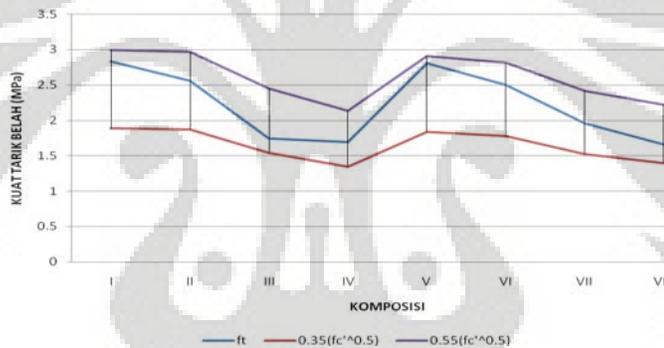
**Gambar 4.12.** Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan

Dari hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang diberikan oleh ACI 318R, dari delapan komposisi agregat daur ulang-agregat alam yang diujikan, hanya dua komposisi yang memenuhi hubungan tersebut, yaitu komposisi I (tanpa kandungan agregat daur ulang) dan komposisi II (25% agregat kasar daur ulang dan tanpa kandungan agregat halus daur ulang). Sedangkan berdasarkan SNI Beton 2002 Pasal **11.5.2.(3)**, hanya kedua komposisi tersebut pula yang memiliki perbedaan antara hasil pengujian dengan rumus hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang kurang dari 10%, dimana pada pengujian komposisi I terdapat perbedaan 5,48% dan pada komposisi V terdapat perbedaan 3,57%. Dengan demikian, dapat dilihat

bahwa komposisi yang memenuhi persamaan yang diberikan ACI 318R (ACI 2005) dan SNI Beton 2002 Pasal **11.5.2.(3)** adalah komposisi beton yang *tidak* menggunakan agregat halus daur ulang.

Tidak terpenuhinya kebutuhan kuat tarik belah berdasarkan hubungannya dengan kuat tekan tersebut akibat adanya penggunaan agregat halus daur ulang sama dengan analisa mengapa kuat tarik belah menurun seiring dengan bertambahnya komposisi agregat halus daur ulang, dimana hal ini disebabkan banyaknya kandungan semen pada agregat daur ulang yang mengakibatkan tidak terisinya rongga-rongga antar agregat kasar dan tidak merekatnya partikel agregat kasar satu dengan lainnya.

Dengan demikian, terdapat persamaan baru yang dapat memenuhi hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah beton dengan menggunakan agregat daur ulang. Persamaan tersebut adalah  $0.35\sqrt{f_c'}$  s.d.  $0.55\sqrt{f_c'}$ .



**Gambar 4.13.** Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton dengan Agregat Daur Ulang

#### 4.3.3. Analisa Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

Dari percobaan Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio, berikut adalah hasil yang didapat untuk Modulus Elastisitas :

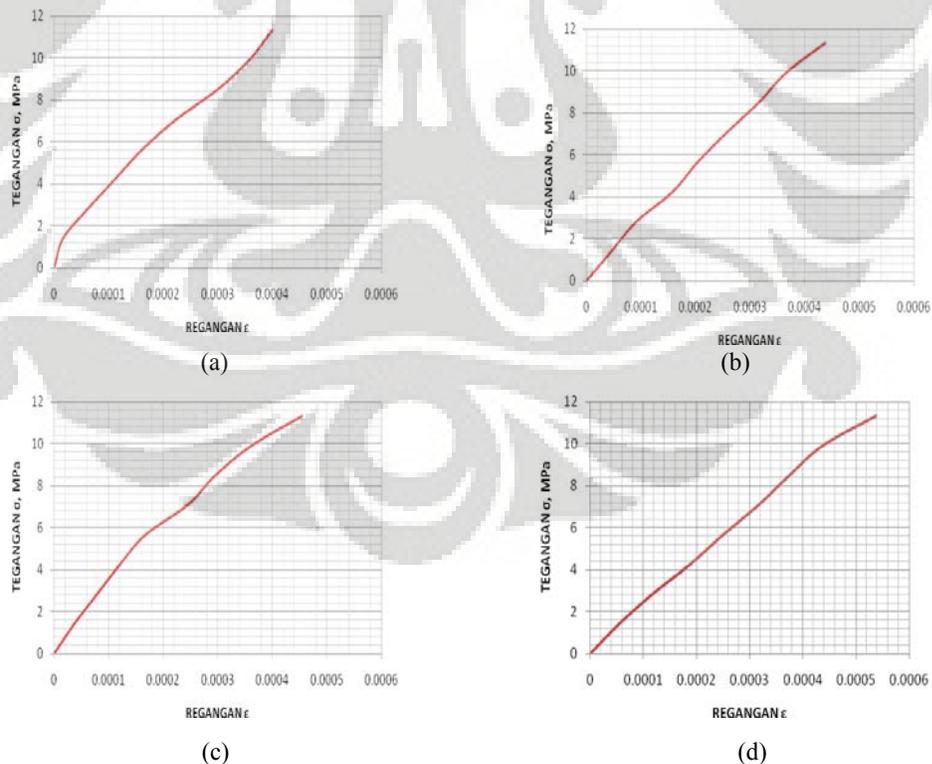
**Tabel IV.14.** Hasil Percobaan Modulus Elastisitas

Komposisi	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_2 - \epsilon_1$	$S_2$ (MPa)	$S_1$ (MPa)	$S_2 - S_1$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	Penurunan $E_c$ (Acuan Komposisi I), %	$E_c$ Teoritis (MPa)	KR (%)
I	0.00005	0.0004	0.00035	11.323	2.485	8.838	25253.04	0	25337.95	0.335
II	0.00005	0.000438	0.000388	11.323	1.573	9.751	25167.4	0.33913	25089.94	0.309
V	0.00005	0.000454	0.000404	11.323	1.769	9.554	23691.19	6.18479	24628.77	3.807
VI	0.00005	0.000538	0.000488	11.323	1.321	10.002	20524.98	18.7227	23811.16	13.801

### Hubungan Modulus Elastisitas dengan Agregat Daur Ulang

Besarnya nilai Modulus Elastisitas dari empat komposisi yang diujikan dapat dilihat pada tabel IV.14. Berkurangnya nilai Modulus Elastisitas yang signifikan, terutama pada komposisi V dan VI, dapat diakibatkan oleh kondisi agregat daur ulang yang digunakan, di mana teksturnya cenderung lebih halus dan permukaannya yang kurang kasar. Kondisi ini dapat menyebabkan ikatan antar agregat menjadi kurang sehingga partikel beton akan lebih mudah meregang apabila diberikan beban.

Pada grafik yang diperlihatkan oleh gambar 4.14., dapat dilihat bahwa semakin tinggi rendah Modulus Elastisitas, akan menghasilkan grafik yang lebih landai, dimana besarnya regangan maksimum ketika *failure* akan semakin besar seiring dengan menurunnya kuat tekan beton. Ini juga menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai Modulus Elastisitas, maka beton yang dihasilkan bersifat lebih getas. Dalam hal ini, komposisi yang memiliki kondisi yang paling getas adalah komposisi acuan, yaitu komposisi I, kemudian komposisi V, selanjutnya komposisi II, dan terakhir komposisi VI.



**Gambar 4.14.** Diagram Stress-Strain (a) Komposisi I (b) Komposisi II (c) Komposisi V (d) Komposisi VI

### Hubungan Modulus Elastisitas dengan Kuat Tekan

Pada tabel IV.14, dapat dilihat bahwa semakin kecil kuat tekan specimen beton, maka akan semakin kecil nilai Modulus Elastisitas. Hubungan ini juga sesuai dengan rumus nilai Modulus Elastisitas, yaitu  $4700\sqrt{f_c}$ . Dari rumus ini, terdapat perbedaan pada hasil percobaan dengan perhitungan rumus. Perbedaan yang signifikan terjadi pada komposisi VI, di mana kesalahan relatif mencapai lebih dari 13%. Hal ini juga terjadi karena kualitas agregat daur ulang yang kurang baik sehingga beton yang dihasilkan cenderung lebih rapuh dan cenderung lebih besar regangannya apabila diberikan pembebanan.

