

**STUDI PERILAKU KUAT LENTUR DAN SUSUT
PADA BETON AGREGAT DAUR ULANG**

SKRIPSI

Oleh :

HEIDI DUMA
04 04 01 028 7



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

No.825/FT.01/SKRIP/07/2008

**STUDI PERILAKU KUAT LENTUR DAN SUSUT
BETON AGREGAT DAUR ULANG**

SKRIPSI

Oleh :

HEIDI DUMA
04 04 01 028 7



**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 LENTUR DAN SUSUT

PADA BETON AGREGAT DAUR ULANG

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

Depok, 3 Juli 2008

HEIDI DUMA

NPM 04 04 01 028 7

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

STUDI PERILAKU KUAT LENTUR DAN SUSUT

PADA BETON 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 diujikan 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

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA.

Dr. -Ing. Ir. Josia Irwan Rastandi, MT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA

Dr. -Ing. Ir. Josia Irwan Rastandi, MT

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur dipersembahkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, berkat rahmat dan karunia-Nya maka dapat diselesaikan skripsi ini yang berjudul "Studi Perilaku Kuat Lentur dan Susut Pada Beton Agregat Daur Ulang".

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Adapun tercapainya penyelesaian proposal skripsi ini adalah berkat ketulusan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dengan setulusnya kepada:

1. Ibuku yang tercinta, Nursaimah Duma Ujung, yang selama ini telah memberikan dukungan dan semangat serta doa selama ini.
2. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahyono, DEA, sebagai pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Dr-Ing. Ir. Josia Irwan Rastandi, MT, sebagai pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan tambahan selama pengerjaan skripsi ini.
4. Para Staf Laboratorium Beton Departemen Sipil FTUI, terima kasih Pak atas semua bantuan yang telah diberikan.
5. Teman seperjuanganku dalam penelitian ini, Annie Wulandari, terima kasih sudah menjadi teman dalam seperjuangan tugas akhir ini.
6. Teman terdekatku, Yan Adhi Pradana, terima kasih sudah memberikan aku motivasi, semangat, dan energi. Terimakasih atas bantuan yang telah diberikan selama ini.

7. Sahabatku, Citra Chergia, dan Temanku yang lain yang belum disebutkan yang telah memberikan semangat selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis membuka diri untuk menerima saran dan kritik dalam upaya mencapai penyempurnaan skripsi ini. Semoga proposal skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Depok, 3 Juli 2008

Penulis

HEDI DUMA

NPM 04 04 01 028 7

Heidi Duma
NPM 04 04 01 028 7
Departemen Teknik Sipil

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

STUDI PERILAKU KUAT LENTUR DAN SUSUT PADA BETON AGREGAT DAUR ULANG

ABSTRAK

Pada saat ini beton siap pakai (*ready mix*) sedang marak digunakan untuk membuat konstruksi bangunan, namun pada penerapannya sering terjadi kelebihan *supply* dan sisanya terkadang dibuang di sembarang tempat, sehingga dapat mengurangi kesuburan tanah dan merusak keseimbangan ekosistem. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah mendaur ulang limbah beton. Namun, pemanfaatan limbah sebagai agregat daur ulang tersebut perlu dikaji lebih mendalam, dengan melakukan pengujian secara eksperimental dan analisis terhadap karakteristik yang dimiliki. Metoda dan prosedur pelaksanaan pengujian agregat daur ulang tersebut dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM.

Beton dibuat dengan agregat alam maupun campuran antara agregat alam dan agregat daur ulang dengan komposisi tertentu. Kekuatan beton yang akan dipakai adalah 25 MPa. Kemudian dilakukan pengujian terhadap kuat lentur pada umur 28 hari dan susut selama 56 hari.

Berdasarkan hasil studi eksperimental, agregat daur ulang mengandung mortar. Kandungan mortar tersebut mengakibatkan absorpsi agregat menjadi lebih besar, lebih poros atau berpori, sehingga kekerasannya berkurang. Beberapa perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan.

Persentase penurunan kuat lentur beton agregat daur ulang dengan komposisi 25 % agregat kasar daur ulang dan 0 % agregat halus daur ulang adalah 1.26 %, sedangkan beton agregat daur ulang dengan komposisi 0 % agregat kasar daur ulang dan 25 % agregat halus daur ulang adalah 6.33 %. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian kuat lentur beton. Pada pengujian susut, nilai persentase penambahan susut beton agregat daur ulang dengan komposisi 0 % agregat kasar daur ulang dan 25 % agregat halus daur ulang adalah 10.53 %, sedangkan dengan komposisi 25 % agregat kasar daur ulang dan 0 % agregat halus daur ulang adalah 5.26%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian susut.

Kata kunci : Beton, Agregat Daur Ulang, Agregat Alam, Kuat Lentur, Susut

Heidi Duma NPM 04 04 01 028 7 Civil Department Engineering	Counselor Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA Dr-Ing. Ir. Josia Irwan Rastandi, MT
--	---

**STUDY OF BEHAVIOUR OF FLEXURAL STRENGTH AND
SHRINKAGE
OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE**

ABSTRACT

Now ready mix is very well known to make construction of building, but the usage often more supply that throw in anywhere, so it will decrease the fertilizer of soil and destroy the ecosystem. To against that, the solution is to recycled aggregate. We need research chemical properties of the materials and then to be analyzed to understand the difference between natural and recycled aggregates. The method and procedure for testing of the recycled aggregate materials are in accordance with the ASTM standard.

Concretes are made from normal aggregate and mix both normal and recycled aggregate. Concrete strength is 25 MPa. After that, test of flexural strength in 28th day old and shrinkage during 56 days.

Based on the experimental works, recycled aggregates contain mortar. The existence of mortar content in recycled aggregates affects to the accretion of absorption of aggregate, more porous, less hardness. Some of the difference of qualities, physical and chemical properties of recycled aggregates cause the difference of properties of the resulted concrete materials. The difference properties consist of the reduction of flexural strength and increase of shrinkage.

The reduction of percentage recycled aggregate concrete of composition 25 % coarse recycled aggregate and 0 % fine recycled aggregate was 1.26 %, while recycled aggregate concrete of composition 0 % coarse recycled aggregate and 25 % fine recycled aggregate was 6.33 %. This indicate that usage recycled coarse aggregate was prefer than recycled fine aggregate for flexural strength. For shrinkage, percentage accretion value of composition 0 % coarse recycled aggregate and 25 % fine recycled aggregate was 10.53 %, while 25 % coarse recycled aggregate with 0 % fine recycled aggregate was 5.26%. This indicate that usage of coarse aggregate of recycle with percentage 25 % was better the than usage of fine aggregate of recycle with percentage 25 % for the examination of length change.

Key words : Concrete, Recycled Aggregate, Normal Aggregate, Flexural Strength, Shrinkage

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
DAFTAR ISTILAH/SIMBOL	xviii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 LATAR BELAKANG	I-1
1.2 RUMUSAN MASALAH	I-2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	I-3
1.4 HIPOTESIS	I-3
1.5 BATASAN MASALAH	I-3
1.6 METODOLOGI PENELITIAN	I-5
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN	I-5
BAB II KAJIAN TEORITIS	II-1
2.1 BETON	II-1
2.2 BETON AGREGAT DAUR ULANG	II-2

2.3	MATERIAL PEMBENTUK	II-2
2.3.1	Semen	II-3
2.3.2	Agregat	II-5
2.3.2.1	<i>Agregat Halus</i>	II-8
2.3.2.2	<i>Agregat Kasar</i>	II-13
2.3.3	Air	II-18
2.4	SIFAT-SIFAT MEKANIS BETON	II-19
2.4.1	Workabilitas	II-20
2.5	KUAT LENTUR BETON	II-21
2.6	PERUBAHAN PANJANG	II-22
2.7	MODULUS ELASTISITAS DAN <i>POISSON RATIO</i>	II-24
BAB III METODE PENELITIAN		III-1
3.1	PENGAMBILAN BETON SISA	III-2
3.2	PEMILAHAN FRAKSI AGREGAT	III-2
3.3	PENGUJIAN AGREGAT	III-2
3.3.1	Pengujian Agregat Halus	III-2
3.3.1.1	<i>Analisa Ayak</i>	III-2
3.3.1.2	<i>Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus</i>	III-3
3.3.1.3	<i>Pemeriksaan Berat Isi Agregat</i>	III-5
3.3.1.4	<i>Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200</i>	III-6
3.3.2	Pengujian Agregat Kasar	III-8
3.3.2.1	<i>Analisa Ayak</i>	III-8
3.3.2.2	<i>Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Kasar</i>	III-9
3.3.2.3	<i>Pemeriksaan Abrasi dengan Menggunakan Mesin Los Angeles</i>	III-10
3.3.2.4	<i>Pemeriksaan Berat Isi Agregat</i>	III-12
3.4	Percobaan Campuran Beton	III-13
3.4.1	Perbandingan Campuran Beton	III-13
3.4.2	Prosedur Perhitungan Campuran	III-14
3.4.3	Menentukan Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar	III-14

3.4.4	Menentukan Slump	III-15
3.4.5	Menentukan Jumlah Air Adukan, Kandungan Udara dan Presentase Pasir Terhadap Agregat	III-16
3.4.6	Menentukan Water-Cement Ratio	III-16
3.4.7	Target Strength	III-18
3.4.8	Penentuan Perbandingan Campuran Sebenarnya	III-19
3.5	PEMBUATAN BENDA UJI	III-19
3.6	PERAWATAN BENDA UJI	III-20
3.7	PENGUJIAN KUAT LENTUR BENDA UJI	III-20
3.8	PENGUJIAN PERUBAHAN PANJANG (SUSUT)	III-23
3.9	PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN <i>POISSON RATIO</i>	III-25
BAB IV ANALISA HASIL PENELITIAN		IV-1
4.1	ANALISA AGREGAT	IV-1
4.1.1	Agregat Halus	IV-1
4.1.1.1	<i>Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi</i>	IV-1
4.1.1.2	<i>Pengujian Analisa Ayak (Sieve Analysis)</i>	IV-1
4.1.1.3	<i>Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 (ASTM C117-04)</i>	IV-3
4.1.2	Agregat Kasar	IV-4
4.1.2.1	<i>Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi</i>	IV-4
4.1.2.2	<i>Pengujian Analisa Ayak (Sieve Analysis)</i>	IV-4
4.1.2.3	<i>Pengujian Keausan dengan Mesin Los Angeles</i>	IV-5
4.2	ANALISA PENGUJIAN KUAT LENTUR	IV-6
4.2.1	Analisa Keretakan Pada pengujian Kuat Lentur	IV-10
4.3	ANALISA PENGUJIAN PERUBAHAN PANJANG (SUSUT)	IV-11
4.4	ANALISA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN <i>POISSON RATIO</i>	IV-19
BAB V PENUTUP		V-1
5.1	KESIMPULAN	V-1
5.2	SARAN	V-3

DAFTAR ACUAN	1
DAFTAR PUSTAKA	2
LAMPIRAN	4



DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar II.1	Bentuk agregat II-7
Gambar III.1	Prosedur penelitian III-1
Gambar III.2	Sketsa <i>slump</i> tes III-16
Gambar III.3	Pengujian kuat lentur pada balok uji dengan metode pembebanan pada 1/3 bentang balok III-21
Gambar III.4	Keruntuhan lentur terjadi pada tengah bentang III-22
Gambar III.5	Keruntuhan lentur terjadi pada tepi bentang tengah III-23
Gambar IV.1	Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat halus Alam dan daur ulang IV-3
Gambar IV.2	Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat kasar alam, daur ulang dan standar SNI 02-2384-1992 IV-5
Gambar IV.3	Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang IV-7
Gambar IV.4	Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang dengan program MATLAB Vers.7.1 IV.8
Gambar IV.5	Tegangan lentur penelitian versus tegangan lentur mutu beton versus tegangan lentur dari uji kuat tekan. IV-10
Gambar IV.6	Pola retak di antara dua titik pembebanan benda uji IV-11
Gambar IV.7	Permukaan retak uji kuat lentur IV-11
Gambar IV.8	Perubahan panjang beton IV-14
Gambar IV.9	% Perubahan panjang pada sampel A versus Hari versus % Perubahan kelembaban IV-17
Gambar IV.10	Perubahan panjang yang telah dikoreksi IV-18
Gambar IV.11	Perbandingan perubahan panjang sampel A sebelum dan sesudah faktor koreksi kelembaban IV-18

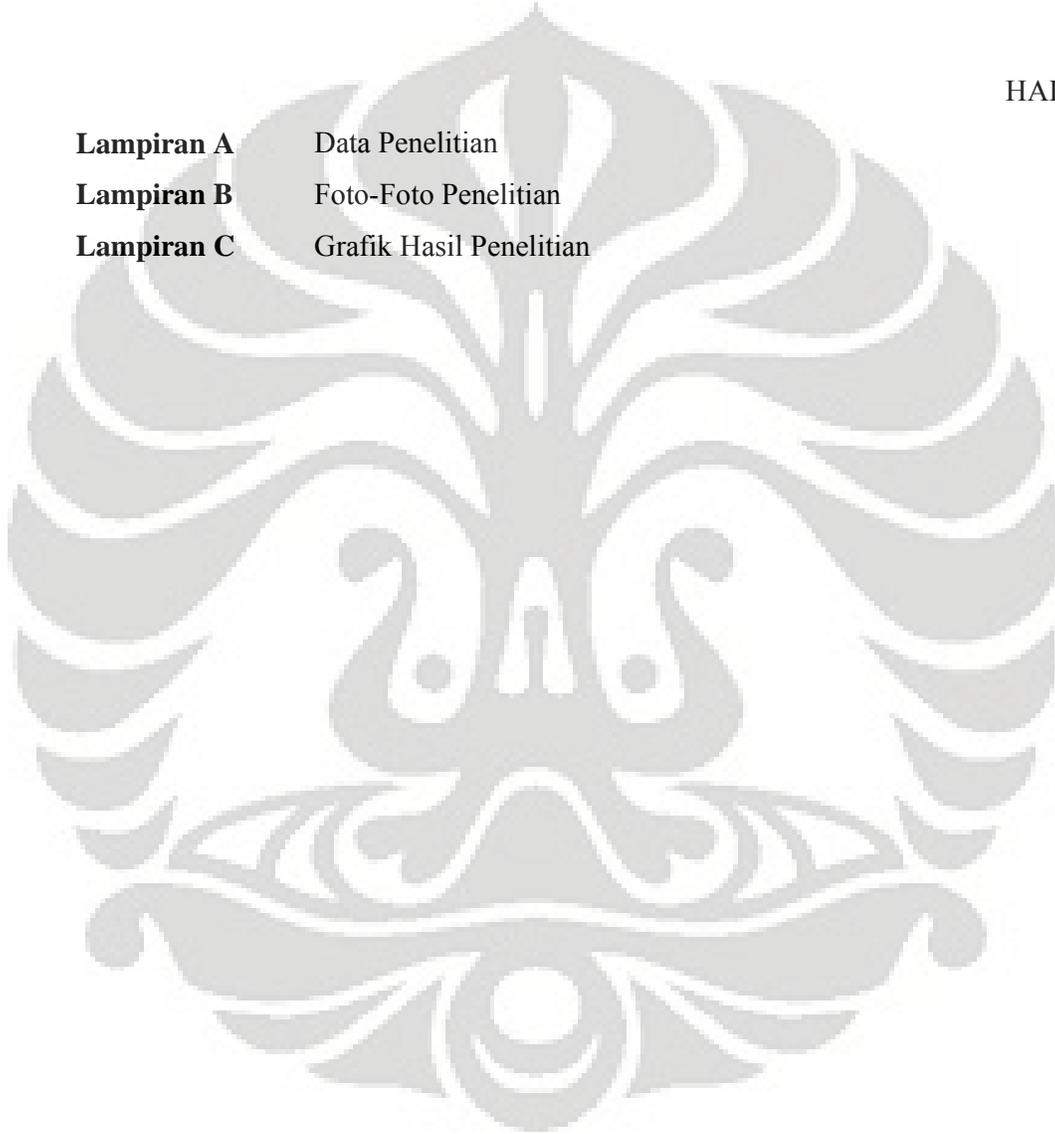
DAFTAR TABEL

		HALAMAN
Tabel I.1	Komposisi Benda Uji	I-4
Tabel II.1	Komposisi Kimia Semen Tipe I	II-5
Tabel II.2	Klasifikasi Fisik Agregat	II-6
Tabel II.3	Gradasi Standar Agregat Halus Alam	II-10
Tabel II.4	Batas-batas Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-1992	II-13
Tabel II.5	Gradasi Standar Agregat Kasar Alam Berdasarkan ASTM C 33-78	II-16
Tabel II.6	Batas-batas Gradasi Agregat Kasar SNI 03-2834-1992	II-18
Tabel II.7	Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar	II-18
Tabel III.1	Daftar Peralatan Percobaan Berat Isi Agregat Kasar	III-5
Tabel III.2	Ukuran Agregat Kering Minimum	III-7
Tabel III.3	Ukuran Agregat Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam-Macam Tipe Konstruksi	III-15
Tabel III.4	Ukuran <i>Slump</i> Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam Tipe Konstruksi	III-16
Tabel III.5	Perbandingan Material Yang Digunakan Dalam Berbagai Design Mix	III-17
Tabel III.6	Penyesuaian Harga Perbandingan Material <i>Compressive Strength</i> Minimum Rata-Rata Dari Beton	III-18
Tabel III.7	Untuk Berbagai-macam Harga <i>Water-Cement Ratio</i>	III-18
Tabel III.8	<i>Target Strength</i>	III-20
Tabel III.9	Kombinasi Bahan Pembentuk Beton untuk Kuat Lentur	III-22
Tabel III.10	Kombinasi Bahan Pembentuk Beton Untuk Perubahan	III-25

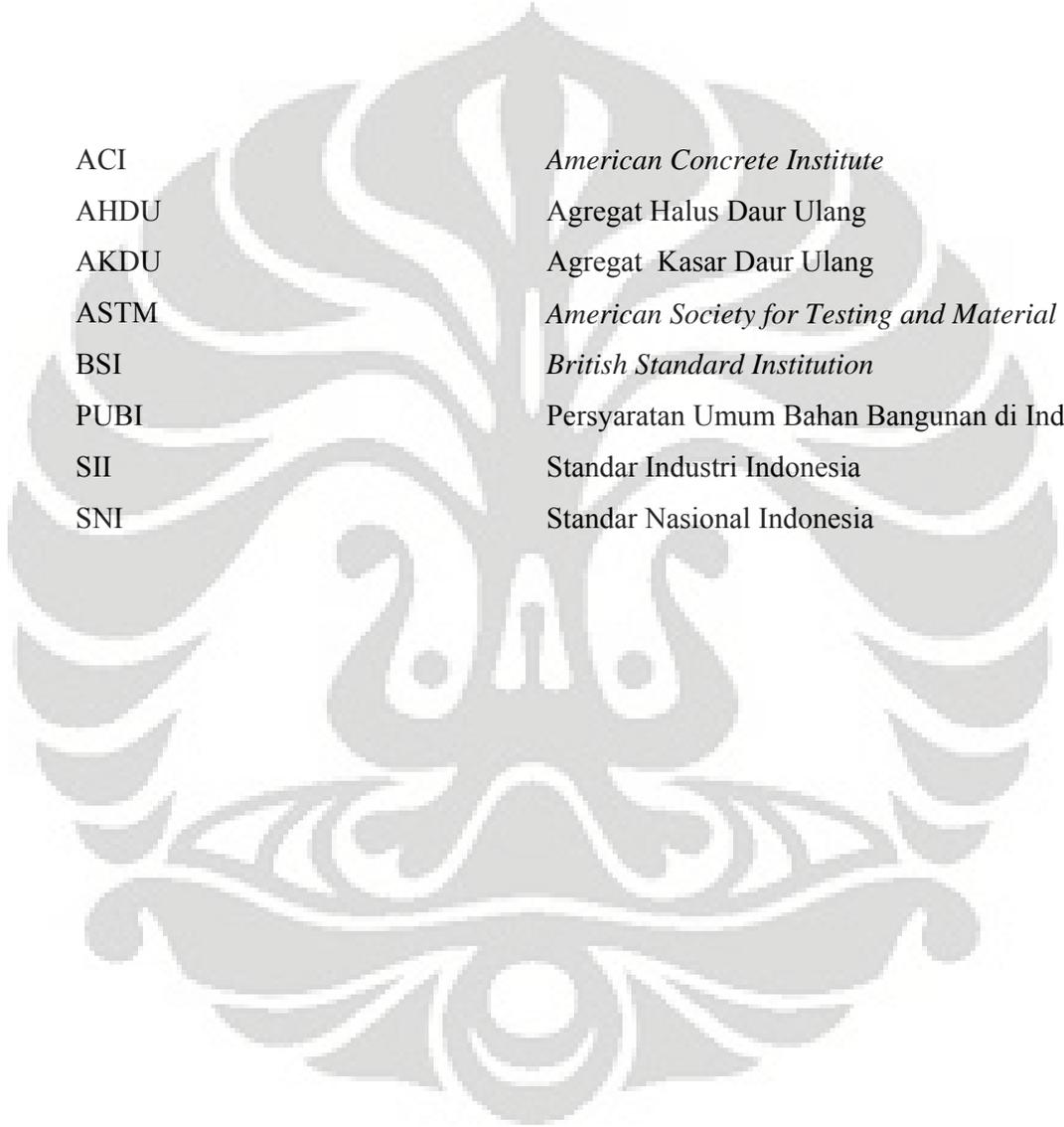
	Panjang (Susut)	
Tabel IV.1	Hasil Analisa <i>Spesific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	IV-1
Tabel IV.2	Hasil <i>Sieve Analysis</i> Agregat Halus Daur Ulang dan Alam	IV-2
Tabel IV.3	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Lewat Saringan No.200	IV-3
Tabel IV.4	<i>Spesific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Kasar	IV-4
Tabel IV.5	Hasil <i>Sieve Analysis</i> Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam	IV-5
Tabel IV.6	Hasil Pengujian Keausan Dengan Mesin Los Angeles	IV-6
Tabel IV.7	Hasil Uji Kuat Lentur	IV-7
Tabel IV.8	Perbandingan Hasil Uji Kuat Lentur dengan Kuat Tekan	IV-9
Tabel IV.9	Hasil Perubahan Panjang (Susut)	IV-12
Tabel IV.10	% Pertambahan Susut	IV-13
Tabel IV.11	Hasil Modulus Elastisitas dan <i>Poisson Ratio</i>	IV-19

DAFTAR LAMPIRAN

	HALAMAN
Lampiran A Data Penelitian	4
Lampiran B Foto-Foto Penelitian	35
Lampiran C Grafik Hasil Penelitian	43



DAFTAR SINGKATAN



ACI	<i>American Concrete Institute</i>
AHDU	Agregat Halus Daur Ulang
AKDU	Agregat Kasar Daur Ulang
ASTM	<i>American Society for Testing and Material</i>
BSI	<i>British Standard Institution</i>
PUBI	Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia
SII	Standar Industri Indonesia
SNI	Standar Nasional Indonesia

DAFTAR ISTILAH / SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
σ_{ts}	Target strength	MPa
b	Rata-rata lebar benda uji	mm
d	Rata-rata ketinggian benda uji	mm
E_c	Modulus Elastisitas	MPa
G	Nominal gage length	mm
L	Perubahan panjang pada umur x	%
l	Panjang span	mm
L_i	Pembacaan <i>comparator</i> awal dikurangi pembacaan <i>comparator</i> pada <i>reference bar</i> pada waktu yang sama	mm
L_x	Pembacaan <i>comparator</i> pada benda uji pada umur x dikurangi pembacaan <i>comparator</i> pada <i>reference bar</i> pada umur x	mm
P	Maksimum Beban	N
R	Modulus Runtuh	MPa
S	Tegangan	MPa
ϵ	Regangan	
ν	Poisson Ratio	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Dalam dunia konstruksi, beton dipakai secara luas sebagai bahan bangunan, terutama karena nilai ekonomisnya yang baik. Sebagai salah satu material utama dalam konstruksi, beton senantiasa dikembangkan. Melalui penelitian dan percobaan, teknologi beton kini maju dengan pesat. Salah satu tujuan dari pengembangan teknologi beton adalah untuk mendapatkan sifat mekanis yang optimal dengan harga yang relatif murah, Dalam hal ini pemakaian bahan tambahan pada campuran beton menjadi kurang ekonomis dan penggunaan beton agregat daur ulang menjadikan nilai beton menjadi lebih ekonomis.

Beton agregat daur ulang adalah campuran beton dengan menggunakan agregat yang berasal dari pecahan limbah beton yang sudah tidak terpakai lagi. Berdasarkan dari hasil pemecahan limbah beton dan dilihat dari sifat fisiknya, sebagian besar memenuhi syarat agregat untuk beton SII No. 0052-80. Sehingga agregat hasil pemecahan limbah beton dapat dimanfaatkan untuk agregat beton. Penggunaan agregat daur ulang dalam sistem konstruksi merupakan ide untuk pemanfaatan limbah beton yang sering menimbulkan masalah bagi lingkungan. Seringkali beton sisa kebakaran gedung ataupun sisa *ready mix* dibuang tanpa manfaat dan bahkan mengganggu. Usaha untuk memanfaatkan limbah beton bukan saja akan mengurangi masalah lingkungan akan tetapi dapat memberikan nilai ekonomis terhadap konstruksi, serta suatu upaya pelestarian sumber daya alam.

Limbah industri beton (*ready mix*) adalah sisa-sisa dari hasil produksi yang terdapat pada tempat-tempat pembuangan limbah di pabrik (*batching plant*). Tentunya limbah beton ini masih berupa beton segar sisa produksi yang tercampur dengan air cucian. Untuk itu, maka perlu sekiranya diadakan penelitian di mana limbah-limbah tersebut dapat dimanfaatkan kembali dengan jalan mendaur ulang limbah tersebut. Limbah yang berasal dari industri beton inilah yang akan dipakai dalam penelitian.

Berdasarkan hasil studi eksperimental, agregat daur ulang mengandung mortar sebesar 25 hingga 45% untuk agregat kasar, dan 70 hingga 100% untuk agregat halus. Kandungan mortar tersebut mengakibatkan berat jenis agregat menjadi lebih kecil, lebih porous 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. Selain itu, pada agregat daur ulang juga terdapat retak mikro, di mana retak tersebut dapat ditimbulkan oleh tumbukan mesin pemecah batu (*stone crusher*) pada saat proses produksi agregat daur ulang, yang tidak dapat membelah daerah lempengan atau patahan pada agregat alam. Retak tersebut tertahan oleh kekangan mortar yang menyelimuti agregat alam. Selain itu, hasil dari pengujian eksperimental dengan sinar X (*X-ray*) terdapat perbedaan kandungan unsur-unsur kimia di dalam agregat daur ulang, yaitu unsur silika (Si) dan kalsium (Ca). Hal ini dikarenakan agregat daur ulang sebelumnya merupakan beton yang telah mengalami reaksi hidrasi, di mana unsur Si dan Ca yang terdapat pada agregat daur ulang diperoleh dari senyawa kalsium silika hidrat (C-S-H), ettringite (C-A-S-H), dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pada pasta semen yang masih menempel pada agregat alam. Oleh karena itu, unsur Ca pada agregat daur ulang lebih banyak dari pada unsur Si [5].

1.2 RUMUSAN MASALAH

Pembangunan terus berlanjut menyebabkan pemakain beton semakin marak digunakan karena keawetan dan keekonomisannya. Beberapa bangunan tua yang terpaksa harus dibongkar, karena bangunan tersebut perlu diperbaharui, mengalami kerusakan, atau tidak layak untuk dihuni. Hasil bongkaran tersebut perlu dibuang, sehingga menimbulkan limbah padat. Pembuangan limbah tersebut memerlukan biaya dan membutuhkan tempat pembuangan. Disamping itu, pada saat ini beton siap pakai (*ready mix*) sedang marak digunakan untuk membuat konstruksi bangunan, namun pada penerapannya sering terjadi kelebihan *supply* dan sisanya terkadang dibuang di sembarang tempat.

Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mendaur ulang agregat yang terdapat dalam beton atau sisa *ready mix* sebagai agregat alternatif, yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh agregat alam di dalam campuran beton.

Untuk itu perlu mengetahui sejauh mana kekuatan dari agregat daur ulang yang diberikan kepada beton sehingga dikaji terlebih dahulu dengan berbagai penelitian. Hal ini dapat diuji dengan metode dan prosedur ASTM dan diuji kekuatannya seperti kekuatan tekan, lentur dan perubahan panjangnya (susut).

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sejauh mana pengaruh penggunaan agregat baik kasar maupun halus daur ulang terhadap kekuatan lentur dan *shrinkage* (susut) pada beton.

1.4 HIPOTESIS

Kuat lentur pada beton agregat daur ulang yang didapat pada umur 28 hari lebih rendah dibandingkan dengan beton agregat alam. Dan perubahan panjang (susut) pada beton agregat daur ulang lebih cepat menyusut dibandingkan beton agregat alam. Hal ini dikarenakan, sifat kimia dan fisik agregat alam yang lebih baik dibandingkan agregat daur ulang.

1.5 BATASAN MASALAH

Pedoman, teori, peralatan dan prosedur percobaan yang dipakai dalam penulisan skripsi ini mengacu kepada standar dari *American Society for Testing and Material* dengan memperhatikan Standar Nasional Indonesia terbitan PusLitbang Departmen Pekerjaan Umum.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik UI, Depok. Lingkup penelitian terbatas pada limbah beton yang diambil dari limbah industri beton (*ready mix*) yang tidak terpakai lagi. Pembahasan penelitian ini ditekankan terhadap kuat lentur dan susut beton agregat daur ulang.

Penelitian ini dibagi menjadi:

1. Uji material penyusun beton agregat alam
 - a. Agregat Kasar Alam
 - b. Agregat Halus Alam

2. Uji material penyusun beton agregat daur ulang
 - a. Agregat kasar daur ulang
 - b. Agregat halus daur ulang
3. Pembuatan dan pengujian benda uji
 - a. Rancangan campuran beton dengan f_c' 25 MPa.
 - b. Benda uji dibuat dengan variasi komposisi bahan pembentuk beton yang terdiri dari beton agregat alam, beton agregat daur ulang dan campuran keduanya.
 - c. Benda uji untuk uji kuat lentur terdiri dari balok ukuran 15 cm x 15 cm x 55 cm, setiap masing-masing pengujian dipakai 3 sampel benda uji. Benda uji untuk tes kuat lentur direndam dalam bak perendam sampai umur pengujian yaitu 28 hari.
 - d. Benda uji terdiri dari balok ukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm, setiap masing-masing pengujian dipakai 3 sampel benda uji untuk pengujian susut. Benda uji dilembabkan dan diselimuti dengan kain basah. Pengujian dilakukan setiap hari sampai umur 56 hari.
 - e. Komposisi bahan pembentuk beton yang dilakukan

Tabel I-1 Komposisi Benda Uji

Sample	Agregat Kasar Alam (%)	Agregat Kasar Daur Ulang (%)	Agregat Halus Alam (%)	Agregat Halus Daur Ulang (%)	Uji Kuat Lentur	Uji Susut
A. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 0% AHDU)	100	0	100	0	√	√
B. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 25% AHDU)	100	0	75	25	√	√
C. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 0% AHDU)	75	25	100	0	√	√
D. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 25% AHDU)	75	25	75	25	√	√

1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang akan dipakai dalam kegiatan ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur adalah penelitian terhadap peraturan standar yang berlaku dan dipakai, serta mencari masukan-masukan dari kegiatan penelitian lain yang berhubungan dengan beton agregat daur ulang.

2. Percobaan di laboratorium

Percobaan ini untuk meneliti dari kandungan agregat baik asli maupun agregat daur ulang serta uji kuat lentur dan susut dari beton agregat daur ulang tersebut.

1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penyusunan makalah untuk skripsi ini digunakan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab I : Pendahuluan

Berisi mengenai latar belakang, tujuan penelitian, metodologi penelitian, ruang lingkup pembahasan dan sistematika penulisan.

Bab II : Kajian Teoritis

Berisi penjelasan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan beton, agregat daur ulang, dan materi pembentuknya. Penjelasan ini bersumber dari buku-buku referensi, jurnal dan hasil penelitian yang telah dilakukan.

