



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK SUHU AWAL BETON SEGAR DAN SUSUT
KERING BETON DENGAN PENGGUNAAN SERBUK
CANGKANG KERANG DARAH SEBAGAI PENGGANTI
SEMEN**

SKRIPSI

**GUSTOWO SUPRAYUGI
0405010299**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK SUHU AWAL BETON SEGAR DAN SUSUT
KERING BETON DENGAN PENGGUNAAN SERBUK
CANGKANG KERANG DARAH SEBAGAI PENGGANTI
SEMEN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**GUSTOWO SUPRAYUGI
0405010299**


**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Gustowo Suprayugi

NPM : 0405010299

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Juli 2009

PERNYATAAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Gustowo Suprayugi

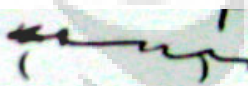
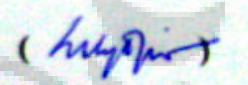


NPM : 0405010299

Program studi : Teknik Sipil

Judul : Karakteristik Suhu Awal Beton Segar dan Susut Kering Beton dengan Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang Darah sebagai Pengganti Semen.

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Ir. H. Madsuri, MT	()
Pembimbing	: Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA	()
Penguji	: Ir. Easy Ariyuni, M.Sc, Ph.D	()
Penguji	: Dr-Ing. Ir. Josia I Rastandi, MT	()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa untuk penyelesaian Skripsi dengan judul **Karakteristik Suhu Awal Beton Segar dan Susut Kering Beton dengan Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang Darah sebagai Pengganti Semen.**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan adik saya atas dukungan dan pengertiannya.
2. Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Ir. H. Madsuri, MT selaku dosen pembimbing 1 yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran atas terselesaikannya skripsi ini.
4. Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA selaku dosen pembimbing 2 sekaligus Kepala Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran atas terselesaikannya skripsi ini.
5. Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D selaku dosen penguji 1 yang telah bersedia meluangkan waktu dan saran dalam sidang skripsi ini.
6. Dr. Ing. Ir. Josia I Rastandi, MT selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia meluangkan waktu dan saran dalam sidang skripsi ini.
7. Randi Putra dan Loly Azyenela selaku rekan tim penelitian penulis atas kerjasama, bantuan dan dukungannya.
8. Seluruh staf dan karyawan Laboratorium Struktur dan Material, Departemen Sipil FTUI.
9. Teman-teman Struktur Sipil Angkatan 2005 dan seluruh rekan-rekan Teknik Sipil FTUI.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini. Tentunya, penulis berharap penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya.

Depok, Juli 2009



Penulis

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

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

Nama : Gustowo Suprayugi
NPM : 0405010299
Program Studi : Sarjana Reguler
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Karakteristik Suhu Awal Beton Segar dan Susut Kering Beton dengan
Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang Darah sebagai Pengganti Semen.**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 17 Juli 2009

Yang menyatakan



(Gustowo Suprayugi)

ABSTRAK

Nama : Gustowo Suprayugi
Program studi : Teknik Sipil
Judul : Karakteristik Suhu Awal Beton Segar dan Susut Kering Beton dengan Penggunaan Serbuk Cangkang Kerang Darah sebagai Pengganti Semen.

Struktur beton merupakan material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi bangunan. Penggunaan yang beragam dikarenakan beton memiliki kekuatan yang besar dalam menahan beban, terutama adalah kuat tekannya. Untuk mendapatkan kekuatan yang besar, teknologi beton terus berkembang. Salah satunya yang akan diteliti adalah penggunaan serbuk cangkang kerang darah ke dalam material beton, sebagai pengganti semen PCC dengan persentase 0%; 5%; 10% dan 15%. Dengan penggantian tersebut, diharapkan dapat menjadi sumber daya baru dan memberikan kekuatan yang lebih besar dibanding beton normal dengan proporsi campuran yang sama.

Beberapa kegagalan dapat terjadi seperti akibat panas hidrasi dan kondisi lingkungan pada awal pengecoran serta susut selama masa penggunaannya. Oleh karenanya, dalam penelitian ini juga akan diteliti pengaruh penggantian semen PCC dengan serbuk cangkang kerang darah terhadap karakteristik suhu awal beton segar dan susut kering setelah beton mengeras.

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh adanya kenaikan suhu awal beton segar. Kenaikan suhu tersebut bukan merupakan akibat pengaruh reaksi kimia dalam campuran beton, tetapi akibat karakteristik suhu material pembentuk beton dan kondisi lingkungan sekitar. Dari penelitian susut, diperoleh susut yang semakin besar pada penggantian semen PCC dengan serbuk cangkang kerang yang semakin besar.

Kata kunci:

Kuat tekan, serbuk cangkang kerang darah, pengganti semen, semen PCC, beton normal, panas hidrasi, susut, beton segar.

ABSTRACT

Nama : Gustowo Suprayugi
Studi program : Teknik Sipil
Title : Characteristic of temperature of freshly mixed concrete and drying shrinkage of concrete with use *Anadara Granosa's* shell powder as a cement substitution

Concrete structure is the most commonly structural type used in building construction. The variety use of concrete is mostly due to the high strength in load capacity, particularly its compressive strength. Concrete technology continues to grow to get the high strength. That will be examined is the use of *Anadara granosa's* shell powder for the concrete material, as a PCC substitution which its percentages are 0%, 5%; 10% and 15%. This substitution is expected to become a new material source and provides greater strength than normal concrete mixes with the same proportion.

Some failures can occur as a result of heat hydration and environmental conditions at the beginning of the concreting and the shrinkage during the use of concrete. Therefore, this study also examined the influence of PCC substitutions to characteristics of temperature of freshly mixed concrete and drying shrinkage of hardened concrete.

Based on the research, there is an increase in temperature of freshly mixed concrete. The increase in temperature is not a result of the influence of chemical reaction in the concrete mixes, but due to the temperature characteristics of the material forming the concrete and the surrounding environment. From the research of shrinkage, there is a greater of PCC substitution with *Anadara granosa's* shell powder, and greater shrinkage of hardened concrete.

Key words:

Compressive strength, *Anadara granosa's* shell powder, cement substitution, PCC cement, normal concrete, heat hydration, shrinkage, fresh concrete.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Penyataan Orisinalitas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xii
Daftar Diagram	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Batasan Masalah	2
I.5 Hipotesis	3
I.6 Metodologi Penelitian	4
I.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
II.1 Beton	5
II.1.1 Beton Segar	6
II.1.2 Beton Keras	6
II.2 Material Pembentuk Beton	7
II.2.1 Semen Portland	7
II.2.1.1 Sifat fisika semen portland	7
II.2.1.2 Kandungan kimia semen portland	8
II.2.2 Agregat	12
II.2.2.1 Jenis Agregat	12
II.2.2.2 Sifat-sifat agregat dalam campuran beton	17
II.2.3 Air	18
II.2.4 <i>Admixtures</i>	19
II.3 Karakteristik Suhu Awal Beton Segar	21
II.4 Susut Kering pada Beton	22
II.5 Material Serbuk Cangkang Kerang Darah	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1 Standar Pengujian	25

III.2	Bahan Baku Penelitian	26
III.3	Penentuan dan Pemeriksaan Bahan	27
III.3.1	Pemeriksaan terhadap Agregat Kasar	27
III.3.1.1	Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat kasar	27
III.3.1.2	Pengujian berat isi agregat kasar	28
III.3.1.3	Pengujian kadar air agregat	30
III.3.1.4	Analisis saringan agregat kasar	32
III.3.1.5	Pengujian abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	33
III.3.2	Pemeriksaan terhadap Agregat Halus	34
III.3.2.1	Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus	34
III.3.2.2	Pengujian berat isi agregat halus	36
III.3.2.3	Analisis saringan agregat halus	37
III.3.2.4	Pemeriksaan bahan lewat saringan No. 200	38
III.3.2.5	Pemeriksaan kadar lumpur/organik	39
III.3.3	Pemeriksaan terhadap Serbuk Cangkang Kerang	40
III.3.3.1	Pemeriksaan kadungan kimiawi	40
III.3.3.2	Pemeriksaan kotoran organik	41
III.4	Perhitungan Desain Campuran	42
III.5	Pembuatan Benda Uji (Pengecoran)	44
III.5.1	Pengadukan	44
III.5.2	Pengecekan slump	45
III.5.3	Pencetakan sampel	46
III.5.4	Perawatan sampel	47
III.6	Pengujian Suhu Awal Beton Segar	47
III.7	Pengujian Susut Kering Beton	49
BAB IV	ANALISIS PENELITIAN	51
IV.1	Analisis agregat	51
IV.1.1	Agregat kasar	51
IV.1.2	Agregat halus	53
IV.2	Analisis serbuk cangkang kerang darah	55
IV.3	Analisis komposisi semen dengan empat kadar penggantian	57
IV.4	Analisis perancangan campuran beton	61
IV.5	Analisis suhu awal beton segar	63
IV.6	Analisis susut kering beton	67
IV.6.1	Susut kering pada kadar penggantian 0%	70
IV.6.2	Susut kering pada kadar penggantian 5%	71
IV.6.3	Susut kering pada kadar penggantian 10%	72
IV.6.4	Susut kering pada kadar penggantian 15%	73
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	76
V.1	Kesimpulan	76

V.2 Saran

77

DAFTAR ACUAN
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

78

79



DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Persentase material campuran beton	5
Gambar II.2 Pengaruh senyawa semen terhadap kuat tekan beton	10
Gambar II.3 Bentuk-bentuk agregat	14
Gambar II.4 Jenis gradasi agregat	18
Gambar II.5 Morfologi cangkang kerang darah	24
Gambar III.1 Standar warna pemeriksaan organik	40
Gambar III.2 Slump test dengan kerucut Abrams	45
Gambar III.3 Perawatan sampel uji susut kering	47
Gambar III.4 Penyebaran titik uji suhu awal beton saat di batching	48
Gambar III.5 Letak titik uji suhu awal beton saat dalam cetakan	49
Gambar IV.1 Grafik distribusi butiran agregat kasar	52
Gambar IV.2 Pemeriksaan kandungan organik agregat halus	54
Gambar IV.3 Grafik distribusi butiran agregat halus	55
Gambar IV.4 Pemeriksaan kotoran organik serbuk kerang	56
Gambar IV.5 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 0%	58
Gambar IV.6 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 5%	59
Gambar IV.7 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 10%	59
Gambar IV.8 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 15%	60
Gambar IV.9 Grafik perubahan senyawa utama semen pada 4 tipe campuran semen	60
Gambar IV.10 Kebutuhan material per m ³ beton	62
Gambar IV.11 Pengujian suhu awal beton segar saat pengecoran	63
Gambar IV.12 Grafik suhu beton segar terhadap persentase campuran semen	66
Gambar IV.13 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 0%	70
Gambar IV.14 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 5%	71
Gambar IV.15 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 10%	72
Gambar IV.16 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 15%	73
Gambar IV.17 Hubungan autogenous shrinkage dengan drying shrinkage	74
Gambar IV.18 Grafik perubahan susut pada umur 56 hari untuk empat tipe semen	74