### Poisson Ratio

Tabel IV.15. Hasil Percobaan Poisson Ratio

Sampel	P <sub>1</sub> (kg)	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_2 - \epsilon_1$	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_1}$ (MPa)	$\mu$
I	4388.889	8.74E-06	0.000109	0.0001	0.00005	0.0004	0.00035	0.287028
II	2777.778	1.82E-05	0.000142	0.000124	0.00005	0.000438	0.000388	0.319886
V	3125	4.09E-06	0.000142	0.000138	0.00005	0.000454	0.000404	0.341236
VI	2333.333	1.53E-05	0.000158	0.000143	0.00005	0.000538	0.000488	0.292998

Sebagai perbandingan dengan ketentuan yang ada, nilai Poisson Ratio bervariasi dari 0,15 hingga 0,2, di mana apabila dilihat dari tabel IV.15, nilai Poisson Ratio yang didapat melebihi 0,2, ini menunjukkan bahwa regangan lateral yang terjadi pada specimen beton cukuplah besar. Hal ini terjadi juga karena kualitas agregat daur ulang yang kurang baik sehingga beton yang dihasilkan cenderung lebih rapuh dan cenderung lebih besar regangannya apabila diberikan pembebanan. Selain itu, pada umumnya nilai Poisson Ratio akan semakin besar seiring dengan kuat tekan beton yang makin kecil. Namun terdapat penyimpangan pada Komposisi VI, di mana nilai Poisson Ratio justru lebih kecil dibandingkan dengan semua sampel yang diuji, sedangkan nilai kuat tekan dari Komposisi VI adalah yang paling rendah. Penyimpangan-penyimpangan ini mungkin terjadi akibat kurang akuratnya pengukuran faktor koreksi ketika percobaan berlangsung.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut:

##### 1. Agregat Kasar Daur Ulang

Agregat kasar daur ulang memiliki tingkat absorpsi yang cukup tinggi, yaitu 13,67% dan keausan yang mencapai 41,22%. Maka dari hasil pengujian tersebut, apabila digunakan sebagai bahan pembuat beton (tanpa ada komposisi agregat alam), beton yang dihasilkan hanya akan mampu menghasilkan mutu beton kelas I saja.

##### 2. Agregat Halus Daur Ulang

Agregat halus daur ulang memiliki kandungan semen yang cukup tinggi. Hal ini dapat dilihat dari pengujian Analisa Saringan, persentase agregat yang lolos saringan No. 200 mencapai 6,27%, dimana bahan yang lolos ini merupakan kandungan semen. Selain itu, dari hasil pengujian Bahan Lewat Saringan No.200, persentase yang lewat mencapai 7,5%. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kandungan organik yang cukup banyak pada agregat halus daur ulang.

##### 3. Komposisi yang Memenuhi *Target Strength*

Berdasarkan pengujian Kuat Tekan, dapat dilihat pada tabel **IV.11.** bahwa dari delapan komposisi yang diujikan, terdapat *empat* komposisi yang memenuhi target strength ( $f_c' 25MPa$ ). Dengan acuan kuat tekan komposisi I (tanpa kandungan agregat daur ulang) sebesar  $29,06MPa$ , komposisi yang memenuhi *target strength* tersebut adalah komposisi II (0% agregat kasar daur ulang dan 25% agregat halus daur ulang) dengan  $f_c'$  sebesar  $28,50MPa$ , komposisi V (25% agregat kasar daur ulang dan 0% agregat halus daur ulang) dengan  $f_c'$  sebesar  $27,46MPa$ , dan komposisi VI (25% agregat kasar daur ulang dan 25% agregat halus daur ulang) dengan  $f_c'$  sebesar  $25,67MPa$ .

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa persentase agregat kasar daur ulang yang dapat digunakan untuk memperoleh beton sesuai dengan *target*

*strength* adalah 25% dan persentase agregat halus daur ulang yang dapat digunakan untuk memperoleh beton sesuai dengan *target strength* juga 25%.

Persentase penggunaan yang kecil ini tidak terlepas dari sifat material agregat kasar daur ulang yang memiliki tingkat absorpsi yang tinggi serta tingkat keausan yang cukup tinggi, dan juga kondisi agregat halus daur ulang yang memiliki kandungan semen yang tinggi, dimana kandungan semen ini merupakan bahan yang tidak terpakai dalam campuran beton. Kondisi agregat yang demikian ini akan menghasilkan beton yang tidak memiliki ketahanan terhadap *compression*.

#### 4. Hubungan Kuat Tekan dengan Penggunaan Agregat Daur Ulang

Pada hubungan kuat tekan dengan penggunaan agregat daur ulang, dapat dilihat pada tabel **IV.11.**, Jika dilihat pengaruh penggunaan agregat kasar daur ulang, dengan mengacu pada komposisi I (tanpa penggunaan agregat daur ulang), akibat penambahan agregat kasar daur ulang sebanyak 25% (komposisi V) penurunan kuat tekan yang terjadi adalah 5,52%. Untuk pengaruh penggunaan agregat halus daur ulang, dengan mengacu pada komposisi I (tanpa penggunaan agregat daur ulang) dapat dilihat bahwa penggunaan agregat halus daur ulang sebanyak 25% akan menyebabkan penurunan kuat tekan sebesar 1,95%.

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang akan cenderung lebih merugikan dan menurunkan kuat tekan beton dibandingkan dengan penggunaan agregat halus daur ulang. Hal ini disebabkan karena perbedaan mutu antara agregat kasar daur ulang yang cukup jauh dengan agregat kasar alam, yang dapat dilihat dari tingkat absorpsi dan tingkat keausannya, sehingga penggunaannya tentu akan mengurangi kuat tekan beton yang dihasilkan.

#### 5. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Penggunaan Agregat Daur Ulang

Berdasarkan pengujian Kuat Tarik Belah, hubungan kuat tarik belah dengan penggunaan agregat daur ulang dapat dilihat pada tabel **IV.12.** Dengan mengacu pada komposisi I (tanpa penggunaan agregat daur ulang), penggunaan 25% agregat kasar daur ulang (komposisi V) akan menyebabkan penurunan kuat tarik belah sebesar 0,83% dan penggunaan 50% agregat kasar

daur ulang (komposisi VII) akan mengakibatkan penurunan kekuatan sebesar 30,83%. Untuk penggunaan agregat halus daur ulang, dengan mengacu pada komposisi I, penggunaan 25% agregat halus daur ulang (komposisi II) akan mengakibatkan penurunan kuat tarik belah sebesar 9,58% dan penggunaan 50% agregat halus daur ulang (komposisi III) akan mengakibatkan penurunan kekuatan sebesar 38,33%.

Apabila dilihat dari persentase penurunan tersebut, dapat dilihat bahwa penggunaan agregat halus daur ulang akan cenderung lebih mengurangi kuat tarik belah beton dibandingkan dengan penggunaan agregat kasar daur ulang. Hal ini tidak terlepas dari kondisi agregat halus daur ulang yang memiliki kandungan semen yang cukup banyak, dimana kandungan semen ini cenderung mengurangi ikatan antar agregat dengan mortar, yang kemudian akan mengurangi kuat tarik belah beton.

#### 6. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan

Dari hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang diberikan oleh ACI 318R, dari delapan komposisi agregat daur ulang-agregat alam yang diujikan, hanya dua komposisi yang memenuhi hubungan tersebut, yaitu komposisi I (tanpa kandungan agregat daur ulang) dan komposisi II (25% agregat kasar daur ulang dan tanpa kandungan agregat halus daur ulang). Sedangkan berdasarkan SNI Beton 2002 Pasal **11.5.2.(3)**, hanya kedua komposisi tersebut pula yang memiliki perbedaan antara hasil pengujian dengan rumus hubungan kuat tekan dengan kuat tarik belah yang kurang dari 10%, dimana pada pengujian komposisi I terdapat perbedaan 5,48% dan pada komposisi V terdapat perbedaan 3,57%.

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa komposisi yang memenuhi persamaan yang diberikan ACI 318R (ACI 2005) dan SNI Beton 2002 Pasal **11.5.2.(3)** adalah komposisi beton yang *tidak* menggunakan agregat halus daur ulang. Hal ini ikut menunjukkan bahwa penggunaan agregat halus daur ulang akan cenderung lebih menurunkan kuat tarik belah beton dibandingkan dengan penggunaan agregat kasar daur ulang.

#### 7. Pola Retak Pengujian Kuat Tarik Belah

Pada pengujian Kuat Tarik Belah, belahan yang terjadi pada umumnya tidak melewati agregat, namun melewati ruangan antar agregatnya. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan agregat daur ulang, ikatan antara mortar dengan agregat menjadi tidak kuat, yang selanjutnya menyebabkan kuat tarik belah dari beton menjadi berkurang.

#### 8. Modulus Elastisitas

Dari keempat komposisi yang diujikan pada pengujian Modulus Elastisitas yaitu komposisi I, II, V, dan VI, terlihat bahwa terdapat penurunan nilai modulus elastisitas yang signifikan pada komposisi V dan VI, dimana kedua komposisi ini menggunakan 25% agregat kasar daur ulang. Hal ini terjadi karena kondisi agregat kasar yang teksturnya cenderung lebih halus dan permukaannya yang kurang kasar. Kondisi ini dapat menyebabkan ikatan antar agregat dengan mortar menjadi kurang sehingga partikel beton akan lebih mudah meregang apabila diberikan beban.

#### 9. Poisson Ratio

Nilai Poisson ratio akan cenderung naik seiring dengan menurunnya kuat tekan dari beton.