Bab III : Metodologi Penelitian

Berisi rencana mengenai prosedur penelitian yang akan dilakukan di laboratorium.

Bab IV : Hasil dan Analisa Penelitian

Hasil pengujian yang telah dilaksanakan dan analisa terhadap hasil pengujian tersebut.

Bab V : Penutup

Berisi kesimpulan dan saran

BAB II

KAJIAN TEORITIS

2.1 BETON

Beton sudah digunakan sejak masa Romawi dan Mesir kuno. Beton umumnya didefinisikan sebagai batu buatan yang terdiri dari campuran bahan perekat (semen Portland), bahan pengisi (agregat kasar dan halus baik buatan ataupun alam) dan air dengan komposisi tertentu, yang setelah mengalami proses hidrasi akan membentuk bahan yang mempunyai struktur padat dan keras. Ditinjau secara mikro struktur, agregat berfungsi sebagai fragmen sedangkan pasta semen berfungsi sebagai matriks. Fragmen terikat dengan kuat oleh matriks sehingga bahan beton bekerja secara komposit.

Agar fragmen dan matriks dapat bekerja secara komposit dengan sempurna, maka komponen bahan harus memenuhi kriteria tertentu yaitu:

- Ukuran butiran agregat dan gradasi agregat dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir dalam kondisi maksimum.
- Jumlah pasta semen cukup untuk menyelimuti seluruh permukaan butir agregat serta dapat mengisi seluruh rongga antar butir.
- Tekstur permukaan agregat memungkinkan terjadinya ikatan yang baik dengan matriks.
- Agregat dan air yang digunakan tidak mengandung bahan yang bersifat reaktif yang dapat mengurangi kekuatan, keawetan dan ketahanan beton.
- Agregat yang digunakan mempunyai kekerasan tertentu.
- Komposisi komponen bahan memungkinkan campuran beton yang homogen dapat dikerjakan dengan mudah.

Beton dikatakan berkualitas baik bila memenuhi dua kriteria keadaan, baik dalam keadaan sudah mengeras maupun pada saat masih merupakan campuran segar. Keadaan beton mengeras berkaitan dengan sifat-sifat mekanisnya seperti kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik, impermeabilitas, ketahanan terhadap sulfat, ketahanan terhadap abrasi, durabilitas dan sebagainya. Sedangkan keadaan beton

segar berkaitan dengan masalah workabilitas, waktu ikat yang berpengaruh pada saat pengangkutan dan homogenitas dari beton [3].

Untuk menjaga agar tidak terjadi kegagalan konstruksi beton yang disebabkan rendahnya mutu beton, selain dipenuhi kriteria tersebut di atas juga harus diperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

- Cara pengerjaan
- Kemampuan dan keterampilan pekerja
- Pengawasan dan pengendalian mutu yang ketat
- Iklim dan cuaca
- Kondisi cetakan

2.2 BETON AGREGAT DAUR ULANG

Beton agregat daur ulang adalah suatu rancangan campuran beton dengan menggunakan bahan hasil dari penghancuran beton jadi yang kemudian digunakan sebagai bahan agregat. Tentunya dalam pembentukan agregat hasil daur ulang ini mempunyai karakteristik yang berbeda dengan agregat aslinya. Hal ini disebabkan sudah adanya bahan pencampur lain yang terkandung pada butiran agregat tersebut, yaitu lapisan mortar yang melekat pada agregat. Lapisan mortar itu sendiri terdiri dari agregat dan pasta semen yang digunakan dalam campuran beton sebelumnya. Oleh karena itu perlu diteliti terlebih dahulu mengenai karakteristik agregat daur ulang itu sendiri. Adapun penelitian dari karakteristik agregat daur ulang tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dalam perencanaan campuran beton.

Agregat daur ulang ini berasal dari beton *ready mix* dari PT Pioner Beton. Bentuk agregat yang dihasilkan akan berbeda dari agregat aslinya, perbedaan tersebut dapat dilihat dari campurannya sehingga mempengaruhi kualitas (mutu) beton dan kelecakan (*workability*) dari beton itu sendiri.

2.3 MATERIAL PEMBENTUK

Mutu beton secara umum akan sangat bergantung pada jenis dan karakteristik dari material yang digunakan. Pada umumnya beton terdiri dari semen, agregat, dan air.

Beton secara garis besar terdiri dari tiga klasifikasi bahan, yaitu:

- Bahan pengikat, dalam hal ini adalah air dan semen yang bereaksi membentuk pasta semen.
- Bahan pengisi atau agregat, yang terdiri dari agregat halus, umumnya pasir, dan agregat kasar, umumnya kerikil atau batu pecah.
- Bahan tambahan, yang bersifat *additional* seperti *super-plasticizer*, *air entrained*, *retarder*, *pozzolan* dan sebagainya.

2.3.1 Semen

Semen merupakan istilah yang umum digunakan untuk menggambarkan campuran bahan organik dan anorganik yang menyusunnya. Secara umum semen adalah material yang mempunyai sifat adhesive dan kohesif yang dapat mengikat butiran-butiran mineral menjadi satu kesatuan yang kompak. Dalam pengertian sehari-hari semen yang dikenal merupakan *Hydraulic Cement* atau Semen Hidrolis karena kemampuannya bereaksi dengan air dan mengeras dalam kondisi tanpa udara. Kemampuan mengeras dalam kondisi tanpa udara membedakannya dengan semen lainnya yang dapat bereaksi dengan air akan tetapi proses reaksinya masih tergantung kepada karbondioksida untuk mendapatkan peningkatan tegangan dalam proses pengerasannya.

Semen hidrolis terbagi atas 3 (tiga) yaitu:

1. Semen Portland
2. Semen Alumina
3. Semen Alamiah

Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII) 0031-1981, semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidraulis, bersama bahan tambahan yang biasanya digunakan adalah *gypsum*. Nama semen Portland diberikan berdasarkan usul dari Joseph Aspdin, pada tahun 1824, nama tersebut dipakai karena kesamaan warna dan kualitas yang diberikan oleh semen tersebut, pada saat ditemukan, dengan batu Portland, di suatu daerah *quarry* batu gamping (*limestone*) di Dorset, Inggris. Sedangkan *prototype* dari semen Portland modern dibuat oleh Isaac Johnson pada tahun 1854. Penemuan semen Portland modern

menandai dimulainya fabrikasi semen secara massal, yang dilakukan pertama kali oleh David Saylor di Coplay, Pennsylvania, Amerika Serikat, pada tahun 1875 [2]. Semen Portland yang diproduksi di Indonesia dibedakan atas lima jenis, yaitu tipe I, II, III, IV, V. Adapun perbedaan dari kelima jenis semen tersebut adalah untuk mencapai tujuan/target bangunan tertentu (bangunan yang spesifik). Beberapa tipe semen yang diproduksi di Indonesia, antara lain:

1. Semen Tipe I dapat dikatakan yang paling banyak dimanfaatkan untuk bangunan, dan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus sebagaimana jenis yang lainnya.
2. Semen Tipe II merupakan modifikasi semen tipe I dengan maksud untuk meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih rendah. Semen jenis ini terutama dimanfaatkan untuk bangunan yang terletak di daerah dengan tanah berkadar sulfat rendah (kandungan C_3A rendah).
3. Semen Tipe III merupakan semen yang cepat mengeras. Beton yang dibuat dengan semen tipe III akan mengeras cukup cepat, dan kekuatan yang dicapainya dalam 24 jam akan sama dengan kekuatan beton dari semen biasa dalam 7 hari. Hanya sekitar 3 hari kekuatan tekannya setara dengan kekuatan tekan 28 hari beton dengan semen biasa. Dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi (kandungan C_3A tinggi).
4. Semen Tipe IV merupakan semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah (kandungan C_3S dan C_3A rendah).
5. Semen tipe V terutama ditujukan untuk memberikan perlindungan terhadap bahaya korosi akibat pengaruh air laut, air danau, air tambang, maupun pengaruh garam sulfat yang terdapat dalam air tanah. Semen tipe V ini memiliki daya resistansi terhadap sulfat yang lebih baik dibandingkan semen tipe II.

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Portland Composite yang diproduksi oleh PT Indocement dan biasa digunakan secara umum serta tidak memerlukan persyaratan khusus. Tabel berikut ini merupakan komposisi kimia semen tipe I menurut ASTM C 114 pengujian November 1998.

Tabel II.1 Komposisi Kimia Semen Tipe I

Komposisi Kimia	Persentase
Silikon Dioksida, SiO ₂	20.4
Ferri Oksida, Fe ₂ O ₃	3.49
Aluminium Oksida, Al ₂ O ₃	5.50
Kalsium Oksida, CaO	65.4
Magnesium Oksida, MgO	1.24
Sulfur Trioksida, SO ₃	2.28
Hilang Pijar (LO)	0.92

Bahan pembentuk semen Portland adalah:

- Kapur (CaO), dari batu kapur
- Silika (SiO₂), dari lempung
- Aluminium (Al₂O₃), dari lempung.

Sedangkan bahan utama campuran semen Portland adalah:

- Trikalsium Silikat (3CaO.SiO₂) atau C₃S
- Dikalsium Silikat (2CaO.SiO₂) atau C₂S
- Trikalsium Aluminat (3CaO.Al₂O₃) atau C₃A
- Tetrakalsium Alumino Ferrid (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃) atau C₄AF
- Gypsum (CaSO₄.2H₂O)

Senyawa C₃S dan C₂S berpengaruh besar terhadap kekakuan semen, di mana C₃S berpengaruh pada kekuatan awal, sedangkan C₂S berpengaruh terhadap kekuatan semen pada tahap selanjutnya. Waktu yang diperlukan oleh semen dari keadaan cair menjadi mengeras disebut waktu pengikatan (*setting time*).

2.3.2 Agregat

Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII 002-80), agregat adalah bahan yang dipakai sebagai pengisi, dipakai bersama-sama dengan bahan perekat, membentuk satu massa yang padat bersatu, keras dan disebut beton. Dalam SK SNI 03-2847-2002, agregat didefinisikan sebagai material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk beton atau adukan semen hidrolik.

Kualitas agregat adalah hal yang perlu diperhatikan, mengingat agregat secara umum menempati 70%-75% dari total volume beton¹. Agregat tidak saja berpengaruh pada kekuatan beton, tetapi sifat –sifat agregat juga berpengaruh pada daya tahan dan kekompakan strukturnya. Sifat-sifat agregat yang penting dalam pembuatan beton pada umumnya adalah bentuk, gradasi, kekuatan, modulus elastisitas serta interaksi kimia dan fisiknya dengan semen yang mempengaruhi retakan antara agregat dan mortar. Selain itu, kekuatan beton dipengaruhi oleh proporsi campuran, kebersihan air dan agregatnya. Oleh karena itu, selain harus memiliki kekuatan dan daya tahan baik, butir agregat disyaratkan harus bersih dari lumpur atau material organis lainnya yang dapat mengurangi kekuatan beton. Diameter lumpur atau material organis ini adalah kurang dari 0.063 mm. bila banyaknya lumpur atau material organis yang dikandung dalam agregat lebih dari 1% berat kering, agregat tersebut harus dicuci.

Agregat pada beton mempunyai tiga fungsi utama yaitu :

1. Sebagai material pengisi yang relatif lebih murah dari semen.
2. Sebagai material padat yang tahan terhadap beban yang bekerja, abrasi, perkolasi air dan pengaruh cuaca.
3. Mengurangi kembang-susut dari pasta semen [1].

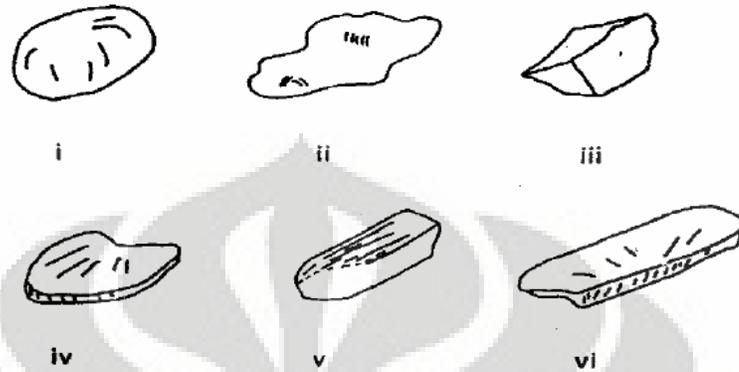
Bentuk dan gradasi agregat mempengaruhi kelecakan (*workability*) beton dan jumlah pemakaian agregat dalam campuran beton.

Tabel II.2 Klasifikasi Fisik Agregat [2]

Klasifikasi	Deskripsi	Contoh
Bulat	Aus akibat air atau terbentuk akibat keseluruhannya	Kerikil sungai
Tidak beraturan	Tak beraturan alami, atau sebagian terkikis dan memiliki bentuk bulat	Kerikil lain; batu tanah atau galian
<i>Flaky</i>	Material yang tipis pada salah satu sisinya	Batu yang terlindung salah satu sisinya
<i>Angular</i>	Memiliki bentuk sisi yang baik pada potongan sisi planar yang kasar	Batuan tebing yang dipecah, batuan kerak
<i>Elongated</i>	Material yang bersudut salah satunya lebih panjang dari yang lain	

¹ P. Nugraha. Teknologi Beton dengan Antisipasi Terhadap Pedoman Beton 1989 Surabaya Penerbitan U K Petra, 1980, hal. 31.

<i>Flaky dan Elongated</i>	Material yang memiliki panjang yang lebih besar dari lebarnya dan lebar ini lebih besar dari tebalnya	
----------------------------	---	--



i. *Rounded*; ii. *Irregular*; iii. *Angular*; iv. *Flaky*; v. *Elongated*; vi. *Flaky & Elongated*

Gambar II.1 Bentuk agregat²

Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dan mutu dan cara uji agregat beton dalam SII 00452-80 ataupun persyaratan ASTM C 330 tentang *Specification for Concrete Agregate*.

Dalam perencanaan beton, diperlukan pembagian butiran (gradasi) agregat. Untuk menentukan gradasi agregat dilakukan dengan analisa saringan. Alat yang digunakan adalah seperangkat saringan dengan ukuran jaring-jaring tertentu.

Menurut ukuran butirannya agregat bisa diklasifikasikan menjadi dua, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Batasan ukuran dan klasifikasi di atas adalah ayakan dengan lubang 4.75 mm (saringan No.4 Standar ASTM), butiran yang tertahan diayakan tersebut digolongkan sebagai agregat kasar sedangkan butiran yang dapat melewati ayakan tersebut digolongkan sebagai agregat halus.

Pemilihan agregat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut:

- Kualifikasi dari beton yang ingin dibentuk
- Perbandingan antara biaya dengan mutu
- Persediaan di sekitar lokasi proyek

² BSI 812-1975

2.3.2.1 Agregat Halus

Agregat halus menurut SK SNI 03-2847-2002 adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi 'alami' dari batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5.0 mm. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat halus ialah agregat yang lewat ayakan 3/8 in (9,5 mm) dan hampir seluruhnya melewati saringan 4.75 mm (saringan No.4 Standar ASTM) dan tertahan pada ayakan 75- μ m (No.200). Untuk penelitian digunakan campuran antara agregat alam dan daur ulang yaitu Pasir yang berasal Adhi Mix dan pasir hasil daur ulang dari Pioner Beton.

Agregat halus yang umum dipakai sebagai campuran beton adalah pasir alam. Menurut asal dan cara mendapatkannya, pasir alam dapat digolongkan menjadi:

- Pasir galian, diperoleh dari permukaan tanah dengan cara menggali. Pasir jenis ini biasanya berbentuk tajam, bersudut, berpori, bebas dari kandungan garam, tetapi perlu dicuci dahulu untuk membersihkan kotoran tanah.
- Pasir sungai, diperoleh dari dasar sungai, umumnya berbentuk bulat karena gesekan dengan air, sehingga kurang dapat diikat dengan kuat. Butirannya relatif halus, baik untuk pekerjaan plesteran.
- Pasir laut, diperoleh dari pantai, butirannya bulat dan halus. Kurang baik karena kandungan garamnya tinggi yang menyebabkan besarnya absorpsi dan pengembangan pada beton.

Berikut adalah sifat-sifat dari beton yang dipengaruhi oleh sifat-sifat dasar agregat halus yang membentuknya (sesuai dengan ACI 221R - 89):

1. Ketahanan beton

Ketahanan beton dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat halus, antara lain:

- Absorpsi, semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air mengurangi ketahanan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 2% (ASTM C 128).
- Kandungan sulfat, kandungan sulfat agregat halus yang diizinkan menurut ASTM C 88 adalah 1 sampai 10%.

- Bentuk dan tekstur permukaan agregat, agregat halus yang baik adalah yang mempunyai bentuk tajam dan kubikal, sehingga mempunyai bidang kontak yang luas untuk diikat.
- Kadar lumpur, keberadaan lumpur akan meningkatkan kebutuhan air atau mengurangi rongga udara. Keberadaan material yang lebih halus dari ayakan 75- μm (No.200) dapat ditoleransi asal bebas dari kandungan lumpur. Kadar lumpur yang diizinkan pada agregat halus menurut ASTM C 117 adalah 0.2 – 6 %.
- Kekerasan dan kekuatan agregat halus berpengaruh terhadap ketahanan abrasi dari beton.
- Indeks durabilitas dari agregat halus menunjukkan besarnya jumlah agregat yang bereaksi seperti lumpur bila bercampur dengan air.

2. Ketahanan terhadap reaksi alkalis

Ketahanan beton terhadap unsur alkalis dipengaruhi oleh sifat reaktif agregat terhadap *alkali-silica*, *alkali-carbonate* dan semen. Sifat reaktif yang tidak diinginkan dapat menyebabkan perpanjangan beton, keretakan atau kehilangan kekuatan beton.

3. Ketahanan terhadap pemanasan dan pendinginan

Koefisien pengembangan termal dari agregat berpengaruh dalam hal ini, walau pun biasanya tidak menimbulkan persoalan yang berarti terhadap beton.

4. Ketahanan terhadap kebakaran

Kuantitas dari agregat halus yang lewat dari ayakan 75- μm (No.200) mengurangi ketahanan beton terhadap bahaya kebakaran. Kandungan material halus di atas diizinkan pada agregat halus adalah antara 0.2 - 6 % (ASTM C 117).

5. Kekuatan beton

Kekuatan beton yang biasanya diperhatikan adalah kuat tekan dan kuat lentur. Kekuatan agregat juga berpengaruh terhadap kekuatan beton, tapi pada umumnya kekuatan agregat lebih besar daripada kekuatan butiran semen yang digunakan, hal ini sudah mencukupi. Sifat-sifat agregat halus lainnya yang mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- Kandungan organik, yang dapat melemahkan kekuatan beton. Pengujian agregat halus dilakukan dengan memperhatikan warnanya di dalam larutan NaOH, di mana tidak boleh melebihi standar No.3 (ASTM C 40).
- Bentuk partikel, semakin bersudut dan tajam bentuk partikel agregat halus akan semakin kuat diikat oleh pasta semen. Bentuk partikel yang tidak dianjurkan adalah bentuk bulat, pipih dan panjang.
- Kadar lumpur dan abu, keberadaan lumpur dan abu tidak diharapkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.
- Gradasi agregat halus yang baik menurut ASTM C 33 - 78 :

Tabel II.3 Gradasi Standar Agregat Halus Alam

Diameter ayakan	Prosentase Lolos
9.5 mm (No.2)	100
4.75 mm (no.4)	95 sampai 100
2.36 mm (No.8)	80 sampai 100
1.18 mm (No.16)	50 sampai 85
600 µm (No.30)	25 sampai 60
300 µm (No.50)	10 sampai 30
150 µm (No.100)	2 sampai 10

6. Konsistensi volume
Perubahan volume beton dipengaruhi oleh kuantitas material yang lolos dari ayakan No.200, juga kadar lumpur dari agregat halus.
7. Karakteristik termal
Karakteristik termal beton dipengaruhi oleh konduktivitas dan difusivitas dari agregat.
8. Kepadatan
Sifat-sifat agregat halus yang mempengaruhi kepadatan beton antara lain:
 - Berat jenis, agregat alam biasanya memiliki berat jenis antara 2.5 sampai 2.7, sedangkan beton agregat alam yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2.3 sampai 2.4. Semakin besar berat jenis agregat akan menyebabkan bertambahnya berat jenis dan kerapatan beton yang dihasilkan.

- Bentuk partikel, semakin bersudut dan tajam bentuk partikel agregat halus, semakin kuat diikat pasta semen. Bentuk partikel yang tidak dianjurkan adalah bentuk bulat, pipih, panjang.
- *Fineness Modulus*, ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan-kekasaran butiran agregat. Modulus halus ini didapat dari pengujian Analisa Saringan (ASTM C 136) yang merupakan penjumlahan kumulatif dari persentase agregat yang tertahan dibagi dengan 100. Untuk agregat halus, nilai ini berkisar antara 2.2 sampai 3.1.
- Kandungan partikel ringan, yaitu partikel alami dengan berat jenis kurang dari 2.4 %, jumlah maksimum yang diizinkan adalah 5 %.
- Kepadatan, kepadatan dari agregat dinyatakan dalam *kg/liter*, dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volume padat (termasuk volume pori tertutup) dan volume pori terbukanya (ASTM C 29).

9. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton dipengaruhi juga oleh elastisitas agregat, semakin tinggi modulus elastisitas agregat yang didapat dari uji beban uniaksial, semakin tinggi kekuatan agregat tersebut.

10. Kekuatan gesek permukaan

Sifat ini dipengaruhi oleh tekstur permukaan dari agregat, ketajaman dan kekasaran tekstur permukaan agregat memperbesar friksi permukaan beton pada kondisi basah (ASTM C 295).

11. Bleeding

Merupakan peristiwa terpisahnya air dari adukan campuran beton (SK SNI T-28-1991-03), yang dapat menyebabkan rusaknya pekerjaan penyelesaian dan memperlemah bagian permukaan beton, dan juga mengganggu pekerjaan pemompaan beton. Tapi peristiwa ini diharapkan pada proses beton-hampa, karena air dapat dipisahkan dengan mudah. Bentuk dan gradasi agregat halus sangat dominan menyebabkan terjadinya bleeding.

12. Workabilitas

Beton yang dihasilkan harus dapat dikerjakan dengan baik, yaitu dapat ditempatkan atau dicor serta dipadatkan secara baik sehingga dapat membentuk struktur sehomogen mungkin. Sifat beton yang menjadi tolak ukur hal di atas disebut workabilitas dari beton. Beberapa sifat agregat halus yang berpengaruh terhadap workabilitas beton antara lain adalah gradasi, *fineness modulus*, bentuk dan tekstur permukaan, kandungan material lebih halus dari saringan No.200, kadar lumpur dan abu serta ruang antar agregat. Sifat yang diinginkan dari agregat halus sama seperti yang dijelaskan di butir sebelumnya.

13. Kandungan udara

Kandungan material halus (lewat saringan No.200), lumpur dan kadar organik pada agregat halus dapat mengurangi kandungan rongga udara yang dianjurkan pada beton.

14. Pumpability

Beton segar yang dibentuk oleh agregat yang bersudut serta bergradasi kurang baik diyakini lebih susah dipompa karena friksi internal yang timbul di dalamnya. Biasanya untuk pemompaan dilakukan penambahan rasio mortar terhadap agregat kasar sekitar 10% dari proporsi semula (ACI 211.1 dan ACI 304).

15. *Shrinkage* (Susut)

Susut akibat kondisi kering tergantung pada potensial susut dari pasta semen dan sifat serta jumlah agregat. Faktor yang berhubungan dengan agregat halus yang dapat mempengaruhi terjadinya susut pada beton, antara lain:

- Sifat-sifat seperti gradasi, bentuk partikel, kandungan air agregat serta jumlah dari agregat yang dipakai.
- Tekstur, porositas agregat yang berpengaruh pada ikatan pasta semen dengan agregat.
- Kandungan lumpur

SNI 03-2834-1992 mengklasifikasikan distribusi ukuran butiran agregat halus (pasir) menjadi empat daerah atau zone, yaitu : zone I (kasar), zone II (agak kasar) , zone III (agak halus) dan zone IV (halus).

Tabel II.4 Batas-batas Gradasi Agregat Halus Menurut SNI 03-2834-1992

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan			
	Gradasi Zone I	Gradasi Zone II	Gradasi Zone III	Gradasi Zone IV
9.60 mm	100	100	100	100
4.80 mm	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40 mm	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20 mm	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60 mm	15-34	35-59	60-79	80-10
0.30 mm	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15 mm	0-10	0-10	0-10	0-15

2.3.2.2 Agregat Kasar

Agregat kasar menurut SK 03-2847-2002 adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Sedangkan menurut ASTM C 125-92, agregat kasar adalah porsi dari agregat yang tertahan (9.5 mm) dan pada saringan 4.75 mm (saringan No.4 Standar ASTM).

Fungsi agregat kasar adalah sebagai penyusun kekuatan sedangkan agregat halus berfungsi sebagai pengisi ruang kosong. Dalam praktek, agregat halus bekerja dengan bahan matriks membentuk suatu mortar yang melingkupi seluruh permukaan agregat kasar dan memberikan sifat adhesive. Asumsi umum yang ada mengenai ukuran butiran agregat kasar yang baik adalah ukuran butiran yang berkisar antara 5 mm sampai 25 mm, dengan prediksi bahwa ukuran yang relatif lebih kecil akan menghasilkan beton dengan kuat tekan lebih baik. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin luas bidang kontak dari agregat kasar tersebut akan menyebabkan reaksi pengikatan yang lebih sempurna.

Berikut adalah sifat-sifat dari beton yang dipengaruhi oleh sifat-sifat dasar agregat kasar yang membentuknya (sesuai dengan ACI 221R-89):

1. Ketahanan beton

Ketahanan beton dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat kasar, antara lain:

- Absorpsi, semakin besar kemampuan agregat kasar menyerap kandungan air akan mengurangi ketahanan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 4% (ASTM C127).
- Kandungan sulfat, kandungan sulfat agregat kasar yang diizinkan menurut ASTM C 88 adalah 1 sampai 12%.
- Bentuk dan tekstur permukaan agregat, agregat kasar yang baik adalah yang mempunyai bentuk tajam dan kubikal, sehingga mempunyai bidang kontak yang luas untuk diikat.
- Kadar lumpur, kadar lumpur yang diizinkan pada agregat kasar menurut ASTM C 117 adalah 0.2 – 1 %.
- Kekerasan dan kekuatan agregat kasar berpengaruh terhadap ketahanan abrasi dari beton.
- Indeks durabilitas dari agregat kasar menunjukkan besarnya jumlah agregat yang bereaksi seperti lumpur bila bercampur dengan air.
- Porositas, adalah rasio yang menyatakan prosentase dari volume rongga di dalam material terhadap volume total material termasuk rongganya. Porositas yang diizinkan pada agregat kasar adalah antara 1 - 10 % dari volume total agregat kasar tersebut.
- Ketahanan terhadap keausan dengan menggunakan *Los Angeles Testing Machine*, kehilangan berat setelah pengujian harus berkisar antara 15 - 50% (ASTM C 131 dan C 535).

2. Ketahanan terhadap reaksi alkalis

Ketahanan beton terhadap unsur alkalis dipengaruhi oleh sifat reaktif agregat terhadap *alkali-silica*, *alkali-carbonate* dan semen. Sifat reaktif yang tidak diinginkan dapat menyebabkan perpanjangan beton, keretakan atau kehilangan kekuatan beton. Agregat kasar dalam pengujian terhadap sifat reaktif ini harus dihancurkan menjadi seukuran pasir.

3. Ketahanan terhadap pemanasan dan pendinginan

Koefisien pengembangan termal dari agregat berpengaruh dalam hal ini, walau pun biasanya tidak menimbulkan persoalan yang berarti terhadap beton.

4. Ketahanan terhadap kebakaran

Kuantitas dari agregat kasar yang lewat dari ayakan 75- μ m (No.200) mengurangi ketahanan beton terhadap bahaya kebakaran. Kandungan material halus di atas diizinkan pada agregat kasar adalah antara 0.2 - 1% (ASTM C-117).

5. Kekuatan beton

Kekuatan beton yang biasanya diperhatikan adalah kuat tekan dan kuat lentur. Kekuatan agregat juga berpengaruh terhadap kekuatan beton, tapi pada umumnya kekuatan agregat lebih besar daripada kekuatan butiran semen yang digunakan, hal ini sudah mencukupi. Sifat-sifat agregat kasar lainnya yang mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- Bentuk partikel, semakin bersudut dan tajam bentuk partikel agregat kasar akan semakin kuat diikat oleh pasta semen. Bentuk partikel yang tidak dianjurkan adalah bentuk bulat, pipih dan panjang.
- Kadar lumpur dan abu, keberadaan lumpur dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.
- Ukuran maksimum dari agregat kasar, menurut ASTM C 136 berkisar antara ½ sampai 6 in.
- Gradasi agregat kasar yang baik menurut ASTM C 133 :

Tabel II.5 Gradasi Standar Agregat Kasar Alam Berdasarkan ASTM C 33 - 78

Diameter ayakan	Prosentase Lolos
25.4 mm (1")	100
19.0 mm (¾")	90 sampai 100
9.50 mm (3/8")	20 sampai 55
4.75 mm (No.4)	0 sampai 10
2.36 mm (No.8)	0 sampai 5

6. Konsistensi volume

Perubahan volume beton dipengaruhi oleh kuantitas material yang lolos dari ayakan No.200, juga kadar lumpur dari agregat kasar. Selain itu juga berpengaruh ukuran maksimum dari agregat kasar, menurut ASTM C 136 berkisar antara ½ sampai 6 in.

7. Karakteristik termal

Karakteristik termal beton dipengaruhi oleh konduktivitas dan difusivitas dari agregat serta koefisien termal dari agregat kasar.

8. Kepadatan

Sifat-sifat agregat kasar yang mempengaruhi kepadatan beton antara lain:

- Berat jenis, agregat alam biasanya memiliki berat jenis antara 2.5 sampai 2.7, sedangkan beton agregat alam yang dihasilkan mempunyai berat jenis sekitar 2.3 sampai 2.4. Semakin besar berat jenis agregat akan menyebabkan bertambahnya berat jenis dan kerapatan beton yang dihasilkan.
- Bentuk partikel, semakin bersudut dan tajam bentuk partikel agregat kasar, semakin kuat diikat pasta semen. Bentuk partikel yang tidak dianjurkan adalah bentuk bulat, pipih, panjang.
- *Fineness Modulus*, ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan-kekasaran butiran agregat. *Fineness Modulus* ini didapat dari pengujian Analisa Saringan yang merupakan penjumlahan kumulatif dari persentase agregat yang tertahan dibagi dengan 100. Untuk agregat kasar, nilai ini berkisar antara 5.5 sampai 8.5.
- Kandungan partikel ringan, yaitu partikel alami dengan berat jenis kurang dari 2.4 %, jumlah maksimum yang diizinkan adalah 5 %.
- Kepadatan, kepadatan dari agregat dinyatakan dalam *kg/liter*, dihitung berdasarkan berat agregat dalam suatu tempat tertentu, sehingga yang dihitung volume padat (termasuk volume pori tertutup) dan volume pori terbukanya (ASTM C 29). Standar kepadatan agregat berkisar antara 75 sampai 110 *lb/ft*.

9. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton dipengaruhi juga oleh elastisitas agregat, semakin tinggi modulus elastisitas agregat yang didapat dari uji beban uniaksial, umumnya akan semakin tinggi kekuatan agregat tersebut.

10. Kekuatan gesek permukaan

Sifat ini dipengaruhi oleh tekstur permukaan dari agregat, ketajaman dan kekasaran tekstur permukaan agregat memperbesar friksi permukaan beton pada kondisi basah (ASTM C 295).