DAFTAR TABEL

Tabel I.1 Tipe dan pengujian karakteristik beton	3
Tabel II.1 Karakteristik senyawa penyusun semen Portland	10
Tabel II.2 Karakteristik tipe-tipe semen	11
Tabel II.3 Komposisi kimia semen tipe I	11
Tabel II.4 Gradasi agregat halus	16
Tabel II.5 Gradasi standar agregat kasar	17
Tabel II.6 Klasifikasi ilmiah kerang darah	24
Tabel III.1 Kapasitas wadah berdasarkan ukuran agregat maksimum	29
Tabel III.2 Berat contoh agregat minimum	31
Tabel III.3 Berat untuk setiap gradasi benda uji	33
Tabel III.4 Data pemeriksaan XRF-Test	41
Tabel III.5 Nilai slump maksimum dalam berbagai tipe konstruksi	42
Tabel III.6 Perbandingan campuran dalam mix desain	43
Tabel III.7 Penyesuaian kebutuhan material terhadap kondisi lain	43
Tabel III.8 Jumlah sample pengujian susut	50
Tabel IV.1 Berat isi agregat dan rongga udara agregat kasar	52
Tabel IV.2 Berat isi dan rongga udara agregat halus	54
Tabel IV.3 Kandungan organik agregat halus	54
Tabel IV.4 Data XRF-Test serbuk cangkang kerang darah	56
Tabel IV.5 Hasil pemeriksaan kimiawi semen pada empat kadar penggantian	57
Tabel IV.6 Komposisi senyawa semen pada kadar penggantian tertentu	58
Tabel IV.7 Kebutuhan material berdasarkan ukuran maksimum size aggregate	61
Tabel IV.8 Penyesuaian kebutuhan terhadap kondisi lainnya	62
Tabel IV.9 Kebutuhan material setelah penyesuain	62
Tabel IV.10 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 0%	64
Tabel IV.11 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 5%	64
Tabel IV.12 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 10%	65
Tabel IV.13 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 15%	65
Tabel IV.14 Suhu rata-rata beton segar hasil pengujian	65
Tabel IV.15 Penyusutan panjang sampai umur 56 hari	67
Tabel IV.16 Persentase pertambahan susut pada umur 56 hari	69
Tabel IV.17 Susut pada umur 56 hari	75

DAFTAR DIAGRAM

Bagan II. 1 Proses pembentukan semen dari oksida utama	7
Bagan II. 2 Senyawa gabungan semen dari oksida-oksida utama	9
Bagan III. 1 Alur pemeriksaan dan pengujian	26



BAB I PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Beton merupakan material yang paling banyak digunakan dalam suatu struktur bangunan. Penggunaan beton, sebagai material struktur bangunan telah berlangsung selama berabad yang lalu. Proses pembuatannya juga tergolong mudah, dapat dikerjakan langsung di areal konstruksi. Material beton menjadi bagian yang tidak dapat terlepas sebagai struktur bangunan.

Pemakaian bahan beton yang sangat banyak ini dikarenakan memang beton dapat dikerjakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan dan mempunyai kekuatan yang cukup besar, terutama kuat tekannya. Selain itu, material pembentuk beton juga dapat dengan mudah didapatkan dari alam. Beton juga dapat dihasilkan dalam jumlah massal melalui suatu proses dari *batching plant*.

Beton secara umum merupakan campuran beberapa material seperti semen, kerikil, pasir, dan air. Terkadang untuk tujuan tertentu, dapat digunakan juga *admixture*. Perkembangan material beton terus terjadi, seperti dalam usaha mencapai beton mutu tinggi ataupun penggantian material pembentuk beton. Penggunaan material serbuk cangkang kerang merupakan salah satu usaha mengoptimalkan material yang ada di alam, terutama sekali material limbah. Berdasarkan data ekspor hasil perikanan Indonesia pada tahun 2003 dan 2004, untuk komoditas koral dan cangkang kerang dihasilkan sekitar 3208 ton dan 2752 ton (DKP, 2005). Selama ini, limbah padat kerang tersebut berupa cangkang hanya dimanfaatkan sebagai salah satu bahan hiasan dinding, hasil kerajinan, atau bahkan sebagai campuran pakan ternak

Pemilihan material ini sangat terkait dengan kandungan mineralnya, yaitu senyawa CaO (kapur) dan SiO_2 . Senyawa mineral tersebut juga terdapat di dalam semen PCC. Oleh karenanya, sangat memungkinkan menjadi material pengganti semen walaupun tetap dengan persentase tertentu terhadap semen. Dengan material tambahan ini diharapkan memberikan nilai tambah yang lebih untuk limbah cangkang tersebut. Selain itu, diharapkan juga material cangkang kerang dapat menjadi komoditas baru yang lebih bernilai ekonomis.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

Dapat dikatakan, karakteristik utama dari beton sangat terkait dengan kuat tekannya. Dengan penambahan material tambahan tersebut, diharapkan menjadi sumber daya baru pembuatan beton serta mampu meningkatkan kuat tekan beton itu sendiri. Keadaan suhu awal beton segar dapat mempengaruhi kuat tekan beton itu sendiri. Tetapi setelah beton mengeras, terjadi pula susut pada arah memanjang longitudinal beton.

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana perilaku beton dengan serbuk cangkang kerang darah dengan persentase 0%, 5%, 10% dan 15% terhadap susut dan suhu/panas beton segar.

1. Pengujian suhu awal beton dilakukan saat *fresh concrete*.
2. Pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan persentase kadar serbuk kerang yang berbeda.
3. Pengujian karakteristik susut dilakukan pada saat beton tersebut mengeras (sampai 56 hari).

I.4 BATASAN MASALAH

Studi yang akan dilakukan adalah bagaimana pengaruh material serbuk cangkang kerang darah terhadap suhu/panas awal beton segar dan susut kering beton. Berikut batasan-batasan dalam penelitian yang akan dilakukan:

- Material serbuk cangkang kerang berasal dari kerang darah (*Anadara granosa*).
- Serbuk cangkang kerang sebagai pengganti semen, lolos saringan ASTM no.100 dan menggantikan semen portland.
- Perencanaan beton yaitu beton dengan $f_c' = 35 \text{ MPa}$.
- *Workabilitas* slump 10 ± 2 .
- Pengujian suhu/panas adalah dari beton segar yang menggunakan semen portland. Benda uji adalah beton segar saat berada dalam batching (sesaat setelah pengadukan) dan sampel beton dalam cetakan silinder, diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

- Pengujian kuat tekan beton adalah dengan benda uji silinder 15 cm x 30 cm.
- Jenis susut yang diteliti merupakan susut kering. Benda uji untuk pemeriksaan karakteristik susut adalah sampel beton balok, ukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm.
- Standar pengujian, prosedur, dan peralatan mengacu pada ketentuan ASTM dan SNI.

Tipe	Persentase Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Semen	Uji suhu beton segar		Uji susut kering beton	
		Sampel	Jumlah titik uji	Sampel	Jumlah Sampel
I	0 %	Beton segar saat di batching dan cetakan	6	Balok, 10 x 10 x 50 cm ³	3
II	5%		6		3
III	10%		6		3
IV	15%		6		3

Tabel I.1 Tipe dan pengujian karakteristik beton

I.5 HIPOTESIS

Penggunaan berupa serbuk cangkang kerang darah sebagai pengganti semen, dimana sebagian besar kandungannya adalah mineral kalsium oksida (CaO) dan SiO_2 , mampu meningkatkan kuat tekan beton, dapat meningkatkan nilai suhu beton segar dibandingkan beton normal dan dapat mengurangi susut setelah beton mengeras.

I.6 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan berdasarkan pada:

a. Studi literatur

Pemeriksaan karakteristik panas dan susut beton dengan melakukan studi pembelajaran dari berbagai pustaka, baik di perpustakaan maupun dari internet.

b. Penelitian di laboratorium

Pemeriksaan propertis material dengan melakukan pengujian dan pengetesan di laboratorium. Pengujian dan pengetesan dilakukan berdasarkan standar pengujian yang berlaku umum di Indonesia yaitu ASTM dan SNI.

I.7 SISTEMATIKA PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan penulisan sesuai dengan sistematika penulisan, yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis awal, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai teori dan studi yang terkait dengan material beton beserta karakteristiknya, termasuk juga material serbuk cangkang kerang darah sebagai pengganti semen.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai metode penelitian yang digunakan, serta bagaimana prosedur pengujian tersebut dilakukan.

BAB IV ANALISIS PENELITIAN

Pada bab ini, data-data yang telah didapat dianalisis berdasarkan studi literatur yang telah dipelajari.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. BETON

Beton merupakan material yang sangat kuat menahan gaya tekan. Terkait dengan kekuatannya tersebut, sifat-sifat beton sangat tergantung dari perbandingan campuran pasta air-semen, jenis agregat, dan proses pengecoran dan perawatan beton. Oleh karenanya, karakteristik beton sangat tergantung pada struktur internal penyusun beton tersebut.

Beton terdiri dari batuan belah atau kerikil dengan pasir yang mengisi ruang diantaranya, dan pasta semen dengan air yang mengisi rongga-rongga antar agregat tersebut dan merekatkannya dengan baik. Biasanya diperlukan tambahan pasir untuk menjamin pengisian sempurna dari ruangan diantara batuan, selain itu diperlukan pula kelebihan pasta semen sebanyak 10% dibandingkan dengan kebutuhan teoritis (*Van Vlack, 1986:530*).



Gambar II. 1 Persentase material campuran beton

Sumber: <http://www.concretenetwork.com>

Beton merupakan fungsi dari material penyusunnya. Beton merupakan sekumpulan reaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya (*Nawy, 1985:8*). Untuk itu, perlu diketahui pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen. Perencana dapat mengembangkan pemilihan material yang layak komposisinya sehingga diperoleh beton yang efisien, memenuhi kekuatan batas yang disyaratkan, dan memenuhi secara *serviceability*.

Masalah yang dihadapi perencana adalah bagaimana merencanakan komposisi dari bahan-bahan penyusun agar dapat memenuhi spesifikasi teknis

yang ditentukan. Oleh karenanya, perlu diketahui parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton, antara lain:

1. faktor air – semen
2. proporsi campuran material pembentuk beton
3. kebersihan, kekuatan dan gradasi agregat
4. interaksi antara pasta semen dengan agregat
5. proses pengecoran dan pemadatan beton
6. perawatan beton

II.1.1. Beton segar

Hal-hal penting yang berkaitan dengan sifat-sifat beton segar, yaitu:

1. Kemudahan pengerjaan (*workability*)

Sifat ini merupakan ukuran dari tingkat kemudahan adukan untuk diaduk, diangkut, dituang dan dipadatkan.

2. Segregasi

Segregasi merupakan kecenderungan butir-butir kerikil untuk memisahkan diri dari campuran adukan beton.

3. *Bleeding*

Bleeding merupakan kecenderungan air campuran untuk naik ke atas (memisahkan diri) pada beton segar yang baru saja dipadatkan.