### 5.2. SARAN

Telah diketahui bahwa dengan penggunaan agregat daur ulang, maka akan menurunkan kekuatan beton yang dihasilkan. Untuk mendapatkan hasil optimum, saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Mencuci agregat kasar daur ulang terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang mengurangi kekuatan beton dan yang tidak memberikan kontribusi dalam kekuatan beton, diantaranya partikel semen dan tanah yang menempel pada agregat daur ulang.
2. Menyaring kandungan semen dalam agregat halus daur ulang sebab kandungan semen pada agregat halus daur ulang ini cenderung mengurangi kekuatan beton yang akan dihasilkan.

3. Dalam pengujian Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio, harus diperhatikan mengenai faktor koreksi sebab sangat mempengaruhi hasil yang akan didapat.



## DAFTAR ACUAN

- [1] SUHARWANTO, Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang. Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Juni 2006.
- [2] W. CZERIN, *Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers* (London, Crosby Lockwood, 1962)
- [3] A.M. NEVILLE, Approximate Composition Limits of Portland Cement, *Properties of Concrete*, hal. 11 (London, 1981)
- [4] E.P FLINT and L.S. WELLS. Study of System CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at 30°C and the reaction of water on the anhydrous calcium silicates. *J.Res. Nat. Bur. Stand.*, **12**, No.687, hal.751-83 (1934)
- [5] SNI-15-7064-2004 (Semen Portland Komposit)
- [6] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BS EN 197-1:2000, Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements
- [7] E.KEMPSTER, Measuring void content: new apparatus for aggregates, sands and fillers, *Current Paper CP 19/69* (Building Research Station, Garston, May 1969)
- [8] F.A.SHERGOLD, The percentage voids in compacted gravel as measured of its angularity, *Mag.Concr.Res.*, No.13, hal. 3-10 (Aug.1953)
- [9] S. WALKER and D.L. BLOEM, Studies of flexural strength of concrete, Part 1 : Effects of different gavel and cements, *Nat. Ready Mixed Concr. Assoc. Joint Research Laboratory Publicn. No.3* (Washington D.C., July 1956)
- [10] B.W. SHACKLOCK, Comparison of gap- and continuously graded concrete mixes, *Cement Concr. Assoc. tech. Rep. TRA/240* (London, Sept 1959)
- [11] A.M. NEVILLE, BS and ASTM Grading Requirements for Fine Agregate, *Properties of Concrete*, hal. 11 (London, 1981)
- [12] D.S.I.R. BUILDING RESEARCH STATION, *Priciples of Modern Building* (London, H.M.S.O., 1959)
- [13] A.J. NEWMAN and D.C. ERNTROY, The workability of concrete mixes with  $\frac{3}{8}$  in.agregates, *Cement Concr. Assoc. Res. Rep. No.2* (London, June 1955)
- [14] W.H. GLANVILLE, A. R. COLLINS and D. D. MATTHEWS, The Grading of agregates and workability of concrete, Road Research Tech. Peper No.5, (London, H.M.S.O., 1947)

- [15] NATIONAL READY-MIXED CONCRETE ASSOCIATION, WASHINGTON DC.
- [16] ROAD RESEARCH : Design of concrete mixes, *D.S.I.R. Road Note No. 4* (London, H.M.S.O., 1950)
- [17] NATIONAL SAND AND GRAVEL ASSOCIATION, *Joint Tech. Information Letter No.155* (Washington D.C., 29th April 1959)
- [18] Discussion of paper by H.J. GILKEY: Water/cement ratio versus strength-another look, *J. Amer. Concr. Inst.*, hal. 1851 – 78 (Dec 1961, Part 2)
- [19] R. L'HERMITE, Idees actuelles sur la technologie du beton, *Institut technique du Batiment et des Travaux Publics* (Paris 1955)
- [20] R. JONES and E. N. GATFIELD., Testing concrete by an ultrasonic pulse technique, *Road Research Tech. Paper No. 34* (London, H. M. S. O., 1955)
- [21] R. JONES and M. F. KAPLAN, The effects of coarse agregate on the mode of failure of concrete in compression and flexure, *Mag. Concr. Res.*, Nop. 26, hal. 89 – 94 (August 1957)
- [22] C. PERRY and J. E. GILLOTT, The influence of mortar- agregate bond strength on the behavior of concrete in uniaxial compression, *Cement and Concrete Research*, 7, No.5, hal. 553 – 64 (Sept, 1977)
- [23] W. KUCZYNSKI, Wplyw kruszywa grubego na wytrzymaosc betonu (L'influence de l'emploi d'agregats gros sur la resistance du beton). *Achiwum Inzynieru Ladowej*, No.2, hal. 181 – 209 (1958)
- [24] S. WALKER and D. L. BLOEM, Studies of flexural strength of concrete, Part 3 : Effect of variation in testing procedures, *Proc. ASTM*, 57, hal. 1122 – 39 (1957)
- [25] US BUREAU OF RECLAMATION, "Concrete Manual", 8th Edition (*Denver, 1975*)

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing Materials. *Manual Book of ASTM Standards 2005: Vol.04.02, Concrete and Aggregate*. Philadelphia, ASTM 2005.
- American Concrete Institute. (2005). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)*. Farmington Hills, MI.
- Buku Pedoman Praktikum. *Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton* (Depok : Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil,1998).
- MacGregor, J.G., *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, N.J., 1997.
- Nawy, Edward G. 1985. *Reinforced Concrete, A Fundamental Approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Neville, AM. 1988. *Properties of Concrete*. Longman Scientific and Technical, Essex, England.
- Suharwanto. 2005. *Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang : Aspek Material – Struktural*. Departemen Sipil, Institut Teknologi Bandung
- Walker, S and D.L. Bloem. 1956. *Studies of Flexural Strength of Concrete*. Laboratory Public, Washington D.C.

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1. FOTO PENELITIAN

	
Kondisi Limbah Campuran Beton	Pemisahan Agregat Halus Daur Ulang dengan Agregat Kasar Daur Ulang
	
Agregat Kasar Daur Ulang	Agregat Halus Daur Ulang
	
Pencucian Agregat Kasar Daur Ulang	Pengelapan untuk Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Kasar



Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi Agregat Halus Daur Ulang



Pengovenan untuk Pengujian Specific Gravity dan Absorpsi



Pengujian Berat Isi Agregat Halus



Pengujian Sieve Analysis Agregat Halus



Mixer Campuran Beton



Bahan yang akan Di-cor



Mold Silinder



Slump Test



Curing Benda Uji



Uji Kuat Tekan



Uji Kuat Tarik Belah



Uji Modulus Elastisitas

## LAMPIRAN 2. DATA ANALISA AGGREGAT HALUS ALAM

### ANALISA SPESIFIC GRAVITY AND ABSORPSION

Sampel	Berat Benda Uji (gr)	[A] (gr)	[B] (gr)	[C] (gr)	Bulk Specific Gravity	Apparent Specific Gravity	Presentase Absorpsi
I	500	497	670	976	2,557	2,602	0,604 %
II	500	497	668	973	2,564	2,558	0,604 %
III	500	497	670	979	2,618	2,644	0,604 %
Rata					2,580	2,602	0,604 %

Di mana:

A = Berat Kering Oven

B = Berat piknometer berisi air

C = Berat Piknometer dengan Benda Uji dan Air

### PEMERIKSAAN BERAT ISI

Sampel	Perlakuan	w <sub>1</sub> (gr)	w <sub>2</sub> (gr)	w <sub>3</sub> (gr)	Berat Isi
I	Lepas	1055	3823	2768	1.384
	Penusukkan	1055	3921	2866	1.433
	Penggoyangan	1055	3790	2735	1.52
II	Lepas	1055	3768	2713	1.3565
	Penusukkan	1055	3961	2906	1.453
	Penggoyangan	1055	3972	2917	1.5035
III	Lepas	1055	3790	2735	1.3675
	Penusukkan	1055	3972	2917	1.4585
	Penggoyangan	1055	4104	3049	1.5245

Di mana:

w<sub>1</sub> = berat wadah

w<sub>2</sub> = berat wadah beserta benda uji

w<sub>3</sub> = berat benda uji

### PEMERIKSAAN BAHAN LOLOS SARINGAN NO.200

	w <sub>1</sub>	w <sub>4</sub>	Bahan Lewat Saringan no. 200 (%)
Sampel 1	500	477	4,6

Di mana:

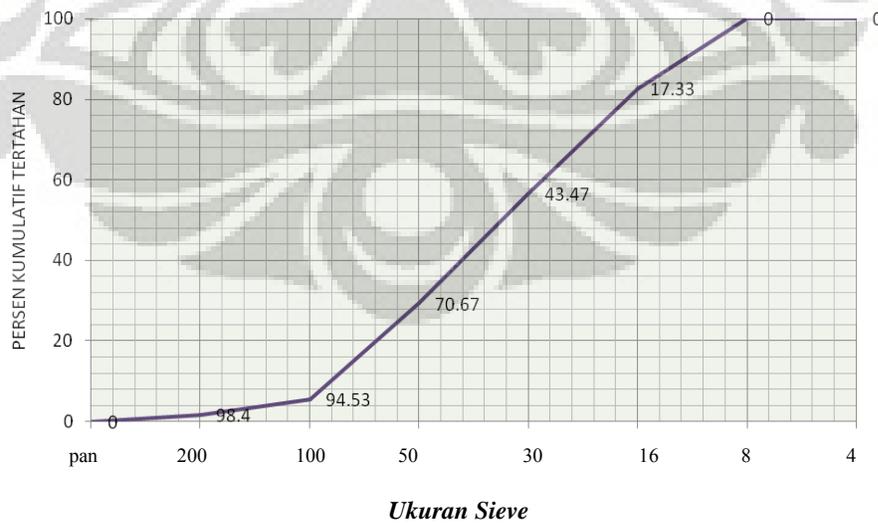
w<sub>1</sub> = berat benda uji

w<sub>4</sub> = berat bahan kering

## ANALISA SARINGAN

Ukuran Sieve	Sampel No.1			Sampel No.2			Sampel No.3		
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	91	18.2	18.2	98	19.6	19.6	71	14.2	14.2
30	139	27.8	46	135	27	46.6	118	23.6	37.8
50	133	26.6	72.6	132	26.4	73	143	28.6	66.4
100	113	22.6	95.2	111	22.2	95.2	134	26.8	93.2
200	17	3.4	98.6	17	3.4	98.6	24	4.8	98
pan	7	1.4	100	7	1.4	100	10	2	100
FM			2.32			2.344			2.116

Average			
Ukuran Sieve	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
4	0	0	0
8	0	0	0
16	86.67	17.33	17.33
30	130.67	26.13	43.47
50	136	27.2	70.67
100	119.33	23.87	94.53
200	19.33	3.87	98.4
pan	8	1.6	100
FM			2.26



### LAMPIRAN 3. DATA ANALISA AGGREGAT HALUS DAUR ULANG

#### ANALISA SPESIFIC GRAVITY AND ABSORPSION

Sampel	Berat Benda Uji (gr)	[A] (gr)	[B] (gr)	[C] (gr)	Bulk Specific Gravity	Apparent Specific Gravity	Presentase Absorpsi
I	500	497	657	952	2,439	2,460	0,604 %
II	500	494	670	986	2,717	2,775	1,215 %
III	500	494	668	975	2,591	2,642	1,215 %
Rata					2,582	2,626	1,011 %

Di mana:

A = Berat Kering Oven

B = Berat piknometer berisi air

C = Berat Piknometer dengan Benda Uji dan Air

#### PEMERIKSAAN BERAT ISI

Sampel	Perlakuan	w <sub>1</sub> (gr)	w <sub>2</sub> (gr)	w <sub>3</sub> (gr)	Berat Isi
I	Lepas	1055	3991	2936	1,468
	Penusukkan	1055	4188	3133	1,566
	Penggoyangan	1055	4157	3102	1,551

Di mana:

w<sub>1</sub> = berat wadah

w<sub>2</sub> = berat wadah beserta benda uji

w<sub>3</sub> = berat benda uji

#### PEMERIKSAAN BAHAN LOLOS SARINGAN NO.200

	w <sub>1</sub>	w <sub>4</sub>	Bahan Lewat Saringan no. 200 (%)
Sampel 1	500	461	7,8
Sampel 2	500	464	7,2
Rata-Rata			7,5

Di mana:

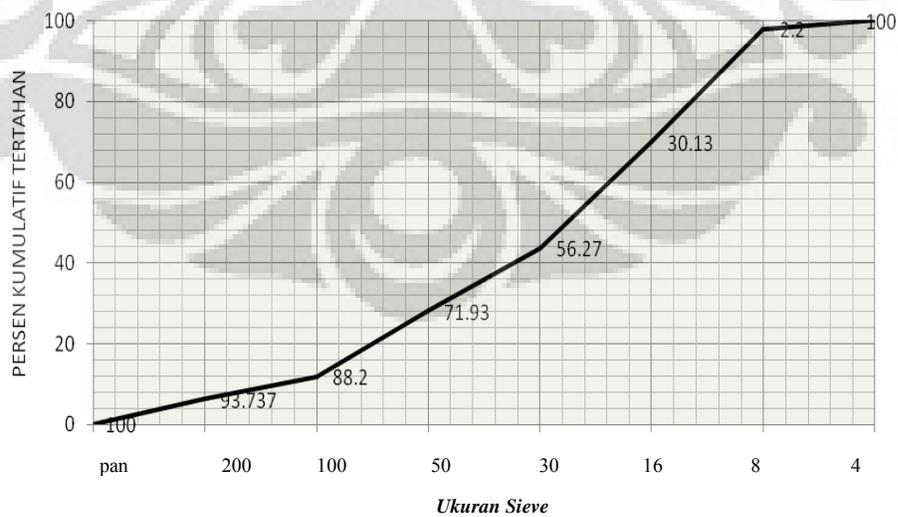
w<sub>1</sub> = berat benda uji

w<sub>4</sub> = berat bahan kering

## ANALISA SARINGAN

Ukuran Sieve	Sampel No.1			Sampel No.2			Sampel No.3		
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	1.4	1.4	16	3.2	3.2	10	2	2
16	151	30.2	31.6	136	27.2	30.4	132	26.4	28.4
30	132	26.4	58	130	26	56.4	130	26	54.4
50	77	15.4	73.4	77	15.4	71.8	81	16.2	70.6
100	78	15.6	89	81	16.2	88	85	17	87.6
200	26	5.2	94.2	28	5.6	93.6	29	5.8	93.4
pan	29	5.8	100	32	6.4	100	33	6.6	100
FM			2.534			2.498			2.43

Average			
Ukuran Sieve	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
4	0	0	0
8	11	2.2	2.2
16	139.67	27.93	30.13
30	130.67	26.13	56.27
50	78.33	15.67	71.93
100	81.33	16.27	88.2
200	27.67	5.53	93.73
pan	31.33	6.27	100
FM			2.487



## LAMPIRAN 4. DATA ANALISA AGGREGAT KASAR ALAM

### ANALISA SPESIFIC GRAVITY AND ABSORPTION

Sampel	Berat Benda Uji (gr)	[A] (gr)	[B] (gr)	[C] (gr)	Bulk Specific Gravity	Apparent Specific Gravity	Presentase Absorpsi
I	5000	4881	5000	3148	2,700	2,508	0,604 %
II	5000	4757	5000	3006	2,816	3,717	0,604 %
Rata					2,604	3,266	3,62%

Di mana:

A = Berat (gram) dari benda uji oven dry

B = Berat (gram) dari benda uji pada kondisi SSD

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

### PEMERIKSAAN BERAT ISI

Sampel	Perlakuan	w <sub>1</sub> (gr)	w <sub>2</sub> (gr)	w <sub>3</sub> (gr)	Berat Isi
I	Lepas	5089	17889	12800	1,380
	Penusukkan	5089	18330	13241	1,428
	Penggoyangan	5089	18413	13324	1,437

Di mana:

w<sub>1</sub> = berat wadah

w<sub>2</sub> = berat wadah beserta benda uji

w<sub>3</sub> = berat benda uji

### PEMERIKSAAN KEAUSAN AGGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES

$$\begin{aligned} \text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4046}{5000} \times 100\% = 19.08\% \end{aligned}$$

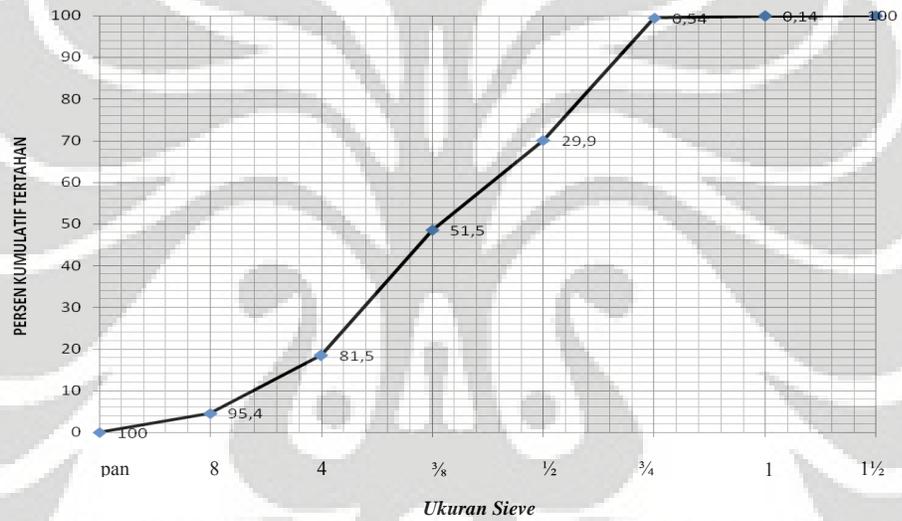
Dimana:

a = Berat benda uji semula (gram)

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

## ANALISA SARINGAN

Ukuran Sieve	Sampel No.1		
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
1 1/2	0	0	0
1	230	4.6	4.6
3/4	695	13.9	18.5
1/2	1500	30	48.5
3/8	1080	21.6	70.1
4	1468	29.36	99.46
8	20	0.4	99.86
pan	7	0.14	100