11. Workabilitas

Beton yang dihasilkan harus dapat dikerjakan dengan baik, yaitu dapat ditempatkan atau dicor serta dipadatkan secara baik sehingga dapat membentuk struktur sehomogen mungkin. Sifat beton yang menjadi tolak ukur hal di atas disebut workabilitas dari beton. Beberapa sifat agregat kasar yang berpengaruh terhadap workabilitas beton antara lain adalah gradasi, *fineness modulus*, bentuk dan tekstur permukaan, kandungan material lebih halus dari saringan No.200, kadar lumpur dan abu serta ruang antar agregat. Sifat yang diinginkan dari agregat kasar sama seperti yang dijelaskan di butir sebelumnya.

12. Kandungan udara

Kandungan material halus (lewat saringan No.200), lumpur dan kadar organik pada agregat kasar dapat mengurangi kandungan rongga udara yang diharapkan pada beton.

13. Pumpability

Beton segar yang dibentuk oleh agregat yang bersudut serta bergradasi kurang baik diyakini lebih susah dipompa karena friksi internal yang timbul di dalamnya. Biasanya untuk pemompaan dilakukan penambahan rasio mortar terhadap agregat kasar sekitar 10% dari proporsi semula (ACI 211.1 dan ACI 304).

14. *Shrinkage* (Susut)

Susut akibat kondisi kering tergantung pada potensial susut dari pasta semen dan sifat serta jumlah agregat. Faktor yang berhubungan dengan agregat kasar yang dapat mempengaruhi terjadinya susut pada beton, anatara lain:

- Sifat-sifat seperti gradasi, bentuk partikel, kandungan air agregat serta jumlah dari agregat yang dipakai.
- Tekstur, porositas agregat yang berpengaruh pada ikatan pasta semen dengan agregat.
- Kandungan lumpur

Batasan gradasi agregat kasar yang baik untuk ukuran butir agregat maksimum 19 mm dan 38 mm, menurut SNI 02-2834-1992 pada tabel di bawah ini:

Tabel II.6 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar SNI 03- 2834-1992

Ukuran Saringan	Persentase berat yang lolos saringan	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 19 mm
38.0 mm	90-100	100
19.0 mm	35-70	90-100
9.6 mm	10-40	50-85
4.8 mm	0-5	0-10

Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia, perlu diuji ketahanannya terhadap keausan (dengan mesin *Los Angeles*). Persyaratan mengenai ketahanan agregat kasar beton keausan ditunjukkan pada tabel II.7 di bawah ini:

Tabel II.7 Persyaratan Kekerasan Agregat Kasar

Kekuatan beton	Maksimum bagian yang hancur dengan Mesin Los Angelos, lolos ayakan 1,7 mm (%)
Kelas I (sampai 10 MPa)	50
Kelas II (10 MPa – 20 MPa)	40
Kelas III (di atas 20 MPa)	27

2.3.3 Air

Air diperlukan dalam pembentukan beton untuk hidrasi semen, membasahi agregat dan memudahkan proses pencampuran untuk kemudahan pekerjaan. Agar beton mudah dikerjakan harus ditentukan perbandingan antara jumlah air dan semen yang digunakan. Kualitas air perlu diperhatikan karena kandungan kotoran yang ada di dalamnya akan mempengaruhi mutu beton. Salah satunya dapat mengurangi kekuatan beton. Selain dilakukan pemeriksaan visual dalam kejernihannya, perlu pula dilakukan pemeriksaan mengenai kandungan bahan-bahan perusak. Contoh asam, alkali, bahan-bahan organik dan lain-lain. Penelitian semacam ini harus dilakukan di laboratorium kimia. Selain itu air dibutuhkan untuk reaksi pengikatan pada beton, dapat pula digunakan untuk masa perawatan beton setelah pengecoran.

Proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan beton menjadi rendah. Proporsi air ini

dinyatakan sebagai rasio air-semen (*water-cement ratio*), yaitu angka yang menyatakan perbandingan antara berat air (*kg*) dibagi dengan berat semen (*kg*) dalam adukan beton tersebut.

Beton untuk konstruksi gedung biasanya memiliki nilai rasio air-semen sebesar 0.45 hingga 0.65. Dengan rasio tersebut dapat dihasilkan beton yang kepadatannya baik, namun mutu beton tetap dipengaruhi cara pemadatan dan daya kerja. Pemadatan yang kurang baik, akan menimbulkan sarang kerikil (*honeycomb*) yang mengakibatkan beton keropos. Daya kerja beton diukur dari nilai *slump*. Nilai *slump* beton untuk bangunan berkisar 7.5 hingga 15 cm.

2.4 SIFAT-SIFAT MEKANIS BETON

Dalam pembuatan beton selalu diperhatikan sifat-sifat dari beton yang kita inginkan. Sifat-sifat yang utama dan umum kita kehendaki adalah sifat-sifat mekanis beton, hal ini mempengaruhi kita dalam perhitungan dan pembuatan campuran beton. Sifat-sifat mekanis beton dapat dikaitkan dengan dua kondisi beton masih baru dan encer disebut kondisi beton segar, dan yang kedua adalah kondisi di mana beton sudah mengeras.

Pada keadaan beton segar, ada beberapa sifat mekanis dan fenomena yang harus kita perhatikan, antara lain:

- Workabilitas beton segar
- Temperatur beton
- Segregasi
- *Bleeding*
- *Pumpability*
- Kandungan udara
- Waktu ikat

Dari sifat-sifat beton segar di atas, hanya akan dijabarkan mengenai sifat workabilitasnya saja.

Sedangkan pada saat beton sudah mengeras harus diperhatikan sifat-sifat mekanisnya sebagai berikut:

- Durabilitas atau ketahanan beton, terutama pemanasan-pendinginan, reaksi alkalis dan bahaya kebakaran.

- Kekuatan beton, terutama kuat tekan, kuat lentur, kuat tarik-belah.
- *Shrinkage* (Susut)
- *Creep* (Rangkak)
- Modulus Elastisitas
- Gesekan permukaan beton
- Karakteristik termal
- Stabilitas volume beton

2.4.1 Workabilitas

Workabilitas beton atau sifat kemudahan pengerjaan dari beton yang meliputi kemudahan penempatan-pencetakan beton dan ketahanan beton terhadap segregasi serta sifat-sifat beton dalam kondisi plastis lainnya.

Menurut Newman [4], sifat workabilitas (biasa disebut kelecakan) beton dapat diklasifikasikan menjadi:

1. *Compactibility*, mewakili sifat kemudahan pemampatan beton dengan cara menghilangkan rongga udara yang ada.
2. *Stability*, yaitu ketahanan beton terhadap segregasi materialnya selama masa pengangkutan atau saat pepadatan.
3. *Mobility*, yaitu kemudahan beton segar untuk mengisi seluruh sudut cetakan dan rongga antar tualangan.
4. *Finishability*, yaitu sifat yang menolong untuk memperoleh penyelesaian permukaan beton yang licin dan baik.

Sifat workabilitas beton ini sedikit banyak dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti rasio air-semen, gradasi agregat, ukuran maksimum agregat, bentuk dan tekstur permukaan agregat, rasio pasir-agregat, kepadatan agregat, absorpsi agregat dan kekayaan atau proporsi campuran beton.

Pengukuran derajat workabilitas beton dilakukan dengan pengujian-pengujian seperti [4]:

1. Uji *Slump* (ASTM C 143 - 78), untuk mengetahui variasi dari keseragaman dan konsistensi dari campuran beton tertentu.

2. *Compacting Factor Test* (ACI 211.3 - 75), yaitu pengukuran derajat pemadatan dan rasio kepadatan dengan standar berupa jumlah usaha yang dilakukan.
3. *Flow Test* (ASTM C 124 - 39), merupakan uji laboratorium untuk mengetahui konsistensi beton dan ketahanan terhadap segregasi dengan cara mengukur sebaran beton yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu.
4. *Vebe Test* (ACI 211.3 - 75) adalah pengembangan dari *remolding test*.
5. *Ball Penetration Test*, merupakan uji lapangan yang bertujuan sama dengan uji *slump*.

2.5 KUAT LENTUR BETON

Dalam perencanaan beton untuk struktur tertentu, seperti perkerasan rigid dan landasan pesawat terbang, kriteria kuat lentur beton lebih dominan dibandingkan kuat tekan beton. Kuat lentur beton dapat ditentukan dari balok beton yang mengalami pembebanan arah transversal. Kuat lentur maksimum dialami oleh serat bawah balok beton dan disebut sebagai *Modulus of Rupture*, yang besarnya tergantung dari panjang balok dan jenis pembebanan.

Kuat lentur beton biasanya kurang mempunyai pengaruh yang berarti pada struktur beton bertulang, karena gaya lentur yang terjadi ditanggung oleh tulangan yang ada. Walau begitu pengetahuan mengenai kuat lentur beton berguna untuk mengetahui batasan dan jenis keretakan pada struktur beton, karena keretakan yang tampak akibat tekanan selalu berkaitan dengan *modulus of rupture* dari beton.

Modulus of rupture diukur dari percobaan balok sederhana berpenampang bujur sangkang 15 cm dengan bentang 55 cm yang diberi beban pada dua titik dengan jarak 1/3 bentang hingga benda uji itu patah.

Nilai *modulus of rupture* adalah $7.5 \sqrt{f_c}$ psi atau $0.62 \sqrt{f_c}$ MPa. (ACI 318 - 83) dan menurut SNI 03-2847-2002 nilai *modulus of rupture* adalah $0.7 \sqrt{f_c}$ MPa.

2.6 PERUBAHAN PANJANG (SUSUT) BETON

Perubahan panjang adalah fenomena berkurangnya volume beton akibat proses pengeringan dan fenomena deformasi jangka panjang beton yang disebabkan oleh adanya perubahan volume karena menguapnya air dari rongga-rongga mikro struktural beton sebagai akibat adanya proses hidrasi selama proses pengikatan beton.

Susut juga diartikan sebagai berkurangnya volume beton seiring penambahan waktu setelah proses pengerasan beton. Pengurangan ini terjadi akibat perubahan muatan campuran beton dan perubahan fisika-kimia, yang terjadi tanpa dipengaruhi gaya tekan yang timbul akibat beban luar, sehingga dapat digambarkan sebagai berkurangnya dimensi dari *strain* (in/in atau m/m) dalam kondisi kelembaban relatif dan temperatur yang konstan.

Penyusutan pada beton adalah variasi volume akibat faktor struktur beton maupun lingkungan seperti suhu.

Tiga macam jenis susut yang terjadi pada beton adalah sebagai berikut :

- *Autogeneous Shrinkage* :
Adalah penyusutan yang terjadi akibat reaksi kimia semen pada beton. Pada saat senyawa kimia bereaksi dan menyatu, maka akan menyisakan ruang kosong pada beton. Perbedaan kecepatan penguapan air pada kulit dan bagian dalam beton akan menyebabkan variasi volume pada kulit dan bagian dalam.
- *Drying Shrinkage* :
Adalah penyusutan yang disebabkan oleh penguapan air pada saat reaksi hidrologis berlangsung cepat. Air yang terdapat di pori-pori menguap mengurangi volume beton.
- *Thermal Shrinkage* :
Adalah penyusutan akibat perubahan suhu lingkungan. Perbedaan koefisien pengaruh thermal beton akan menyebabkan penyusutan yang tidak seragam pada beton.

Perubahan volume pada beton dapat berbentuk mengembang dan menyusut. Dari kedua bentuk tadi yang perlu diperhatikan adalah pengembangan

dari beton, karena sifat dari beton yang memiliki tegangan tarik yang rendah. Akibat mengembang maka material beton akan mengalami tegangan tarik.

Sifat mengembang dari beton bisa disebabkan dari dalam bahannya itu sendiri seperti semen yang terlalu banyak mengandung MgO atau dapat pula adanya reaksi antara agregat yang reaktif terhadap alkali dengan alkali dalam semen. Pengaruh lain adalah dari luar, seperti reaksi antara sulfat dengan senyawa yang terdapat dalam semen terutama senyawa C_3A , atau dapat pula akibat termal.

Penyusutan yang berlebihan dapat menyebabkan retak pada beton. Retak-retak rambut pada beton akan menyebabkan korosi pada tulangan logam yang terkena proses oksidasi. Tetapi juga mempunyai pengaruh yang menguntungkan sebagai penguat pelekatan antara beton dengan penulangan baja. Susut mulai terjadi segera setelah beton diaduk, disebabkan pertama-tama karena penyerapan air oleh beton dan agregat. Susut selanjutnya disebabkan oleh penguapan air yang naik ke permukaan beton. Selama proses pembentukan, hidrasi semen menimbulkan sejumlah besar panas, dan dengan mendinginnya beton, susut lebih lanjut terjadi akibat penurunan panas. Bahkan setelah beton sudah mengeras, susut akibat pengeringan berlangsung terus sampai berbulan-bulan, dan setiap pembasahan dan pengeringan berikutnya dapat pula menyebabkan muai dan susut. Susut akibat perubahan suhu dapat dikurangi dengan pembatasan suhu selama hidrasi, yang dapat dilakukan dengan prosedur berikut:

- 1) Mempergunakan suatu rencana adukan dengan kadar semen rendah;
- 2) Menghindarkan pengerasan cepat dan penggunaan semen halus, bila mungkin;
- 3) Menjaga agar agregat dan air pengaduk tetap dingin.
- 4) Mempergunakan acuan baja dan mendinginkannya dengan siraman air.
- 5) Membongkar acuan waktu dini untuk memungkinkan panas hidrasi dilepaskan keluar.

Suatu rasio air-semen yang rendah akan membantu mengurangi susut akibat pengeringan dengan menjaga volume air yang dapat hilang pada suatu batas minimum.

2.7 MODULUS ELASTISITAS DAN *POISSON RATIO*

Modulus elastistas atau disebut juga *modulus young* adalah perbandingan antara tegangan tarik atau tekan terhadap regangan yang bersangkutan, di bawah batas proporsionalnya dari material.

Nilai ini pada perhitungan perencanaan disebut sebagai modulus elastisitas beton. Modulus ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastisitas (pada keadaan beban dihilangkan bersifat *reversible* penuh) dan regangan lainnya akibat beban dipandang sebagai rangkai.

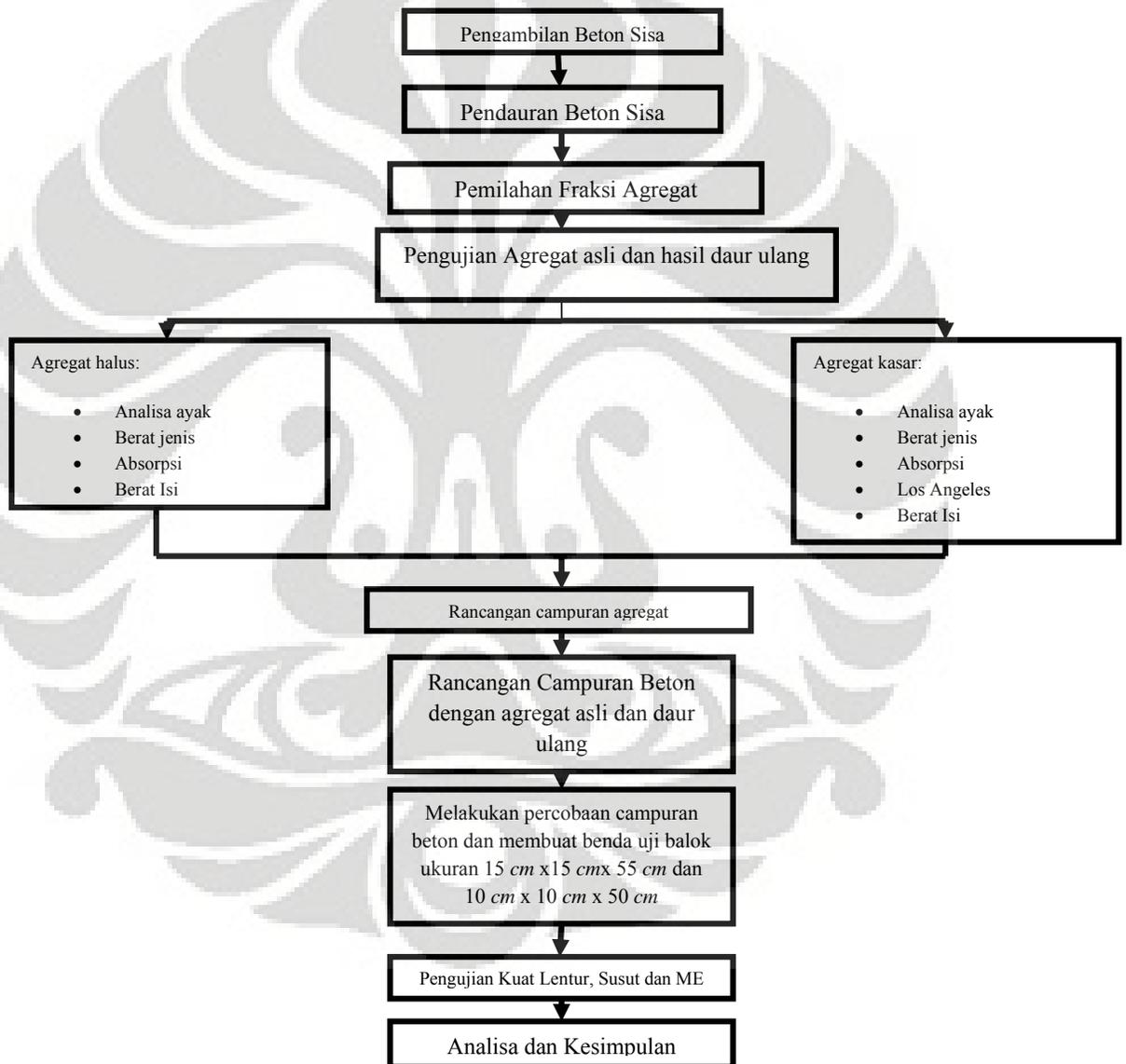
SNI 03-2847-2002 memberikan persamaan untuk menghitung modulus elastisitas beton, yaitu $E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$.

Besarnya nilai perbandingan antara regangan lateral (ϵ_2) terhadap regangan longitudinal (ϵ_1) pada suatu bahan/material adalah tetap (konstan). Nilai perbandingan inilah yang disebut dengan Rasio *Poisson* yang umumnya bernilai pada kisaran angka 0.15 - 0.2. Regangan yang arahnya segaris dengan arah gerak gaya disebut regangan longitudinal. Sedangkan regangan yang arahnya tegak lurus terhadap arah gerak gaya disebut regangan lateral.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dan langkah kerja dapat dilihat pada bagan berikut:



Gambar III.1 Prosedur Penelitian

3.1 PENGAMBILAN BETON SISA

Pada langkah ini akan dilakukan pengambilan beton sisa dari PT Pioner Beton yang sudah tidak terpakai lagi.

3.2 PEMILAHAN FRAKSI AGREGAT

Dalam proses pemilahan ini akan dilakukan pembagian material menjadi 2 (dua) fraksi yaitu:

- Agregat halus
- Agregat kasar

Adapun pembagian fraksi akan dilakukan dengan pengayakan melalui saringan. Menurut ASTM C 125 - 92, agregat kasar adalah porsi dari agregat yang tertahan ($9,5 \text{ mm}$) dan pada saringan $4,75 \text{ mm}$ (saringan No.4 standar ASTM), sedangkan agregat halus adalah agregat yang lewat ayakan $3/8 \text{ in}$ ($9,5 \text{ mm}$) dan hampir seluruhnya melewati saringan $4,75 \text{ mm}$ (saringan No.4 standar ASTM) dan tertahan pada ayakan $75\text{-}\mu\text{m}$ (No.200).

3.3 PENGUJIAN AGREGAT

3.3.1 Pengujian Agregat Halus

3.3.1.1 Analisa Ayak

Pengujian ini berdasarkan standar ASTM C 136 – 95a

a. Tujuan:

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

b. Peralatan:

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dari berat benda uji.
- Satu set saringan : 76.2 mm (3"); 63.5 mm (2½"); 50.8 mm (2"); 37.5 mm (1½"); 25 mm (1"); 19.1 mm (¾"); 12.5 mm (½"); 9.5 mm (¼"); No.4; No.8; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 (standar ASTM).
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Alat pemisah contoh (*sample splitter*).
- Mesin penggetar saringan.

- Talam-talam.
 - Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.
- c. Bahan:
- Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.
 - Ukuran maksimum No.4 berat minimum 500 *gram*.
 - Ukuran maksimum No.8 berat minimum 100 *gram*
- d. Prosedur
- Sediakan benda uji sebanyak 500 *gram*.
 - Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran No.8, 16, 30, 50, 100, 200, pan. Kemudian saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
 - Timbang berat agregat halus pada masing-masing saringan
- e. Perhitungan:
- Menghitung persentase gerak benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

3.3.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 128 - 93.

- a. Tujuan:
- Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128 guna menentukan agregat dalam beton.
- b. Peralatan:
1. Neraca timbangan dengan kepekaan 0,1 *gram* dan kapasitas minimum 1 *kg*.
 2. Piknometer kapasitas 500 *gram*.
 3. Cetakan kerucut pasir.
 4. Tongkat pemadat dari logam untuk cetakan kerucut pasir.

c. Bahan:

Seribu *gram* agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

d. Prosedur:

1. Agregat halus dibuat jenuh air dengan cara merendam selama 1 hari, kemudian dikeringkan sampai merata (Free Flowing Condition).
2. Sebagian benda uji dimasukkan pada *metal sand cone mold*. Benda uji kemudian dipadatkan dengan tongkat pemadat sampai 25 kali tumbukan. Kondisi SSD (*Surface Dry Condition*) diperoleh jika cetakan diangkat, agregat halus runtuh/longsor.
3. Agregat halus dalam keadaan SSD sebanyak 500 *gram* dimasukkan ke dalam piknometer dan diisi air sampai 90 % kapasitas. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara mengoyang-goyangkan piknometer. Rendam dalam air dengan temperatur air 73.4 ± 30 °F selama paling sedikit 1 hari. Tentukan berat piknometer benda uji dan air.
4. Pisahkan benda uji dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur $212 - 230$ °F selama 1 hari.
5. Tentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur 73.4 ± 30 °F dengan ketelitian 0.1 *gram*.

e. Perhitungan:

$$\bullet \text{ Bulk Specific Gravity (SSD)} : \frac{500}{B + 500 - C} \dots\dots\dots(3.1)$$

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

$$\bullet \text{ Prosentasi Absorpsi} : \frac{500 - A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan:

- A = Berat (*gram*) dari benda uji *oven dry*
- B = Berat (*gram*) dari piknometer berisi air
- C = Berat (*gram*) dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi

3.3.1.3 Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Pengujian ini berdasarkan ASTM C 29/29M - 97.

a. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat halus.

Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
4. Mistar perata (*straight edge*)
5. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, berkapasitas sebagai berikut :

Tabel III.1 Daftar Peralatan Percobaan Berat Isi Agregat Kasar

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Wadah Minimum (mm)		Ukuran Butir Maksimum (mm)
			Dasar	Sisi	
2.832	152.4 ± 2.5	154,9 ± 2.5	5.08	2.54	12.7
9.435	203.2 ± 2.5	292,1 ± 2.5	5.08	2.54	25.4
14.158	254.0 ± 2.5	279,4 ± 2.5	5.08	3.00	38.1
28.316	355.6 ± 2.5	284,4 ± 2.5	5.08	3.00	101.8

c. Benda Uji

- #### d.
- Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai tabel III.1, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}$ C sampai berat tetap.

e. Prosedur

- ✓ Berat isi lepas
 - Timbang dan catat berat wadah (w_1).
 - Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh.
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

- ✓ Berat isi padat agregat ukuran butir maksimum 36.1 mm (1½") dengan cara penusukkan
 - Timbanglah dan catat berat wadah (w_1).
 - Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).
- ✓ Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38.1 mm (1½") sampai 101.8 mm (4") dengan cara penggoyangan
 - Timbanglah dan catat berat wadah (w_1).
 - Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal.
 - Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan.
 - Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi.
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2).
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

f. Perhitungan

$$\text{Berat Isi Agregat} = \frac{W_3}{V} \text{ kg / dm}^3 \dots\dots\dots(3.4)$$

3.3.1.4 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No. 200 sesuai dengan standar ASTM C 117 - 04.

a. Tujuan Percobaan :

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

b. Peralatan

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

c. Bahan

- ✓ Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum sesuai tabel dibawah ini :

Tabel III.2 Ukuran Agregat Kering Minimum

Ukuran Agregat Maksimum		Berat Contoh Agregat Kering Minimum
<i>mm</i>	<i>inci</i>	<i>Gram</i>
2,36	No. 8	100
1,18	No. 4	500
9,5	$\frac{1}{4}$	2000
19,1	$\frac{3}{4}$	2500
38,1	$1\frac{1}{2}$	5000

d. Persiapan benda uji

- ✓ Masukkan contoh agregat lebih kurang 25 kali berat benda uji ke dalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu $[110 \pm 5]^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- ✓ Siapkan benda uji dengan berat $[w_1]$ sesuai dengan tabel III.2.

e. Prosedur

1. Masukkan benda uji ke dalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.
2. Guncang-guncangkan wadah dan tuangkan air cucian ke dalam susunan saringan No.16 dan No.200. Pada waktu menuangkan air cucian, usahakan agar bahan-bahan yang kasar tidak ikut tertuang.

3. Masukkan air pencuci baru, dan ulanglah pekerjaan No.2 sampai air cucian menjadi bersih.
 4. Semua bahan yang tertahan No.16 dan No.200 kembalikan ke dalam wadah; kemudian masukkan seluruh bahan tersebut ke dalam talam yang telah diketahui beratnya [w_2] dan keringkan dalam oven dengan suhu [110 ± 5]°C sampai berat tetap.
 5. Setelah kering timbang dan catatlah beratnya [w_3].
 6. Hitunglah berat bahan kering tersebut [$w_4 = w_3 - w_2$].
- f. Perhitungan

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

3.3.2 Pengujian Agregat Kasar

3.3.2.1 Analisa Ayak

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 136 – 95a.

a. Tujuan:

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

b. Peralatan:

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dari berat benda uji.
- Satu set saringan : 76.2 mm (3"); 63.5 mm (2½"); 50.8 mm (2"); 37.5 mm (1½"); 25 mm (1"); 19.1 mm (¾"); 12.5 mm (½"); 9.5 mm (¼"); No.4; No.8; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 (standar ASTM).
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai (110±5)°C.
- Alat pemisah contoh (*sample splitter*).
- Mesin penggetar saringan.
- Talam-talam.
- Kuas, sikat kuning, sendok, dan alat-alat lainnya.

c. Bahan:

Benda uji diperoleh dari alat pemisah.

d. Prosedur

- Sediakan benda uji sebanyak 2.5 kg.
 - Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{2}$, 4, 8, dan pan. Kemudian saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.
 - Timbang berat agregat halus pada masing-masing saringan
- e. Perhitungan:
- Menghitung persentase gerak benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

3.3.2.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 127 - 88.

- a. Tujuan:
- Menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat kasar menurut ASTM C 127 guna menentukan volume agregat dalam beton.
- b. Peralatan:
- Timbangan dengan ketelitian 0.5 gram, kapasitas minimum 5 kg.
 - Panjang besi 8 in dan tinggi 2.5 in.
 - Alat penggantung keranjang
 - Oven
 - Handuk
- c. Bahan:
- 11 liter agregat [SSD] diperoleh dari alat pemisah contoh atau alat perempatan. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.
- d. Prosedur:
- Benda uji direndam 24 jam.
 - Benda uji digulung dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (kondisi SSD). Timbang.
 - Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ dan ditimbang sebelum *container* diisi

benda uji, digoyang-goyang dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.

- Benda uji dikeringkan pada temperatur 212 – 230⁰F. Didinginkan dan ditimbang.

e. Perhitungan:

- *Bulk Specific Gravity (SSD)* : $\frac{B}{B - C}$ (3.6)

- *Apparent Specific Gravity* : $\frac{A}{A - C}$ (3.7)

- *Persentase Absorpsi* : $\frac{B - A}{A} \times 100\%$ (3.8)

Keterangan:

A = Berat (*gram*) dari benda uji *oven-dry* di udara.

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

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

3.3.2.3 Pemeriksaan Abrasi dengan Menggunakan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 131 - 89.

a. Tujuan:

Pemeriksaan ini dimaksudkan ini untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula, dalam persen.

b. Peralatan

- Saringan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$.
- Mesin Los Angeles; mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 *cm* (26") panjang dalam 50 *cm* (20"). Silinder tertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar. Silinder berlubang untuk memasukkan benda uji. Penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Dibagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 8.9 *cm* (3.56").

- Saringan No. 12 dan saringan-saringan lainnya seperti tercantum dalam No.1.
- Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
- Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4.68 cm dan berat masing-masing antara 390 gram sampai 445 gram.
- Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

c. Bahan:

- Berat dengan gradasi benda uji sesuai tabel III.1.
- Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

d. Prosedur

- Keringkan aggeragat kasar dalam oven $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama 1 hari
- Saring benda uji dalam saringan $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$
- Benda uji dan bola-bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles.
- Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm, 500 putaran untuk gradasi A dan B selam 15 menit.
- Tunggu 5 menit agar agregat yang menempel pada dinding mesin berkumpul di bawah.
- Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No.12. Butiran yang tertahan dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

e. Perhitungan:

$$\text{Keausan} = \frac{A - B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji semula (gram)

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

3.3.2.4 Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Pengujian ini berdasarkan ASTM C 29/29M - 97.

a. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat kasar.

Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0.1 % berat contoh
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengeringkan contoh agregat
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat
4. Mistar perata (*straight edge*)
5. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang.

c. Benda Uji

Masukkan contoh agregat ke dalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai tabel III.1; keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

d. Prosedur

- ✓ Berat isi lepas
 - Timbang dan catat berat wadah (w_1)
 - Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dari ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)
- ✓ Berat isi padat agregat ukuran butir maksimum 36.1 mm ($1\frac{1}{2}$ "") dengan cara penusukkan
 - Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
 - Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali

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

- Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)
- ✓ Berat isi pada agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1½") sampai 101,8 mm (4") dengan cara penggoyangan
- Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
 - Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
 - Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
 - Ulangi hal ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
 - Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$).

3.4 PERCOBAAN CAMPURAN BETON

3.4.1 Perbandingan Campuran Beton

- ✓ Konsep Perhitungan Campuran Beton

Perbandingan campuran bahan-bahan beton harus dipilih untuk mendapatkan beton yang paling ekonomis, sehingga dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia akan menghasilkan beton yang mempunyai *workability*, *durability*, dan *strength* seperti yang diinginkan. Tes-tes laboratorium adalah dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air, dan *admixture* sehingga didapatkan kombinasi yang optimum, akan tetapi perbandingan yang terakhir harus ditentukan dengan cara coba-coba dan disesuaikan dengan keadaan di lapangan.

✓ Metode Perhitungan Campuran Beton

Perbandingan campuran beton pada prinsipnya harus dicari dengan cara coba-coba. Tes-tes terhadap campuran beton sebelum pengecoran beton dilaksanakan tidak boleh dilakukan dengan menggunakan material-material yang betul-betul diambil dari material yang akan digunakan. Dan setelah didapatkan perbandingan campuran yang dianggap cocok kemudian harus diselidiki dan disesuaikan dengan menggunakan *batching plant* yang sesungguhnya akan digunakan di lapangan.

3.4.2 Prosedur Perhitungan Campuran

Prosedur perhitungan campuran beton pada prinsipnya dilakukan dengan cara coba-coba, dan pada garis besarnya adalah sebagai berikut:

1. Tes terhadap material beton, untuk memeriksa apakah material tersebut memenuhi syarat spesifikasi atau tidak.
2. Menentukan ukuran butiran maksimum agregat kasar, *slump*, dan kandungan udara yang disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi dan pelaksanaan pekerjaan.
3. Menentukan *water-cement ratio* yang memenuhi *strength* dan *durability* yang diperlukan.
4. Menentukan perbandingan campuran dengan cara coba-coba di dalam *batch*, dengan jumlah air adukan dan presentase pasir terhadap agregat yang untuk sementara ditentukan.
5. Penyesuaian jumlah air adukan dan *admixture* untuk mendapatkan *slump* dan kandungan udara yang diperlukan.