II.1.2. Beton keras

Setelah beton mengeras, beton sangat terkait dengan sifat mekanisnya. Dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Kekuatan tekan
- b. Kekuatan tarik
- c. Kekuatan lentur
- d. Kekuatan geser
- e. Rangkak
- f. Susut

II.2. MATERIAL PEMBENTUK BETON

II.2.1. Semen Portland

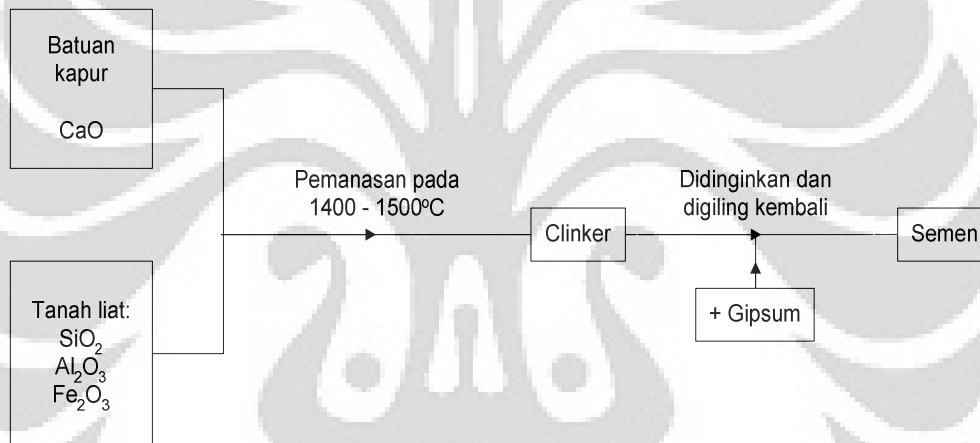
Oksida utama pembentuk semen portland, antara lain:

- Kapur (CaO), didapatkan dari batuan kapur
- Silika (SiO_2), didapatkan dari tanah liat
- Alumina (Al_2O_3), didapatkan dari tanah liat
- Besi (Fe_2O_3), didapatkan dari tanah liat

Oksida lainnya yang membentuk semen portland, yaitu:

- Magnesia (MgO)
- Alkali (Na_2O dan K_2O)

Proses pembuatan semen portland dapat digambarkan seperti berikut:



Bagan II. 1 Proses pembentukan semen dari oksida utama

II.2.1.1. Sifat fisika semen portland

a. Kehalusan butir (*fineness*)

Kehalusan butiran berpengaruh terhadap proses hidrasi. Waktu pengikatan menjadi semakin lama jika butir semen lebih kasar. Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya *bleeding*, tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih besar.

b. Kepadatan (*density*)

Berat jenis semen portland adalah $3,15 \text{ gr/cm}^3$. Tetapi dalam produksinya, berat jenis semen adalah berkisar antara $3,05 \text{ gr/cm}^3$ sampai $3,25 \text{ gr/cm}^3$.

c. Konsistensi

Konsistensi semen lebih berpengaruh pada pencampuran awal, yaitu pada saat terjadi pengikatan sampai beton mengeras.

d. Waktu pengikatan

Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras. Waktu ikat semen ini dibedakan menjadi dua, yaitu waktu ikat awal (berkisar 1,0 – 2,0 jam) dan waktu ikat akhir ($< 8,0$ jam).

e. Panas hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang timbul pada saat semen bereaksi dengan air, dinyatakan dalam kalori/gram.

f. Perubahan volume

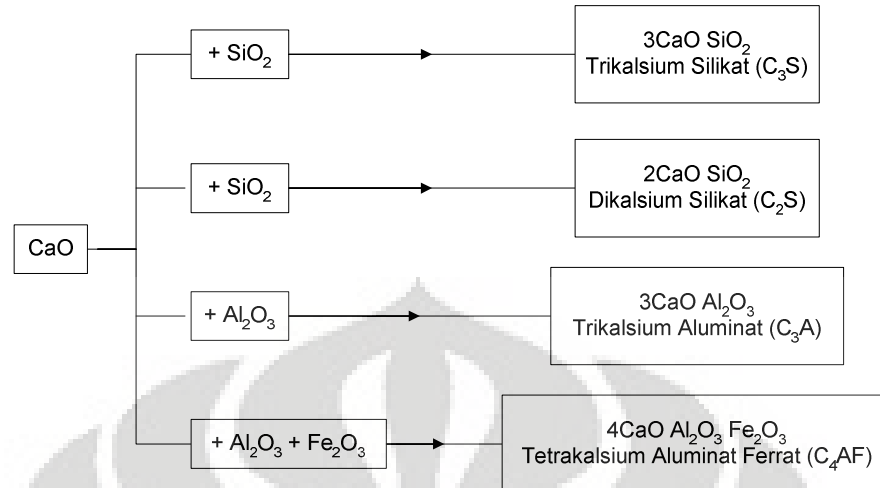
Karakteristik yang menyatakan kemampuan pengembangan bahan-bahan penyusunnya dan kemampuan mempertahankan volume setelah pengikatan terjadi.

g. Kekuatan tekan

Merupakan karakteristik kuat tekan mortar semen terhadap umur mortar.

II.2.1.2. Kandungan kimia semen portland

Semen diproduksi melalui proses pembakaran, dengan proporsi yang telah ditentukan, merupakan campuran dari beberapa mineral oksida diatas yaitu *silicious* (mengandung silikat), *argillaceous* (mengandung alumina), *calcareous* (mengandung kapur). Semua mineral penyusun tersebut dicampur dalam suhu $1400^{\circ}\text{C} - 1500^{\circ}\text{C}$. Semen merupakan pencampuran dari oksida-oksida diatas. Pembentukan senyawa gabungan tersebut dapat memberikan tipe-tipe semen berdasarkan sifat/kegunaannya. Secara garis besar, terdapat empat senyawa gabungan utama penyusun semen portland, yaitu:



Bagan II. 2 Senyawa gabungan semen dari oksida-oksida utama

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat/mengunci ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70%-80% dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Cokrodimuljo, 1992). Semen dan air yang bercampur akan saling bereaksi. Persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa C_3S jika terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan mengeras sebelum 14 hari. Senyawa C_2S lebih lambat bereaksi dengan air dan akan berpengaruh terhadap semen setelah umur 7 hari. C_2S memberikan ketahanan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan akan mempengaruhi susut terhadap pengaruh panas akibat lingkungan.

Kedua senyawa utama di atas membutuhkan air sekitar 21%-24% dari beratnya untuk bereaksi. Senyawa C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali dari yang dibebaskan oleh C_2S . Jika kandungan C_3S lebih banyak, maka akan terbentuk semen dengan kekuatan tekan awal yang tinggi dan panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya, jika kandungan C_2S lebih banyak maka akan terbentuk semen dengan kekuatan tekan awal yang rendah dan ketahanan terhadap serangan kimia yang tinggi.

Senyawa ketiga, C_3A bereaksi secara *exothermic* dan bereaksi sangat cepat serta memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. C_3A bereaksi dengan air yang jumlahnya sekitar 40% dari beratnya. Karena

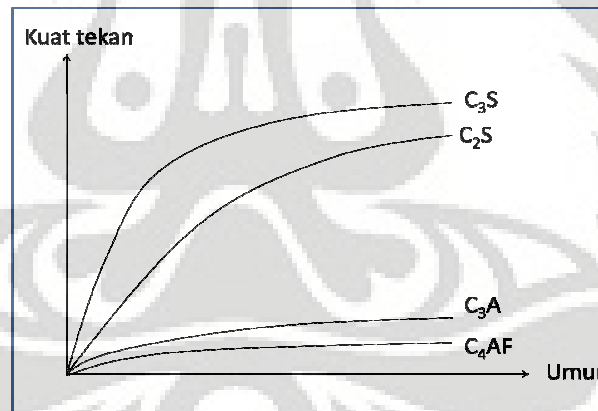
persentasenya dalam semen yang kecil (sekitar 10%), maka pengaruhnya pada jumlah air untuk reaksi menjadi kecil. Unsur ini sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada saat awal maupun pada saat pengerasan selanjutnya. Semen yang mengandung unsur C_3A lebih dari 10% tidak akan tahan terhadap serangan sulfat.

Senyawa keempat, yakni C_4AF , kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil.

Komposisi kandungan senyawa yang dibutuhkan dalam semen portland menurut standar ASTM C-150 (ASTM C-150 Vol.04.02: 1995, 92) dan setelah bercampur dengan air dapat dilihat pada tabel di bawah:

Tabel II. 1 Karakteristik senyawa penyusun semen Portland

Nilai	C_3S .	C_2S .	C_3A .	C_4AF .
Sifat perekat	sangat baik	baik	buruk	buruk
Kecepatan reaksi	sedang	lambat	cepat	lambat
Pelepasan panas hidrasi	sedang	sedikit	banyak	sedikit



Gambar II. 2 Pengaruh senyawa semen terhadap kuat tekan beton

Terlihat, dari perbedaan persentase kandungan senyawa kimia akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakter dan jenis semen. Peraturan Beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989), membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu:

.. . . .

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Tabel II. 2 Karakteristik tipe-tipe semen

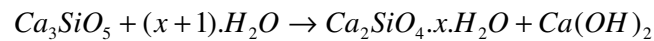
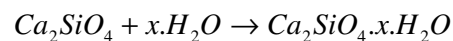
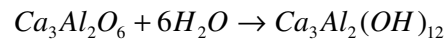
Jenis semen	Komposisi dalam persen (%)							Karakteristik umum
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	CaO	MgO	
Tipe I	49	25	12	8	2,9	0,8	2,4	Peruntukan untuk semua tujuan
Tipe II	46	29	6	12	2,8	0,6	3	Relatif sedikit pelepasan panas, peruntukan untuk struktur besar
Tipe III	56	15	12	8	3,9	1,4	2,6	Untuk mendapatkan kekuatan awal yang tinggi
Tipe IV	30	46	5	13	2,9	0,3	2,7	Panas hidrasi rendah, untuk struktur besar
Tipe V	43	36	4	12	2,7	0,4	1,6	Untuk struktur yang diekspos terhadap sulfat

Tabel berikut ini merupakan komposisi kimia semen tipe I menurut ASTM C 114 pengujian November 1998.

Tabel II. 3 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

Berikut reaksi kimia antara semen portland dengan air:



Dari reaksi tersebut di atas, jelas bahwa semen tidak mengeras karena proses pengeringan, melainkan akibat dari reaksi kimia dengan air (hidrasi). Oleh karenanya, beton harus tetap dalam keadaan basah untuk menjamin pengerasan yang sempurna (Van Vlack, 1986, hal 531).

II.2.2. Agregat

Agregat dalam campuran beton berfungsi sebagai material pengisi, terdiri dari pasir dan batu pecah (kerikil). Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya adalah berkisar 60% - 70% dari total berat beton. Karena komposisinya yang besar dalam beton, sangat penting diketahui karakteristik agregat ini untuk mencapai kekuatan yang diinginkan. Agregat yang digunakan dapat merupakan agregat alam maupun agregat buatan. 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.

II.2.2.1. Jenis Agregat

A. Berdasarkan sumbernya

a. Agregat alam

Agregat yang berasal langsung dari alam, tanpa proses pengolahan terlebih dahulu. Pada umumnya merupakan batuan alami, baik dari batuan beku, batuan endapan atau batuan sedimen maupun dari batuan *metamorph* (malihan). Batu alam dapat digunakan sebagai bahan agregat karena sangat melimpah jumlahnya terutama di Indonesia yang banyak terdapat gunung api dan sungai. Selain itu, batuan alam juga memiliki sifat kekuatan dan keawetannya yang tinggi, suatu sifat yang sangat dibutuhkan untuk agregat beton.

b. Agregat buatan

Agregat yang dihasilkan melalui proses pengolahan industri. Pengolahan agregat ini dapat menghasilkan bentuk agregat sesuai dengan yang diharapkan.

B. Berdasarkan berat

a. Agregat ringan

Agregat ringan digunakan untuk menghasilkan beton yang ringan, dengan berat jenis agregat $1,0 - 1,2 \text{ kg/dm}^3$. Agregat ringan digunakan dalam berbagai produk beton, seperti bahan-bahan isolasi dan bahan pratekan. Agregat ini banyak digunakan dalam campuran beton pracetak. Beton dengan agregat ringan ini mempunyai sifat tahan api yang baik.

b. Agregat normal

Agregat normal dihasilkan dari pemecahan batuan dari *quarry* atau langsung dari sumber alam. Agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, dan kuarsa. Berat jenis agregat ini adalah berkisar $2,5 - 2,7 \text{ kg/dm}^3$ atau tidak boleh lebih kecil dari $1,2 \text{ kg/dm}^3$. Beton yang dibuat dengan agregat normal merupakan beton normal, yaitu beton dengan berat isi $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$.

c. Agregat berat

Agregat berat mempunyai berat jenis lebih besar dari $2,8 \text{ kg/dm}^3$. Contoh material yang dapat digunakan sebagai agregat berat seperti magnetik (Fe_2O_3) dan serbuk besi. Berat jenis beton dapat mencapai lima kali berat jenis bahannya.