## LAMPIRAN 5. DATA ANALISA AGGREGAT KASAR DAUR ULANG

### ANALISA SPESIFIC GRAVITY AND ABSORPSION

Sampel	Berat Benda Uji (gr)	[A] (gr)	[B] (gr)	[C] (gr)	Bulk Specific Gravity	Apparent Specific Gravity	Presentase Absorpsi
I	5000	4227	5000	3135	2,681	3,871	15,46%
II	5000	4406	5000	3261	2,875	3,848	11,88%
Rata					2,778	3,860	13,67%

Di mana:

A = Berat (gram) dari benda uji oven dry

B = Berat (gram) dari benda uji pada kondisi SSD

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

### PEMERIKSAAN BERAT ISI

Sampel	Perlakuan	w <sub>1</sub> (gr)	w <sub>2</sub> (gr)	w <sub>3</sub> (gr)	Berat Isi
I	Lepas	5089	16256	11167	1.204
	Penusukkan	5089	16711	11622	1.253
	Penggoyangan	5089	16339	11250	1.213

Di mana:

w<sub>1</sub> = berat wadah

w<sub>2</sub> = berat wadah beserta benda uji

w<sub>3</sub> = berat benda uji

### PEMERIKSAAN KEAUSAN AGGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES

$$\begin{aligned} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ \text{Keausan} &= \frac{5000 - 2939}{5000} \times 100\% = 41,22\% \approx 41\% \end{aligned}$$

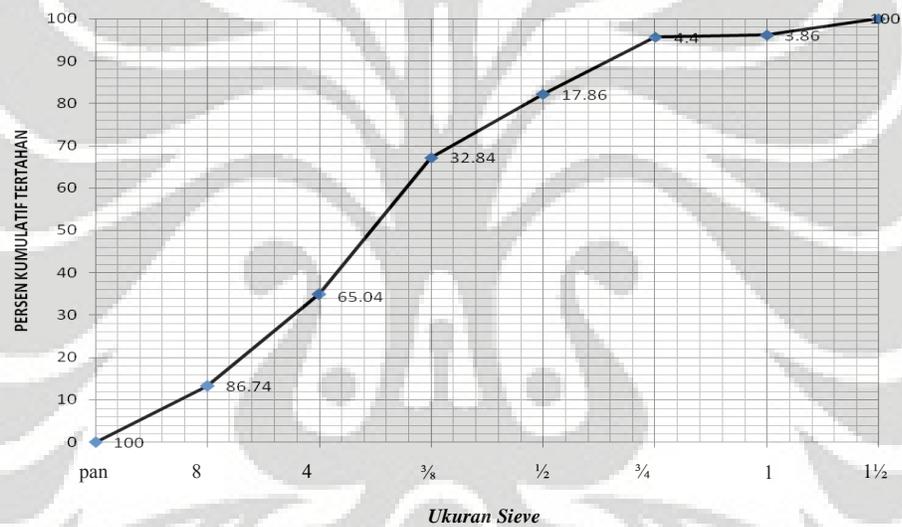
Dimana:

a = Berat benda uji semula (gram)

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

## ANALISA SARINGAN

Ukuran Sieve	Sampel No.1		
	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	% Kumulatif Tertahan
1 1/2	0	0	0
1	663	13.26	13.26
3/4	1085	21.7	34.96
1/2	1610	32.2	67.16
3/8	749	14.98	82.14
4	673	13.46	95.6
8	27	0.54	96.14
pan	193	3.86	100



## LAMPIRAN 6. HASIL PERCOBAAN KUAT TEKAN

### KOMPOSISI I

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12490	34000	19.24982
2	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12255	35000	19.81599
3	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12362	32500	18.40057
4	21/2/2008	28/2/2008	7	27,5	17662.5	9	12288	43500	24.62845
5	21/2/2008	28/2/2008	7	27,5	17662.5	9	12399	45500	25.76079
6	21/2/2008	28/2/2008	7	27,5	17662.5	9	12528	42500	24.06228
7	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	12480	46500	26.32696
8	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	12653	47000	26.61005
9	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	12540	46000	26.04388
10	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12677	51500	29.15782
11	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12431	51000	28.87473
12	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12387	51500	29.15782

### KOMPOSISI II

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	11964	33500	18.96674
2	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	11890	31000	17.55131
3	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12067	33000	18.68365
4	10/4/2008	8/5/2008	7	27,3	17662.5	10	11972	40000	22.64685
5	10/4/2008	8/5/2008	7	27,3	17662.5	10	11860	43500	24.62845
6	10/4/2008	8/5/2008	7	27,3	17662.5	10	12089	37500	21.23142
7	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	11983	46500	26.32696
8	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	12032	46250	26.18542
9	10/4/2008	24/4/2008	14	27,1	17662.5	10	12065	49000	27.74239
10	5/3/2008	2/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	12048	51500	29.15782
11	5/3/2008	2/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	12065	51500	29.15782
12	5/3/2008	2/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	12001	48000	27.17622

### KOMPOSISI III

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 50% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	27/3/2008	3/4/2008	7	27,5	17662.5	10	11722	27500	15.56971
2	27/3/2008	3/4/2008	7	27,5	17662.5	10	11816	29500	16.70205
3	27/3/2008	3/4/2008	7	27,5	17662.5	10	11839	29250	16.56051
4	27/3/2008	10/4/2008	14	26,9	17662.5	10	11932	32000	18.11748
5	27/3/2008	10/4/2008	14	26,9	17662.5	10	11890	32500	18.40057
6	27/3/2008	10/4/2008	14	26,9	17662.5	10	11940	31500	17.83439
7	29/2/2008	28/3/2008	28	27,8	17662.5	10	11749	30500	17.26822
8	29/2/2008	28/3/2008	28	27,8	17662.5	10	11953	35500	20.09908
9	29/2/2008	28/3/2008	28	27,8	17662.5	10	11887	34250	19.39137
10	29/2/2008	28/3/2008	28	27,8	17662.5	10	11945	33000	18.68365
11	29/2/2008	28/3/2008	28	27,8	17662.5	10	11964	35000	19.81599

### KOMPOSISI IV

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 100% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	10	28000	15.85280
2	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	10	20750	11.74805
3	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	10	24000	13.58811
4	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	10	26250	14.86200
5	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	10	26500	15.00354

### KOMPOSISI V

#### 25% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12095	31500	17.83439
2	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12163	28000	15.85280
3	20/4/2008	23/4/2008	3	27,6	17662.5	9	12289	27500	15.56971
4	13/3/2008	27/3/2008	7	27,7	17662.5	10	12244	40000	22.64685
5	13/3/2008	27/3/2008	7	27,7	17662.5	10	11868	36500	20.66525
6	13/3/2008	27/3/2008	7	27,7	17662.5	10	12001	36000	20.38217
7	13/3/2008	3/4/2008	14	26,3	17662.5	10	12047	44500	25.19462
8	13/3/2008	3/4/2008	14	26,3	17662.5	10	12360	46250	26.18542
9	13/3/2008	3/4/2008	14	26,3	17662.5	10	12212	44500	25.19462

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
10	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	12106	48750	27.60085
11	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	12139	49500	28.02548
12	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	12114	47250	26.75159

### KOMPOSISI VI

#### 25% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	26/3/2008	29/3/2008	3	26,5	17662.5	8	11984	19250	10.89880
2	26/3/2008	29/3/2008	3	26,5	17662.5	8	12008	21000	11.88960
3	26/3/2008	29/3/2008	3	26,5	17662.5	8	11786	24500	13.87120
4	26/3/2008	2/4/2008	7	27,4	17662.5	8	11917	33250	18.82519
5	26/3/2008	2/4/2008	7	27,4	17662.5	8	11843	30000	16.98514
6	26/3/2008	2/4/2008	7	27,4	17662.5	8	11932	33000	18.68365
7	26/3/2008	9/4/2008	14	27,3	17662.5	8	11963	38000	21.51451
8	26/3/2008	9/4/2008	14	27,3	17662.5	8	11897	39250	22.22222
9	26/3/2008	9/4/2008	14	27,3	17662.5	8	11981	37500	21.23142
10	26/3/2008	23/4/2008	28	26,9	17662.5	8	11874	44000	24.91154
11	26/3/2008	23/4/2008	28	26,9	17662.5	8	12017	44500	25.19462
12	26/3/2008	23/4/2008	28	26,9	17662.5	8	11954	47500	26.89314