3.4.3 Menentukan Ukuran Butir Maksimum Agregat Kasar

Ukuran butiran maksimum agregat kasar tidak boleh menyimpang dari ketentuan spesifikasi yang telah ditetapkan. Selama dalam batas-batas harga dan spesifikasi kemungkinan penggunaan agregat yang lebih besar adalah dibenarkan, akan tetapi hal ini akan menyebabkan berkurangnya air dan semen. Ukuran

agregat maksimum yang akan digunakan untuk campuran beton untuk suatu konstruksi tertentu dapat ditentukan dengan menggunakan tabel III.3.

Tabel III.3 Ukuran Agregat Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam-Macam Tipe Konstruksi³

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

3.4.4 Menentukan *Slump*

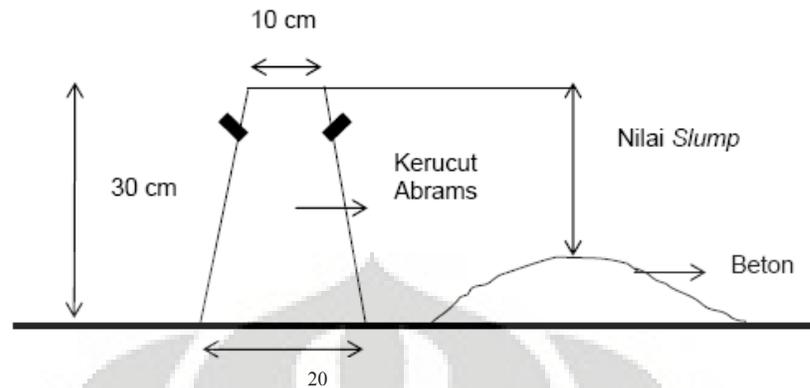
Slump suatu beton adalah lebih baik ditentukan serendah-rendahnya tetapi masih dapat dikerjakan dengan baik. Semakin rendah *slump* akan semakin sedikit jumlah air yang diperlukan, ini berarti akan semakin tinggi *strength* beton yang dihasilkan. Untuk menentukan *slump* suatu beton yang akan digunakan untuk bermacam-macam konstruksi dapat ditentukan dengan tabel III.4.

Tabel III.4 Ukuran *Slump* Maksimum Yang Dianjurkan Dalam Berbagai Macam Tipe Konstruksi⁴

Jenis konstruksi	<i>Slump</i> maksimum [cm]
1. heavy mass concrete	5
2. canal lining dengan tabel >8cm	8
3. slap dan tunnel invert	5
4. walls, pier, parapet, dan curb	5
5. side walls, tunnel lining	10
6. konstruksi lainnya	8

³ US Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". 8th edition. 1975

⁴ US Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". 8th edition. 1975



Gambar III.2 Sketsa *slump* tes

3.4.5 Menentukan Jumlah Air Adukan, Kandungan Udara dan Persentase Pasir Terhadap Agregat

1. Banyaknya kandungan udara di dalam beton yang menggunakan *air-entraining admixture* umumnya berkisar antara 3% – 6% dari volume beton tergantung kepada ukuran agregat maksimum yang digunakan.
2. Untuk mendapatkan *strength* yang terbesar, *durability*, dan sifat-sifat lainnya yang dikehendaki dengan baik, beton harus dibuat menggunakan jumlah air adukan yang terkecil tetapi masih dapat dikerjakan dengan baik. Jumlah air adukan (per meter kubik beton) yang diperlukan untuk membuat campuran beton dengan kekentalan yang dikehendaki dipengaruhi oleh ukuran agregat maksimum, bentuk partikel, dan gradasi dari agregat dan jumlah tambahan kandungan udara.
3. Harga-harga dari jumlah agregat kasar, jumlah air adukan, dan presentase pasir terhadap agregat yang diperlukan per meter kubik beton untuk bermacam-macam ukuran maksimum agregat kasar dapat menggunakan sebuah tabel.

3.4.6 Menentukan *Water-Cement Ratio*

Kualitas beton dapat diukur dari *workabilty*, *durability*, dan *strength* beton tersebut. Kualitas beton sebanding dengan jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton. Untuk mendapatkan kualitas beton yang diinginkan, jumlah semen yang diperlukan dapat dihitung dari *water-cement ratio* dan jumlah air

adukan yang telah ditentukan. *Water-cement ratio* ini harus ditentukan dengan memperhitungkan *strength* dan *durability* beton yang diperlukan. Dalam memilih *water-cement ratio* berdasarkan kepada *compressive strength*, maka hubungan antara *water-cement ratio* dengan *compressive strength* (dalam umur 28 hari) pada prinsipnya harus ditentukan dengan tes-tes laboratorium.

Tabel III.5 Perbandingan Material Yang Digunakan Dalam Berbagai *Design Mix*

Size of Agregate [mm]	Uint Coarse agregate Content by Volume [%]	Concrete without AE ad.			
		Entrapped Air [%]	Sand Percent S/A[%]	Water content W [kg]	Air Content [%]
15	53	2.5	49	190	7.0
20	61	2.0	45	185	6.0
25	66	1.5	41	175	5.0
40	72	1.2	36	165	4.5
50	75	1.0	33	155	4.0
80	81	0.5	31	140	3.5

Catatan: *harga-harga diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM = 2.8, dan *slump* beton dalam *mixer* 8cm.

* penyesuaian harga-harga di atas untuk kondisi yang lain dengan menggunakan tabel III.4.

Tabel III.6 Penyesuaian Harga Perbandingan Material

	Change in material or proportion	Correction 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 crused coarse agregate	±3 ~ 5	±9 ~ 15
5	Using crused 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

Tabel III.7 Harga-harga *Compressive Strength* Minimum Rata-Rata Dari Beton Untuk Bermacam-macam Harga *Water-Cement Ratio*

<i>Water-cement ratio</i> [W/C]	<i>Compressive strength</i> pada umur 28 hari [kg/cm ²]	
	Beton dengan A.E saja	Beton dengan A.E+W.R.A
0.40	400	450
0.45	340	390
0.50	290	340
0.55	250	290
0.60	220	250
0.65	180	220
0.70	150	190

3.4.7 *Target Strength*

Target strength adalah suatu kekuatan beton yang harus dicapai oleh beton (biasanya dalam umur 28 hari) yang digunakan sebagai dasar perhitungan dalam menentukan perbandingan campuran beton. *Target strength* ini pada umumnya ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor sebagai berikut:

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

Compressive strength beton yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai koefisien variasi yang tidak boleh lebih dari 15%. Koefisien variasi adalah koefisien yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama. Besarnya harga koefisien variasi ini berkisar antara 5% - 25%, dan ini sangat tergantung pada:

- ✓ Keadaan cuaca pada waktu produksi, sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- ✓ Perubahan dari pada sifat-sifat fisik agregat dan semen.
- ✓ Perubahan dari pada gradasi agregat.
- ✓ Ketelitian dan keterampilan pada pekerja pada waktu pencampuran dan pengecoran. Semakin tinggi ketelitian dan keterampilan maka akan semakin kecil harga koefisien variasi yang dapat ditentukan.

Hubungan antara *target strength* dan *standard design strength* ditentukan

dengan rumus berikut:
$$\sigma_{ts} = \frac{\sigma_{ds}}{1 - t.V} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan: σ_{ts} = Target strength
 σ_{ds} = Standard design strength
 t = Konstanta
 V = Coefficient of variation

Harga dari $(1/(1 - t \cdot V))$ dinamakan “*increment coefficient*” [t]. Harga t ditentukan oleh banyaknya silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama akan mencapai *compressive strength* di atas *standard design strength*. Biasanya 75% atau lebih silinder tes akan mencapai *compressive strength* di atas *standard design strength*. Lihat tabel III.8.

Tabel III.8 Target Strength

Persentase target strength yang lebih besar dari design strength	t
75 %	0.703
80 %	0.883
85 %	1.100

3.4.8 Penentuan Perbandingan Campuran Sebenarnya

Penentuan perbandingan campuran sebenarnya harus ditentukan dengan melakukan tes-tes campuran di *batching plant* dengan cara coba-coba, sehingga diperoleh perbandingan campuran beton yang mempunyai sifat-sifat sesuai dengan *compressive strength* dan *workability* yang diinginkan.

Penyesuaian perbandingan campuran ini harus memperhatikan faktor-faktor berikut:

- Gradasi dari agregat halus (pasir)
- *Surface moisture content* dari agregat halus
- *Slump* dan kandungan udara yang diperlukan

3.5 PEMBUATAN BENDA UJI

Pada tahap ini secara umum harus mengikuti ketentuan sesuai ASTM C 31, C 42, C 192 dan C 1018. Untuk benda uji yang mempunyai kedalaman lebih kecil atau sama dengan 3” (75 mm) dilakukan pembuatan dengan satu lapis, sedangkan untuk benda uji dengan kedalaman lebih dari 3” (75 mm) pembuatan benda uji dilakukan dalam dua lapis.

Pada pembuatan benda uji ini akan dibuat (ACI 544.2R - 89 / minimal 3 buah benda uji untuk setiap pengujian) :

- Benda Uji Balok 15 cm x 15 cm x 55 cm, untuk uji kuat lentur
- Benda Uji Balok 10 cm x 10 cm x 50 cm, untuk uji perubahan panjang (susut)

3.6 PERAWATAN BENDA UJI

Sesudah pelaksanaan pembuatan benda uji, maka dilakukan perawatan benda uji dengan ketentuan ASTM C 31- 91. Pembongkaran benda uji dilakukan dalam waktu ± 24 jam sesudah pembuatan yang selanjutnya dilakukan perendaman di dalam air rendaman. Adapun kondisi perendaman harus seluruh bagian dari benda uji terendam dengan baik.

Pada penelitian ini langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pembongkaran benda uji dilakukan ± 24 jam setelah pembuatan.
2. Perendaman di dalam bak rendaman Laboratorium Beton Departemen Sipil FTUI dilakukan segera setelah pembongkaran. Untuk pengujian kuat lentur, benda uji direndam selama 28 hari.
3. Benda uji diangkat dari bak perendaman sehari sebelum hari pengujian.

3.7 PENGUJIAN KUAT LENTUR BENDA UJI

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 78 - 94 dengan metode *Third-Point Loading*. Sedangkan umur pengujian adalah 28 hari. Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Benda uji balok beton ukuran 15 cm x 15 cm x 55 cm.

Peralatan:

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

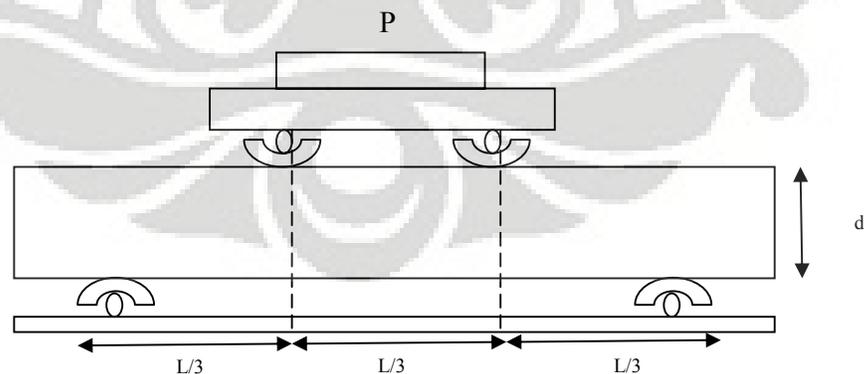
Langkah Kerja:

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

Pada test kuat lentur ini digunakan empat variabel yaitu sebagai berikut :

Tabel III.9 Kombinasi Bahan Pembentuk Beton untuk Kuat Lentur

Sample	Keterangan	Agregat Kasar Alam (%)	Agregat Kasar Daur Ulang (%)	Agregat Halus Alam (%)	Agregat Halus Daur Ulang (%)	Uji Kuat Lentur
A	A. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 0% AHDU)	100	0	100	0	√
B	B. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 25% AHDU)	100	0	75	25	√
C	C. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 0% AHDU)	75	25	100	0	√
D	D. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 25% AHDU)	75	25	75	25	√



Gambar III.3 Pengujian kuat lentur pada balok uji dengan metode pembebanan pada $1/3$ bentang balok

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

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

$$R = \frac{Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dimana :

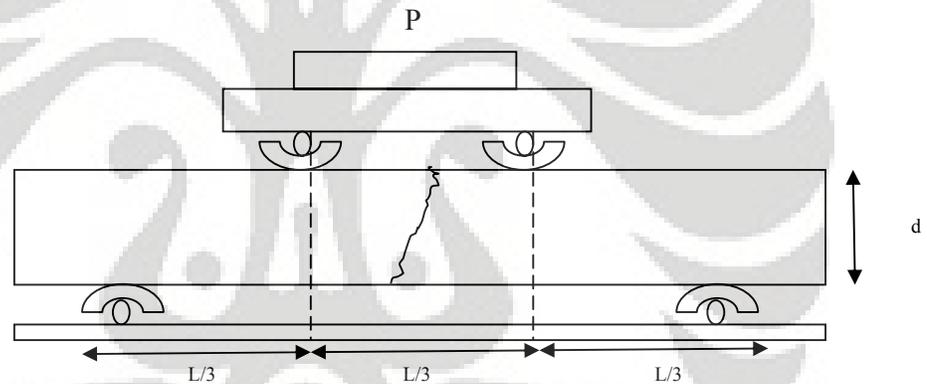
R = Modulus Runtuh, *psi* atau *Mpa*

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

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

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

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



Gambar III.4 Keruntuhan lentur terjadi pada tengah bentang

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

$$R = \frac{3Pl}{bd^2} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dimana :

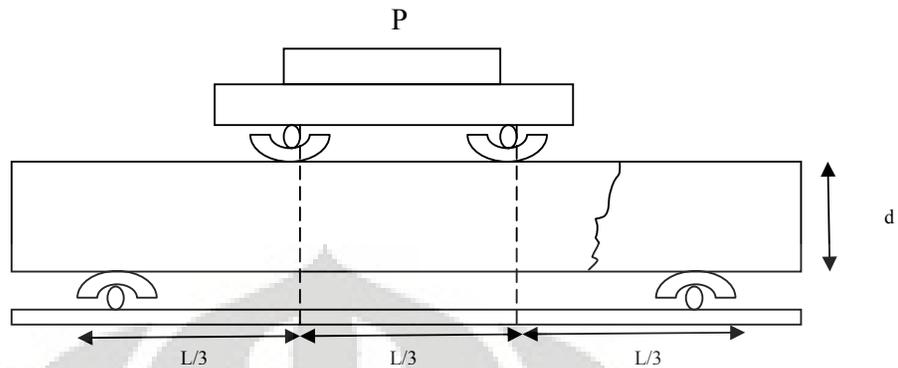
R = Modulus Runtuh, *psi* atau *MPa*

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

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

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

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



Gambar III.5 Keruntuhan lentur terjadi pada tepi bentang

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

3.8 PENGUJIAN PERUBAHAN PANJANG (SUSUT)

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 490 - 04. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 56 hari. Benda uji balok beton berukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm.

Peralatan:

- Alat ukur susut.
- *Length comparator*, berukuran 58 cm
- *Dial gage*, ketelitian 0.01 mm
- Alat pengukur kelembaban dan suhu
- *Beam mold* 10 cm x 10 cm x 50 cm

Langkah Kerja:

1. Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan disiapkan berukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm, diukur dimensinya (juga untuk mengetahui balok tersebut memenuhi persyaratan keseragaman sampel).
2. Tempatkan balok uji pada ruang yang dijaga kelembaban dan suhunya.
3. Ukur *reference bar* terlebih dahulu pada alat pembacaan *comparator* sebelum mengukur benda uji. Baca *dial gage*.

4. Ukur benda uji dengan letak yang sama dengan comparator pada alat uji. Baca *dial gage* dan catat suhu dan kelembabannya.
5. Setelah pembacaan, bersihkan pelat pada alat ukur, untuk membersihkannya dari air dan pasir.
6. Letakan benda uji pada tempatnya dengan dilapisi kain yang telah dibasahi untuk menjaga kelembabannya.
7. Pembacaan dilakukan pada umur awal dengan *comparator*, kemudian diukur setiap harinya sampai benda uji berumur 56 hari.

Pada test susut ini digunakan empat variabel yaitu sebagai berikut :

Tabel III.10 Kombinasi Bahan Pembentuk Beton Untuk Perubahan Panjang (Susut)

Sample	Keterangan	Agregat Kasar Alam (%)	Agregat Kasar Daur Ulang (%)	Agregat Halus Alam (%)	Agregat Halus Daur Ulang (%)	Uji Susut
A	B. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 0% AHDU)	100	0	100	0	√
B	B. Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 25% AHDU)	100	0	75	25	√
C	C. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 0% AHDU)	75	25	100	0	√
D	D. Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 25% AHDU)	75	25	75	25	√

Perhitungan perubahan panjang (Susut)

$$L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100 \dots \dots \dots (3.13)$$

Dimana :

- L = Perubahan panjang pada umur x, %
- L_x = Pembacaan *comparator* pada benda uji pada umur x dikurangi pembacaan *comparator* pada *reference bar* pada umur x, mm
- L_i = Pembacaan *comparator* awal dikurangi pembacaan *comparator* pada *reference bar* pada waktu yang sama, mm.
- G = *Nominal gage length*, 50 mm.

3.9 PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN *POISSON RATIO*

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 30 cm.

Prosedur pengujian :

- ✓ Benda uji berbentuk silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm terlebih dahulu ditimbang dan diukur panjangnya (L) dan diameternya (D).
- ✓ Pasang alat *compressometer* pada benda uji, dan lengkapi dengan dial untuk mengukur perubahan panjang dalam arah lateral dan longitudinal.
- ✓ Beri beban dan catat beban pada saat dial menunjukkan perpindahan $\Delta_1 = 0.00005$, kemudian catat hasil pembacaan dial gage selanjutnya baik arah longitudinal maupun lateral, lanjutkan pembebanan sampai mencapai 40% beban maksimum dan catat perpindahan yang terjadi Δ_2 .

$$\text{Modulus elastisitas: } \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana :

- S_2 = tegangan pada saat 40 % beban maksimum
- S_1 = tegangan pada saat $\Delta_1 = 0.00005$
- ε_2 = regangan pada saat Δ_2

Banyaknya benda uji minimum 3 buah, diuji pada umur 28 hari. Pembebanan diberikan sampai 40 % dari beban maksimum karena retak antara agregat masih kecil. Dari hasil pengujian dibuat kurva tegangan-regangan.

$$\text{Poisson Ration (v) : } \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0.00005} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dimana :

- v = *Poisson Ratio*
- ε_{t2} = regangan akibat tegangan S_2
- ε_{t1} = regangan akibat tegangan S_1

BAB IV

ANALISA PENELITIAN

4.1 ANALISA AGREGAT

4.1.1 Agregat Halus

4.1.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 128 - 93. Tujuan pengujian berat jenis dan absorpsi adalah untuk menentukan *bulk* dan *apparent specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menurut ASTM C 128.

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

Analisa <i>Specific Gravity</i> dan Absorpsi dari Agregat Halus	Agregat Daur ulang	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.56	2.57
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.58	2.59
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	2.63	2.61
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	1	0.6

Semakin besar kemampuan agregat halus menyerap kandungan air akan mengurangi nilai kekuatan beton. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 2 % (ASTM C 128). Dilihat dari tabel IV.1, absorpsi pada agregat halus daur ulang dan alam memiliki nilai absorpsi di bawah 2 %, sehingga memenuhi standar ASTM C 128.

4.1.1.2 Pengujian Analisa Ayak (*Sieve Analysis*)

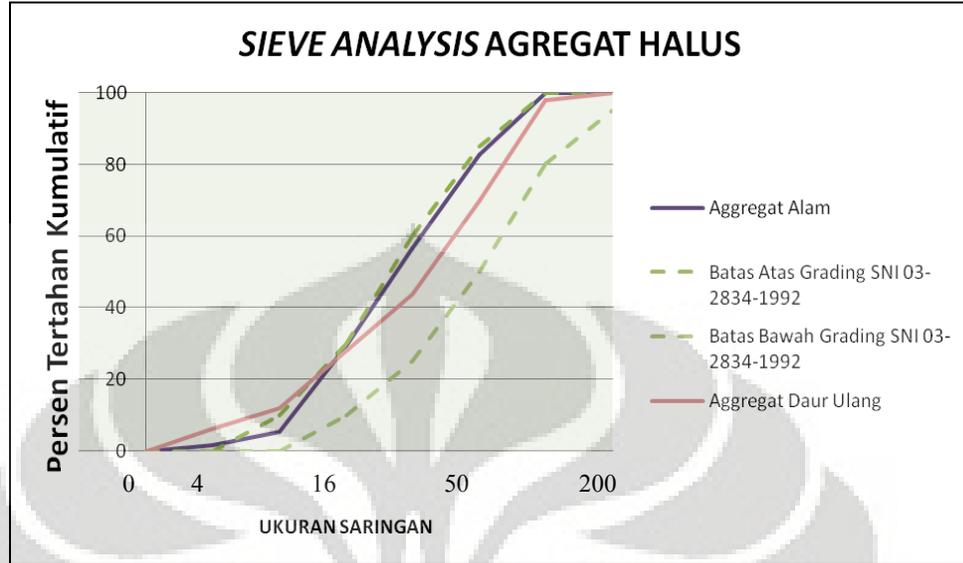
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Masing-masing agregat, yaitu agregat halus alam dan daur ulang dilakukan pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton. Gradasi adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi diketahui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

pembatasan gradasi agregat karena gradasi dan ukuran agregat mempengaruhi kebutuhan semen dan air, *workability*, porositas dan kembang susut beton.

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

Tabel IV.2 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Halus Daur Ulang dan Alam

Sieve Size (mm)	Average Agregat Daur Ulang		Average Agregat Alam		Gradasi Zone II
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
4.75 (No.4)	0	100	0	100	90-100
2.36 (No.8)	2.2	97.8	0	100	75-100
1.18 (No.16)	30.13	69.87	17.4	83	55-90
0.6 (No.30)	56.27	43.73	43.3	57	35-59
0.3 (No.50)	71.93	28.07	70.6	29	8-30
0.15 (No.100)	88.2	11.8	94.5	5.5	0-10
0.074 (No.200)	93.73	6.27	98.4	1.6	
Pan	100	0	100	0	
Rata-rata FM	2.49		2.256		



Gambar IV.1 Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat halus alam, daur ulang dan standar SNI 03-2834-1992

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

4.1.1.3 Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 (ASTM C 117 - 04)

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200 sesuai dengan standar ASTM C 117 - 04. Tujuan penelitian ini untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan No.200 dengan cara pencucian.

Tabel IV.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Lewat Saringan No.200

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	Aggregat Daur Ulang	Aggregat Alam
Rata – rata (%)	7.5	4.6

Kandungan material halus yang diizinkan untuk agregat halus adalah berkisar 0.2 – 6 % (ASTM C 117). Dilihat dari hasil penelitian pada tabel IV.3 kandungan material halus pada agregat halus daur ulang adalah 7.5 % nilai ini diluar batas izin yaitu 6 %. Sedangkan agregat alam, kandungan material halus dengan nilai 4.6 % berada dalam kisaran batas izin, 0.2 – 6 %. Keberadaan lumpur

dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

4.1.2 Agregat Kasar

4.1.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Absorpsi

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

Tabel IV.4 Hasil Analisa *Specific Gravity* dan Absorpsi dari Agregat Kasar

Hasil Pengamatan	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity</i>	2.40	2.51
Rata-rata <i>Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)</i>	2.78	2.60
Rata-rata <i>Apparent Specific Gravity</i>	3.86	2.77
Rata-rata <i>Absorption (%)</i>	13.67	3.62

Semakin besar kemampuan agregat kasar menyerap kandungan air akan mengurangi kekuatan beton. Nilai absorpsi yang baik untuk agregat kasar adalah di bawah 4 % (ASTM C 127). Dilihat dari tabel IV.4, absorpsi pada agregat kasar daur ulang sebesar 13.67%, nilai ini melebihi batas yang diizinkan yaitu 4 %. Absorpsi agregat kasar alam sebesar 3.62 %, nilai ini di bawah batas izin yaitu 4 %. Nilai absorpsi yang tinggi pada agregat kasar daur ulang disebabkan oleh pasta semen yang menyelimuti pada agregat kasar daur ulang.

4.1.2.2 Pengujian Analisa Ayak (*Sieve Analysis*)

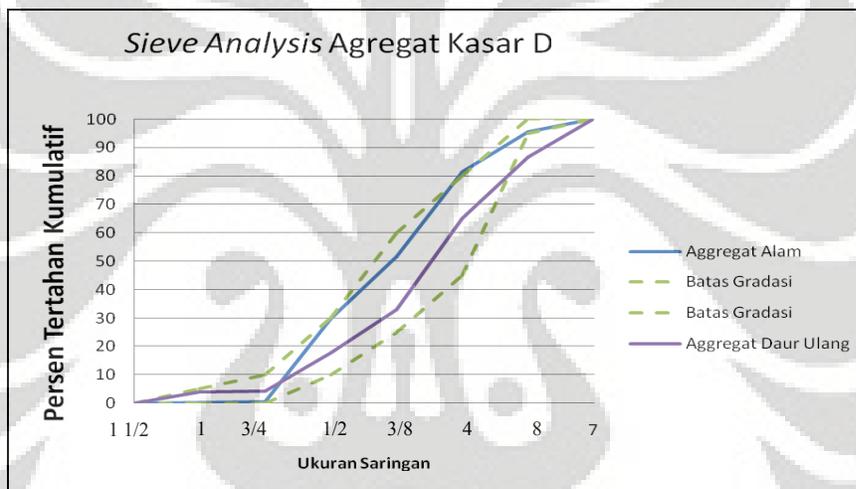
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Pengujian *sieve analysis* untuk perhitungan *mix design* beton.

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

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

Tabel IV.5 Hasil *Sieve Analysis* Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam

Sieve Size	Agregat Daur Ulang		Agregat Alam		SNI 02-2384-1992
	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Passing
1 1/2 in	0	100	0	100	90 - 100
1 in	13.26	86.74	4.6	95.40	
3/4 in	34.96	65.04	18.48	81.52	35 - 70
1/2 in	67.16	32.84	48.45	51.55	
3/8 in	82.14	17.86	70.03	29.97	10 - 40
4.75 mm	95.6	4.4	99.36	0.64	
8 mm	96.14	3.86	99.76	0.24	0 - 5
Pan	100	0	99.90	0.1	0



Gambar IV.2 Perbandingan analisa saringan % tertahan antara agregat kasar alam, daur ulang dan standar SNI 02-2384-1992

4.1.2.3 Pengujian Keausan dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 131 - 89. Tujuan penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan mempergunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula, dalam persen. Karakteristik ini penting bagi struktur yang berfungsi sebagai lantai kerja (*heavy duty floor*) seperti *pavement*, lantai gudang, lantai *workshop* alat-alat berat. Untuk itu dibutuhkan beton tidak hanya kuat tetapi juga tidak cepat aus akibat abrasi atau gesekan antara beton dengan

benda di atasnya. Untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan, dapat dilakukan uji kekerasan (*hardness tests*) dengan beberapa cara antara lain bejana tekan Los Angeles. PUBLI - 82 mensyaratkan bahwa bagian yang hancur tidak boleh lebih dari 50% berat sedangkan menurut SII - 80 tidak boleh lebih dari 27%.

Tabel IV.6 Hasil Pengujian Keausan Dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	Agregat Daur Ulang	Agregat Alam
Keausan (%)	41.22	19.08

Ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan *Los Angeles Testing Machine*. Kehilangan berat setelah pengujian yang diizinkan berkisar antara 15 – 50 % (ASTM C 131 dan C 535). Dari hasil yang terlihat pada tabel IV.6, kedua agregat mempunyai nilai yang berkisar di antara 15 – 50% sehingga memenuhi standar ASTM C 131 dan C 535.

4.2 ANALISA PENGUJIAN KUAT LENTUR

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui *modulus of rupture*, yaitu kuat lentur maksimum yang diderita oleh serat bawah balok pada beton yang mengeras dengan umur 28 hari. Pengujian ini menggunakan metode *third point loading*, di mana pengujian dilakukan pada empat campuran beton yang berbeda dengan masing-masing terdiri dari tiga benda uji.

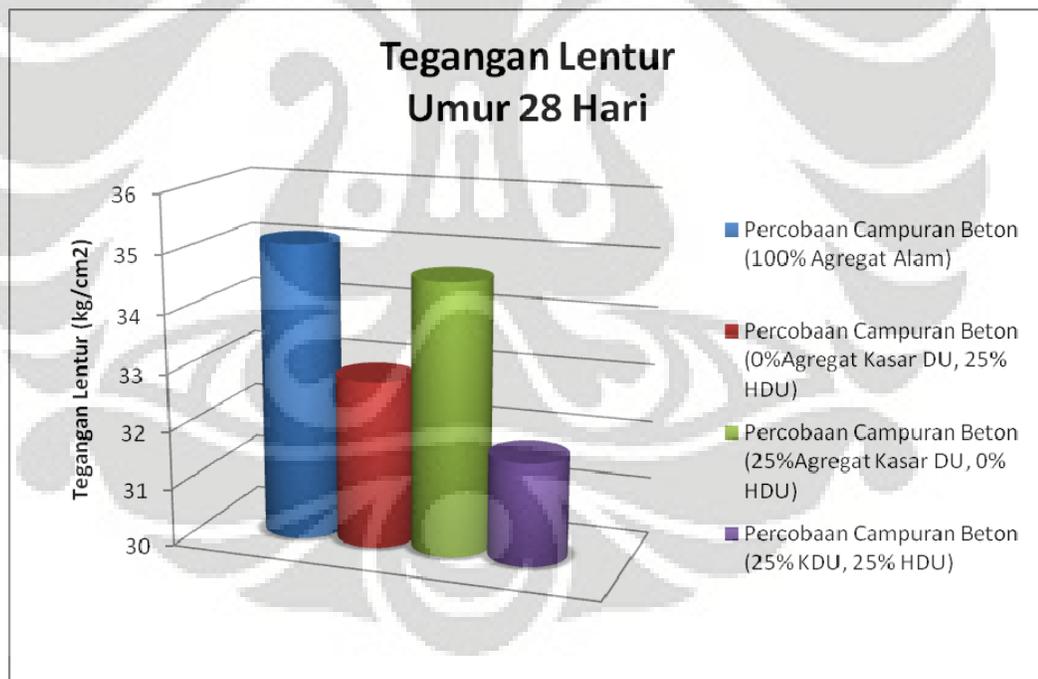
Benda uji dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 55 cm dipasang pada alat pengujian kuat lentur dengan diletakkan tepat berada di tengah di antara kedua perletakan. Beban yang bekerja sebanyak dua buah dengan jarak antar titik beban adalah 1/3 panjang bentang ($1/3 L$). Pembebanan dilakukan secara kontinu tanpa adanya goncangan atau kejutan (*shock*). Pengujian dilakukan pada umur 28 hari dengan membebani benda uji secara kontinu hingga benda uji hancur dan tidak dapat menahan beban yang diberikan (jarum penunjuk berhenti kemudian bergerak turun). Sehingga akan didapatkan beban maksimum yang ditahan oleh benda uji tersebut. Hasil pengujian kuat lentur dapat dilihat pada tabel IV.7.