C. Berdasarkan bentuk

a. Agregat bulat (*rounded aggregate*)

Agregat ini terbentuk karena terjadinya pengikisan oleh air. Rongga udaranya minimum 33%. Beton dengan campuran agregat bentuk bulat tidak baik sebagai perkuatan struktur karena pengikatan antar agregat yang kurang kuat.

b. Agregat tidak beraturan (*irregular aggregate*)

Agregat ini sebagian terbentuk karena pergeseran. Rongga udara pada agregat ini lebih tinggi, sekitar 35% - 38%, sehingga membutuhkan pasta

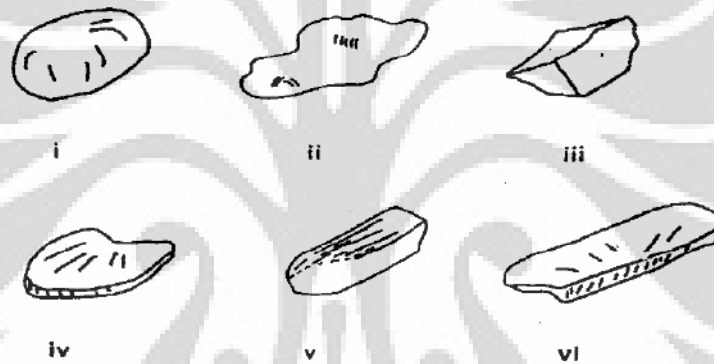
semen lebih banyak untuk dikerjakan. Ikatan antar agregat juga masih tergolong kurang baik.

c. Agregat bersudut (*angular aggregate*)

Agregat ini mempunyai sudut-sudut tampak jelas, yang terbentuk di tempat-tempat perpotongan bidang-bidang dengan permukaan kasar. Rongga udara pada agregat ini berkisar 38% - 40%, sehingga membutuhkan lebih banyak lagi pasta semen. Ikatan antar agregat baik, sehingga baik pula sebagai campuran agregat beton.

d. Agregat pipih (*flaky aggregate*)

Agregat pipih ini tidak baik untuk digunakan sebagai campuran beton, terutama beton mutu tinggi.



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

Gambar II. 3 Bentuk-bentuk agregat

D. Berdasarkan tekstur permukaan

a. Agregat licin/halus

Agregat ini sebagai campuran beton membutuhkan lebih sedikit air. Beton dengan agregat bertekstur licin tidak baik sebagai campuran beton. Agregat licin dapat terbentuk melalui pengikisan oleh air atau patahan pada batuan.

b. Kasar

Pecahan agregat tergolong kasar, dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar dengan kandungan material-material berkristal.

c. Kristalin

Agregat ini mengandung kristal-kristal yang terlihat dengan jelas secara visual.

E. Berdasarkan ukuran butir nominal

Ukuran agregat dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Untuk perbandingan bahan-bahan campuran tertentu, kekuatan tekan beton akan berkurang bila ukuran maksimumnya bertambah besar. Seperti pada uraian di atas, ukuran agregat juga akan berpengaruh terhadap kemudahan pengerjaan (*workabilitas*). Dari ukurannya, agregat dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu:

a. Agregat halus

Tergolong ke dalam jenis agregat halus jika semua butirannya lolos saringan ukuran 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33,1982) dan tertahan pada saringan ukuran 75- μm (no.200).

Sifat-sifat agregat halus yang berpengaruh terhadap ketahanan beton, antara lain (Heidi Duma, Skripsi, 2008):

- 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.

Gradasi agregat halus yang baik menurut ASTM C 33, yaitu:

Tabel II. 4 Gradasi standar agregat halus

Ukuran saringan	Persentase 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

b. Agregat kasar

Tergolong ke dalam jenis agregat kasar jika semua butirannya tertahan pada saringan ukuran 4,8 mm (SII.0052,1980) atau 4,75 mm (ASTM C33,1982).

Sifat-sifat agregat halus yang berpengaruh terhadap ketahanan beton, 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 persentase dari volume rongga di dalam material terhadap volume total material termasuk rongganya. Porositas yang diizinkan pada agregat kasar berkisar 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).

Berikut gradasi standar agregat kasar alam berdasarkan ASTM C 33

Tabel II. 5 Gradasi standar agregat kasar

Ukuran saringan	% lolos (nominal MSA)			
	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm
50 mm (2")	100			
37.5 mm (1.5")	95-100	100		
25.0 mm (1")	-	95-100	100	
19.0 mm (3/4")	35-70	-	90-100	100
12.5 mm (1/2")	-	25-60	-	90-100
9.50 mm (3/8")	10-30	-	20-55	40-70
4.75 mm (No.4)	0-5	0-10	0-10	0-15
2.36 mm (No.8)	-	0-5	0-5	0-5

II.2.2.2. Sifat-sifat agregat dalam campuran beton

Sifat-sifat agregat sangat berpengaruh terhadap mutu beton. Agregat yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII 0052-80, "Mutu dan Cara Uji Agregat Beton" dan hal-hal yang tidak termuat dalam SII 0052-80 maka agregat tersebut harus memenuhi syarat dan ketentuan yang dijelaskan dalam ASTM C-33-82. Berikut adalah sifat-sifat agregat dalam campuran beton yang penting diketahui, yaitu:

A. Absorpsi dan kadar air agregat

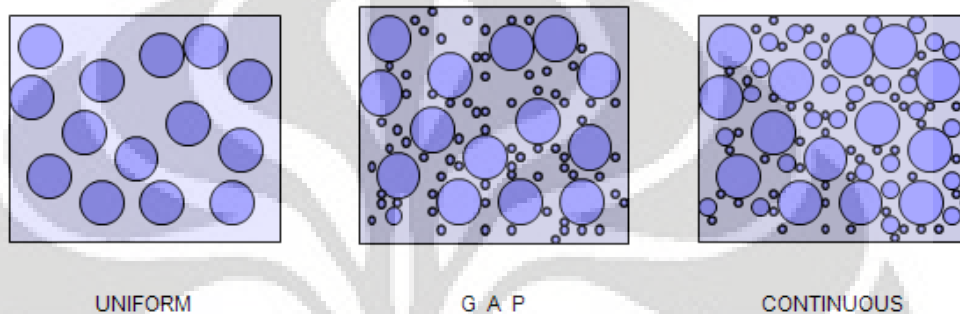
Absorpsi menyatakan banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi permukaan kering (*saturated surface dry*). Kadar air menyatakan banyaknya air yang terkandung dalam agregat.

B. Berat jenis dan daya serap agregat

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis agregat pada akhirnya akan menentukan pula berat jenis beton, sehingga secara langsung menentukan banyaknya agregat suatu campuran beton.

C. Gradasi agregat

Gradasi agregat dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu gradasi seragam (*uniform*), gradasi sela (*gap*), dan gradasi menerus (*continuous*). Untuk mendapatkan campuran beton yang baik, dapat digunakan beberapa jenis agregat ke dalam suatu campuran. Dengan kata lain, distribusi ukuran agregat yang baik adalah gradasi menerus, dimana susunan butiran agregat akan saling mengisi di antara ruang/rongga.



Gambar II. 4 Jenis gradasi agregat

D. Modulus halus butiran (*Finnes Modulus*)

Finnes Modulus (FM) merupakan suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai *Finnes Modulus* suatu agregat, semakin besar butiran agregatnya. Umumnya, agregat halus memiliki nilai FM sekitar 2,20 – 3,0 dan agregat kasar memiliki nilai FM berkisar 5,0 – 8,0. Nilai *finnes modulus* sangat menentukan dalam perancangan proporsi campuran beton.

E. Karakteristik panas

Karakteristik panas dari agregat akan sangat mempengaruhi keawetan dan kualitas beton. Keadaan suhu awal beton, saat beton segar sangat dipengaruhi oleh material pembentuk beton dan panas hidrasi dari reaksi kimia beton itu sendiri.

II.2.3. Air

Air diperlukan pada pembuatan beton sebagai proses kimiawi dengan semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan. Selain itu air dibutuhkan untuk reaksi pengikatan pada beton, dapat pula digunakan untuk masa perawatan beton setelah pengecoran.

Karena dalam pembuatan beton, pasta semen merupakan reaksi antara semen dengan air, maka perbandingan jumlah air terhadap semen menjadi penting. Perbandingan keduanya ini yang kemudian disebut dengan faktor air semen (*water cement ratio*).

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (sungai, danau, dsb), air laut, maupun air limbah, asalkan memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Air yang digunakan sebagai campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, bahan organik, dan zat lainnya yang dapat merusak beton atau bahkan tulangan. Dari beberapa jenis air diatas, akan sangat baik bila digunakan air tawar dalam campuran beton.

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.

Banyaknya air yang dibutuhkan selama proses hidrasi akan mempengaruhi karakteristik kekuatan beton jadi. Pada dasarnya, jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi tersebut adalah sekitar 25% dari berat semen. Pengurangan dari persentase tersebut dapat membuat kemudahan dalam pengerjaan sulit tercapai.

II.2.4. *Admixtures*

Semen Portland (*PC*) untuk berbagai tipe (yang memenuhi spesifikasi standar ASTM C 150) dapat digunakan untuk memperoleh campuran beton dengan kekuatan tekan sampai dengan 50 MPa. Untuk mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi saat mempertahankan *workability* yang baik, sangat perlu untuk menggunakan *admixture* yang dikombinasikan dengan campuran semen.

Admixture dapat diartikan sebagai bahan campuran kimiawi yang dicampurkan/ditambahkan pada saat atau selama pelaksanaan pengadukan.

- *Type A: Water-reducing admixtures*

Water-reducing admixtures merupakan bahan tambah yang mengurangi air pencampur, untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Penggunaannya adalah dengan tidak mengubah kadar semen, serta perbandingan air-semen yang dijaga tetap dengan cara menambahkan admixture ini. Dengan penggunaan bahan tambah tersebut, secara tidak langsung akan meningkatkan kuat tekan beton dan mendapatkan *workability* yang lebih besar.

- *Type B: Retarding admixtures*

Retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Karena peruntukannya tersebut, dapat dilakukan pada kondisi cuaca yang panas atau untuk mendapatkan pemadatan yang cukup untuk menghindari *cold joint*.

- *Type C: Accelerating admixtures*

Accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. *Accelerating admixtures* yang banyak digunakan kalsium klorida Dosis maksimum adalah sebesar 2% dari berat semen dalam campuran.

- *Type D: Water-reducing and retarding admixtures*

Water-reducing and retarding admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi ganda, yaitu mengurangi jumlah air pencampur dengan tingkat konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal. Atau secara singkat, dapat sebagai pengurang air dan pengontrol pengeringan.

- *Type E: Water-reducing and accelerating admixtures*

Water-reducing and accelerating admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi mengurangi air pencampur untuk konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan awal.

- *Type F: Water-reducing, high range admixtures*

Water-reducing, high range admixtures adalah bahan tambah yang berfungsi mengurangi jumlah air pencampur, sebanyak 12% atau lebih. Jenis admixture

ini dapat berupa superplasticizer, dimana dapat meningkatkan slump beton sampai 8 inch. Dosis yang disarankan adalah 1% - 2% dari berat semen.

- *Type G: Water-reducing, high range, and retarding admixtures*

Jenis *admixture* ini adalah bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi air pencampur dan menghambat pengikatan beton. Biasanya digunakan untuk kondisi lingkungan yang sempit karena sedikitnya sumber daya dan keterbatasan ruang kerja.