### KOMPOSISI VII

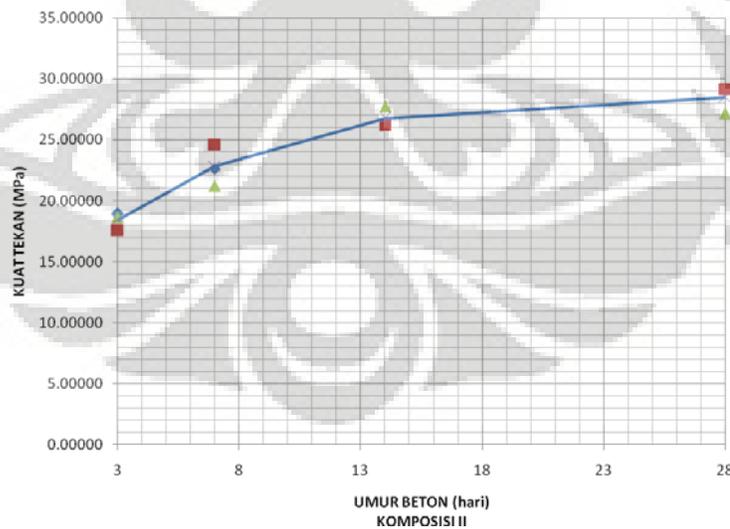
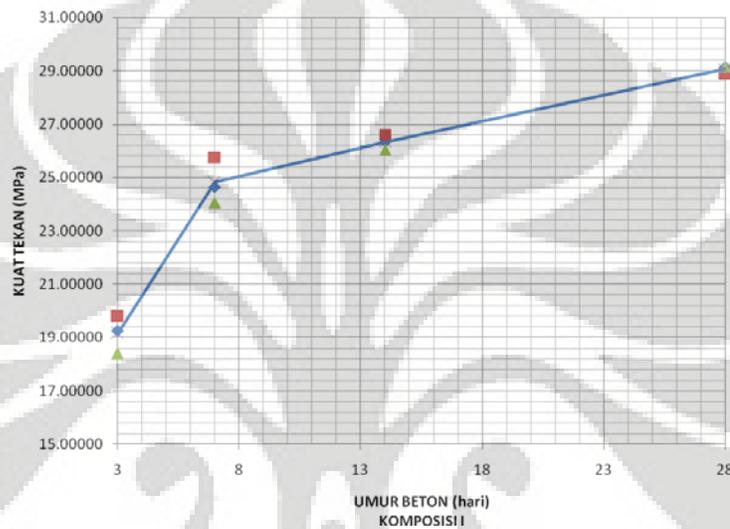
#### 50% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

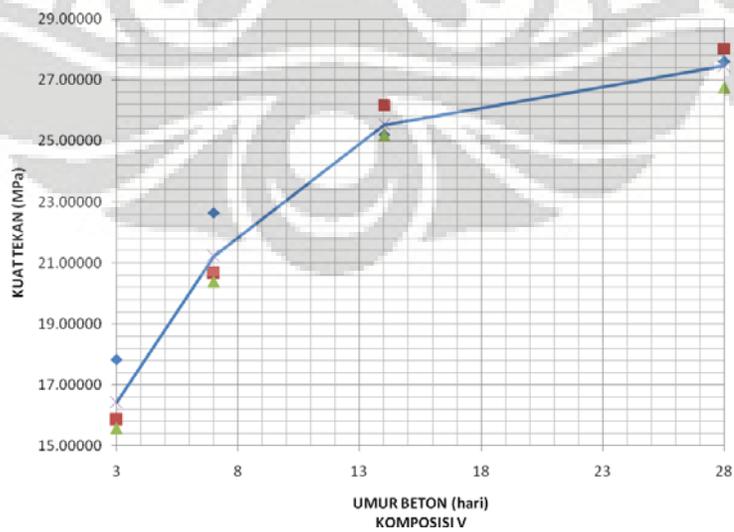
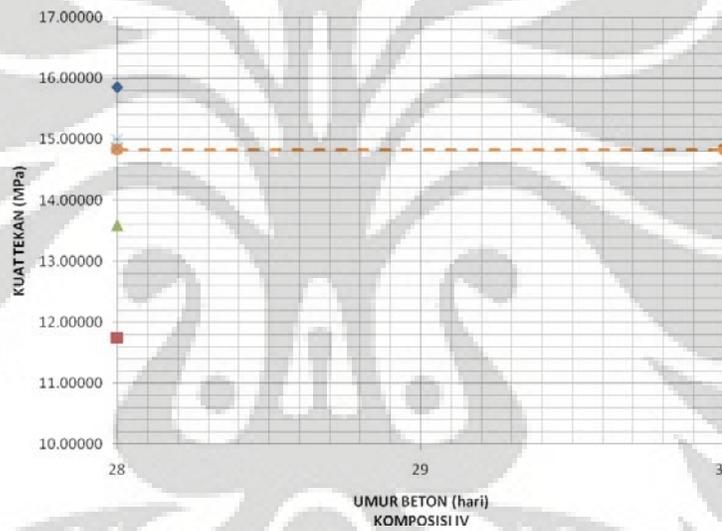
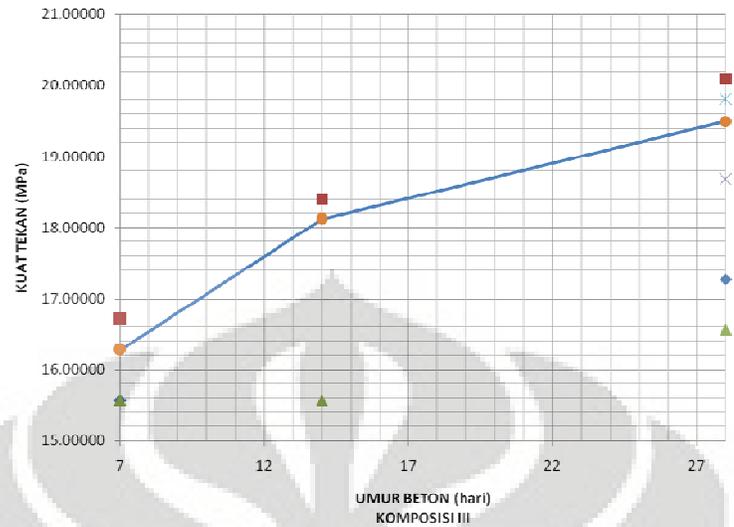
No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	7/3/2008	10/3/2008	3	27,4	17662.5	10	11658	17000	9.62491
2	7/3/2008	10/3/2008	3	27,4	17662.5	10	11666	17500	9.90800
3	7/3/2008	10/3/2008	3	27,4	17662.5	10	11984	16500	9.34183
4	7/3/2008	14/3/2008	7	27,4	17662.5	10	12008	22000	12.45577
5	7/3/2008	14/3/2008	7	27,4	17662.5	10	11786	22500	12.73885
6	7/3/2008	14/3/2008	7	27,4	17662.5	10	11941	21500	12.17268
7	7/3/2008	21/3/2008	14	26,3	17662.5	10	11746	28000	15.85280
8	7/3/2008	21/3/2008	14	26,3	17662.5	10	11784	28000	15.85280
9	7/3/2008	21/3/2008	14	26,3	17662.5	10	11683	25000	14.15428
10	7/3/2008	4/4/2008	28	28,1	17662.5	10	11861	35500	20.09908
11	7/3/2008	4/4/2008	28	28,2	17662.5	10	11830	34500	19.53291
12	7/3/2008	4/4/2008	28	28,3	17662.5	10	11786	30500	17.26822