Tabel IV.7 Hasil Uji Kuat Lentur

Kode	Bentang (L) (cm)	Dimensi		P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P Rata-rata (kg)	W = $1/6 \cdot b \cdot h^2$ (cm ³)	MOMEN LENTUR M = $1/6 \cdot P \cdot L$ (kg.cm)	TEGANGAN LENTUR (M/W) (kg/cm ²)	(% Penurunan Tegangan Lentur Penelitian (Acuan Sampel A))
		b (cm)	h (cm)								
A	45	15	15	2550	2700	2650	2633.33	562.5	19750	35.111	0
B	45	15	15	2500	2550	2350	2466.67	562.5	18500	32.889	6.33
C	45	15	15	2600	2550	2650	2600	562.5	19500	34.667	1.27
D	45	15	15	2450	2300	2400	2383.33	562.5	17875	31.778	9.49

Keterangan :

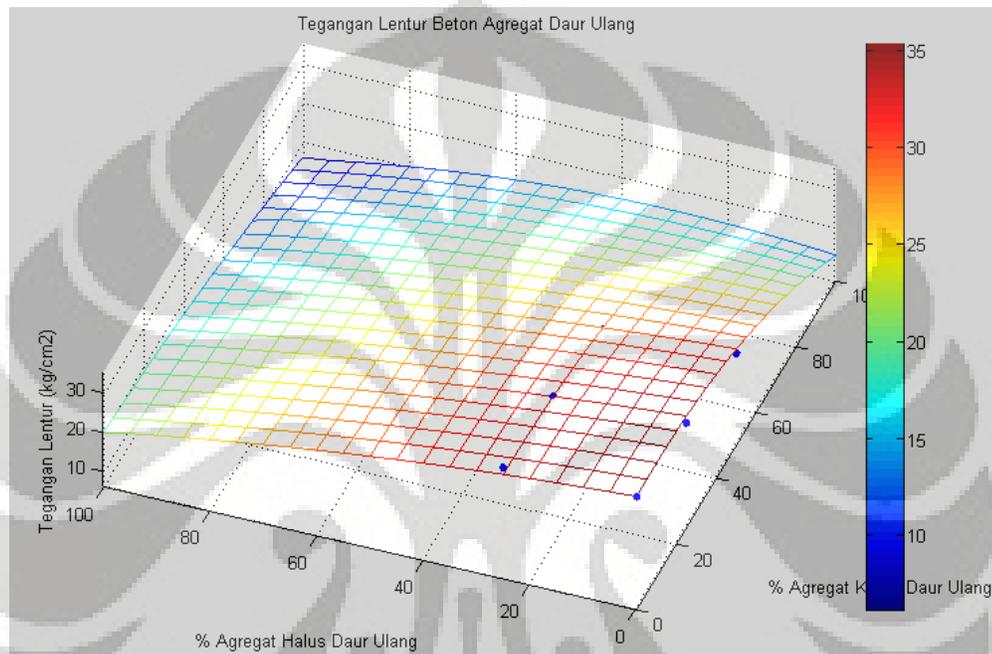
- A : Percobaan Campuran Beton 0 % AKDU – 0 % AHDU
- B : Percobaan Campuran Beton 0 % AKDU – 25 % AHDU
- C : Percobaan Campuran Beton 25 % AKDU – 0 % AHDU
- D : Percobaan Campuran Beton 25 % AKDU – 25 % AHDU



IV.3 Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang

Dari gambar IV.3 hasil pengujian di atas, nilai kuat lentur rata-rata tertinggi untuk beton agregat daur ulang terdapat pada benda uji dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AHDU – 25 % AKDU dan nilai terendah terjadi

pada Percobaan Campuran Beton 25 % AHDU - 25 % AKDU. Nilai persentase penurunan tegangan lentur pada Percobaan Campuran Beton 25 % AHDU – 0 % AKDU lebih tinggi dibandingkan dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AHDU – 25 % AKDU. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian kuat lentur beton.



Gambar IV.4 Hasil uji kuat lentur beton agregat daur ulang dengan program MATLAB Vers.7.1

Dari gambar IV.4, merupakan hasil tegangan lentur yang diekstrapolasi dengan polynomial tingkat 2, dengan menggunakan bantuan program MATLAB versi 7.1. Sehingga dapat diprediksi nilai tegangan lentur sampai komposisi 100 % agregat halus daur ulang dan 100% agregat kasar daur ulang.

Dari grafik tersebut, benda uji dengan campuran agregat alam memiliki kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dengan campuran agregat alam dan agregat daur ulang. Kualitas agregat pada beton memiliki pengaruh yang cukup besar dalam menentukan kuat lentur benda uji.

Dari hasil penelitian sebelumnya, pada penelitian *analysis specific gravity* dan absorpsi dari agregat halus menunjukkan bahwa nilai absorpsi dari agregat daur ulang baik halus maupun kasar lebih besar dari agregat alam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat daur ulang menyerap air lebih besar dari pada agregat

alam. Hal ini akan menyebabkan penurunan pada kekuatan, baik kekuatan tekan maupun kekuatan lentur.

Jika dilihat dari percobaan pemeriksaan agregat halus lewat saringan No.200 menunjukkan bahwa agregat daur ulang memiliki kandungan material halus yang lebih banyak dibandingkan agregat alam. Keberadaan lumpur dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

Bila dilihat dari kondisi fisiknya bentuk agregat daur ulang memiliki bentuk yang bulat, pipih dan panjang, ini merupakan bentuk yang tidak dianjurkan dalam pembentuk beton, karena akan melemahkan ikatan agregat dengan pasta semen. Sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas agregat alam lebih baik dibandingkan agregat daur ulang.

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

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

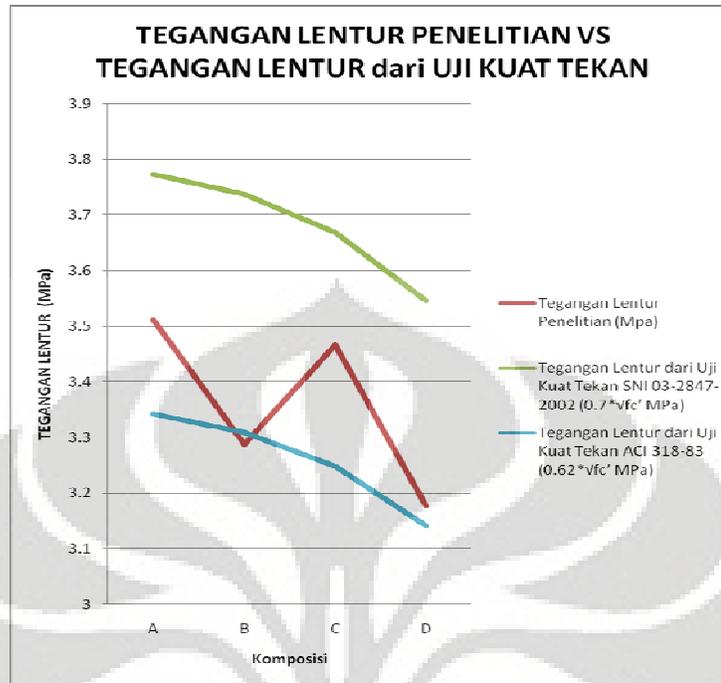
Hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur beton menurut standar SNI 03- 2847-2002, dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Di mana σ_{tekan} pada umur 28 hari yang dihasilkan pada hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel IV.8 Perbandingan Hasil Uji Kuat Lentur dengan Kuat Tekan

Kode	Tegangan Lentur Penelitian (MPa)	σ Tekan Penelitian (MPa)	σ Lentur dari Uji Tekan ACI (MPa) = $0.62 \sqrt{\sigma_{tekan}}$	KR (%)	σ lentur dari Uji Tekan SNI (MPa) = $0.7 \sqrt{\sigma_{tekan}}$	KR (%)
A	3.51	29.06	3.34	5.04	3.773737	6.959317
B	3.29	28.5	3.31	0.63	3.7368	11.98648
C	3.47	27.46	3.25	6.70	3.668114	5.49185
D	3.18	25.66	3.14	1.17	3.546343	10.39283



Gambar IV.5 Tegangan lentur penelitian versus tegangan lentur dari uji kuat tekan.

Dilihat dari tabel di atas, secara umum nilai hubungan antara tegangan lentur dengan tegangan tekan lebih mendekati dengan menggunakan peraturan ACI 318-83 dibandingkan dengan peraturan SNI 03-2847-2002.

4.2.1 Analisa Keretakan Pada Pengujian Kuat Lentur

Dilihat dari gambar IV.5, pola retak pada beton agregat daur ulang untuk persentase maksimum agregat daur ulang 25 % dan beton agregat alam terletak pada daerah momen antara dua titik beban, sehingga didapatkan retak akibat momen lentur murni.

Dilihat dari gambar IV.6, kondisi permukaan retak pada beton agregat daur ulang terdapat banyak rongga kosong. Ini dikarenakan kandungan semen pada agregat daur ulang mempengaruhi ikatan antara matriks penyusun partikel dan agregat itu sendiri. Kandungan semen yang telah melekat pada agregat daur ulang, baik kasar maupun halus memperlemah ikatan matriks yang akan menurunkan kekuatan lentur beton.

Warna pada permukaan retak pada beton agregat daur ulang berwarna abu-abu muda, sedangkan pada permukaan retak pada beton agregat alam berwarna abu-abu tua. Sehingga ini menunjukkan bahwa warna abu-abu muda pada beton

agregat daur ulang berasal dari pasta semen yang telah menyelimuti agregat daur ulang.



Gambar IV.6 Pola retak di antara dua titik pembebanan benda uji



Gambar IV.7 Permukaan retak uji kuat lentur

4.3 ANALISA PENGUJIAN PERUBAHAN PANJANG (SUSUT)

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan ASTM C 490 - 04. Pengujian susut ini bertujuan untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 56 hari. Ukuran benda uji yang dipakai adalah 10 cm x 10 cm x 50 cm.

Perhitungan perubahan panjang (Susut) :

$$L = \frac{(L_x - L_i)}{G} \times 100 \dots\dots\dots(4.3)$$

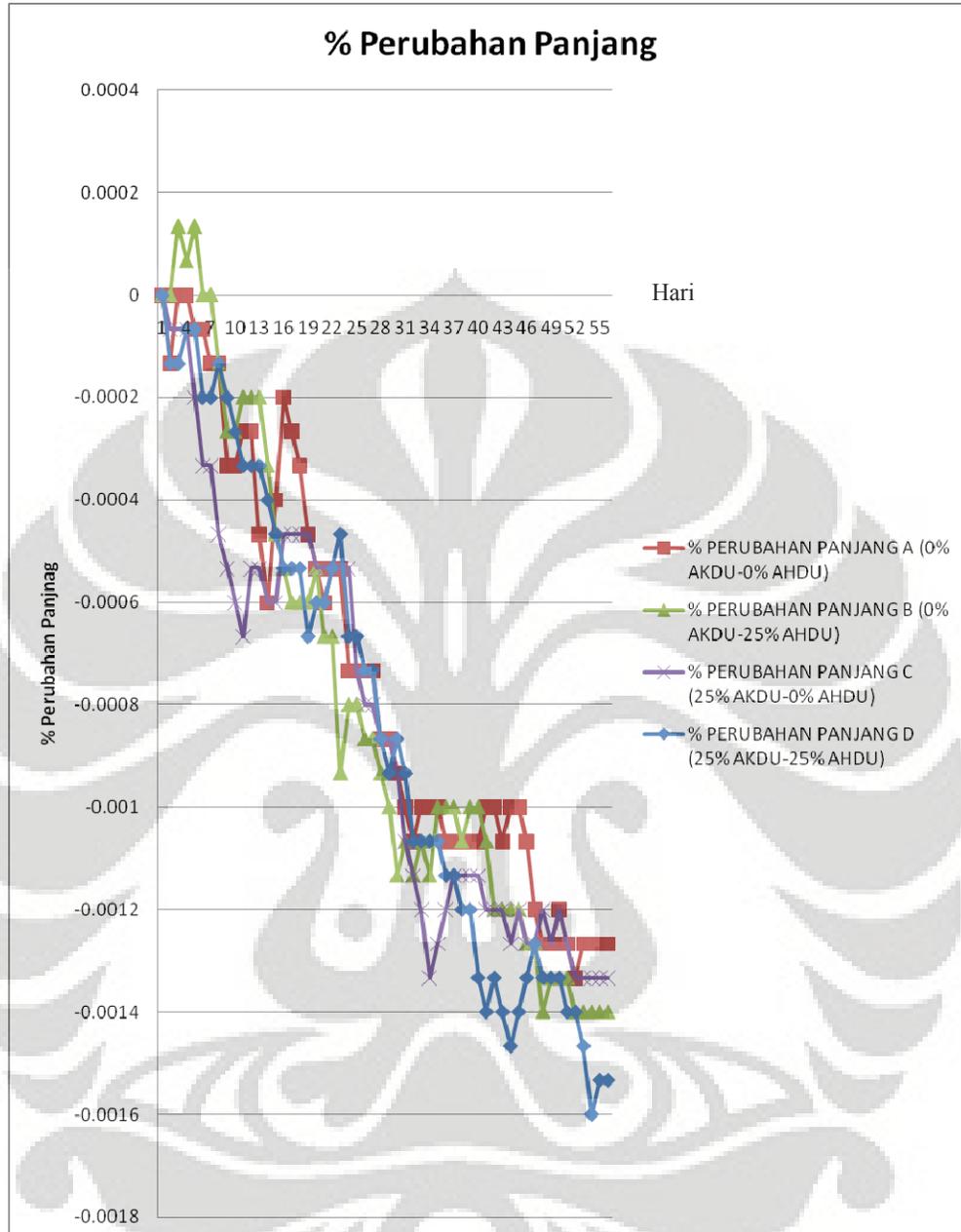
Tabel IV.9 Hasil Perubahan Panjang (Susut)

Umur	Sampel A		Sampel B		Sampel C		Sampel D	
	ΔL	% Shrinkage						
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7E-05	0.00013	0	0	3.3E-05	6.7E-05	6.7E-05	0.0001
3	0	0	-7E-05	-0.0001	3.3E-05	6.7E-05	6.7E-05	0.0001
4	0	0	-3E-05	-7E-05	3.3E-05	6.7E-05	3.3E-05	7E-05
5	3E-05	6.7E-05	-7E-05	-0.0001	1E-04	0.0002	3.3E-05	7E-05
6	3E-05	6.7E-05	0	0	0.00017	0.00033	0.0001	0.0002
7	7E-05	0.00013	0	0	0.00017	0.00033	0.0001	0.0002
8	7E-05	0.00013	6.7E-05	0.00013	0.00023	0.00047	6.7E-05	0.0001
9	0.0002	0.00033	0.00013	0.00027	0.00027	0.00053	0.0001	0.0002
10	0.0002	0.00033	0.00013	0.00027	0.0003	0.0006	0.00013	0.0003
11	0.0001	0.00027	0.0001	0.0002	0.00033	0.00067	0.00017	0.0003
12	0.0001	0.00027	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00017	0.0003
13	0.0002	0.00047	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00017	0.0003
14	0.0003	0.0006	0.00017	0.00033	0.0003	0.0006	0.0002	0.0004
15	0.0002	0.0004	0.00023	0.00047	0.0003	0.0006	0.00023	0.0005
16	0.0001	0.0002	0.00027	0.00053	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
17	0.0001	0.00027	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
18	0.0002	0.00033	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00027	0.0005
19	0.0002	0.00047	0.0003	0.0006	0.00023	0.00047	0.00033	0.0007
20	0.0003	0.00053	0.00027	0.00053	0.00027	0.00053	0.0003	0.0006
21	0.0003	0.0006	0.00033	0.00067	0.00027	0.00053	0.0003	0.0006
22	0.0003	0.00053	0.00033	0.00067	0.00027	0.00053	0.00027	0.0005
23	0.0003	0.00053	0.00047	0.00093	0.00027	0.00053	0.00023	0.0005
24	0.0004	0.00073	0.0004	0.0008	0.00027	0.00053	0.00033	0.0007
25	0.0004	0.00073	0.0004	0.0008	0.00037	0.00073	0.00033	0.0007
26	0.0004	0.00073	0.00043	0.00087	0.0004	0.0008	0.00037	0.0007
27	0.0004	0.00073	0.00043	0.00087	0.0004	0.0008	0.00037	0.0007
28	0.0004	0.00087	0.00047	0.00093	0.00043	0.00087	0.00043	0.0009
29	0.0004	0.00087	0.0005	0.001	0.00043	0.00087	0.00047	0.0009
30	0.0005	0.00093	0.00057	0.00113	0.00047	0.00093	0.00043	0.0009
31	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.00053	0.00107	0.00047	0.0009
32	0.0005	0.00107	0.00057	0.00113	0.00057	0.00113	0.00053	0.0011
33	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.0006	0.0012	0.00053	0.0011
34	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00067	0.00133	0.00053	0.0011
35	0.0005	0.001	0.0005	0.001	0.00063	0.00127	0.00053	0.0011
36	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.00057	0.0011
37	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00057	0.0011

38	0.0005	0.00107	0.00053	0.00107	0.00057	0.00113	0.0006	0.0012
39	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.0006	0.0012
40	0.0005	0.00107	0.0005	0.001	0.00057	0.00113	0.00067	0.0013
41	0.0005	0.001	0.00053	0.00107	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
42	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
43	0.0005	0.00107	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
44	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.00063	0.00127	0.00073	0.0015
45	0.0005	0.001	0.0006	0.0012	0.0006	0.0012	0.0007	0.0014
46	0.0005	0.00107	0.00063	0.00127	0.00063	0.00127	0.00067	0.0013
47	0.0006	0.0012	0.00063	0.00127	0.00063	0.00127	0.00063	0.0013
48	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
49	0.0006	0.00127	0.00067	0.00133	0.00063	0.00127	0.00067	0.0013
50	0.0006	0.0012	0.00067	0.00133	0.0006	0.0012	0.00067	0.0013
51	0.0006	0.00127	0.00067	0.00133	0.00063	0.00127	0.0007	0.0014
52	0.0007	0.00133	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.0007	0.0014
53	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00073	0.0015
54	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.0008	0.0016
55	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00077	0.0015
56	0.0006	0.00127	0.0007	0.0014	0.00067	0.00133	0.00077	0.0015

Tabel IV.10 % Pertambahan Susut

Sampel	% Susut ke-56 Hari	% Pertambahan Susut
A	-0.00127	0
B	-0.0014	10.53
C	-0.00133	5.26
D	-0.00153	21.05



Gambar IV.8 % Perubahan panjang beton

Perubahan panjang adalah fenomena berkurangnya volume beton akibat proses pengeringan dan fenomena deformasi jangka panjang beton yang disebabkan oleh adanya perubahan volume karena menguapnya air dari rongga-rongga mikro struktural beton sebagai akibat adanya proses hidrasi selama proses pengikatan beton.

Susut akibat kondisi kering tergantung pada potensial susut dari pasta semen dan sifat serta jumlah agregat. Faktor yang berhubungan dengan agregat halus dan agregat kasar yang dapat mempengaruhi terjadinya susut pada beton, antara lain:

- Sifat-sifat seperti gradasi, bentuk partikel, kandungan air agregat serta jumlah dari agregat yang dipakai.
- Tekstur, porositas agregat yang berpengaruh pada ikatan pasta semen dengan agregat.
- Kandungan lumpur

Dilihat pada umur 56 hari, persen tertinggi susut pada beton agregat daur ulang terjadi pada sampel D sebesar 0.0015 %, dan yang terkecil pada sampel C sebesar 0.00133 %. Tetapi % susut beton agregat daur ulang pada sampel C lebih besar dari pada agregat alam.

Nilai persentase penambahan susut pada Percobaan Campuran Beton 25 % AH DU – 0 % AK DU lebih tinggi dibandingkan dengan Percobaan Campuran Beton 0 % AH DU – 25 % AK DU. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian perubahan panjang.

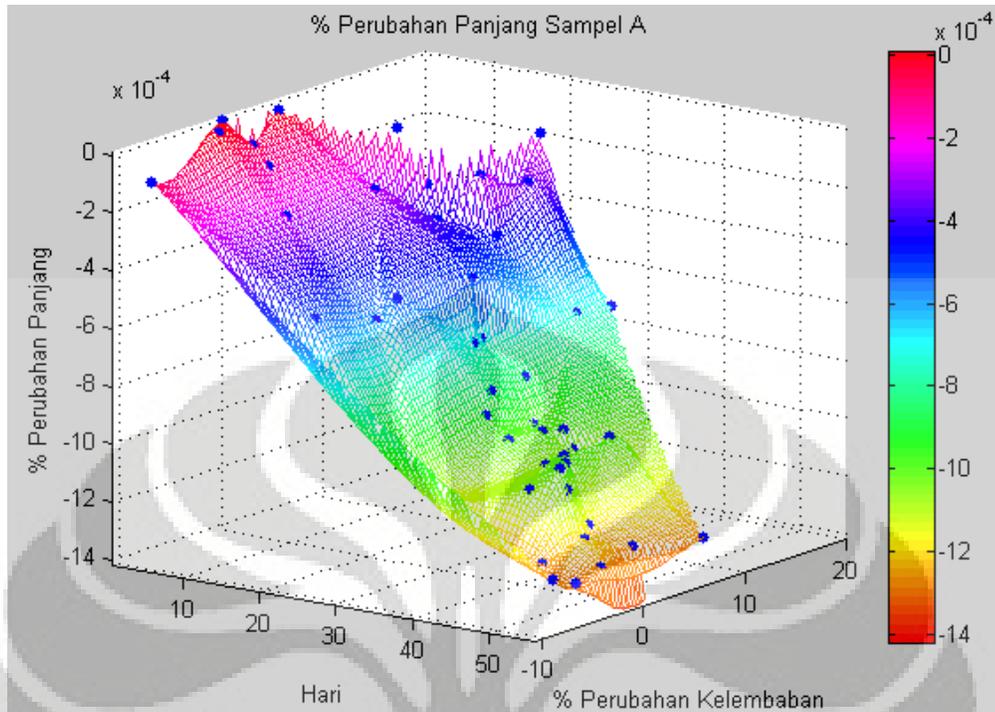
Persentase susut beton agregat daur ulang lebih besar dari pada beton agregat alam, hal ini dapat terjadi akibat perbedaan senyawa penyusunnya. Dilihat dari pengujian sebelumnya, agregat daur ulang baik kasar maupun halus memiliki kualitas yang kurang baik dibandingkan agregat alam.

Dari hasil penelitian sebelumnya, nilai absorpsi dari agregat daur ulang baik halus maupun kasar lebih besar dari agregat alam. Nilai absorpsi yang baik dalam hal ini untuk agregat halus adalah di bawah 2 % (ASTM C 128), pada agregat halus daur ulang nilai ini berkisar 1 %, dan agregat halus alam berkisar 0.6 %. Ini menunjukkan bahwa keduanya memenuhi persyaratan. Untuk agregat kasar, nilai absorpsi yang baik dalam hal ini adalah di bawah 4 % (ASTM C 127), pada agregat kasar daur ulang nilai ini berkisar 13.67 %, nilai ini melebihi batas yang ditentukan oleh ASTM C 127, dan agregat kasar alam berkisar 3.62 %, nilai ini di bawah batas yang ditentukan oleh ASTM C 127. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat daur ulang menyerap air lebih besar dari pada agregat

alam. Dengan kata lain agregat daur ulang lebih bersifat porous, terutama pada pasta semennya.

Percobaan pemeriksaan agregat halus lewat saringan No.200 menunjukkan bahwa agregat daur ulang memiliki kotoran yang lebih banyak dibandingkan agregat alam. Kadar lumpur yang diizinkan pada agregat halus menurut ASTM C 117 adalah 0.2 – 6 %, pada agregat halus daur ulang rata-rata sebesar 7.5 %, sedangkan pada agregat alam sebesar 4.6 %. Nilai kadar lumpur pada agregat halus daur ulang lebih besar dibandingkan yang diizinkan. Sehingga banyak kotoran yang terdapat pada agregat halus daur ulang yang dapat mempengaruhi kekuatannya. Keberadaan lumpur dan abu tidak dianjurkan karena sifatnya yang tidak dapat bereaksi dengan semen-air sehingga melemahkan pengikatan yang terjadi dan pada akhirnya akan menurunkan kekuatan beton.

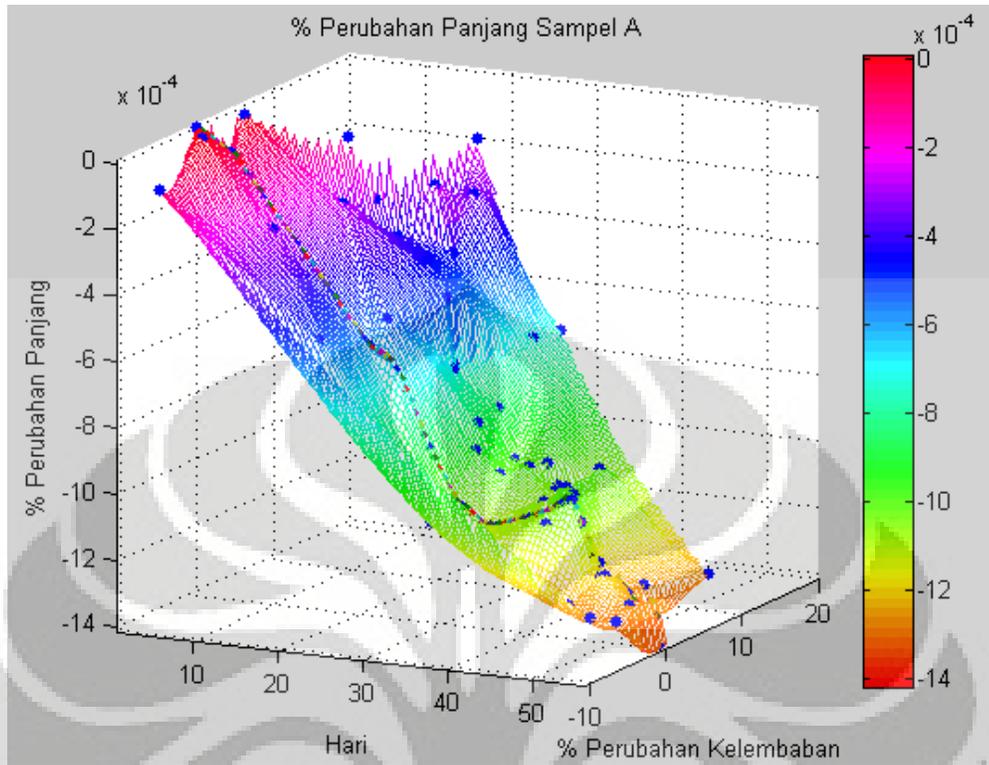
Jika dilihat dari bentuk grafik di atas, grafik yang dihasilkan tidak berbentuk *smooth*, karena setiap pembasahan dan pengeringan dapat pula menyebabkan muai dan susut. Hal ini dapat juga dikarenakan alat tidak dipasangkan pada *comparator* dengan tetap, minimnya peralatan dan jumlah yang diujikan lebih dari alatnya, maka dilakukan pengujian dengan mengangkat dan menurunkan benda uji, sehingga titik pembacaan tidak persis sama pada titik sebelumnya, sehingga dapat mengurangi keakuratan pembacaan. Dan pada dasar plat *comparator*, terlihat sudah berkarat, dan tidak mulus lagi permukaannya, ini juga dapat mengurangi keakuratan dalam pembacaan dial pada *comparator*. Penggunaan kaca dalam pembacaan benda uji, pada sampel B, C dan D mengurangi keakuratan dalam pembacaan, karena seringkali kaca lepas dari permukaan benda uji.



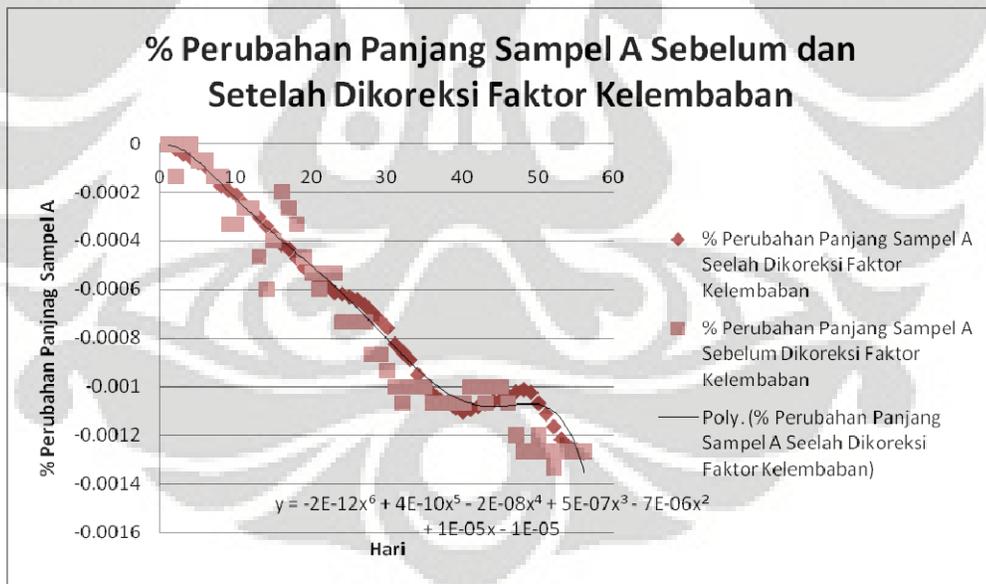
Gambar IV.9 % Perubahan panjang pada sampel A versus Hari versus % Perubahan kelembaban

Gambar IV.9 adalah gambar yang menunjukkan hubungan antara % perubahan panjang, % perubahan kelembaban dan hari. Gambar IV.9 tersebut didapatkan dari hasil interpolasi *cubic* pada Matlab versi 7.1.

Untuk mendapatkan grafik perubahan panjang yang telah dikoreksi oleh perubahan kelembaban, maka bidang pada gambar IV.9 dipotong oleh persamaan $y = 0$, sehingga didapatkan grafik perubahan panjang yang telah terkoreksi.



Gambar IV.10 Perubahan panjang sampel A setelah dikoreksi faktor kelembaban pada $y = 0$



Gambar IV.11 Perbandingan perubahan panjang sampel A sebelum dan sesudah faktor koreksi kelembaban

Dilihat pada gambar IV.11, bahwa bentuk grafik perubahan panjang yang telah dikoreksi kelembabannya, yaitu pada $y = 0$ tidak begitu *smooth*, hal ini disebabkan perubahan panjang tidak hanya dipengaruhi oleh kelembaban saja,

tetapi juga dipengaruhi oleh proses pembacaan, yaitu kurangnya ketelitian dalam pembacaan dan kurang tepat meletakkan benda uji pada alat pembacaan perubahan panjang.

4.4 ANALISA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS DAN *POISSON RATIO*

Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C 469 - 83. Tujuan percobaan ini untuk menentukan modulus elastisitas beton. Benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan dimensi 15 cm x 15 cm x 30 cm.

Dari pembebanan secara berulang pada benda uji berbentuk silinder dengan maksimum pembebanan 20000 kg atau 113.250 kg/cm² dapat dikumpulkan data-data mengenai hubungan tegangan regangan yang terjadi pada benda uji.

Pemberian beban bertahap sampai beban maksimum secara berulang-ulang, bertujuan untuk mengumpulkan data-data regangan untuk menghitung *poisson ratio*. *Poisson ratio* merupakan perbandingan antara regangan arah lateral dengan regangan arah horizontal.

Tabel IV.11 Hasil Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

Kode	Keterangan	Modulus Elastisitas (MPa)	Modulus Elastisitas Teoritis $4700\sqrt{f_c'}$ (MPa)	KR ME (%)	<i>Poisson Ratio</i> μ	<i>Poisson Ratio</i> μ Teoritis	KR μ (%)
A	Percobaan Campuran Beton (0%KDU-0%HDU)	25253.04	25337.95	0.33513	0.287028	0.2	43.514
B	Percobaan Campuran Beton (0%KDU, 25% HDU)	25167.4	25089.94	0.308711	0.319886	0.2	59.9429
C	Percobaan Campuran Beton (25%KDU, 0% HDU)	23691.19	24628.77	3.80684	0.341236	0.2	70.6178
D	Percobaan Campuran Beton (25% KDU, 25% HDU)	20524.98	23811.16	13.801	0.292998	0.2	46.4989

Dari tabel IV.11, nilai modulus elastisitas sesuai dengan rumus SNI 03-2847-2002, $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ (MPa), semakin tinggi nilai kekuatan betonnya maka semakin besar nilai modulus elastisitas. Dan semakin besar nilai kekuatan betonnya maka semakin rendah nilai *poisson ratio*-nya.

Kesalahan relatif yang besar pada *poisson ratio* disebabkan oleh kurang telitinya dalam melakukan pengujian ini, tidak menghitung faktor koreksi untuk masing-masing benda uji

Pada komposisi D memiliki nilai modulus elastisitas yang terkecil, hal ini dapat diakibatkan oleh penggunaan agregat daur ulang, di mana telah dijelaskan sebelumnya bahwa kualitas agregat daur ulang kurang baik dibandingkan dengan agregat alam. Kondisi ini dapat menyebabkan ikatan antar agregat menjadi kurang sehingga partikel beton akan lebih mudah meregang apabila diberikan beban. Nilai modulus elastisitas adalah hasil dari tegangan dibagi dengan regangan, maka semakin besar regangan yang terjadi, maka akan menurunkan nilai modulus elastisitas.



BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Pemeriksaan dan pengujian agregat daur ulang yang berasal dari PT Pioner Beton dan agregat alam yang berasal dari PT Adhimix telah dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, menunjukkan bahwa :

1. Hasil pengujian berat jenis dan absorpsi menunjukkan bahwa absorpsi yang terjadi pada agregat daur ulang lebih besar dari pada agregat alam.
2. Hasil pengujian analisa ayak (sieve analysis)
 - Dilihat dari standar SNI 03-2834-1992, agregat halus alam masuk ke dalam gradasi zona II, sedangkan untuk agregat halus daur ulang mendekati gradasi zona II, tidak masuk hanya dalam saringan No.100.
 - Agregat kasar daur ulang dan agregat kasar alam mendekati standar SNI 03-2834-1992.
3. Hasil pemeriksaan bahan lewat saringan No.200 untuk agregat halus
Untuk agregat halus didapatkan bahwa kandungan material halus agregat halus daur ulang melebihi yang diizinkan yaitu antara 0.2 – 6 %, sedangkan untuk agregat halus alam, kandungan material halus masih diizinkan.
4. Hasil pengujian keausan dengan mesin Los Angeles untuk agregat kasar
Kedua agregat kasar tersebut memenuhi standar ASTM C 131 dan C 535 berkisar antara 15 – 50 %. Tetapi jika menurut SII-80 tidak boleh lebih dari 27 %, sehingga agregat kasar daur ulang tidak memenuhi.
5. Hasil uji kuat lentur
Dari hasil pengujian ini, nilai kuat lentur pada beton agregat daur ulang yang tertinggi terjadi pada benda uji dengan Percobaan Campuran Beton 25 % AKDU – 0 % AHDU, di mana penurunan terhadap beton agregat alam sebesar 1.26 % dan nilai terendah terjadi pada Percobaan Campuran

Beton 25 % AKDU – 25 % AHDU dengan persentase penurunan terhadap beton agregat alam sebesar 9.49 %. Jika dilihat persentase penurunan beton agregat daur ulang pada sampel C (25 % AKDU – 0 % AHDU) adalah 1.26 %, nilai penurunan ini lebih rendah dari pada beton agregat daur ulang pada sampel B (0 % AKDU – 25 % AHDU) dengan persentase penurunan 6.33 %. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian kuat lentur beton. Jika dibandingkan antara beton agregat alam dan beton agregat daur ulang, nilai tegangan lentur beton agregat daur ulang lebih rendah dibandingkan dengan agregat alam, ini dikarenakan kualitas agregat yang dipakai pada campuran beton, yaitu kualitas agregat daur ulang kurang baik dibandingkan dengan kualitas agregat alam.

6. Hasil uji perubahan panjang

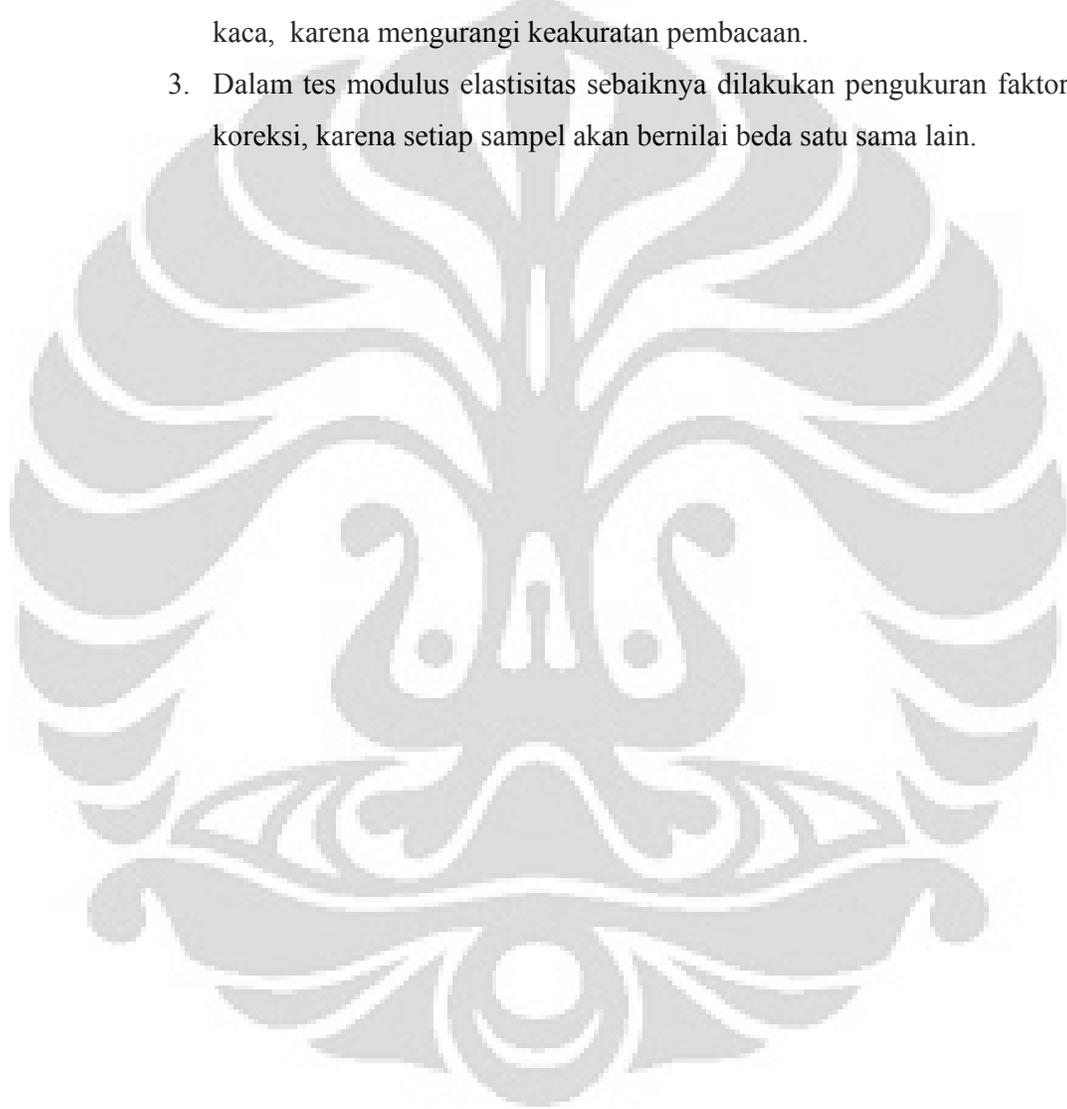
Dilihat pada umur 56 hari, persen tertinggi susut pada beton agregat daur ulang terjadi pada sampel D sebesar 0.0015 %, dan yang terkecil pada sampel C sebesar 0.00133 %. Jika dilihat dari komposisinya sampel D memiliki % susut yang terbesar karena agregat daur ulang mempunyai lebih banyak kandungan material halus dan pasta semen yang melekat baik pada agregat kasar daur ulang maupun agregat halus daur ulang. Penggunaan kaca dalam pembacaan perubahan panjang akan mengurangi keakuratan pembacaan. Nilai persentase pertambahan susut pada percobaan campuran beton 0 % AKDU – 25 % AHDU adalah 10.53 %, lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan campuran beton % 25 AKDU – 0 % AHDU, dengan nilai persentase pertambahan susut sebesar 5.26%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang dengan persentase 25 % lebih baik dari pada penggunaan agregat halus daur ulang dengan persentase 25 % untuk pengujian perubahan panjang.

7. Hasil uji modulus elastisitas dan *poisson ratio*

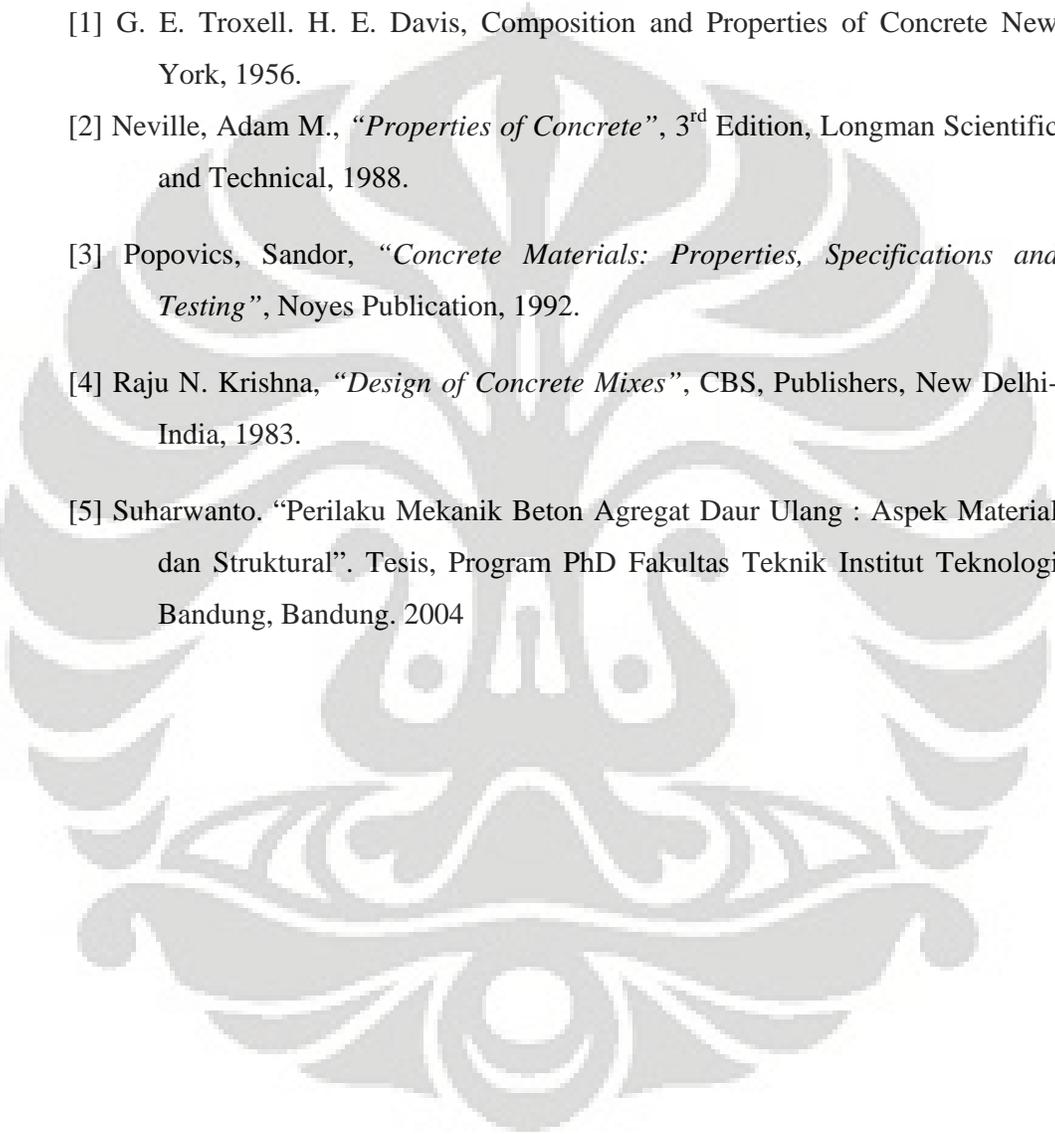
Dari hasil pengujian ini, disimpulkan bahwa modulus elastisitas beton agregat alam lebih besar dari pada beton agregat daur ulang. Nilai modulus elastisitas sesuai dengan rumus SNI, $E_c = 4700 \sqrt{f_c}$ (MPa), semakin tinggi nilai kekuatan betonnya maka semakin besar nilai modulus elastisitas. Semakin tinggi kekuatan betonnya, maka semakin rendah nilai *poisson ratio*-nya.

5.2 SARAN

1. Sebelum melakukan *mix design* sebaiknya agregat daur ulang dicuci terlebih dahulu karena banyak mengandung material halus, yaitu pasta semen yang melekat pada agregat halus maupun agregat kasar daur ulang.
2. Dalam percobaan susut, sebaiknya metode pembacaan tidak memakai kaca, karena mengurangi keakuratan pembacaan.
3. Dalam tes modulus elastisitas sebaiknya dilakukan pengukuran faktor koreksi, karena setiap sampel akan bernilai beda satu sama lain.



DAFTAR ACUAN

- 
- [1] G. E. Troxell. H. E. Davis, *Composition and Properties of Concrete* New York, 1956.
- [2] Neville, Adam M., "*Properties of Concrete*", 3rd Edition, Longman Scientific and Technical, 1988.
- [3] Popovics, Sandor, "*Concrete Materials: Properties, Specifications and Testing*", Noyes Publication, 1992.
- [4] Raju N. Krishna, "*Design of Concrete Mixes*", CBS, Publishers, New Delhi-India, 1983.
- [5] Suharwanto. "Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang : Aspek Material dan Struktural". Tesis, Program PhD Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung, Bandung. 2004

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute, *ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part I, General Requirement, Fifth Edition*, Skokie Illinois, USA: PCA.1990. 5pp.
- American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards 2005*., Vol. 04.02, *Concrete and Aggregates*, Philadelphia: ASTM 2005.
- Buku Pedoman Praktikum. *Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton* (Depok: Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil FTUI, 1998).
- Hadi, Abdul. “Perilaku Beton Geopolimer Berbahan Dasar Batu Limbah Batu Bara.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006.
- Krishna, Raju N. *Design of Concrete Mixes*, CBS, Publishers, New Delhi-India, 1983.
- Madsuri. *Rancangan Proporsi Campuran beton* (Depok: Bahan Kuliah Departemen Sipil FTUI, 2003)
- Neville, Adam M., “*Properties of Concrete*”, 3rd Edition, Longman Scientific and Technical, 1988.
- Popovics, Sandor, “*Concrete Materials: Properties, Specifications and Testing*”, Noyes Publication, 1992.
- Rahman, Marendi. “Pengaruh Penggunaan *Copper Slag* sebagai Material Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Kuat Geser pada Beton.”Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006.

Suharwanto. “Perilaku Mekanik Beton Agregat Daur Ulang : Aspek Material dan Struktural.” Tesis, Program PhD Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung, Bandung. 2004

Troxell, G.E., Davis, H. E., Composition and Properties of Concrete New York, 1956.



LAMPIRAN A

DATA PENELITIAN

Tabel A.1 Hasil Rancangan Campuran Beton

No.	Nama Percobaan	Nilai			
		A (0-0)	B (0-25)	C (0-50)	D (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	25mm	25mm	40mm	40mm
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 (%)	5	5	4.5	4.5
11	S/A	41	41	36	36
12	Rencana Air Adukan	175	175	165	165

Tabel A.2 Campuran Beton untuk Kuat Lentur

Sample	Cement (kg)	Water (kg)	A. Kasar Daur Ulang (kg)	A. Kasar Alami (kg)	A. Halus Daur Ulang (kg)	A. Halus Alami (kg)	TGL DICOR	TGL DITEST
A. (0%KDU – 0%HDU)	15,961	8,514	0	47,258	0	32,577	27-Mar	24-Apr
B. (0%KDU – 25%HDU)	15,997	8,533	0	46,982	8,189922361	24,57	05-Mar	02-Apr
C. (25%KDU – 0%HDU)	15,126	8,069	13,34	40,021	0	29,283	24-Apr	22-Mei
D. (25%KDU – 25%HDU)	15,162	8,088	13,268	39,803	7,369008032	22,107	10-Apr	08-Mei

Tabel A.3 Campuran Beton untuk Perubahan Panjang

Sample	Cement (kg)	Water (kg)	A. Kasar Daur Ulang (kg)	A. Kasar Alami (kg)	A. Halus Daur Ulang (kg)	A. Halus Alami (kg)	TGL Dicor	TGL Akhir Test
A. (0%KDU – 0%HDU)	6,4489	3,44	0	19,0939	0	13,16	27-Mar	22-Mei
B. (0%KDU – 25%HDU)	6,4634	3,448	0	5,2729	0,9192	2,758	05-Mar	30-Apr
C. (25%KDU – 0%HDU)	6,1259	3,268	1,48908	4,46724	0,827	2,481	26-Mar	21-Mei
D. (25%KDU – 25%HDU)	6,1114	3,26	1,49722	4,49167	0	3,287	13-Mar	08-Mei



ANALISA BUTIRAN
SIEVE ANALYSIS

Nama : Heidi Duma Dikerjakan

Judul : Diperiksa

Jenis Contoh : Tanggal

Tabel : Agregat Halus Alam

Berat : 500 gram

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



ANALISA BUTIRAN
SIEVE ANALYSIS

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Halus Daur Ulang
Berat : 500 gram

Sieve Size (mm)	Sample 1				Sample 2				Sample 3				Average	
	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing
4,75 (No.4)	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100	0	100
2,36 (No.8)	7	1,4	1,4	98,6	16	3,2	3,2	96,8	10	2	2	98	2,2	97,8
1,18 (No.16)	151	30,2	31,6	68,4	136	27,2	30,4	69,6	132	26,4	28,4	71,6	30,1333	69,8667
0,6 (No.30)	132	26,4	58	42	130	26	56,4	43,6	130	26	54,4	45,6	56,2667	43,7333
0,3 (No.50)	77	15,4	73,4	26,6	77	15,4	71,8	28,2	81	16,2	70,6	29,4	71,9333	28,0667
0,15 (No.100)	78	15,6	89	11	81	16,2	88	12	85	17	87,6	12,4	88,2	11,8
0,074 (No.200)	26	5,2	94,2	5,8	28	5,6	93,6	6,4	29	5,8	93,4	6,6	93,7333	6,26667
Pan	29	5,8	100	0	32	6,4	100	0	33	6,6	100	0	100	0
	500				500				500					



ANALISA BUTIRAN
SIEVE ANALYSIS

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam
Berat : 5000 gram

Sieve Size (mm)	Agregat Daur Ulang				Agregat Alam			
	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing	Weight Ret (grams)	Ind (%) Ret	Cum (%) Ret	Cum (%) Passing
1 1/2	0	0	0	100	0	0	0	100
1	663	13,26	13,26	86,74	230	4,595404595	4,595405	95,4046
3/4	1085	21,7	34,96	65,04	695	13,88611389	18,48152	81,51848
1/2	1610	32,2	67,16	32,84	1500	29,97002997	48,45155	51,54845
3/8	749	14,98	82,14	17,86	1080	21,57842158	70,02997	29,97003
4.75	673	13,46	95,6	4,4	1468	29,33066933	99,36064	0,639361
8	27	0,54	96,14	3,86	20	0,3996004	99,76024	0,23976
Pan	193	3,86	100	0	7	0,13986014	99,9001	0,0999
	5000				5000			
FM	2,9312				2,409190809			



PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT

Nama : Heidi Duma Dikerjakan

Judul : Diperiksa

Jenis Contoh : Tanggal

Tabel : Agregat Halus Daur Ulang dan Alam

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus	Agregat Daur Ulang			Agregat Alam								
	Cara Langsung	Cara Penusukkan	Cara Jigling	Cara Langsung			Cara Penusukkan			Cara Jigling		
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 1	Sample 2	Sample 3
W wadah (W1-1) (gram)	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055	1055
W wadah + Air (gram)	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055	3055
W wadah + Benda uji (W1-2) (gram)	3991	4188	4157	3823	3786	3790	3921	3961	3972	4095	4062	4104
W3-3 (kg)	2,936	3,133	3,102	2,768	2,731	2,74	2,866	2,906	2,92	3,04	3,007	3,049
W air (gram)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
V wadah (dm ³)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Berat Isi Agregat (kg/dm ³)	1,468	1,567	1,551	1,384	1,366	1,37	1,433	1,453	1,46	1,52	1,504	1,5245
Rata-rata				1,372333333			1,448166667			1,516		



PEMERIKSAAN BERAT ISI AGREGAT

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam

Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	Agregat Daur Ulang			Agregat Alam		
	Cara Langsung	Cara Penusukkan	Cara Jiggling	Cara Langsung	Cara Penusukkan	Cara Jiggling
W wadah (W1-1) (gram)	5089	5089	5089	5089	5089	5089
W wadah + Air (gram)	14361	14361	14361	14361	14361	14361
W wadah + Benda uji (W1-2) (gram)	16250	16711	16339	17884	18338	18414
W3-3 (kg)	11,161	11,622	11,25	11.25	12.795	13.249
W air (gram)	9272	9272	9272	9272	9272	9272
V wadah (dm ³)	9,272	9,272	9,272	9,272	9,272	9,272
Berat Isi Agregat (kg/dm ³)	1,2037317	1,253451251	1,21333046	1,379961173	1,428925798	1,437122519



ANALISA SPECIFIC GRAVITY DAN ABSORPSION AGREGAT

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Halus Daur Ulang dan Alam
Berat : 500 gram

Analisa Specific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Halus	Agregat Daur ulang			Agregat Alam		
	Sample A	Sample B	Sample C	Sample A	Sample B	Sample C
Hasil Pengamatan						
Weight of oven dry specimen in air (gram)	497	494	494	497	497	497
Weight of picnometer filled with water (gram)	657	670	668	668	670	670
Weight of saturated surface dry specimen (gram)	500	500	500	500	500	500
Weight of picnometer with specimen and water to calibration mark (gram)	952	986	975	973	979	976
Bulk Specific Gravity	2,4243902	2,68478261	2,5595855	2,548718	2,602094	2,561856
Rata-rata Bulk Specific Gravity	2,556252782			2,570889287		
Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,4390244	2,7173913	2,5906736	2,564103	2,617801	2,57732
Rata-rata Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,58236309			2,586407733		
Apparent Specific Gravity	2,460396	2,7752809	2,6417112	2,588542	2,643617	2,602094
Rata-rata Apparent Specific Gravity	2,625796056			2,611417643		
Absorption (%)	0,6	1,2	1,2	0,6	0,6	0,6
Rata-rata Absorption (%)	1			0,6		



ANALISA SPECIFIC GRAVITY DAN ABSORPSION AGREGAT

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam
Berat : 500 gram

Analisa Spesific Gravity dan Absorpsi dari Agregat Kasar	Agregat Daur Ulang		Agregat Alam	
	Sample A	Sample B	Sample A	Sample B
Hasil Pengamatan				
Berat dari benda uji oven dry di udara (gram)	4227	4406	4881	4757
Berat dari benda uji pada kondisi SSD (gram)	5000	5000	5000	5000
Berat dari benda uji pada kondisi jenuh (gram)	3135	3261	3148	3006
Bulk Specific Gravity	2,2664879	2,53364	2,63553	2,385657
Rata-rata Bulk Specific Gravity	2,400063979		2,510593064	
Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,6809651	2,875216	2,69978	2,5075226
Rata-rata Bulk Specific Gravity (Saturated Surface Dry)	2,778090394		2,603653292	
Apparent Specific Gravity	3,8708791	3,848035	2,8165	2,7167333
Rata-rata Apparent Specific Gravity	3,859457028		2,766618234	
Absorption (%)	15,46	11,88	2,38	4,86
Rata-rata Absorption	13,67		3,62	



PEMERIKSAAN BAHAN LEWAT SARINGAN NO. 200

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Halus Daur Ulang dan Alam
Berat : 500 gram

Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200	Agregat Daur Ulang		Agregat Alam
	Sample 1	Sample 2	Sample 1
Berat Benda uji semula (gram)	500	500	500
Berat Benda uji tertahan saringan No.200 (gram)	461	464	477
Jumlah bahan lewat saringan No.200 (%)	7,8	7,2	4,6
Rata – rata (%)	7.5		4.6



PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR
DENGAN MESIN LOS ANGELES

Nama : Heidi Duma Dikerjakan
:
Judul : Diperiksa
:
Jenis Contoh : Tanggal
Tabel : Agregat Kasar Daur Ulang dan Alam
Berat : 5000 gram

Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	Agregat Daur Ulang (12 bola)	Agregat Alam (11 bola)
	Sample 1	Sample 1
Berat benda uji semula (gram)	5000	5000
berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram)	2939	4046
Keausan (%)	41,22	19,08

**STRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST RESULT OF CONCRETE SHRINKAGE

No. :
Sample : A (0% KDU – 0% HDU)
Class : 25 MPa
Type :
Size : 10 cm x 10 cm x 50 cm
Date of Mix : 27 Maret 2008
Requested by :
Project : Penelitian Tugas Akhir
Address :
Skala dial comparator : 0.01 mm

Tested by : Heidi Duma
Checked by :

Date of Test	Jam	Sample 1			Sample 2			Sample 3			Remarks
		Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	
28-Mar	14.06	15.19	0	14.09	15.01	0	14.09	15.21	0	14.09	75%, 27.8°C
29-Mar	11.35	15.2	1E-04	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	76%, 27.4°C
30-Mar	15.39	15.19	0	14.09	15.01	0	14.09	15.21	0	14.09	78%, 27.5°C
31-Mar	15.04	15.19	0	14.09	15.01	0	14.09	15.21	0	14.09	73%, 27.2°C
1-Apr	16.04	15.19	0	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	75%, 27.6°C
2-Apr	11.08	15.19	0	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	67%, 27.6°C
3-Apr	09.23	15.2	1E-04	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	75%, 27.3°C
4-Apr	14.42	15.2	1E-04	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	84%, 27.4°C
5-Apr	10.03	15.2	1E-04	14.09	15.03	0.0002	14.09	15.23	0.0002	14.09	82%, 27.3°C
6-Apr	09.50	15.2	1E-04	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.22	1E-04	14.09	85%, 27.5°C
7-Apr	15.16	15.2	1E-04	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.21	0	14.09	74%, 28.5°C
8-Apr	15.47	15.2	1E-04	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.21	0	14.09	80%, 27.6°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

9-Apr	14.35	15.21	0.0002	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.22	1E-04	14.09	85%, 28.4°C
10-Apr	16.33	15.22	0.0003	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.22	1E-04	14.09	86%, 26.2°C
11-Apr	16.28	15.21	0.0002	14.09	15.03	0.0002	14.09	15.23	0.0002	14.09	83%, 27.3°C
12-Apr	10.21	15.21	0.0002	14.09	15.02	1E-04	14.09	15.21	0	14.09	90%, 26.4°C
13-Apr	10.44	15.21	0.0002	14.09	15.03	0.0002	14.09	15.21	0	14.09	85%, 27.6°C
14-Apr	13.39	15.21	0.0002	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.21	0	14.09	88%, 25.5°C
15-Apr	13.52	15.22	0.0003	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.22	1E-04	14.09	85%, 26.6°C
16-Apr	13.50	15.22	0.0003	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.23	0.0002	14.09	71%, 28.6°C
17-Apr	13.28	15.23	0.0004	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.23	0.0002	14.09	75%, 27.7°C
18-Apr	13.35	15.22	0.0003	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.23	0.0002	14.09	76%, 28.2°C
19-Apr	10.07	15.22	0.0003	14.09	15.04	0.0003	14.09	15.23	0.0002	14.09	81%, 27.2°C
20-Apr	10.30	15.23	0.0004	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.24	0.0003	14.09	81%, 26.5°C
21-Apr	11.45	15.23	0.0004	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.24	0.0003	14.09	80%, 26.9°C
22-Apr	13.25	15.23	0.0004	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.24	0.0003	14.09	87%, 27.1°C
23-Apr	13.13	15.23	0.0004	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.24	0.0003	14.09	89%, 27.3°C
24-Apr	10.57	15.23	0.0004	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	82%, 27.6°C
25-Apr	15.14	15.23	0.0004	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	79%, 27.9°C
26-Apr	10.49	15.24	0.0005	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	78%, 27.8°C
27-Apr	10.57	15.24	0.0005	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.25	0.0004	14.09	81%, 27.8°C
28-Apr	12.28	15.24	0.0005	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.26	0.0005	14.09	72%, 28.6°C
29-Apr	12.15	15.25	0.0006	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	78%, 28.8°C
30-Apr	13.39	15.25	0.0006	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	80%, 28.7°C
1-May	10.48	15.25	0.0006	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	81%, 27.4°C
2-May	13.07	15.26	0.0007	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	81%, 27.7°C
3-May	10.42	15.26	0.0007	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	80%, 27.2°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

4-May	10.54	15.26	0.0007	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	78%, 27.4°C
5-May	11.08	15.26	0.0007	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	83%, 27.8°C
6-May	10.11	15.26	0.0007	14.09	15.06	0.0005	14.09	15.25	0.0004	14.09	80%, 27.7°C
7-May	11.00	15.26	0.0007	14.09	15.05	0.0004	14.09	15.25	0.0004	14.09	81%, 27.3°C
8-May	15.36	15.26	0.0007	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.23	0.0002	14.09	77%, 28°C
9-May	15.02	15.26	0.0007	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.24	0.0003	14.09	74%, 28°C
10-May	09.53	15.25	0.0006	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.24	0.0003	14.09	76%, 28.3°C
11-May	10.11	15.25	0.0006	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.24	0.0003	14.09	75%, 27.3°C
12-May	12.51	15.26	0.0007	14.09	15.07	0.0006	14.09	15.24	0.0003	14.09	75%, 27.9°C
13-May	11.06	15.26	0.0007	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.25	0.0004	14.09	76%, 27.7°C
14-May	15.24	15.27	0.0008	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.25	0.0004	14.09	72%, 27.8°C
15-May	10.38	15.27	0.0008	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.25	0.0004	14.09	74%, 28.6°C
16-May	10.5	15.27	0.0008	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	74%, 27.6°C
17-May	12.26	15.28	0.0009	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	77%, 28.1°C
18-May	10.42	15.28	0.0009	14.09	15.09	0.0008	14.09	15.24	0.0003	14.09	77%, 27.6°C
19-May	11.36	15.28	0.0009	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	70%, 28.7°C
20-May	10.15	15.28	0.0009	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	73%, 28.1°C
21-May	10.48	15.28	0.0009	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	80%, 27.7°C
22-May	15.44	15.28	0.0009	14.09	15.08	0.0007	14.09	15.24	0.0003	14.09	70%, 29.3°C

**STRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST RESULT OF CONCRETE SHRINKAGE

No. :
Sample : B (0% KDU – 25% HDU)
Class : 25 MPa
Type :
Size : 10 cm x 10 cm x 50 cm
Date of Mix : 5 Maret 2008
Requested by :
Project : Penelitian Tugas Akhir
Address :
Skala dial comparator : 0.01 mm

Tested by : Heidi Duma
Checked by :

Date of Test	Jam	Sample 1			Sample 2			Sample 3			Remarks
		Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	
6-Mar	16.15	6.52	0	10.8	6.55	0	10.8	6.51	0	10.8	74%, 26.5°C
7-Mar	15.40	6.52	0	10.8	6.55	0	10.8	6.51	0	10.8	82%, 27.5°C
8-Mar	17.12	6.51	-1E-04	10.8	6.53	-0.0002	10.8	6.52	1E-04	10.8	87%, 26.6°C
9-Mar	11.40	6.51	-1E-04	10.8	6.53	-0.0002	10.8	6.53	0.0002	10.8	85%, 26.8°C
10-Mar	13.34	6.51	-1E-04	10.8	6.53	-0.0002	10.8	6.52	1E-04	10.8	83%, 27.4°C
11-Mar	16.14	6.52	0	10.8	6.54	-1E-04	10.8	6.52	1E-04	10.8	85%, 26.7°C
12-Mar	15.40	6.52	0	10.8	6.54	-1E-04	10.8	6.52	1E-04	10.8	84%, 26.4°C
13-Mar	13.10	6.53	0.0001	10.8	6.55	0	10.8	6.52	1E-04	10.8	80%, 26.7°C
14-Mar	15.17	6.54	0.0002	10.8	6.55	0	10.8	6.53	0.0002	10.8	85%, 27.3°C
15-Mar	13.53	6.54	0.0002	10.8	6.55	0	10.8	6.53	0.0002	10.8	85%, 27.3°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