II.3. KARAKTERISTIK SUHU AWAL BETON SEGAR

Karena temperatur beton segar mempengaruhi beberapa karakteristik yang secara teknis sangat penting, seperti konsistensi, *lateral pressure*, *air content*, waktu *setting* dan pengerasan beton, sangat penting untuk menjaga suhu tersebut agar tidak terjadi kegagalan. Dapat diartikan, beton segar sebaiknya diproduksi pada temperatur di atas atau bawah suhu lingkungan. Terdapat tiga karakteristik panas/suhu yang berpengaruh terhadap kekuatan beton, yaitu koefisien *thermal expansion*, *specific heat*, dan nilai konduktivitas. Koefisien ekspansi panas (*coefficient of thermal expansion*) menyatakan besarnya perubahan/konstraksi akibat perubahan suhu. Dalam beton sendiri, besarnya koefisien ini berbeda-beda tergantung pada komponen penyusunnya, terutama sekali agregat. Sebagai contoh, beton dengan *limestone aggregate* memiliki koefisien lebih kecil dibandingkan dengan beton beragregat *silica*. Hal ini dikarenakan beton terdiri dari 70% agregat, akibatnya pengaruh agregat terhadap karakteristik panas beton juga besar.

Secara umum, karakteristik suhu awal pada beton segar timbul sebagai akibat karakteristik material penyusun dan kondisi lingkungan. Suhu awal beton segar belum dipengaruhi oleh terjadinya proses hidrasi antara semen dengan air, dimana proses hidrasi ini diperlukan untuk membentuk pasta semen sebagai perkuatan antar agregat. Nilai suhu awal dari beton segar tergantung pula pada beberapa faktor seperti:

- *w/c ratio*
- kehalusan semen
- komposisi semen

- jenis agregat
- umur

Neville (1975) menyatakan terdapat tiga sifat yang sangat mempengaruhi perilaku beton dalam jangka panjang dengan berbagai kondisi, yaitu daya hantar panas (*thermal conductivity*) yang merupakan rasio dari perubahan panas terhadap temperatur; penyebaran panas (*thermal diffusivity*) yang merupakan luasan perubahan temperatur yang dapat terjadi pada suatu benda; dan kalor jenis (*specific heat*) yang dinyatakan sebagai kapasitas panas beton, bertambah sejalan dengan bertambahnya kandungan air pada beton. Karakteristik panas yang berpengaruh terhadap suhu awal beton segar adalah nilai *specific heat* dari masing-masing material. Dijelaskan, karena sebagian besar volume beton adalah agregat, perubahan pada temperatur agregat memberikan pengaruh besar terhadap perubahan suhu beton.

II.4. SUSUT KERING PADA BETON

Setelah beton mulai mengeras, beton akan mengalami pembebanan. Pada beton yang mengalami pembebanan, akan terjadi suatu hubungan tegangan dan regangan yang merupakan fungsi waktu pembebanan. Beton menunjukkan sifat elastisitas murni pada waktu pembebanan singkat (regangan elastis). Sedangkan pada pembebanan yang tidak singkat, beton akan mengalami regangan-tegangan sesuai dengan lama pembebanannya.

Susut kering merupakan pengurangan panjang pada arah sumbu memanjang, dimana pengurangan tersebut bukan disebabkan oleh gaya-gaya luar, tetapi akibat keadaan suhu, kelembaban relatif, dan penguapan. Regangan susut ini merupakan perubahan bentuk plastis sehingga tetap terjadi meskipun beban yang bekerja ditiadakan.

Besarnya lendutan akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton, karena adanya peristiwa rangkak dan susut beton. Susut beton biasanya disebabkan oleh proses penguapan yang berlanjut setelah pengerasan semen. Besarnya regangan susut tergantung dari kelembaban udara, semakin rendah kelembaban udara maka susut yang terjadi semakin tinggi.

Peristiwa rangkai dan susut adalah fenomena yang saling berbeda. Proses rangkai didefinisikan sebagai perubahan volume akibat perubahan regangan oleh pembebanan yang konstan selama waktu tertentu, sedangkan susut didefinisikan sebagai perubahan dimensi panjang (deformasi linear) tanpa adanya pembebanan. Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan memiliki kecenderungan rangkai yang rendah.

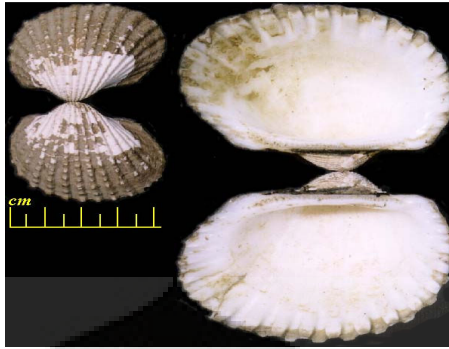
Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut adalah:

- a. agregat (sebagai penahan susut pasta semen),
- b. faktor air semen (semakin besar FAS, semakin besar susut beton),
- c. kehalusan semen
- d. ukuran elemen beton (kelajuan dan besarnya susut akan berkurang bila volume elemen betonnya semakin besar),
- e. kondisi lingkungan (seperti pengaruh suhu dan kelembaban),
- f. banyaknya penulangan (seperti pada konstruksi beton bertulang digunakan tulangan susut), dan
- g. bahan tambahan (*additive* dan *admixture*).

II.5 MATERIAL SERBUK CANGKANG KERANG DARAH

Kerang darah (*Anadara granosa*, Linne 1758) hidup di laut. Warnanya putih dengan garis-garis (rusuk) kasar radial yang bergerigi di bagian puncaknya. Daging di bagian dalam mempunyai warna merah sehingga dikatakan kerang darah. Kerang ini pertama kali ditemukan di sepanjang daerah Indo-Pasifik, Afrika timur, Australia, Austria dan Jepang. Kerang ini tinggal di daerah yang sebagian besar intertidal (sekitar dua meter kedalaman air), biasanya menenggelamkan dirinya di pasir atau lumpur (<http://www.itis.gov>).

Kulit kerang ini berbentuk seperti hati, simetris dan mempunyai tulang luar yang nyata. Cangkang kerang darah pada ukuran dewasa kira-kira 5-6 cm dan lebar 4-5 cm. Kerang darah ini mempunyai nilai ekonomis yang tinggi sebagai makanan, dan selama ini terus dibudidayakan.



Gambar II. 5 Morfologi Cangkang Kerang Darah

Sumber: <http://www.seashellhub.com/Arcidae.html>

Adapun klasifikasi ilmiah kerang darah adalah sebagai berikut :

Tabel II. 6 Klasifikasi ilmiah kerang darah

Kingdom:	<u>Animalia</u>
Phylum:	<u>Mollusca</u>
Class:	<u>Bivalvia</u>
Subclass:	<u>Pteriomorpha</u>
Order:	<u>Arcoida</u>
Family:	<u>Arcidae</u>
Genus:	<u>Anadara</u>
Species:	<u><i>A. granosa</i></u>

Kelas *Bivalvia* adalah moluska akuatik yang hidup pada suatu tempat dimana cangkangnya terbagi menjadi dua katup. Diperkirakan terdapat seribu jenis kerang yang hidup di perairan Indonesia. Untuk melindungi tubuhnya yang lunak, hewan tersebut mempunyai cangkang yang mengandung kapur.

Sifat mekanis, seperti kekuatan, kekerasan, bentuk dan kelarutan tergantung pada unsur organik yang terkandung. Pada kerang dewasa, cangkang kerang tersebut mengandung kalsium dan silikat. Kandungan non-organik pada cangkang kerang darah berdasar pemeriksaan *XRF* (terlampir), seperti mineral *CaO* dan *SiO₂* diperkirakan mencapai 82% dan 13% dari berat total.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

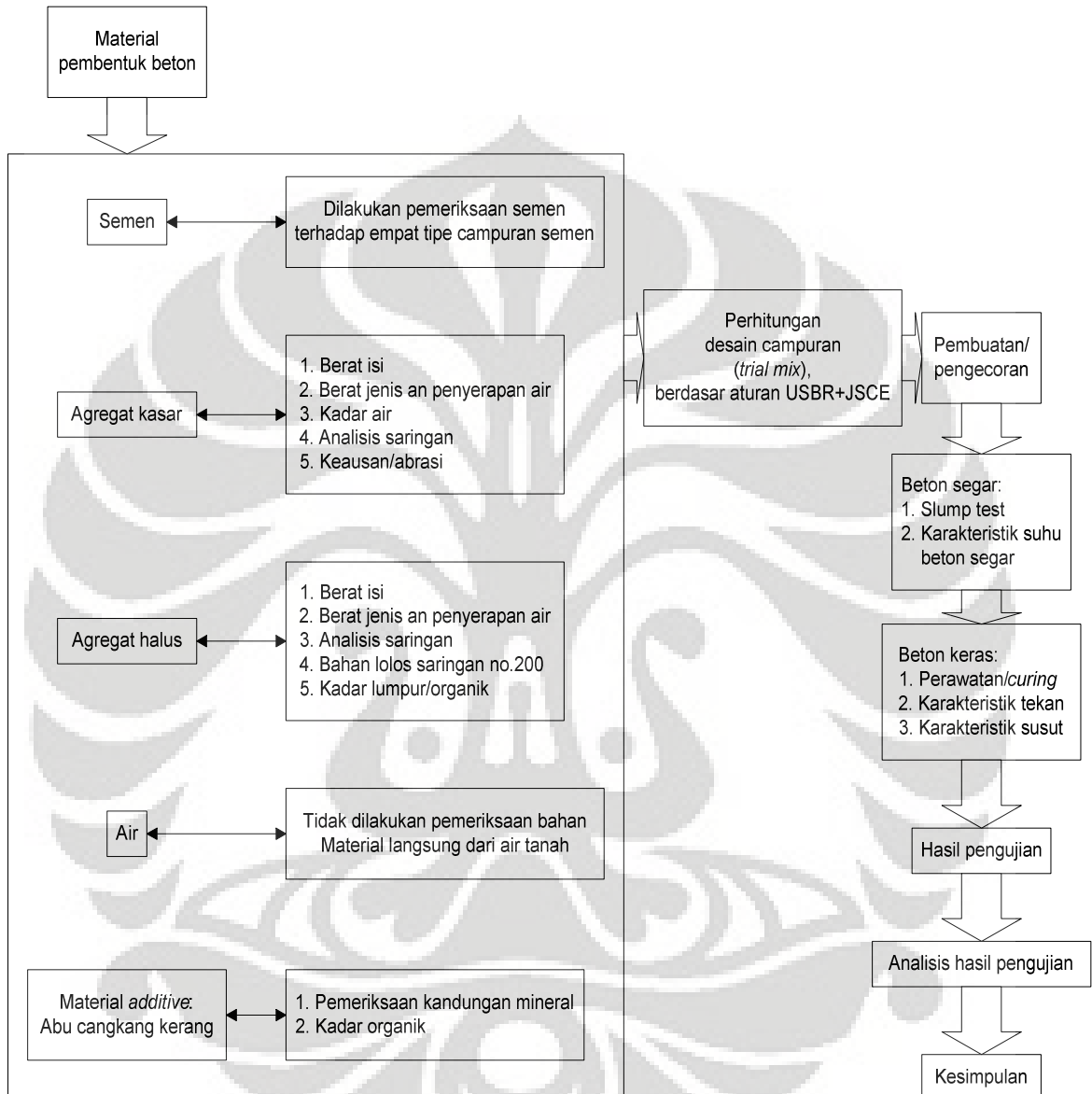
III.1 STANDAR PENGUJIAN

Bahan-bahan sebagai dasar campuran beton harus merupakan material yang baik dan memenuhi standar yang berlaku. Pengujian dan pemeriksaan bahan serta benda uji dilakukan berdasarkan aturan-aturan dalam *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan material berupa semen tidak dilakukan dan datanya langsung didapatkan dari pabrikasi. Air yang digunakan dalam campuran langsung didapatkan dari air tanah Laboratorium Struktur dan Material FTUI.