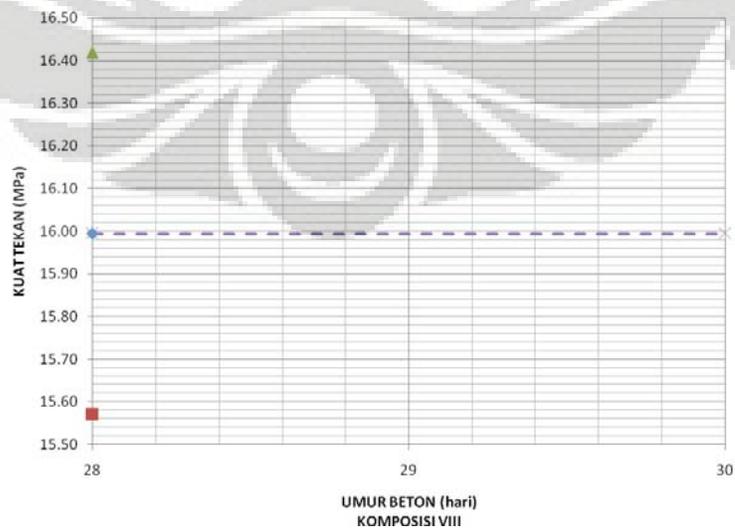
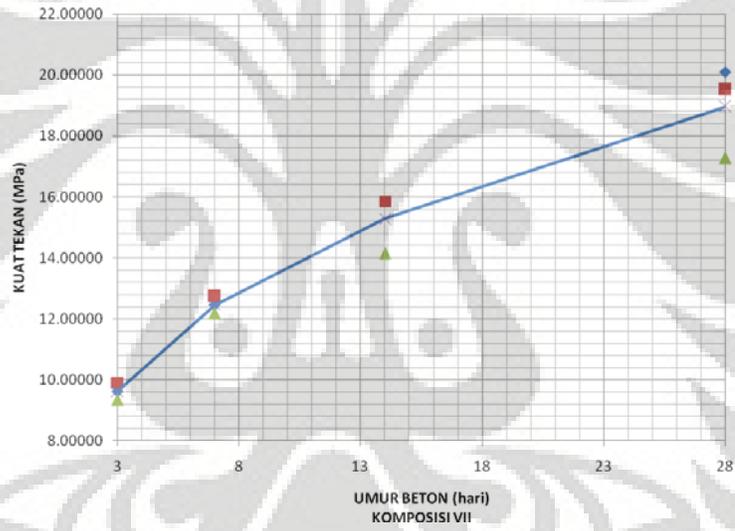
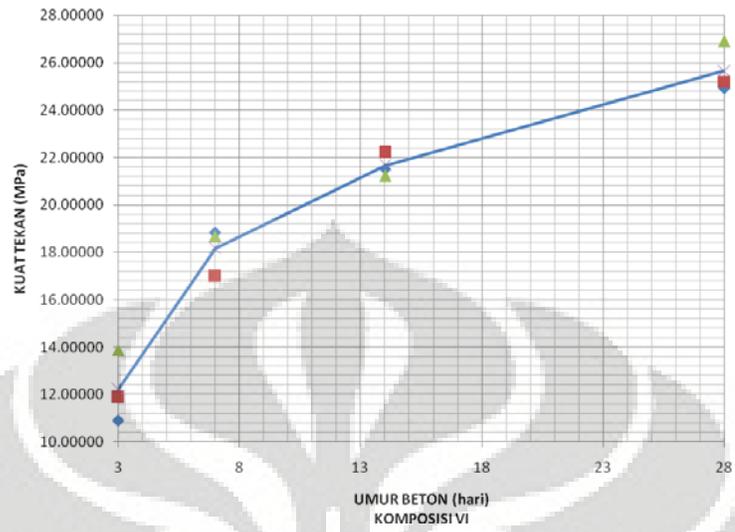
## KOMPOSISI VIII

**50% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang**

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11714	28250	15.99434
2	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11845	27500	15.56971
3	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11487	29000	16.41897







## LAMPIRAN 7. HASIL PERCOBAAN KUAT TARIK BELAH

### KOMPOSISI I

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12489	20500	2.90162774
2	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12563	19500	2.76008493
3	10/4/2008	8/5/2008	28	26,8	17662.5	10	12347	20000	2.83085633

### KOMPOSISI II

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	29/2/2008	28/3/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11896	17500	2.4769993
2	29/2/2008	28/3/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11720	19250	2.7246992
3	29/2/2008	28/3/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11733	17500	2.4769993

### KOMPOSISI III

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 50% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	12001	9500	1.3446568
2	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	12100	13500	1.910828
3	28/2/2008	27/3/2008	28	27,7	17662.5	10	11121	14000	1.9815994

### KOMPOSISI IV

#### 0% Agregat Kasar Daur Ulang, 100% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	28/2/2008	27/3/2008	28	26,8°C	17662.5	10	11103	10900	1.5428167
2	28/2/2008	27/3/2008	28	26,8°C	17662.5	10	12063	11100	1.5711253
3	28/2/2008	27/3/2008	28	26,8°C	17662.5	10	11120	14000	1.9815994

### KOMPOSISI V

#### 25% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	11943	20500	2.9016277
2	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	12145	20000	2.8308563
3	13/3/2008	10/4/2008	28	27,5	17662.5	10	12048	19000	2.6893135

### KOMPOSISI VI

#### 25% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	10/4/2008	8/5/2008	28	26,9	17662.5	10	11870	18500	2.6185421
2	10/4/2008	8/5/2008	28	26,9	17662.5	10	11967	17000	2.4062279
3	10/4/2008	8/5/2008	28	26,9	17662.5	10	11962	17500	2.4769993

### KOMPOSISI VII

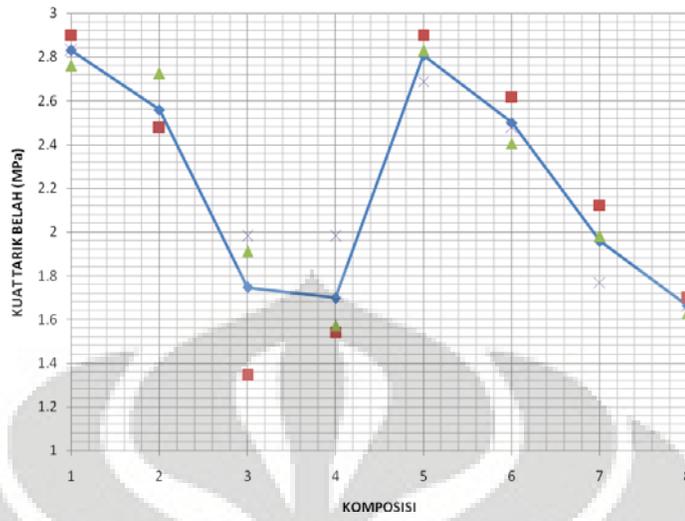
#### 50% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	7/3/2008	4/4/2008	28	28,1	17662.5	10	11786	15000	2.1231423
2	7/3/2008	4/4/2008	28	28,2	17662.5	10	11854	14000	1.9815994
3	7/3/2008	4/4/2008	28	28,3	17662.5	10	11844	12500	1.7692852

### KOMPOSISI VIII

#### 50% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

No	Tanggal		Umur (hari)	Temp (°C)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Slump (cm)	Berat (kg)	Keterangan: Beban (kg)	Tegangan (N/mm <sup>2</sup> )
	Dicor	ditest							
1	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11589	12000	1.6985138
2	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11867	11500	1.6277424
3	6/3/2008	3/4/2008	28	27,4°C	17662.5	10	11665	11750	1.6631281



## LAMPIRAN 8. HASIL PERCOBAAN MODULUS ELASTISITAS

### KOMPOSISI I

0% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

### STRAIN LONGITUDINAL

STRAIN LONGITUDINAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05
2500	1.415428	0.5	0.0025	1.25E-05	2	0.01	0.00005	1	0.005	0.000025	1.5	0.0075	3.75E-05	0.5	0.0025	1.25E-05	1.5	0.0075	3.75E-05
5000	2.830856	2	0.01	0.00005	4	0.02	0.0001	2.5	0.0125	6.25E-05	3.5	0.0175	8.75E-05	3	0.015	0.000075	4	0.02	0.0001
7500	4.246285	3	0.015	0.000075	6	0.03	0.00015	5	0.025	0.000125	5	0.025	0.000125	5.5	0.0275	0.000138	6.5	0.0325	0.000163
10000	5.661713	5	0.025	0.000125	8.5	0.0425	0.000213	7	0.035	0.000175	7.5	0.0375	0.000188	7.5	0.0375	0.000188	8.5	0.0425	0.000213
12500	7.077141	7.5	0.0375	0.000188	10	0.05	0.00025	9.5	0.0475	0.000238	9.5	0.0475	0.000238	10	0.05	0.00025	10	0.05	0.00025
15000	8.492569	12	0.06	0.0003	12	0.06	0.0003	12	0.06	0.0003	12	0.06	0.0003	12	0.06	0.0003	12	0.06	0.0003
17500	9.907997	14.5	0.0725	0.000363	14	0.07	0.00035	14.5	0.0725	0.000363	14	0.07	0.00035	14	0.07	0.00035	14	0.07	0.00035
20000	11.32343	16	0.08	0.0004	16	0.08	0.0004	16	0.08	0.0004	16	0.08	0.0004	16	0.08	0.0004	16	0.08	0.0004

## STRAIN TRANSVERSAL

STRAIN TRANSVERSAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415428	0	0	0	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0	0	0
5000	2.830856	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	0.5	0.003276	1.64E-05
7500	4.246285	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1	0.006552	3.28E-05	1	0.006552	3.28E-05
10000	5.661713	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2	0.013103	6.55E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1.5	0.009828	4.91E-05
12500	7.077141	1.5	0.009828	4.91E-05	2	0.013103	6.55E-05	2	0.013103	6.55E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2	0.013103	6.55E-05	2	0.013103	6.55E-05
15000	8.492569	2	0.013103	6.55E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	3	0.019655	9.83E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2.5	0.016379	8.19E-05
17500	9.907997	2.5	0.016379	8.19E-05	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	3.5	0.022931	0.000115	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05
20000	11.32343	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115