16-Mar	13.30	6.53	0.0001	10.8	6.55	0	10.8	6.53	0.0002	10.8	84%, 26.9°C
17-Mar	12.17	6.53	0.0001	10.8	6.55	0	10.8	6.53	0.0002	10.8	85%, 27.4°C
18-Mar	15.32	6.53	0.0001	10.8	6.55	0	10.8	6.53	0.0002	10.8	84%, 27.3°C
19-Mar	12.27	6.53	0.0001	10.8	6.56	1E-04	10.8	6.54	0.0003	10.8	85%, 26.5°C
20-Mar	10.12	6.53	0.0001	10.8	6.56	1E-04	10.8	6.56	0.0005	10.8	90%, 25.8°C
21-Mar	9.57	6.53	0.0001	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.55	0.0004	10.8	84%, 26.2°C
22-Mar	9.30	6.54	0.0002	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.55	0.0004	10.8	82%, 26.2°C
23-Mar	10.07	6.54	0.0002	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.55	0.0004	10.8	85%, 26.1°C
24-Mar	15.43	6.54	0.0002	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.55	0.0004	10.8	79%, 27°C
25-Mar	13.08	6.54	0.0002	10.8	6.57	0.0002	10.8	6.55	0.0004	10.8	85%, 25.8°C
26-Mar	14.35	6.56	0.0004	10.8	6.57	0.0002	10.8	6.55	0.0004	10.8	80%, 26.4°C
27-Mar	12.50	6.56	0.0004	10.8	6.57	0.0002	10.8	6.55	0.0004	10.8	82%, 27.3°C
28-Mar	13.41	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.57	0.0006	10.8	76%, 27.1°C
29-Mar	10.44	6.57	0.0005	10.8	6.57	0.0002	10.8	6.56	0.0005	10.8	73%, 25.6°C
30-Mar	15.20	6.57	0.0005	10.8	6.57	0.0002	10.8	6.56	0.0005	10.8	76%, 23.8°C
31-Mar	15.49	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.56	0.0005	10.8	71%, 27°C
1-Apr	15.24	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.56	0.0005	10.8	75%, 27.3°C
2-Apr	11.39	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.57	0.0006	10.8	69%, 27.6°C
3-Apr	09.07	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	75%, 27.3°C
4-Apr	15.04	6.57	0.0005	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	83%, 27.5°C
5-Apr	10.34	6.57	0.0005	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.58	0.0007	10.8	79%, 27.5°C
6-Apr	10.12	6.57	0.0005	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	76%, 27.4°C
7-Apr	15.40	6.56	0.0004	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	74%, 28.4°C
8-Apr	16.10	6.57	0.0005	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	81%, 27.6°C
9-Apr	14.52	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	85%, 28.2°C

**STRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

10-Apr	16.45	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	85% 26.2°C
11-Apr	16.30	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	85%, 27.2°C
12-Apr	10.49	6.58	0.0006	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	91%, 26.5
13-Apr	10.16	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.58	0.0007	10.8	84%, 26.7°C
14-Apr	13.50	6.56	0.0004	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.59	0.0008	10.8	89%, 25.5°C
15-Apr	13.29	6.57	0.0005	10.8	6.58	0.0003	10.8	6.59	0.0008	10.8	85%, 26.6°C
16-Apr	13.54	6.58	0.0006	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	72%, 28.6°C
17-Apr	13.08	6.58	0.0006	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	75%, 27.7°C
18-Apr	13.50	6.58	0.0006	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	76%, 28.1°C
19-Apr	10.20	6.58	0.0006	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	80%, 27°C
20-Apr	10.40	6.59	0.0007	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	81%, 28.3°C
21-Apr	11.54	6.59	0.0007	10.8	6.59	0.0004	10.8	6.59	0.0008	10.8	79%, 27.1°C
22-Apr	13.40	6.59	0.0007	10.8	6.6	0.0005	10.8	6.6	0.0009	10.8	82%, 27.1°C
23-Apr	13.36	6.58	0.0006	10.8	6.6	0.0005	10.8	6.6	0.0009	10.8	90%, 27.4°C
24-Apr	11.16	6.58	0.0006	10.8	6.6	0.0005	10.8	6.6	0.0009	10.8	83%, 27.7°C
25-Apr	15.33	6.58	0.0006	10.8	6.6	0.0005	10.8	6.6	0.0009	10.8	79%, 28°C
26-Apr	10.25	6.58	0.0006	10.8	6.61	0.0006	10.8	6.6	0.0009	10.8	78%, 27.8°C
27-Apr	10.30	6.58	0.0006	10.8	6.61	0.0006	10.8	6.6	0.0009	10.8	81%, 27.6°C
28-Apr	12.38	6.58	0.0006	10.8	6.61	0.0006	10.8	6.6	0.0009	10.8	72%, 28.6°C
29-Apr	12.23	6.58	0.0006	10.8	6.61	0.0006	10.8	6.6	0.0009	10.8	78%, 28.8°C
30-Apr	14.01	6.58	0.0006	10.8	6.61	0.0006	10.8	6.6	0.0009	10.8	79%, 28.2°C

**SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST RESULT OF CONCRETE SHRINKAGE

No. :
Sample : C (25% KDU – 0% HDU)
Class : 25 MPa
Type :
Size : 10 cm x 10 cm x 50 cm
Date of Mix : 26 Maret 2008
Requested by :
Project : Penelitian Tugas Akhir
Address :
Skala dial comparator : 0.01 mm

Tested by : Heidi Duma
Checked by :

Date of Test	Jam	Sample 1			Sample 2			Sample 3			Remarks
		Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	
27-Mar	14.30	14.8	0	14.09	14.92	0	14.09	14.6	0	14.09	83%, 26.8°C
28-Mar	14.01	14.79	-0.0001	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.61	1E-04	14.09	74%, 27.8°C
29-Mar	11.33	14.79	-0.0001	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.61	1E-04	14.09	75%, 27.4°C
30-Mar	15.41	14.79	-0.0001	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.61	1E-04	14.09	78%, 27.4°C
31-Mar	16.01	14.79	-0.0001	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.62	0.0002	14.09	73%, 27.1°C
1-Apr	15.58	14.8	0	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	75%, 27.6°C
2-Apr	10.54	14.8	0	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	70%, 27.6°C
3-Apr	09.27	14.8	0	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.65	0.0005	14.09	75%, 27.4°C
4-Apr	14.38	14.81	1E-04	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.65	0.0005	14.09	84%, 27.4°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

5-Apr	10.11	14.82	0.0002	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.65	0.0005	14.09	82%, 27.4°C
6-Apr	09.45	14.84	0.0004	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.64	0.0004	14.09	83%, 27.6°C
7-Apr	15.12	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	73%, 28.6°C
8-Apr	15.53	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	80%, 27.6°C
9-Apr	14.32	14.83	0.0003	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.63	0.0003	14.09	84%, 28.5°C
10-Apr	16.29	14.84	0.0004	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	85%, 26.4°C
11-Apr	16.30	14.83	0.0003	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.63	0.0003	14.09	84%, 27.2°C
12-Apr	10.26	14.82	0.0002	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	84%, 27.3°C
13-Apr	10.38	14.83	0.0003	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.63	0.0003	14.09	86%, 27.3°C
14-Apr	13.37	14.83	0.0003	14.09	14.93	1E-04	14.09	14.63	0.0003	14.09	88%, 25.5°C
15-Apr	13.46	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	85%, 26.6°C
16-Apr	13.52	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	71%, 28.6°C
17-Apr	13.24	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	75%, 27.7°C
18-Apr	13.45	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	76%, 28.1°C
19-Apr	10.00	14.83	0.0003	14.09	14.94	0.0002	14.09	14.63	0.0003	14.09	80%, 27.1°C
20-Apr	10.26	14.84	0.0004	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.64	0.0004	14.09	80%, 27°C
21-Apr	11.49	14.85	0.0005	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.64	0.0004	14.09	79%, 27.1°C
22-Apr	13.33	14.85	0.0005	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.64	0.0004	14.09	87%, 27.1°C
23-Apr	13.19	14.85	0.0005	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.65	0.0005	14.09	89%, 27.3°C
24-Apr	11.04	14.86	0.0006	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.64	0.0004	14.09	82%, 27.6°C
25-Apr	15.21	14.86	0.0006	14.09	14.95	0.0003	14.09	14.65	0.0005	14.09	80%, 27.9°C
26-Apr	10.44	14.87	0.0007	14.09	14.96	0.0004	14.09	14.65	0.0005	14.09	78%, 27.8°C
27-Apr	10.52	14.87	0.0007	14.09	14.96	0.0004	14.09	14.66	0.0006	14.09	81%, 27.8°C
28-Apr	12.31	14.87	0.0007	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.66	0.0006	14.09	72%, 28.6°C

**SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

29-Apr	12.19	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	79%, 28.8°C
30-Apr	13.53	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.66	0.0006	14.09	79%, 28.2°C
1-May	10.41	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.66	0.0006	14.09	81%, 27.4°C
2-May	13.12	14.86	0.0006	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.66	0.0006	14.09	81%, 27.7°C
3-May	10.36	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.65	0.0005	14.09	80%, 27.2°C
4-May	10.47	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.65	0.0005	14.09	78%, 27.4°C
5-May	11.14	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.65	0.0005	14.09	83%, 27.8°C
6-May	10.07	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.66	0.0006	14.09	80%, 27.7°C
7-May	10.54	14.87	0.0007	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.66	0.0006	14.09	82%, 27.2°C
8-May	15.25	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.66	0.0006	14.09	76%, 28.1°C
9-May	14.56	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	73%, 28°C
10-May	09.48	14.85	0.0005	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	75%, 28.3°C
11-May	10.01	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	75%, 27.3°C
12-May	12.44	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	73%, 27.8°C
13-May	11.06	14.86	0.0006	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.67	0.0007	14.09	75%, 27.7°C
14-May	15.24	14.86	0.0006	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	72%, 27.6°C
15-May	10.38	14.86	0.0006	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.67	0.0007	14.09	78%, 28°C
16-May	10.5	14.87	0.0007	14.09	14.97	0.0005	14.09	14.67	0.0007	14.09	73%, 27.6°C
17-May	12.26	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	76%, 28°C
18-May	10.42	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	77%, 27.6°C
19-May	11.36	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	79%, 28.5°C
20-May	10.15	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	72%, 28°C
21-May	10.44	14.87	0.0007	14.09	14.98	0.0006	14.09	14.67	0.0007	14.09	80%, 27.6°C

**STRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST RESULT OF CONCRETE SHRINKAGE

No. :
Sample : D (25% KDU – 25% HDU)
Class : 25 MPa
Type :
Size : 10 cm x 10 cm x 50 cm
Date of Mix : 13 Maret 2008
Requested by :
Project : Penelitian Tugas Akhir
Address :
Skala dial comparator : 0.01 mm

Tested by : Heidi Duma
Checked by :

Date of Test	Jam	Sample 1			Sample 2			Sample 3			Remarks
		Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	Dial Redialing	ΔL	Batang Baja	
14-Mar	15.54	6.86	0	10.8	6.5	0	10.8	6.39	0	10.8	85%, 27.3°C
15-Mar	14.10	6.86	0	10.8	6.52	0.0002	10.8	6.39	0	10.8	86%, 26.7°C
16-Mar	13.34	6.86	0	10.8	6.53	0.0003	10.8	6.38	-1E-04	10.8	85%, 27.6°C
17-Mar	12.29	6.86	0	10.8	6.53	0.0003	10.8	6.37	-0.0002	10.8	84%, 27.6°C
18-Mar	15.49	6.85	-0.0001	10.8	6.53	0.0003	10.8	6.38	-1E-04	10.8	84%, 27.3°C
19-Mar	13.49	6.86	0	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.38	-1E-04	10.8	86%, 26.7°C
20-Mar	10.30	6.86	0	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.38	-1E-04	10.8	88%, 26°C
21-Mar	10.08	6.85	-0.0001	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.38	-1E-04	10.8	83%, 26.3°C
22-Mar	9.40	6.86	0	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.38	-1E-04	10.8	81%, 26.4°C
23-Mar	10.30	6.86	0	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.39	0	10.8	85%, 26.1°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

24-Mar	16.01	6.87	1E-04	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.39	0	10.8	81%, 26.9°C
25-Mar	13.24	6.87	1E-04	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.39	0	10.8	86%, 26.2°C
26-Mar	14.44	6.87	1E-04	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.39	0	10.8	80%, 27°C
27-Mar	13.12	6.87	1E-04	10.8	6.54	0.0004	10.8	6.4	0.0001	10.8	80%, 27.7°C
28-Mar	13.55	6.87	1E-04	10.8	6.55	0.0005	10.8	6.4	0.0001	10.8	75%, 27.6°C
29-Mar	11.19	6.88	0.0002	10.8	6.55	0.0005	10.8	6.4	0.0001	10.8	75%, 27.1°C
30-Mar	15.31	6.88	0.0002	10.8	6.55	0.0005	10.8	6.4	0.0001	10.8	76%, 27.2°C
31-Mar	15.57	6.88	0.0002	10.8	6.55	0.0005	10.8	6.4	0.0001	10.8	72%, 27.1°C
1-Apr	15.45	6.88	0.0002	10.8	6.56	0.0006	10.8	6.41	0.0002	10.8	75%, 27.5°C
2-Apr	12.03	6.87	1E-04	10.8	6.56	0.0006	10.8	6.41	0.0002	10.8	70%, 27.4°C
3-Apr	09.16	6.87	1E-04	10.8	6.56	0.0006	10.8	6.41	0.0002	10.8	75%, 27.3°C
4-Apr	15.12	6.87	1E-04	10.8	6.56	0.0006	10.8	6.4	0.0001	10.8	83%, 27.6°C
5-Apr	10.47	6.87	1E-04	10.8	6.55	0.0005	10.8	6.4	0.0001	10.8	79%, 27.6°C
6-Apr	10.28	6.88	0.0002	10.8	6.57	0.0007	10.8	6.4	0.0001	10.8	76%, 27.5°C
7-Apr	15.49	6.88	0.0002	10.8	6.57	0.0007	10.8	6.4	0.0001	10.8	74%, 28.4°C
8-Apr	16.30	6.88	0.0002	10.8	6.57	0.0007	10.8	6.41	0.0002	10.8	80%, 27.5°C
9-Apr	15.02	6.88	0.0002	10.8	6.57	0.0007	10.8	6.41	0.0002	10.8	85%, 28.2°C
10-Apr	16.58	6.89	0.0003	10.8	6.57	0.0007	10.8	6.42	0.0003	10.8	84%, 26.2°C
11-Apr	17.01	6.89	0.0003	10.8	6.58	0.0008	10.8	6.42	0.0003	10.8	86%, 27.2°C
12-Apr	10.51	6.88	0.0002	10.8	6.58	0.0008	10.8	6.42	0.0003	10.8	91%, 26.5°C
13-Apr	10.33	6.89	0.0003	10.8	6.58	0.0008	10.8	6.42	0.0003	10.8	86%, 26.4°C
14-Apr	13.56	6.89	0.0003	10.8	6.59	0.0009	10.8	6.43	0.0004	10.8	88%, 25.6°C
15-Apr	13.42	6.89	0.0003	10.8	6.59	0.0009	10.8	6.43	0.0004	10.8	85%, 26.6°C
16-Apr	13.54	6.89	0.0003	10.8	6.59	0.0009	10.8	6.43	0.0004	10.8	72%, 28.6°C

**SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY**

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

17-Apr	13.20	6.89	0.0003	10.8	6.59	0.0009	10.8	6.43	0.0004	10.8	75%, 27.7°C
18-Apr	13.48	6.89	0.0003	10.8	6.59	0.0009	10.8	6.44	0.0005	10.8	76%, 28.4°C
19-Apr	10.15	6.88	0.0002	10.8	6.6	0.001	10.8	6.44	0.0005	10.8	80%, 27.1°C
20-Apr	10.35	6.88	0.0002	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.44	0.0005	10.8	76%, 28.2°C
21-Apr	11.58	6.88	0.0002	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.44	0.0005	10.8	79%, 27.1°C
22-Apr	13.45	6.88	0.0002	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.45	0.0006	10.8	87%, 27.1°C
23-Apr	13.52	6.89	0.0003	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.45	0.0006	10.8	90%, 27.4°C
24-Apr	11.26	6.89	0.0003	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.44	0.0005	10.8	83%, 27.8°C
25-Apr	15.50	6.9	0.0004	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.44	0.0005	10.8	79%, 28°C
26-Apr	10.39	6.9	0.0004	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.45	0.0006	10.8	78%, 27.8°C
27-Apr	10.48	6.89	0.0003	10.8	6.62	0.0012	10.8	6.45	0.0006	10.8	81%, 27.8°C
28-Apr	12.39	6.89	0.0003	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.45	0.0006	10.8	73%, 28.6°C
29-Apr	12.35	6.89	0.0003	10.8	6.6	0.001	10.8	6.45	0.0006	10.8	79%, 25.9°C
30-Apr	14.10	6.89	0.0003	10.8	6.6	0.001	10.8	6.46	0.0007	10.8	80%, 28.2°C
1-May	10.37	6.89	0.0003	10.8	6.6	0.001	10.8	6.46	0.0007	10.8	81%, 27.4°C
2-May	13.20	6.89	0.0003	10.8	6.6	0.001	10.8	6.46	0.0007	10.8	81%, 27.8°C
3-May	10.31	6.9	0.0004	10.8	6.6	0.001	10.8	6.46	0.0007	10.8	79%, 27.2°C
4-May	10.43	6.9	0.0004	10.8	6.6	0.001	10.8	6.46	0.0007	10.8	77%, 27.4°C
5-May	11.23	6.9	0.0004	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.46	0.0007	10.8	84%, 27.8°C
6-May	10.03	6.91	0.0005	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.47	0.0008	10.8	79%, 27.7°C
7-May	10.51	6.9	0.0004	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.47	0.0008	10.8	82%, 27.1°C
8-May	15.22	6.9	0.0004	10.8	6.61	0.0011	10.8	6.47	0.0008	10.8	76%, 28.1°C



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST CONCRETE FLEXURAL STRENGTH

No. :
 Class : 25 MPa
 Type :
 Size : 15 cm x 15 cm x 55 cm
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

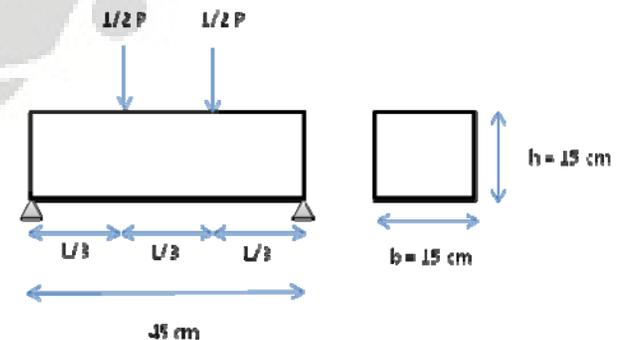
Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

NO	Tanggal		Umur (Hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm)	Bentang (L) (cm)	Dimensi		P1 (kg)	P2 (kg)	P3 (kg)	P Rata-rata (kg)	W 1/6 .b.h ² (cm ³)	MOMEN LENTUR M = 1/6.P.L (kg.cm)	TEGANGAN LENTUR (M/W) (kg/cm ²)	KETERANGAN
	Dicor	Ditest					b (cm)	h (cm)								
1	5-Mar	2-Apr	28	A	15 X 15 X 55	45	15	15	2550	2700	2650	2633.333	562.5	19750	35.11111	82%, 27.7
2	27-Mar	24-Apr	28	B	15 X 15 X 55	45	15	15	2500	2550	2350	2466.67	562.5	18500	32.889	67%, 27.6
3	10-Apr	8-May	28	C	15 X 15 X 55	45	15	15	2600	2550	2650	2600	562.5	19500	34.66667	80%, 27.8
4	24-Apr	22-May	28	D	15 X 15 X 55	45	15	15	2450	2300	2400	2383.333	562.5	17875	31.77778	77%, 28

Keterangan :

- A : Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 0% AHDU)
- B : Percobaan Campuran Beton (0% AKDU, 25% AHDU)
- C : Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 0% AHDU)
- D : Percobaan Campuran Beton (25% AKDU, 25% AHDU)

Detail Gambar:





SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : A (0% KDU – 0% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long
0	0	0	0	0	0.5	0.003	1.3E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.3E-05	0	0	0	0.5	0.0025	1.25E-05
2500	1.415	0.5	0.0025	1.3E-05	2	0.01	0.00005	1	0.005	3E-05	1.5	0.0075	3.8E-05	0.5	0.003	1.3E-05	1.5	0.0075	3.75E-05
5000	2.831	2	0.01	0.00005	4	0.02	0.0001	2.5	0.0125	6E-05	3.5	0.0175	8.8E-05	3	0.015	7.5E-05	4	0.02	0.0001
7500	4.246	3	0.015	7.5E-05	6	0.03	0.00015	5	0.025	0.0001	5	0.025	0.00013	5.5	0.028	0.00014	6.5	0.0325	0.000163
10000	5.662	5	0.025	0.00013	8.5	0.043	0.00021	7	0.035	0.0002	7.5	0.0375	0.00019	7.5	0.038	0.00019	8.5	0.0425	0.000213
12500	7.077	7.5	0.0375	0.00019	10	0.05	0.00025	9.5	0.0475	0.0002	9.5	0.0475	0.00024	10	0.05	0.00025	10	0.05	0.00025
15000	8.493	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	9.908	14.5	0.0725	0.00036	14	0.07	0.00035	14.5	0.0725	0.0004	14	0.07	0.00035	14	0.07	0.00035	14	0.07	0.00035
20000	11.32	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



STRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : A (0% KDU – 0% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3						
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			
		g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0033	1.6E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415	0	0	0	0	0	0	0.5	0.0033	2E-05	0.5	0.0033	1.6E-05	0	0	0	0	0	0	
5000	2.831	0	0	0	0.5	0.003	1.6E-05	0.5	0.0033	2E-05	1	0.0066	3.3E-05	0.5	0.003	1.6E-05	0.5	0.0033	1.64E-05	
7500	4.246	0.5	0.0033	1.6E-05	1	0.007	3.3E-05	1	0.0066	3E-05	1.5	0.0098	4.9E-05	1	0.007	3.3E-05	1	0.0066	3.28E-05	
10000	5.662	1	0.0066	3.3E-05	1.5	0.01	4.9E-05	1.5	0.0098	5E-05	2	0.0131	6.6E-05	1.5	0.01	4.9E-05	1.5	0.0098	4.91E-05	
12500	7.077	1.5	0.0098	4.9E-05	2	0.013	6.6E-05	2	0.0131	7E-05	2.5	0.0164	8.2E-05	2	0.013	6.6E-05	2	0.0131	6.55E-05	
15000	8.493	2	0.0131	6.6E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2.5	0.0164	8E-05	3	0.0197	9.8E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2.5	0.0164	8.19E-05	
17500	9.908	2.5	0.0164	8.2E-05	3	0.02	9.8E-05	3	0.0197	1E-04	3.5	0.0229	0.00011	3	0.02	9.8E-05	3	0.0197	9.83E-05	
20000	11.32	3	0.0197	9.8E-05	3	0.02	9.8E-05	3.5	0.0229	0.0001	3.5	0.0229	0.00011	3.5	0.023	0.00011	3.5	0.0229	0.000115	



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : B (0% KDU – 25% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long
0	0	0	0	0	1.5	0.008	3.8E-05	0	0	0	0.5	0.003	1E-05	0	0	0	0.5	0.003	1E-05
2500	1.415	2	0.01	0.00005	2	0.01	0.00005	1.5	0.008	3.8E-05	2	0.01	5E-05	2	0.01	5E-05	2	0.01	5E-05
5000	2.831	4	0.02	0.0001	5	0.025	0.00013	3	0.015	7.5E-05	4	0.02	0.0001	4	0.02	0.0001	4.5	0.023	0.0001
7500	4.246	6.5	0.033	0.00016	7.5	0.038	0.00019	6	0.03	0.00015	6.5	0.033	0.0002	6.5	0.0325	0.0002	6	0.03	0.0002
10000	5.662	8	0.04	0.0002	9.5	0.048	0.00024	8	0.04	0.0002	8.5	0.043	0.0002	8.5	0.0425	0.0002	9.5	0.048	0.0002
12500	7.077	10	0.05	0.00025	11.5	0.058	0.00029	10	0.05	0.00025	10.5	0.053	0.0003	11	0.055	0.0003	11.5	0.058	0.0003
15000	8.493	12.5	0.063	0.00031	13	0.065	0.00033	12	0.06	0.0003	13	0.065	0.0003	13.5	0.0675	0.0003	13.5	0.068	0.0003
17500	9.908	15	0.075	0.00038	15	0.075	0.00038	14	0.07	0.00035	14.5	0.073	0.0004	15	0.075	0.0004	15.5	0.078	0.0004
20000	11.32	18	0.09	0.00045	18	0.09	0.00045	17	0.085	0.00043	17	0.085	0.0004	17.5	0.0875	0.0004	17.5	0.088	0.0004



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : B (0% KDU – 25% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat
0	0	0	0	0	0.5	0.003	1.6E-05	0	0	0	0.5	0.003	2E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415	0.5	0.003	1.6E-05	1	0.007	3.3E-05	0.5	0.003	1.6E-05	1	0.007	3E-05	0.5	0.0033	2E-05	0.5	0.003	2E-05
5000	2.831	1	0.007	3.3E-05	1.5	0.01	4.9E-05	1	0.007	3.3E-05	1.5	0.01	5E-05	1	0.0066	3E-05	1	0.007	3E-05
7500	4.246	1.5	0.01	4.9E-05	2	0.013	6.6E-05	1.5	0.01	4.9E-05	2	0.013	7E-05	1.5	0.0098	5E-05	1.5	0.01	5E-05
10000	5.662	2	0.013	6.6E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2.5	0.016	8E-05	2	0.0131	7E-05	2	0.013	7E-05
12500	7.077	3	0.02	9.8E-05	3	0.02	9.8E-05	3	0.02	9.8E-05	3	0.02	1E-04	3	0.0197	1E-04	2.5	0.016	8E-05
15000	8.493	3.5	0.023	0.00011	3.5	0.023	0.00011	3.5	0.023	0.00011	3.5	0.023	0.0001	3.5	0.0229	0.0001	3.5	0.023	0.0001
17500	9.908	4	0.026	0.00013	4	0.026	0.00013	4	0.026	0.00013	4	0.026	0.0001	4	0.0262	0.0001	4	0.026	0.0001
20000	11.32	4	0.026	0.00013	4	0.026	0.00013	4.5	0.029	0.00015	4.5	0.029	0.0001	4.5	0.0295	0.0001	4.5	0.029	0.0001



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : C (25% KDU – 0% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long	g long	d	ϵ long
0	0	0	0	0	1.5	0.008	3.8E-05	0	0	0	0.5	0.003	1.3E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415	2	0.01	5E-05	2.5	0.013	6.3E-05	1.5	0.008	4E-05	2	0.01	0.00005	1	0.005	2.5E-05	2	0.01	5E-05
5000	2.831	3	0.015	8E-05	6	0.03	0.00015	3.5	0.018	9E-05	4.5	0.023	0.00011	3	0.015	7.5E-05	4	0.02	0.0001
7500	4.246	5	0.025	1E-04	8	0.04	0.0002	5	0.025	1E-04	7.5	0.038	0.00019	4.5	0.0225	0.00011	7.5	0.038	0.0002
10000	5.662	6.5	0.0325	2E-04	10	0.05	0.00025	6.5	0.033	2E-04	10.5	0.053	0.00026	7	0.035	0.00018	9.5	0.048	0.0002
12500	7.077	10	0.05	3E-04	13	0.065	0.00033	9.5	0.048	2E-04	12	0.06	0.0003	10	0.05	0.00025	12	0.06	0.0003
15000	8.493	12	0.06	3E-04	14	0.07	0.00035	11.5	0.058	3E-04	13.5	0.068	0.00034	12	0.06	0.0003	14	0.07	0.0004
17500	9.908	14	0.07	4E-04	17	0.085	0.00043	14.5	0.073	4E-04	15.5	0.078	0.00039	15	0.075	0.00038	17.5	0.088	0.0004
20000	11.32	18	0.09	5E-04	18	0.09	0.00045	17.5	0.088	4E-04	17.5	0.088	0.00044	19	0.095	0.00048	19	0.095	0.0005



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : C (25% KDU – 0% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

		Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
Beban (kg)	σ Mpa	LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.003	1.6E-05	0	0	0	0	0	0
2500	1.415	0	0	0	0	0	0	0.5	0.003	2E-05	0.5	0.003	1.6E-05	0	0	0	0	0	0
5000	2.831	0	0	0	0.5	0.003	1.6E-05	0.5	0.003	2E-05	1	0.007	3.3E-05	0.5	0.0033	1.6E-05	0.5	0.003	2E-05
7500	4.246	0.5	0.0033	2E-05	1	0.007	3.3E-05	1	0.007	3E-05	1.5	0.01	4.9E-05	1	0.0066	3.3E-05	1	0.007	3E-05
10000	5.662	1	0.0066	3E-05	1.5	0.01	4.9E-05	1.5	0.01	5E-05	2	0.013	6.6E-05	1.5	0.0098	4.9E-05	1.5	0.01	5E-05
12500	7.077	1.5	0.0098	5E-05	2	0.013	6.6E-05	2	0.013	7E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2	0.0131	6.6E-05	2	0.013	7E-05
15000	8.493	2	0.0131	7E-05	2.5	0.016	8.2E-05	2.5	0.016	8E-05	3	0.02	9.8E-05	2.5	0.0164	8.2E-05	2.5	0.016	8E-05
17500	9.908	2.5	0.0164	8E-05	3	0.02	9.8E-05	3	0.02	1E-04	3.5	0.023	0.00011	3	0.0197	9.8E-05	3	0.02	1E-04
20000	11.32	3	0.0197	1E-04	3	0.02	9.8E-05	3.5	0.023	1E-04	3.5	0.023	0.00011	3.5	0.0229	0.00011	3.5	0.023	0.0001



SRUCTURE AND MATERIAL LABORATORY

Department of Civil Engineering - Faculty of Engineering

University of Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext. 110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST MODULUS OF ELASTICITY

No. :
 Class : 25 MPa
 Type : D (25% KDU – 25% HDU)
 Size : 15 cm x 30 cm (Silinder)
 Project : Penelitian Tugas Akhir
 Address :

Tested by : Heidi Duma
 Checked by :

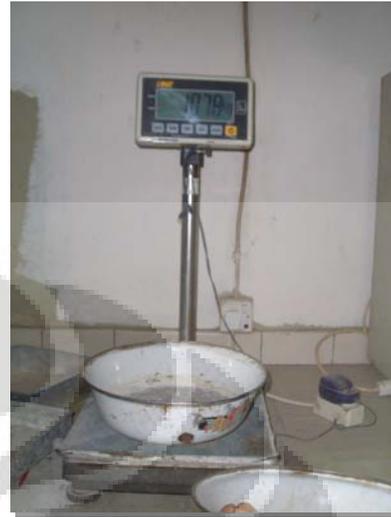
Beban (kg)	σ Mpa	Siklus 1						Siklus 2						Siklus 3					
		LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING			LOADING			UNLOADING		
		g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat	g lat	d	ϵ lat
0	0	0	0	0	0.5	0.003	2E-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	1.415	0.5	0.0033	1.6E-05	1	0.007	3E-05	0.5	0.0033	1.64E-05	1	0.0066	3.3E-05	0.5	0.0033	1.6E-05	0.5	0.003	1.6E-05
5000	2.831	1	0.0066	3.3E-05	2	0.013	7E-05	1	0.0066	3.28E-05	1.5	0.0098	4.9E-05	1	0.0066	3.3E-05	1.5	0.01	4.9E-05
7500	4.246	1.5	0.0098	4.9E-05	3	0.02	1E-04	1.5	0.0098	4.91E-05	2	0.0131	6.6E-05	1.5	0.0098	4.9E-05	2.5	0.016	8.2E-05
10000	5.662	2.5	0.0164	8.2E-05	3.5	0.023	0.0001	2	0.0131	6.55E-05	3	0.0197	9.8E-05	2	0.0131	6.6E-05	3	0.02	9.8E-05
12500	7.077	3	0.0197	9.8E-05	4	0.026	0.0001	2.5	0.0164	8.19E-05	3.5	0.0229	0.00011	3	0.0197	9.8E-05	4	0.026	0.00013
15000	8.493	3.5	0.0229	0.00011	4.5	0.029	0.0001	3	0.0197	9.83E-05	4	0.0262	0.00013	3.5	0.0229	0.00011	4.5	0.029	0.00015
17500	9.908	4	0.0262	0.00013	5	0.033	0.0002	4	0.0262	0.000131	4.5	0.0295	0.00015	4	0.0262	0.00013	5	0.033	0.00016
20000	11.32	5	0.0328	0.00016	5	0.033	0.0002	4.5	0.0295	0.000147	4.5	0.0295	0.00015	5	0.0328	0.00016	5	0.033	0.00016