1. Pengujian agregat kasar dan agregat halus, antara lain:
 - a. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sesuai ASTM C.127-88
 - b. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus sesuai ASTM C.128-93
 - c. Berat isi agregat kasar dan agregat halus sesuai ASTM C.29M-97(2003)
 - d. Analisis saringan agregat kasar dan agregat halus sesuai ASTM C.136-95a
 - e. Kandungan kadar organik agregat halus sesuai ASTM C.40-92
 - f. Bahan lolos saringan no.200 sesuai ASTM C.117-95
 - g. Keausan agregat kasar dengan mesin abrasi *Los Angeles* sesuai ASTM C.131-89
2. Pengujian dan pemeriksaan material serbuk cangkang kerang, antara lain:
 - a. Kandungan mineral material serbuk cangkang kerang dengan test *X-Ray Flourescence* (XRF)
 - b. Kadar organik agregat halus serbuk cangkang sesuai ASTM C 40-92
3. Pengujian beton segar (*fresh concrete*), antara lain:
 - a. Nilai slump test saat pengerjaan pengecoran sesuai ASTM C.143-90a
 - b. Pengujian suhu beton segar sesuai SNI 03-4807-1998
4. Pengujian beton keras (*hardened concrete*), antara lain:
 - a. Perawatan (*curing*)
 - b. Karakteristik tekan, pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

c. Karakteristik susut kering beton sesuai SNI 03-6823-2002 dan ASTM C.157M-03

Berikut bagan alir tahapan pemeriksaan bahan dan benda uji penelitian:



Bagan III. 1 Alur pemeriksaan dan pengujian

III.2 BAHAN BAKU PENELITIAN

a. Semen

Semen yang digunakan adalah semen hidrolis *Portland Composite Cement* (PCC) yang peruntukannya untuk keperluan umum. Pemeriksaan karakteristik

bahan semen dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral pada empat tipe campuran semen.

b. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal dari PT Adhimix Precast Indonesia.

c. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan merupakan material pasir hitam Cimangkok yang telah dicuci.

d. Air

Air yang digunakan merupakan air tanah di Laboratorium Struktur dan Material FTUI. Pemeriksaan karakteristik air tidak dilakukan.

e. Material serbuk cangkang kerang

Material serbuk yang digunakan merupakan cangkang kerang darah dari famili *Arcidae*. Untuk mendapatkan material serbuk tersebut, dilakukan pembersihan, pengeringan, dan penghancuran cangkang kerang darah.

- Pembersihan, dilakukan dengan mencuci cangkang kerang.
- Pengeringan, dilakukan dengan memanaskan dalam oven.
- Penghancuran, dilakukan dengan mesin *los angeles*.
- Penyaringan, diambil material serbuk lolos saringan no.100

III.3 PENENTUAN DAN PEMERIKSAAN BAHAN

III.3.1 Pemeriksaan terhadap agregat kasar

III.3.1.1 Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat kasar

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

Agregat kasar (SSD) diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.

d. Prosedur

1. Benda uji direndam 24 jam.
2. Benda uji digulung dengan handuk, sehingga air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (kondisi SSD). Timbang.
3. Benda uji dimasukkan ke dalam 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.
4. Benda uji dikeringkan pada temperatur 212 – 230°F. Didinginkan dan ditimbang.

e. Perhitungan

- *Bulk Specific Gravity (SSD)* $= \frac{B}{B-C}$
- *Apparent Specific Gravity* $= \frac{A}{A-C}$
- Persentase Absorpsi $= \frac{B-A}{B} \times 100\%$

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.

III.3.1.2 Pengujian berat isi agregat kasar

a. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksud untuk menentukan berat isi agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan berat terhadap 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.

Tabel III.1 Kapasitas wadah berdasarkan ukuran agregat maksimum

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

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

d. Prosedur

- Berat isi lepas
 1. Timbang dan catat berat wadah (w_1)
 2. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dan ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sendok atau sekop sampai penuh
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 5. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)
- Berat isi padat agregat ukuran butir maksimum 38,1 mm (1 ½") dengan cara penusukan
 1. Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
 2. 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.
 3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata

4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
5. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

➤ Berat isi padat agregat ukuran butir antara 38,1 mm (1 ½") sampai 101,8 mm (4") dengan cara penggoyangan

1. Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
3. Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - a. Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
 - b. Ulangi langkah ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
 - c. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - d. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - e. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

e. Perhitungan

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{w_3}{V} \left(\text{kg} / \text{dm}^3 \right)$$

III.3.1.3 Pengujian kadar air agregat

a. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air agregat dengan cara mengeringkan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering.

b. Peralatan

- Timbangan digital dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
- Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

- Talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan bahan uji.

c. Bahan uji

Berat contoh agregat minimum yang disediakan tergantung pada ukuran butir maksimum sesuai dengan daftar di bawah ini.

Tabel III.2 Berat contoh agregat pemeriksaan kadar air

UKURAN BUTIR MAKSIMUM		BERAT CONTOH AGREGAT MINIMUM
mm	inci	kg
6,3	¼	0,5
9,5	3/8	1,5
12,7	½	2
19,1	¾	3
25,4	1	4
38,1	1 ½	5
50,8	2	8
63,5	2 ½	10
76,2	3	13
88,9	3 ½	16
101,6	4	25
152,4	6	50

d. Prosedur

1. Menimbang dan mencatat berat talam (w_1)
2. Memasukan benda uji ke dalam talam kemudian ditimbang dan dicatat beratnya (w_2)
3. Menghitung berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)
4. Mengeringkan benda uji beserta talam dalam oven dengan suhu 110 ± 5 °C sampai beratnya tetap
5. Setelah kering, menimbang dan mencatat benda uji beserta talam (w_4)
6. Menghitung berat benda uji kering ($w_5 = w_4 - w_1$).

e. Perhitungan

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{w_3 - w_5}{w_3} \times 100\%$$

III.3.1.4 Analisis saringan agregat kasar

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 (2 ½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1 ½"); 25 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (¼") dan no.4 sesuai standar ASTM.
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- Mesin penggetar saringan.
- Talam-talam.
- Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

c. Bahan

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau dengan cara perempat.

d. Prosedur

1. Sediakan benda uji sebanyak 5 kg.
2. Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
3. Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran 1", ¾", ½", 3/8", ¼", no.4 dan pan. Kemudian saringan diguncang dengan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Timbang berat agregat kasar yang tertahan pada masing-masing saringan

e. Perhitungan

Menghitung persentase gerak benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

III.3.1.5 Pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*

a. Tujuan

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

b. Peralatan

- Mesin Los Angeles; mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm (26").
- Saringan No. 12 ASTM dan saringan-saringan lainnya.
- 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 benda uji dengan gradasi benda uji sesuai tabel III.3
- Bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

Tabel III.3 Berat untuk setiap gradasi benda uji

Ukuran saringan		Berat untuk setiap gradasi benda uji (gram)						
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A	B	C	D	E	F	G
76,2	63,5	-	-	-	-	2500	-	-
63,5	50,8	-	-	-	-	2500	-	-
50,8	38,1	-	-	-	-	2500	5000	-
38,1	25,4	1250	-	-	-	-	5000	5000
25,4	19,05	1250	-	-	-	-	-	5000
19,05	12,7	1250	2500	-	-	-	-	-
12,7	9,51	1250	2500	-	-	-	-	-
9,51	6,35	-	-	2500	-	-	-	-
6,35	4,75	-	-	2500	-	-	-	-
4,75	2,36	-	-	-	5000	-	-	-
Jumlah bola baja		12	11	8	6	12	12	12
Berat bola baja (gram)		5000 ± 25	4584 ± 25	3330 ± 25	2500 ± 15	5000 ± 25	5000 ± 25	5000 ± 25

d. Prosedur

1. Keringkan agregat kasar dalam oven (110 ± 5)°C selama 1 hari
2. Saring benda uji dalam saringan $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , dan $\frac{3}{8}$ "
3. Benda uji dan bola-bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles.
4. Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm, 500 putaran untuk gradasi A, B, C dan D; dan 1000 putaran untuk gradasi E, F dan G.
5. Tunggu 5 menit agar agregat yang menempel pada dinding mesin berkumpul di bawah.
6. 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 ± 5)°C sampai berat tetap.

e. Perhitungan

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

Keterangan:

A = Berat benda uji semula (gram)

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

III.3.2 Pemeriksaan terhadap agregat halus

III.3.2.1 Pengujian berat jenis dan absorpsi agregat halus

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

- Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram dan kapasitas minimum 1 kg.
- Piknometer kapasitas 500 gram.
- Cetakan kerucut pasir.
- Tongkat pemadat dan logam untuk cetakan kerucut pasir.

c. Bahan

Sebanyak 500 gram agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat

d. Prosedur

1. Agregat halus dibuat jenuh air dengan cara merendam selama satu hari, kemudian dikeringkan (kering udara) sampai didapat keadaan kering merata. Agregat halus disebut kering merata jika telah dapat tercurah (*free flowing condition*).
2. Sebagian benda uji dimasukkan pada *metal sand cone mold*, dipadatkan 25 kali tumbukan dengan tongkat pemadat. Kondisi *SSD* diperoleh jika cetakan diangkat, agregat halus runtuh/longsor.
3. Agregat halus dalam keadaan *SSD* sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam piknometer dan diisikan air sampai 90% kapasitas. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer. Rendam dalam air dengan temperature air $73,4 \pm 3$ °F selama paling sedikit satu hari. Tentukan kemudian berat piknometer, benda uji dan air.
4. Pisahkan benda uji dari piknometer dan dikeringkan pada temperature 212— 230°F selama 1 hari.
5. Tentukan berat piknometer berisi air sesuai kapasitas kalibrasi pada temperature $73,4 \pm 3$ °F, dengan ketelitian 0,1 gram.

e. Perhitungan:

- $Bulk\ Specific\ Gravity\ (SSD) = \frac{500}{B + 500 - C}$
- $Apparent\ Specific\ Gravity = \frac{A}{B + A - C}$
- $Persentase\ Absorpsi = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$

Keterangan:

A = Berat (gram) dari benda uji oven dry

B = Berat (gram) dari piknometer berisi air

C = Berat (gram) dari piknometer dengan benda uji + air

III.3.2.2 Pengujian berat isi agregat halus

a. Tujuan Percobaan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat halus.

Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi.

b. Peralatan

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

c. Benda uji

Masukkan contoh agregat ke dalam talam, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

d. Prosedur

➤ Berat isi lepas

1. Timbang dan catat berat wadah (w_1)
2. Masukkan benda uji dengan hati-hati agar tidak terjadi pemisahan butir-butir dan ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah
3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
5. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

➤ Berat isi padat dengan cara penusukan

1. Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
2. 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.
3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
5. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

- Berat isi padat dengan cara penggoyangan
1. Timbanglah dan catat berat wadah (w_1)
 2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal
 3. Padatkan setiap lapisan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah seperti berikut:
 - a. Letakkan wadah di atas tempat yang kokoh dan datar, angkatlah salah satu sisinya kira-kira setinggi 5 cm kemudian lepaskan
 - b. Ulangi langkah ini pada sisi yang berlawanan. Padatkan lapisan sebanyak 25 kali untuk setiap sisi
 - c. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata
 - d. Timbang dan catatlah berat wadah beserta benda uji (w_2)
 - e. Hitunglah berat benda uji ($w_3 = w_2 - w_1$)

e. Perhitungan

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

III.3.2.3 Analisis saringan agregat halus

a. Tujuan

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

b. Peralatan

- Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0.2 % dan berat benda uji
- Satu set saringan No.4; No.8; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 sesuai standar ASTM
- Oven yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai 110 ± 5 °C
- Alat pemisah contoh (*sample splitter*)
- Mesin penggetar saringan

c. Bahan

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat. Ukuran maksimum adalah No.4 dan berat minimum 500 gram.

d. Prosedur

1. Sediakan benda uji sebanyak 500 gram.
2. Benda uji dikeringkan di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
3. Menyaring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran No.8, 16, 30, 50, 100, 200, pan. Kemudian saringan diguncang dengan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Timbang berat agregat halus tertahan pada masing-masing saringan

e. Perhitungan

Menghitung persentase gerak benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