KOMPOSISI II

0% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

STRAIN LONGITUDINAL

STRAIN LONGITUDINAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	1.5	0.0075	3.75E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05
2500	1.415428	2	0.01	0.00005	2	0.01	0.00005	1.5	0.0075	3.75E-05	2	0.01	0.00005	2	0.01	0.00005	2	0.01	0.00005
5000	2.830856	4	0.02	0.0001	5	0.025	0.000125	3	0.015	0.000075	4	0.02	0.0001	4	0.02	0.0001	4.5	0.0225	0.000113
7500	4.246285	6.5	0.0325	0.000163	7.5	0.0375	0.000188	6	0.03	0.00015	6.5	0.0325	0.000163	6.5	0.0325	0.000163	6	0.03	0.00015
10000	5.661713	8	0.04	0.0002	9.5	0.0475	0.000238	8	0.04	0.0002	8.5	0.0425	0.000213	8.5	0.0425	0.000213	9.5	0.0475	0.000238
12500	7.077141	10	0.05	0.00025	11.5	0.0575	0.000288	10	0.05	0.00025	10.5	0.0525	0.000263	11	0.055	0.000275	11.5	0.0575	0.000288
15000	8.492569	12.5	0.0625	0.000313	13	0.065	0.000325	12	0.06	0.0003	13	0.065	0.000325	13.5	0.0675	0.000338	13.5	0.0675	0.000338
17500	9.907997	15	0.075	0.000375	15	0.075	0.000375	14	0.07	0.00035	14.5	0.0725	0.000363	15	0.075	0.000375	15.5	0.0775	0.000388
20000	11.32343	18	0.09	0.00045	18	0.09	0.00045	17	0.085	0.000425	17	0.085	0.000425	17.5	0.0875	0.000438	17.5	0.0875	0.000438

## STRAIN TRANSVERSAL

STRAIN TRANSVERSAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415428	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	0.5	0.003276	1.64E-05
5000	2.830856	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1	0.006552	3.28E-05	1	0.006552	3.28E-05
7500	4.246285	1.5	0.009828	4.91E-05	2	0.013103	6.55E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2	0.013103	6.55E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1.5	0.009828	4.91E-05
10000	5.661713	2	0.013103	6.55E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	2	0.013103	6.55E-05	2	0.013103	6.55E-05
12500	7.077141	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	3	0.019655	9.83E-05	2.5	0.016379	8.19E-05
15000	8.492569	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115	3.5	0.022931	0.000115
17500	9.907997	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131
20000	11.32343	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147

KOMPOSISI V

25% Agregat Kasar Daur Ulang, 0% Agregat Halus Daur Ulang

STRAIN LONGITUDINAL

STRAIN LONGITUDINAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	1.5	0.0075	3.75E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415428	2	0.01	0.00005	2.5	0.0125	6.25E-05	1.5	0.0075	3.75E-05	2	0.01	0.00005	1	0.005	0.000025	2	0.01	0.00005
5000	2.830856	3	0.015	0.000075	6	0.03	0.00015	3.5	0.0175	8.75E-05	4.5	0.0225	0.000113	3	0.015	0.000075	4	0.02	0.0001
7500	4.246285	5	0.025	0.000125	8	0.04	0.0002	5	0.025	0.000125	7.5	0.0375	0.000188	4.5	0.0225	0.000113	7.5	0.0375	0.000188
10000	5.661713	6.5	0.0325	0.000163	10	0.05	0.00025	6.5	0.0325	0.000163	10.5	0.0525	0.000263	7	0.035	0.000175	9.5	0.0475	0.000238
12500	7.077141	10	0.05	0.00025	13	0.065	0.000325	9.5	0.0475	0.000238	12	0.06	0.0003	10	0.05	0.00025	12	0.06	0.0003
15000	8.492569	12	0.06	0.0003	14	0.07	0.00035	11.5	0.0575	0.000288	13.5	0.0675	0.000338	12	0.06	0.0003	14	0.07	0.00035
17500	9.907997	14	0.07	0.00035	17	0.085	0.000425	14.5	0.0725	0.000363	15.5	0.0775	0.000388	15	0.075	0.000375	17.5	0.0875	0.000438
20000	11.32343	18	0.09	0.00045	18	0.09	0.00045	17.5	0.0875	0.000438	17.5	0.0875	0.000438	19	0.095	0.000475	19	0.095	0.000475

### STRAIN TRANSVERSAL

STRAIN TRANSVERSAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	1.415428	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05
5000	2.830856	0.5	0.003276	1.64E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05
7500	4.246285	1	0.006552	3.28E-05	2	0.013103	6.55E-05	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1	0.006552	3.28E-05	2	0.013103	6.55E-05
10000	5.661713	1.5	0.009828	4.91E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2.5	0.016379	8.19E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2.5	0.016379	8.19E-05
12500	7.077141	2	0.013103	6.55E-05	3	0.019655	9.83E-05	2	0.013103	6.55E-05	3	0.019655	9.83E-05	2	0.013103	6.55E-05	3	0.019655	9.83E-05
15000	8.492569	2.5	0.016379	8.19E-05	4	0.026207	0.000131	2.5	0.016379	8.19E-05	3.5	0.022931	0.000115	3	0.019655	9.83E-05	3.5	0.022931	0.000115
17500	9.907997	3.5	0.022931	0.000115	4.5	0.029483	0.000147	3	0.019655	9.83E-05	4	0.026207	0.000131	3.5	0.022931	0.000115	4	0.026207	0.000131
20000	11.32343	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147	4	0.026207	0.000131	4	0.026207	0.000131	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147

KOMPOSISI VI

25% Agregat Kasar Daur Ulang, 25% Agregat Halus Daur Ulang

STRAIN LONGITUDINAL

STRAIN LONGITUDINAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III								
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING					
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2500	1.415428	2.5	0.0125	6.25E-05	2.5	0.0125	6.25E-05	1.5	0.0075	3.75E-05	1.5	0.0075	3.75E-05	2.5	0.0125	6.25E-05	2.5	0.0125	6.25E-05	2.5	0.0125	6.25E-05
5000	2.830856	5	0.025	0.000125	4	0.02	0.0001	4	0.02	0.0001	5.5	0.0275	0.000138	5	0.025	0.000125	5.5	0.0275	0.000138	5.5	0.0275	0.000138
7500	4.246285	7.5	0.0375	0.000188	7	0.035	0.000175	7.5	0.0375	0.000188	8.5	0.0425	0.000213	7.5	0.0375	0.000188	8.5	0.0425	0.000213	8.5	0.0425	0.000213
10000	5.661713	10	0.05	0.00025	11.5	0.0575	0.000288	9.5	0.0475	0.000238	11.5	0.0575	0.000288	10.5	0.0525	0.000263	11.5	0.0575	0.000288	11.5	0.0575	0.000288
12500	7.077141	14	0.07	0.00035	14	0.07	0.00035	12.5	0.0625	0.000313	15	0.075	0.000375	11.5	0.0575	0.000288	14.5	0.0725	0.000363	14.5	0.0725	0.000363
15000	8.492569	15.5	0.0775	0.000388	16	0.08	0.0004	15	0.075	0.000375	16.5	0.0825	0.000413	14.5	0.0725	0.000363	17.5	0.0875	0.000438	17.5	0.0875	0.000438
17500	9.907997	18	0.09	0.00045	20	0.1	0.0005	17	0.085	0.000425	19.5	0.0975	0.000488	17.5	0.0875	0.000438	19.5	0.0975	0.000488	19.5	0.0975	0.000488
20000	11.32343	22	0.11	0.00055	21.5	0.1075	0.000538	20.5	0.1025	0.000513	20.5	0.1025	0.000513	22	0.11	0.00055	22	0.11	0.00055	22	0.11	0.00055

## STRAIN TRANSVERSAL

STRAIN TRANSVERSAL		CYCLE I						CYCLE II						CYCLE III					
Beban (kg)	$\sigma$ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$	g	d	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0.5	0.003276	1.64E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	1.415428	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	1	0.006552	3.28E-05	0.5	0.003276	1.64E-05	0.5	0.003276	1.64E-05
5000	2.830856	1	0.006552	3.28E-05	2	0.013103	6.55E-05	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	1	0.006552	3.28E-05	1.5	0.009828	4.91E-05
7500	4.246285	1.5	0.009828	4.91E-05	3	0.019655	9.83E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2	0.013103	6.55E-05	1.5	0.009828	4.91E-05	2.5	0.016379	8.19E-05
10000	5.661713	2.5	0.016379	8.19E-05	3.5	0.022931	0.000115	2	0.013103	6.55E-05	3	0.019655	9.83E-05	2	0.013103	6.55E-05	3	0.019655	9.83E-05
12500	7.077141	3	0.019655	9.83E-05	4	0.026207	0.000131	2.5	0.016379	8.19E-05	3.5	0.022931	0.000115	3	0.019655	9.83E-05	4	0.026207	0.000131
15000	8.492569	3.5	0.022931	0.000115	4.5	0.029483	0.000147	3	0.019655	9.83E-05	4	0.026207	0.000131	3.5	0.022931	0.000115	4.5	0.029483	0.000147
17500	9.907997	4	0.026207	0.000131	5	0.032759	0.000164	4	0.026207	0.000131	4.5	0.029483	0.000147	4	0.026207	0.000131	5	0.032759	0.000164
20000	11.32343	5	0.032759	0.000164	5	0.032759	0.000164	4.5	0.029483	0.000147	4.5	0.029483	0.000147	5	0.032759	0.000164	5	0.032759	0.000164