LAMPIRAN B
FOTO-FOTO PENELITIAN

	
<p style="text-align: center;">Gambar B.1 Agregat Halus Alam</p>	<p style="text-align: center;">Gambar B.2 Agregat Kasar Alam</p>
	
<p style="text-align: center;">Gambar B.3 Agregat Halus Daur Ulang</p>	<p style="text-align: center;">Gambar B.4 Agregat Kasar Daur Ulang</p>



Gambar B.5 Pemisahan Agregat Kasar dan Halus



Gambar B.6 Penimbangan Bahan



Gambar B.7 Perendaman Agregat Kasar



Gambar B.8 Penglapan Agregat Kasar



Gambar B.9 Pengujian SG Agregat Halus

Gambar B.10 Pengujian Berat Isi Agregat Halus



Gambar B.11 Alat Oven



Gambar B.12 Pencucian Agregat Kasar



Gambar B.13 Pengujian *Sieve Analysis*



Gambar B.14 Alat *Mixer*



Gambar B.15 Pengujian Slump Beton



Gambar B.16 Balok Susut



Gambar B.17 Alat Uji Test Susut



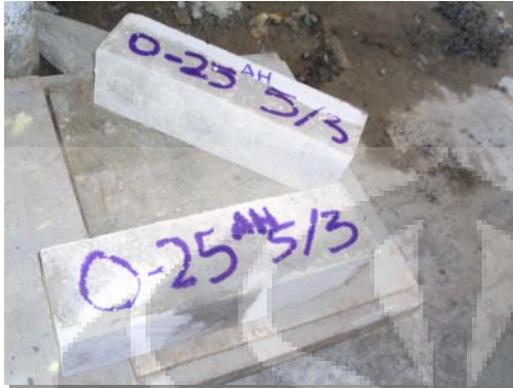
Gambar B.18 Alat Pengukur Suhu dan Kelembaban



Gambar B.19 Pembacaan Dial



Gambar B.20 Kondisi Alat yang Sudah Karat



Gambar B.21 Balok Uji Kuat Lentur



Gambar B.22 Alat Uji Kuat Lentur Third Point Loading



Gambar B.23 Posisi Penempatan Balok Pada Alat



Gambar B.24 Pola Retak pada Uji Kuat Lentur



Gambar B.25 Cetakan Balok Lentur



Gambar B.26 Cetakan Balok Susut



Gambar B.27 Tempat Perendaman Balok Uji



Gambar B.28 Kondisi Alat Uji Susut



Gambar B.29 Compressometer



Gambar B.30 Dial Pada Arah Lateral dan Longitudinal



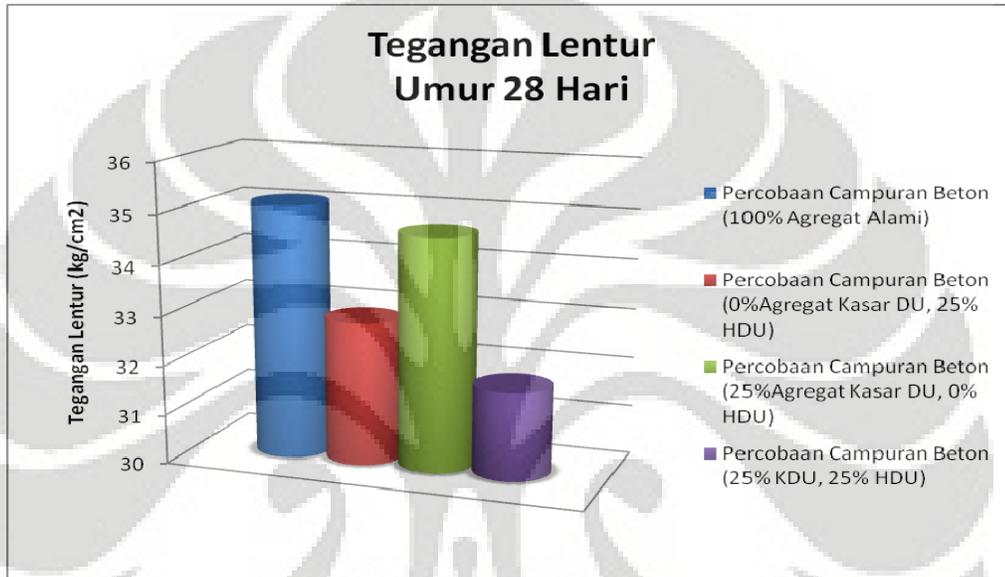
Gambar B.31 *Mold* Uji Susut



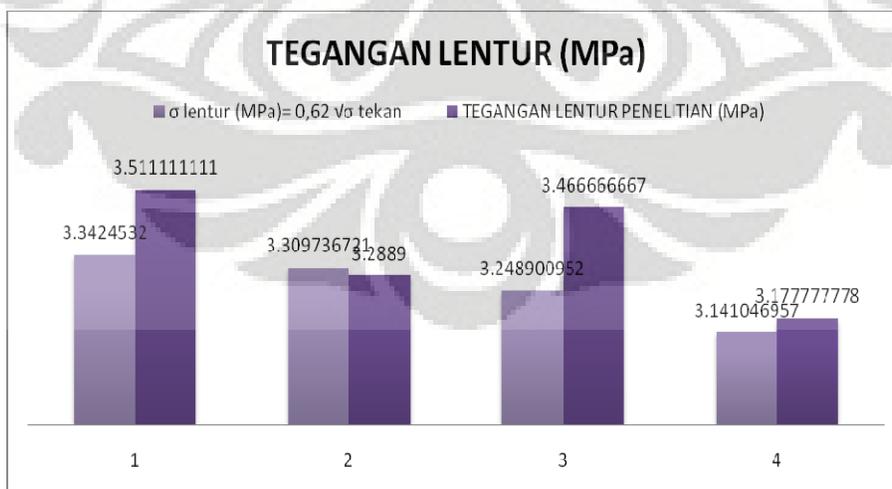
Gambar B.32 *Comparator* Uji Susut Yang Tetap

LAMPIRAN C

GRAFIK HASIL PENELITIAN



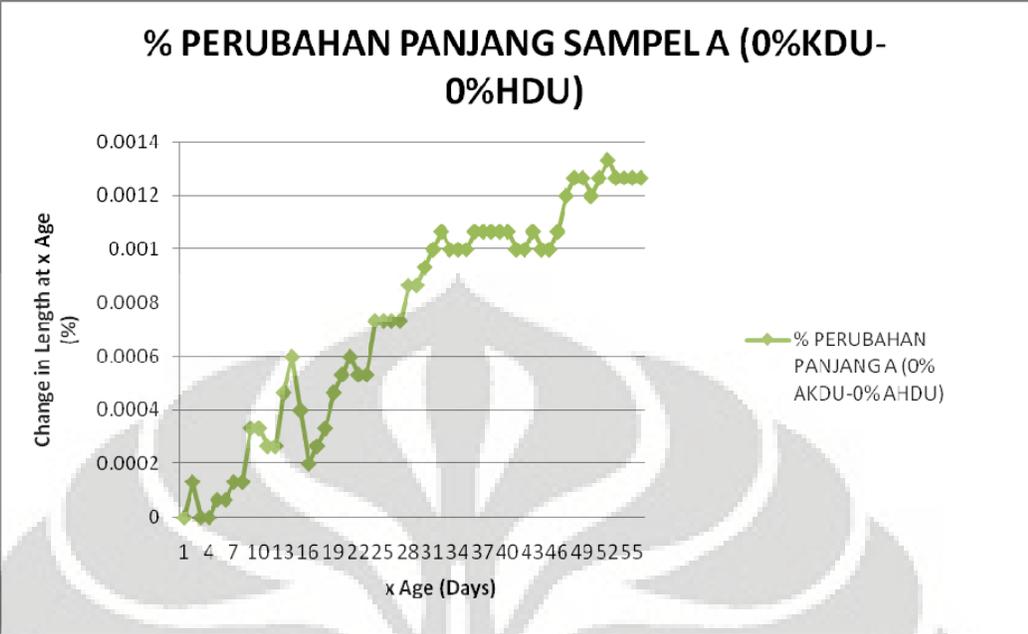
Grafik C.1 Tegangan lentur hasil penelitian pada umur 28 hari



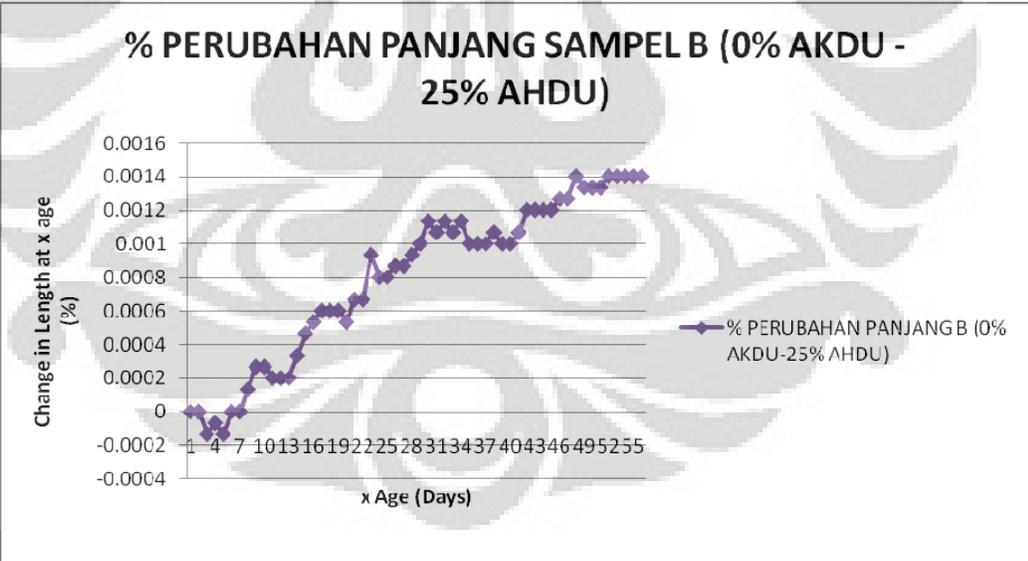
Keterangan:

1. 0% AKDU – 0% AHDU
2. 0% AKDU – 25% AHDU
3. 25% AKDU – 0% AHDU
4. 25% AKDU – 25% AHDU

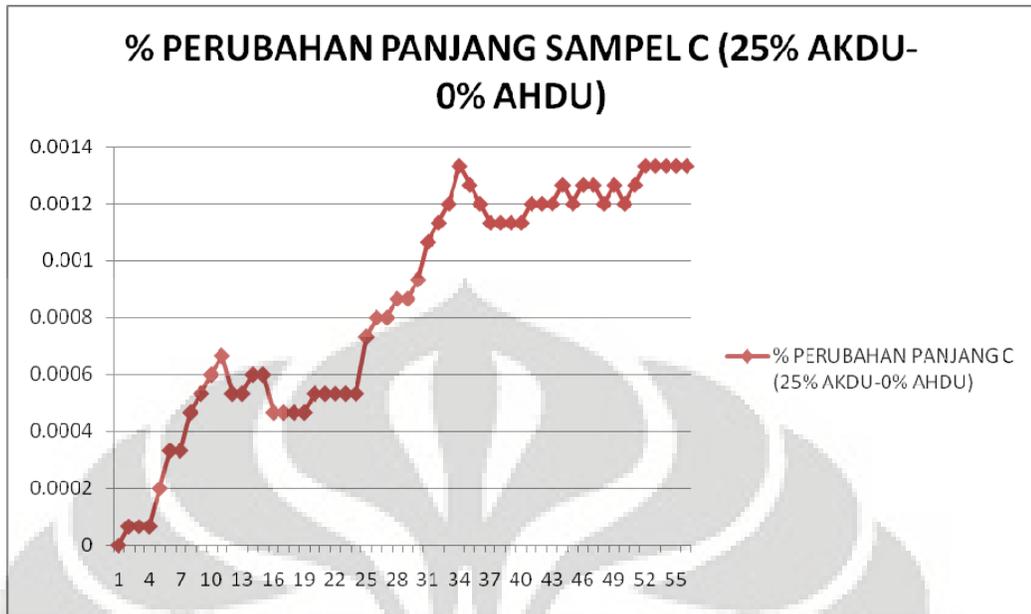
Grafik C.2 Tegangan lentur hasil penelitian vs tegangan lentur ($0.62\sqrt{f'c}$) pada umur 28 hari



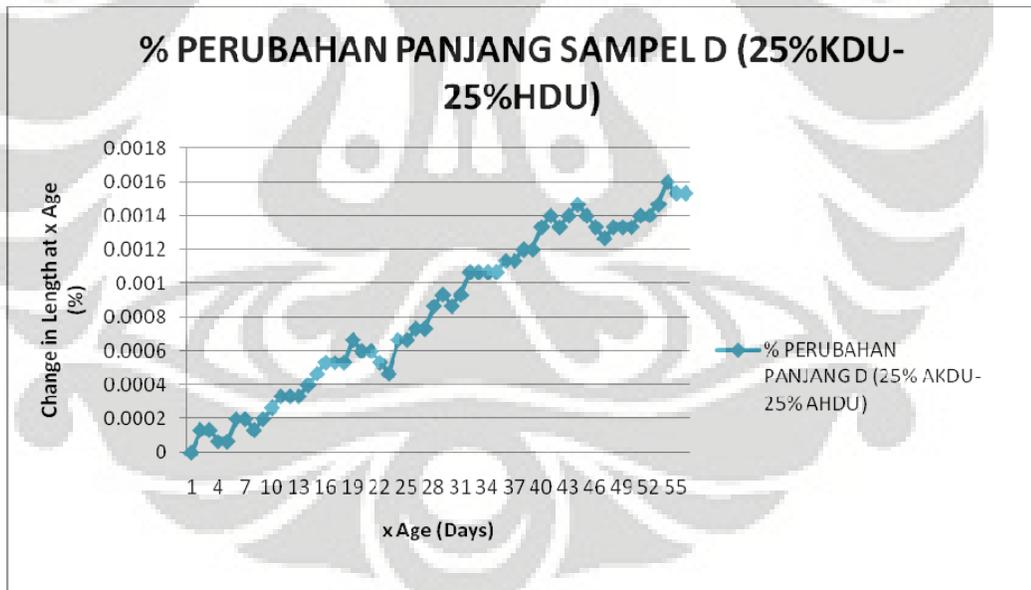
Grafik C.3 % Susut sampel A



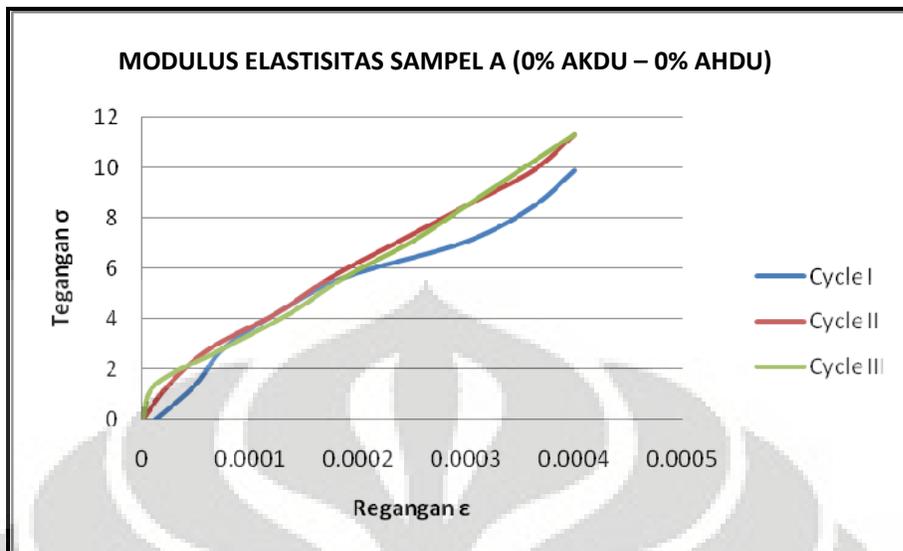
Grafik C.4 % Susut sampel B



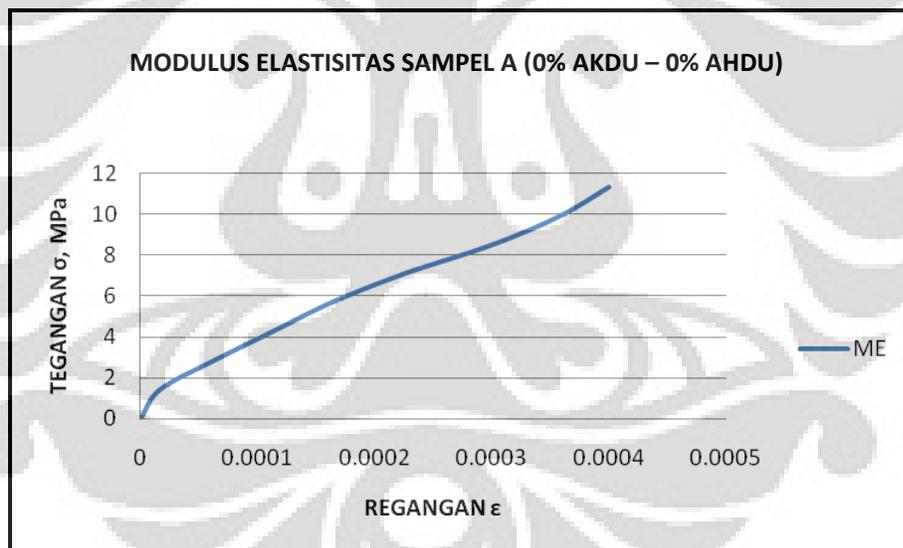
Grafik C.5 % Susut sampel C



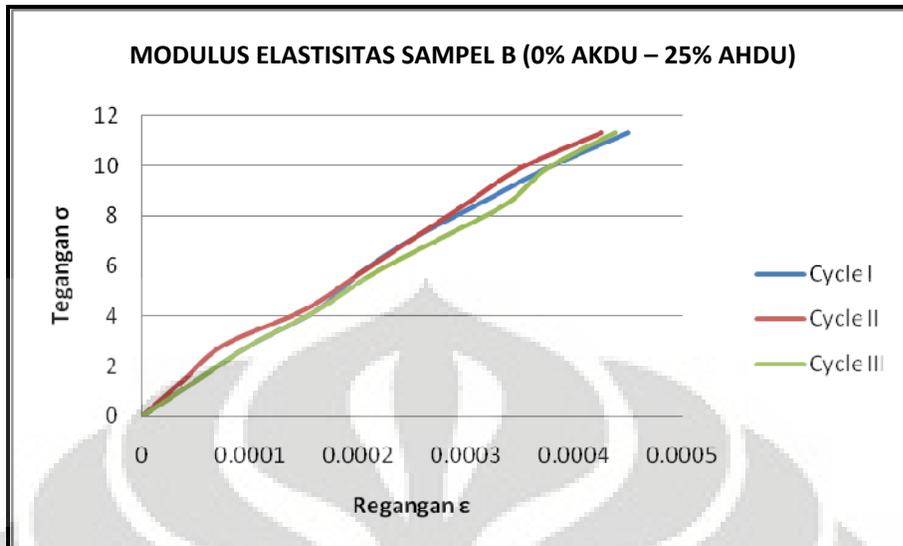
Grafik C.6 % Susut sampel D



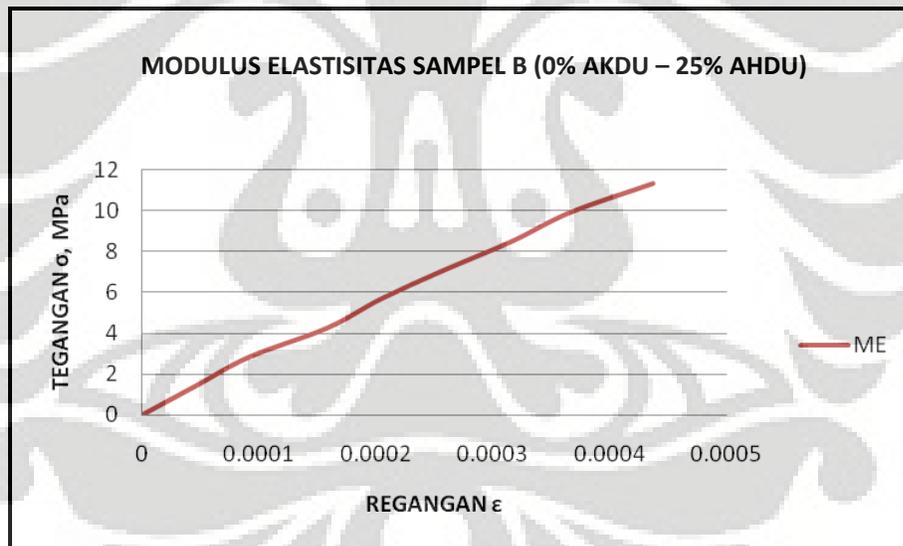
Grafik C.7 Tegangan vs regangan sampel A (0% AKDU – 0% AHDU)



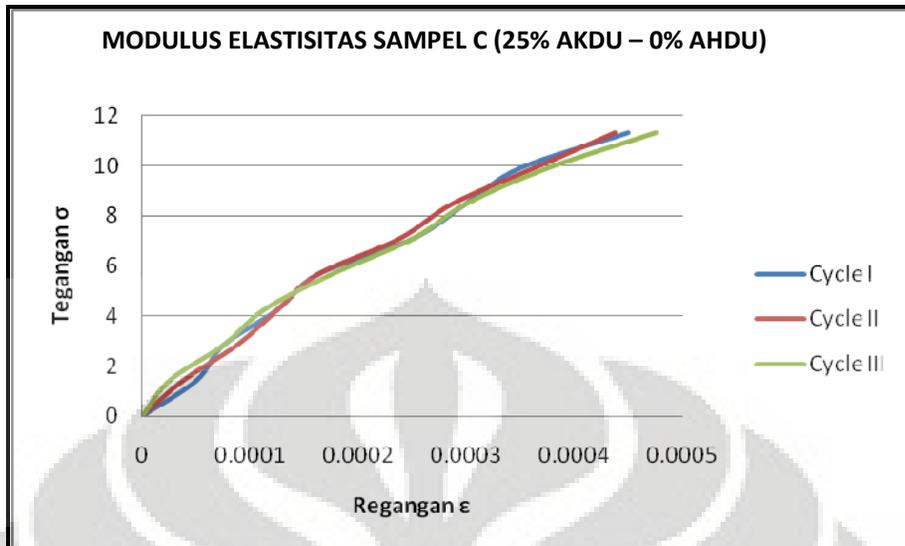
Grafik C.8 Tegangan vs regangan sampel A (0% AKDU – 0% AHDU) rata-rata



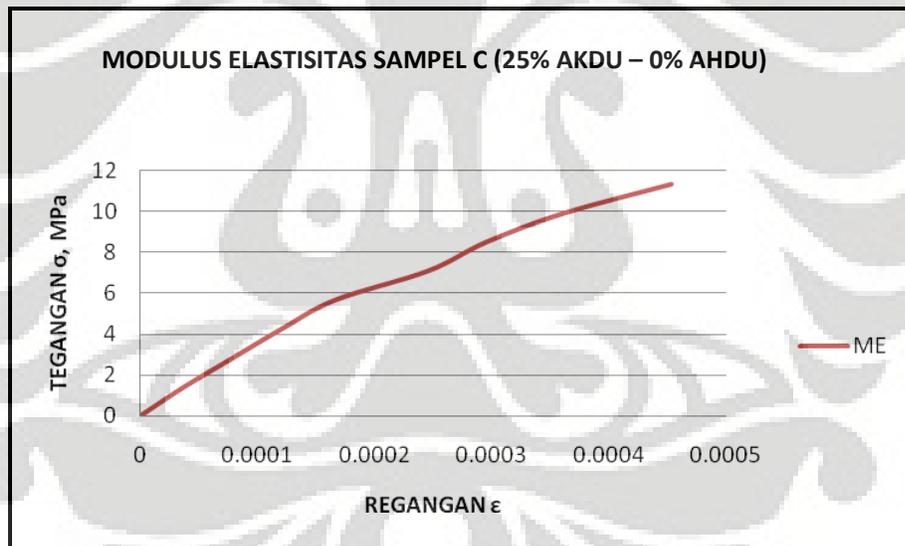
Grafik C.9 Tegangan vs regangan sampel B (0% AKDU – 25% AHDU)



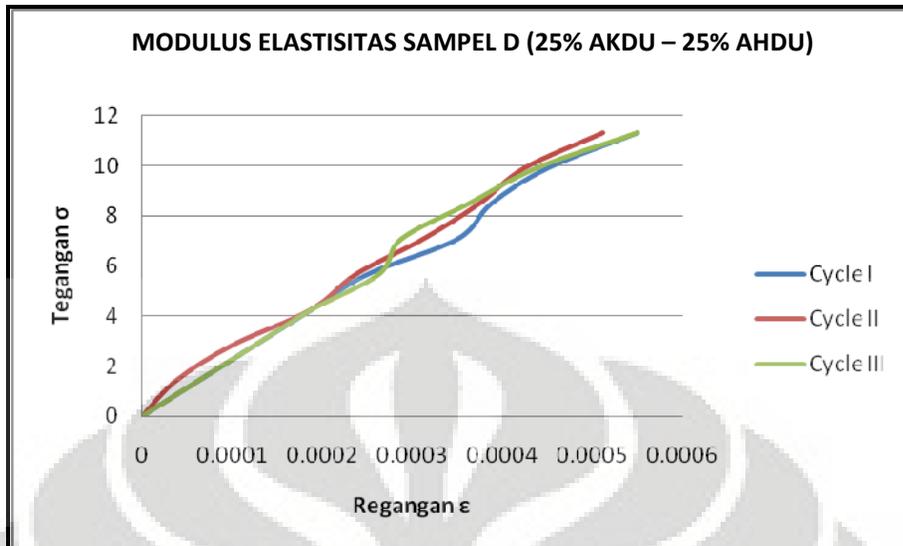
Grafik C.10 Tegangan vs regangan sampel B (0% AKDU – 25% AHDU) rata-rata



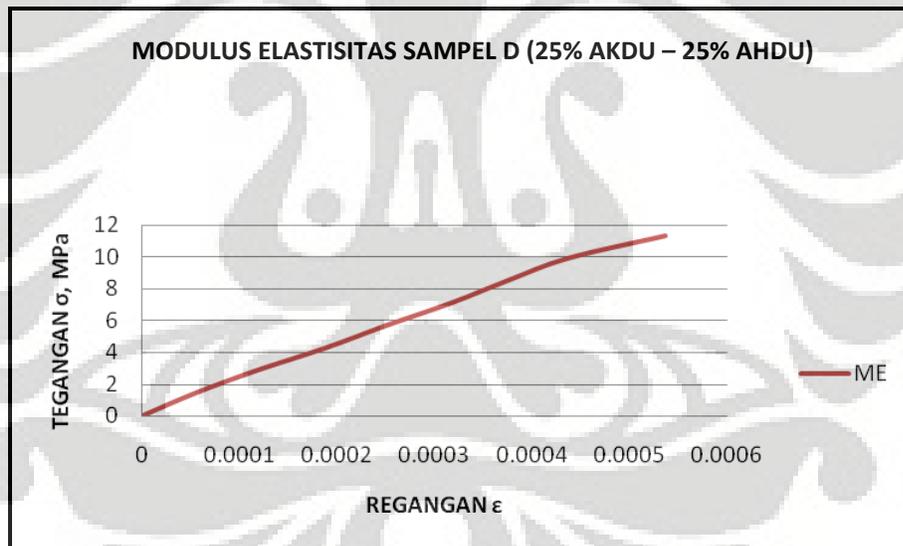
Grafik C.11 Tegangan vs regangan sampel C (25% KDU – 0% HDU)



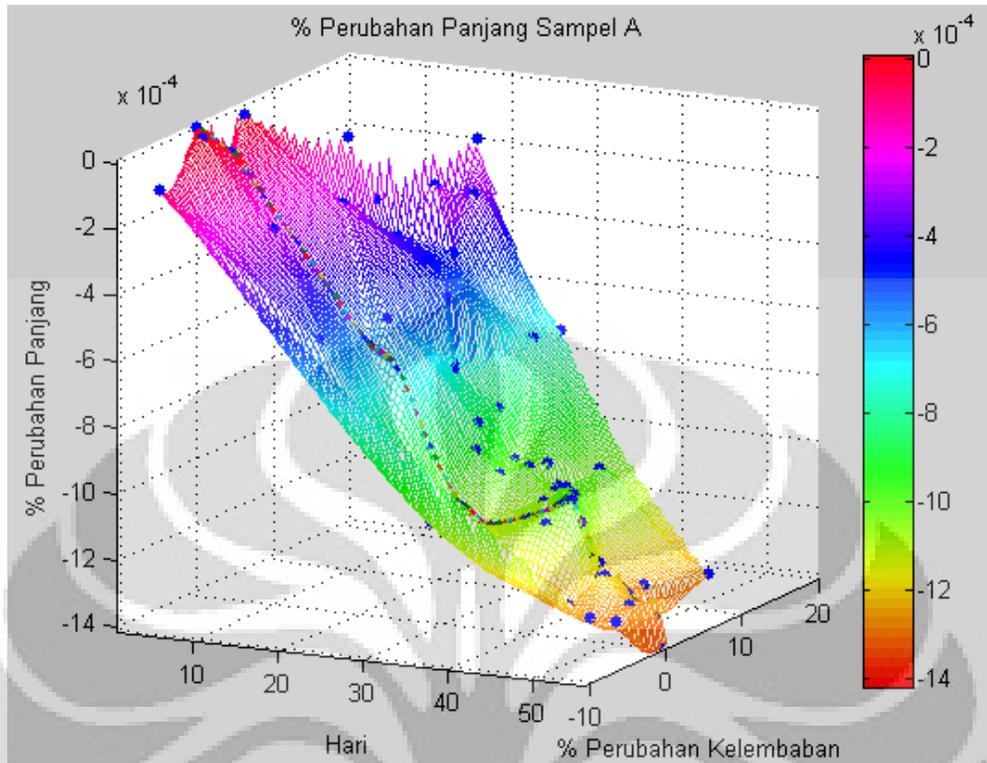
Grafik C.12 Tegangan vs regangan sampel C (25% KDU – 0% HDU) rata-rata



Grafik C.13 Tegangan vs regangan sampel D (25% KDU –25% HDU)



Grafik C.14 Tegangan vs regangan sampel D (25% KDU –25% HDU) rata-rata



Grafik C.15 Perubahan panjang versus perubahan kelembaban pada sampel A

Grafik C.15 didapat dari program MATLAB version 7.1, dengan perintah:

```
load data.mat;
xlin = linspace(min(x),max(x),100);
ylin = linspace(min(y),max(y),100);
[X,Y] = meshgrid(xlin,ylin);
Z = griddata(x,y,z,X,Y,'cubic');
Y0 = zeros(100);
Z0 = griddata(x,y,z,X,Y0,'cubic');
mesh(X,Y,Z) %interpolated
axis tight; hold on
plot3(x,y,z, '.', 'MarkerSize',15) %nonuniform
plot3(X,Y0,Z0, '.', 'MarkerSize',5)
hold off
figure
mesh(X,Y0,Z0)
colormap hsv
colorbar
```