III.3.2.4 Pemeriksaan bahan lewat saringan No. 200

a. Tujuan

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

b. Peralatan

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

c. Bahan uji

Berat contoh agregat kering minimum tergantung pada ukuran agregat maksimum. Untuk ukuran agregat no.4 (pasir), digunakan berat contoh agregat minimum sebanyak 500 gram (w_1).

d. 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 ulangi 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 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
5. Setelah kering timbang dan catatlah beratnya (w_3).
6. Hitunglah berat bahan kering tersebut ($w_4 = w_3 - w_2$).

e. Perhitungan

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

III.3.2.5 Pemeriksaan kadar organik

a. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai campuran mortar atau beton. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat di dalam pasir dan menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar beton.

b. Peralatan

- Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dan karet, gabus, atau lainnya yang tidak larut dalam NaOH, dengan isi sekitar 350 ml
- Standar warna (*organic plate*)

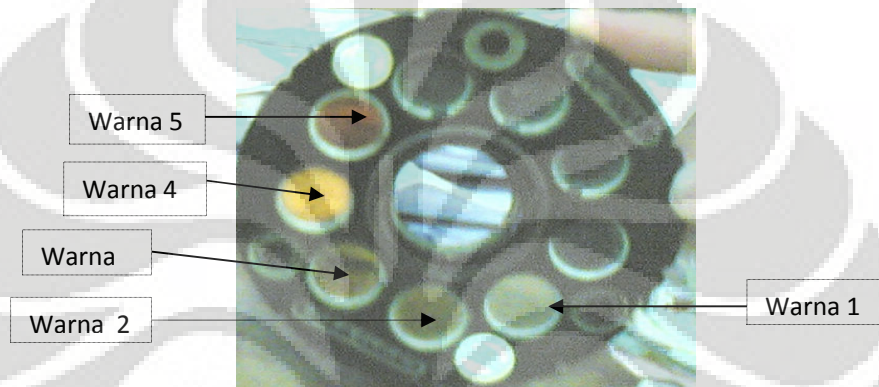
c. Bahan

- Pasir 500 g
- Air 500 ml

- Larutan NaOH 3%

d. Prosedur

1. Memasukkan benda uji ke dalam botol.
2. Menambahkan larutan NaOH 3%, setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira 2/3 isi botol.
3. Menutup botol, kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam.
4. Membandingkan warna cairan yang terlihat di atas benda uji dengan warna standar setelah 24 jam.



Gambar III.1 Standar warna pemeriksaan organik

III.3.3 Pemeriksaan terhadap serbuk cangkang kerang

III.3.3.1 Pemeriksaan kandungan kimiawi

Pemeriksaan kandungan mineral dilakukan untuk mengetahui persentase kimiawi, terutama sekali adalah oksida-oksida pembentuk semen yang terkandung dalam serbuk cangkang kerang. Pemeriksaan dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescent (XRF)*, bekerjasama dengan Departemen Ilmu Material, Program Pascasarjana FMIPA UI, Salemba. Pemeriksaan dilakukan terhadap sampel yang telah dihaluskan. Keluaran data *XRF test* meliputi:

- kandungan kimia berupa unsur-unsur dan senyawa,
- persentase kandungan mineral tersebut.

Berdasar pemeriksaan XRF, serbuk cangkang kerang darah mengandung 82,2112 % CaO dan SiO₂ (12,7348 %) dimana merupakan oksida utama pembentuk semen portland. Oksida lain yang merupakan pembentuk semen adalah Fe₂O₃ (0,8442 %) dan Al₂O₃ (0,7036 %).

Tabel III. 4 Data pemeriksaan *XRF-Test*

No	Atom/Chem Formula	wt (%)
1	Na ₂ O	2.9571
2	Al ₂ O ₃	0.7036
3	SiO ₂	12.7348
4	S	0.1247
5	CaO	82.2112
6	Cr ₂ O ₃	0.1406
7	MnO ₂	0.0587
8	Fe ₂ O ₃	0.8442
9	SrO	0.2251

III.3.3.2 Pemeriksaan kotoran organik

a. Tujuan

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam material sebagai campuran mortar atau beton. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat di dalam pasir dan menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar beton.

b. Peralatan

- Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dan karet, gabus, atau lainnya yang tidak larut dalam NaOH, dengan isi sekitar 350 ml
- Standar warna (*organic plate*)

c. Bahan

- Pasir 500 g
- Air 500 ml
- Larutan NaOH 3%

e. Prosedur

1. Memasukkan benda uji ke dalam botol.
2. Menambahkan larutan NaOH 3%, setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira 2/3 isi botol.
3. Menutup botol, kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam.
4. Membandingkan warna cairan yang terlihat di atas benda uji dengan warna standar setelah 24 jam.

III.4 PERHITUNGAN DESAIN CAMPURAN

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. Perbandingan campuran beton pada prinsipnya didapat dengan cara coba-coba. Perhitungan desain campuran dilakukan berdasar ketentuan *USBR + JSCE (Japan)*. Berikut prosedur dalam perhitungan kebutuhan material yang disesuaikan dengan kuat target $f_c' 35$ MPa.

A. Menentukan slump

Slump beton sebaiknya ditentukan serendah-rendahnya, akan tetapi beton masih dapat dikerjakan dengan baik. Dalam beberapa standar atau peraturan telah ditentukan nilai slump beton berdasarkan jenis konstruksi.

Tabel III.5 Nilai slump maksimum dalam berbagai tipe konstruksi

Jenis konstruksi	Slump 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

(US Bureau of Reclamation. 8th edition. 1975)

B. Menentukan ukuran butir maksimum agregat kasar

Ukuran maksimum agregat ditentukan berdasarkan struktur, dimensi struktur, dan kerapatan tulangan beton terpasang. Ukuran butiran maksimum agregat kasar sangat berpengaruh terhadap jumlah air dalam campuran.

C. Menentukan air adukan (W), kandungan udara (A), dan persentase pasir (S/a)

Jumlah air adukan (per m^3 beton) yang diperlukan untuk membuat campuran beton dengan kekentalan yang dikehendaki dipengaruhi oleh ukuran agregat maksimum, bentuk partikel, dan gradasi agregat dan jumlah tambahan kandungan udara.

Banyaknya kandungan udara di dalam beton yang menggunakan *air entraining admixture* umumnya berkisar antara 3% - 7% dari volume beton tergantung kepada ukuran agregat maksimum yang digunakan.

Tabel III. 6 Perbandingan campuran dalam mix desain

<i>Size of Max Agregate [mm]</i>	<i>Unit Coarse agregate Content by Volume [%]</i>	<i>Concrete without AE ad.</i>			
		<i>Entrapped Air [%]</i>	<i>Sand Percent S/a [%]</i>	<i>Water content W [kg]</i>	<i>Air Content [%]</i>
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:

1. harga-harga diatas berlaku untuk beton yang menggunakan pasir alam dengan FM 2.8, dan slump beton dalam mixer 8 cm
2. penyesuaian harga-harga di atas untuk kondisi yang lain dengan menggunakan tabel III.7

D. Penyesuaian terhadap kondisi lain

Tabel III. 7 Penyesuaian kebutuhan material terhadap kondisi lain

<i>Change in material or proportion</i>		<i>Correction on s/a and w</i>	
		<i>Sand percent s/a [%]</i>	<i>Water content W [kg]</i>
1	<i>Each 0.1 increase or decrease in FM of sand</i>	± 0.5	<i>No correction</i>
2	<i>Each 1 cm increase or decrease in slump</i>	<i>No correction</i>	± 1.2 %
3	<i>Each 1 % increase or decrease in air content</i>	$\pm 0.5 \sim 1$	± 3 %
4	<i>Using crused coarse agregate</i>	$\pm 3 \sim 5$	$\pm 9 \sim 15$
5	<i>Using crused coarse sand</i>	$\pm 2 \sim 3$	$\pm 6 \sim 9$
6	<i>Each 0.05 increase or decrease in water-cement ratio</i>	± 4	<i>No correction</i>
7	<i>Each 1 % increase or decrease in S/A</i>	<i>No correction</i>	± 1.5

E. Kuat Target (f_c')

Kuat target ini adalah dasar dalam perencanaan perhitungan desain campuran. Kekuatan beton dinilai dari kuat tekannya menahan beban yang diberikan. *Compressive strength* beton yang telah dipasang dalam konstruksi harus mempunyai koefisien variasi yang tidak boleh lebih dan 15%. Koefisien variasi adalah koefisien yang menentukan variasi *compressive strength* beton yang dihasilkan oleh beberapa silinder tes beton yang mempunyai perbandingan campuran yang sama. Dalam metode ini, perhitungan kuat target (f_c') berhubungan dengan nilai faktor air semen (*w/c ratio*).

F. Penentuan Kebutuhan Material dalam Campuran

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.

III.5 PEMBUATAN BENDA UJI (PENGECORAN)

Prosedur ini dibagi ke dalam tahapan berikut:

III.5.1 Pengadukan

1. Seluruh agregat dicek kondisi kandungan airnya, terutama pada pasir.
2. Bahan baku disiapkan dan ditimbang sesuai dengan proporsi berat yang telah ditentukan dari perhitungan campuran beton.
3. Agregat kasar dan pasir seluruhnya dimasukkan ke dalam mesin pengaduk, sambil dibersihkan dari kotoran daun dan batang tanaman, lalu diaduk hingga merata.
4. Kemudian matikan mesin, lalu masukkan semen dari 2/3 bagian air, lalu nyalakan kembali mesin pengaduk.
5. Mesin dimatikan setelah 2 menit, lalu material yang berada di dasar mesin pengaduk diaduk dengan sendok semen agar teraduk rata.
6. Mesin dijalankan kembali selama 2 menit sambil menuangkan sisa air sedikit demi sedikit.

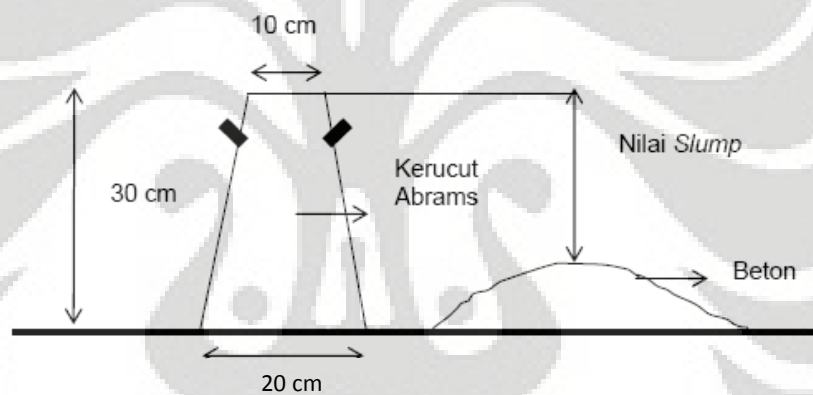
III.5.2 Pengecekan slump

A. Tujuan

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

B. Peralatan yang digunakan

- Tongkat baja berdiameter 16 mm dan panjang 60 mm dengan ujung tumpul.
- Kerucut *Abrams*
- Pelat baja sebagai alat cetakan, perata dan penggaris



Gambar III.2 Slump test dengan kerucut *Abrams*

C. Proses pengujian

1. Alat-alat yang akan digunakan pada pengujian ini sebelumnya dibasahi permukaannya untuk menghindari penyerapan air pada bagian alat.
2. Kerucut diletakkan di atas pelat atau bidang rata diikuti dengan menekan ke bawah pada penyokong-penyokongnya.
3. Adukan beton secara perlahan diisikan ke dalam kerucut dalam 3 lapis yang sama tebalnya dan setiap lapis ditusuk-tusuk dengan menggunakan tongkat baja sebanyak 25 kali.
4. Bidang bagian atas diratakan dan dibiarkan selama 30 detik.

..

5. Kerucut ditarik vertikal ke atas dengan perlahan.
6. Setelah itu ukur penurunan beton segar tersebut terhadap kondisi semula.
7. Hasil pengukuran ini disebut *slump* dan merupakan ukuran dari kekentalan adukan beton tersebut.

III.5.3 Pencetakan sampel

1. Siapkan cetakan sebelumnya dan beri pelumas pada bagian dinding dalam cetakan.
2. Untuk nilai slump 25-75 mm pemadatan dapat ditusuk atau digetar, sedangkan untuk nilai slump > 75 mm, pemadatan dilakukan dengan cara ditusuk.
3. Setiap pengambilan campuran beton diaduk kembali dengan menggunakan sendok aduk agar tidak terjadi segregasi.
4. Untuk uji tekan, pencetakan sampel dilakukan menjadi 3 lapisan dimana tiap lapisan dilakukan penusukan sebanyak 25 kali.
5. Untuk uji susut kering, pencetakan sampel dilakukan menjadi 2 lapisan, tiap lapisan dilakukan penusukan sebanyak 25 kali.
6. Pada lapisan akhir ditambahkan adukan beton sampai melebihi permukaan sehingga tidak perlu penambahan kembali setelah beton dipadatkan.
7. Setelah cetakan terisi penuh dan pemadatan telah selesai dilakukan, bagian luar cetakan dipukul-pukul dengan palu ringan dengan tujuan untuk menutup lubang-lubang sisa pemadatan dan untuk melepas gelembung-gelembung udara yang ada dan mengeluarkan air.
8. Permukaan beton diratakan dan dapat ditambahkan lapisan tipis pasta semen untuk merapikan dan meratakan permukaan beton
9. Berikan tanda/kode pada benda uji untuk memudahkan identifikasi.
10. Kemudian benda uji didiamkan di udara terbuka kurang lebih 24 jam hingga mengeras dan dihindari adanya hubungan langsung dengan air.

III.5.4 Perawatan sampel

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

1. Perawatan dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam kolam air, dengan suhu air rata-rata pada saat perendaman berkisar $25-27^{\circ}$ C.
2. Perawatan sampai umur 6 hari untuk benda uji tekan 7 hari, 13 hari untuk uji tekan 14 hari dan 27 hari untuk uji tekan 28 hari.
3. Perawatan beton untuk pengujian susut kering dilakukan segera setelah beton dikeluarkan dari cetakan. Perawatan dengan melapisi semua sisi sampel beton dengan kain, lalu dibasahi untuk menjaga kelembabannya.



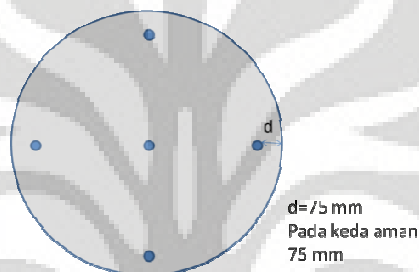
Gambar III.3 Perawatan sampel uji susut kering

III.6 PENGUJIAN SUHU AWAL BETON SEGAR

Pengujian suhu beton segar dilakukan berdasarkan SNI 03-4807-1998. Beton segar adalah campuran beton yang telah selesai diaduk sampai beberapa saat, dimana karakteristiknya tidak berubah (masih plastis dan belum terjadi pengikatan). Pengukuran suhu dilakukan dengan bantuan alat termometer yang telah dikalibrasi. Dalam pengujian ini, suhu diukur menjadi dua kali, yaitu:

- a. Saat beton masih berada dalam *batching*
 1. Pembersihan sensor panas/suhu pada termometer untuk menghindari beton mengeras di sensor tersebut.

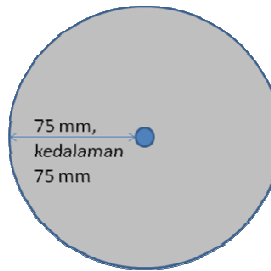
2. Menempatkan pengukur suhu (termometer beton) langsung ke dalam beton basah sesaat setelah pengadukan selesai.
3. Pengukuran suhu dilakukan pada kedalaman 75 mm dari permukaan atas beton segar dan pada posisi/jarak minimal 75 mm dari dinding cetakan.
4. Pengukuran suhu dilakukan di lima titik yang berbeda dan tersebar di semua bidang mesin pengaduk.
5. Pencatatan suhu semua titik tersebut harus selesai dalam waktu 1 menit.



Gambar III.4 Penyebaran titik uji suhu awal beton saat di batching

- b. Saat berada dalam cetakan silinder 15 cm x 30 cm.
 1. Pembersihan sensor panas/suhu pada termometer untuk menghindari beton mengeras di sensor tersebut.
 2. Cetakan untuk menampung beton, minimal 75 mm ke semua arah dari alat pengukur suhu.
 3. Ambil contoh beton segar yang telah selesai diaduk dalam *batching*.
 4. Tuangkan beton segar ke dalam cetakan.
 5. Tempatkan termometer pada posisi/jarak minimal 75 mm dari dinding cetakan dan termometer terendam sekurang-kurangnya 75 mm.
 6. Tekan dengan hati-hati permukaan beton di sekeliling termometer sehingga tidak terpengaruh suhu luar.
 7. Biarkan termometer terendam dalam beton selama dua menit atau sampai pembacaan suhu konstan, catat suhu tersebut.
 8. Seluruh proses pengukuran suhu beton segar harus selesai dalam waktu 5 menit sejak pengambilan contoh.

.. . . .



Gambar III.5 Letak titik uji suhu awal beton saat dalam cetakan

III.7 PENGUJIAN SUSUT KERING BETON

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-6823-2002 dimana mengacu pada ASTM C 490 - 04.

a. Tujuan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian dilakukan selama 56 hari.

b. Benda uji

Balok beton berukuran 10 cm x 10 cm x 50 cm.

c. 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

d. Prosedur

1. Benda uji balok yang sudah mengalami proses perawatan disiapkan, 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 tipe kombinasi serbuk cangkang kerang.

Tabel III. 8 Jumlah sample pengujian susut

Tipe	Persentase Serbuk Cangkang Kerang Terhadap Semen	Uji susut kering beton	
		Sampel	Jumlah Sampel
I	0 %	Balok, 10 x 10 x 50 cm ³	3
II	5%		3
III	10%		3
IV	15%		3

e. Perhitungan

Perubahan panjang (susut) beton:

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

dimana:

- ΔL = 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.

BAB IV

ANALISIS PENELITIAN

IV.1 ANALISIS AGREGAT

Kekuatan tekan beton sangat dipengaruhi oleh kekuatan material penyusunnya. Agregat sendiri, dalam beton mencapai 70% - 80% volume total beton, sehingga karakteristik agregat mempunyai pengaruh langsung terhadap karakteristik beton tersebut. Agregat tersebut dalam campuran beton berfungsi sebagai pengisi, bersama-sama dengan pasta semen membentuk material komposit yang padat dan keras.

IV.1.1 Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan merupakan batuan pecah dengan ukuran maksimum agregat 25 mm. Agregat kasar yang digunakan memiliki karakteristik seperti berikut:

a) *Specific gravity*

- i. Kondisi bulk (curah) = 2,65
- ii. Kondisi SSD = 2,80
- iii. Kondisi apparent = 3,12

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis agregat pada akhirnya akan menentukan pula berat jenis beton, sehingga secara langsung menentukan banyaknya agregat suatu campuran beton.

b) Absorpsi sebesar 5,69%

Absorpsi menyatakan banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi permukaan kering (*saturated surface dry*). Nilai absorpsi yang lebih tinggi menandakan agregat dengan porositas yang semakin besar. 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).

c) Berat isi dan rongga udara

Tabel IV. 1 Berat isi agregat dan rongga udara agregat kasar

Kondisi	Lepas	Penusukan	Penggoyangan
Berat Isi Agregat (kg/L)	1,38	1,52	1,48
Rongga Udara %	47,98 %	42,73 %	44,12%

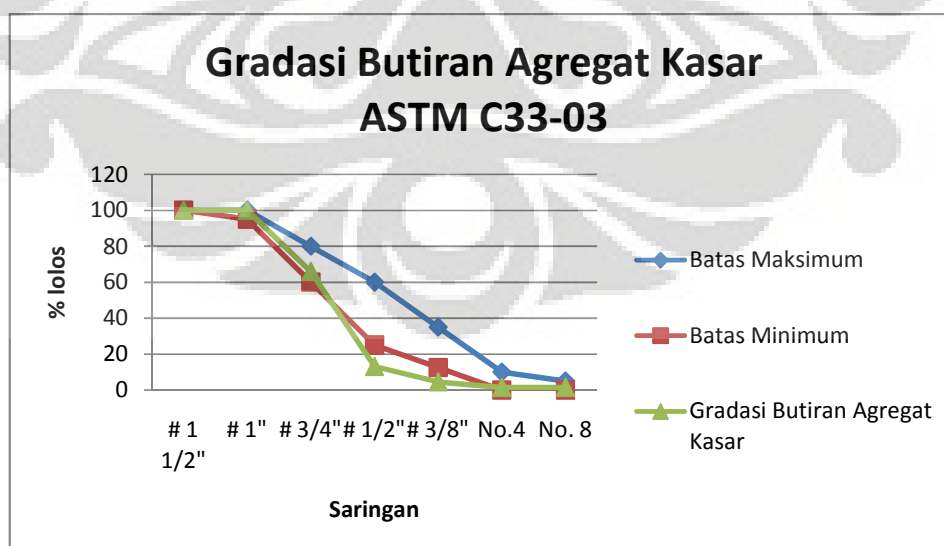
Dari tabel diatas diketahui bahwa rongga udara agregat memiliki nilai diantara 30% sampai 50% dari volume agregat.

d) Keausan dengan mesin *Los Angeles* = 29,94%

Ketahanan terhadap keausan dengan menggunakan *Los Angeles Testing Machine*, kehilangan berat setelah pengujian harus berkisar antara 15 - 50% (ASTM C 131 dan C 535).

e) Analisis saringan

Grafik gradasi agregat menggambarkan persentase agregat yang tertahan pada setiap nomor saringan. Gradasi adalah distribusi ukuran agregat. Gradasi diketahui dengan analisa saringan, kemudian dibuat grafik dengan ukuran butir sebagai absis dan persentase agregat yang tertahan saringan 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 susut beton.



Gambar IV. 1 Grafik distribusi butiran agregat kasar

Distribusi ukuran agregat yang baik adalah gradasi menerus, dimana susunan butiran agregat akan saling mengisi di antara ruang/rongga. Dilihat dari grafik distribusi diatas, agregat kasar memiliki distribusi/gradasi yang baik.

f) *Fineness modulus* = 4,13

Fineness Modulus (FM) merupakan suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Makin besar nilai *Fineness Modulus* suatu agregat, semakin besar butiran agregatnya. Umumnya, agregat kasar memiliki nilai FM berkisar 5,0 – 8,0.

IV.1.2 Agregat halus

Material pasir yang digunakan merupakan agregat alam, tanpa proses pengolahan terlebih dahulu. Agregat halus tersebut sebelumnya dilakukan pencucian. Pengambilan material dilakukan menyebar, cara perempat, di lokasi penimbunan pasir Laboratorium Struktur dan Material FTUI.

a) *Specific gravity*

- i. Kondisi bulk (curah) = 2,12
- ii. Kondisi SSD = 2,30
- iii. Kondisi apparent = 2,59

Berat jenis digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh agregat. Berat jenis agregat pada akhirnya akan menentukan pula berat jenis beton, sehingga secara langsung menentukan banyaknya agregat suatu campuran beton.

b) Absorpsi sebesar 8,6%

Absorpsi menyatakan banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi permukaan kering (*saturated surface dry*). Semakin besar kemampuan agregat halus menyerap air akan mengurangi kekuatan beton. Agregat halus yang baik mempunyai kapasitas absorpsi antara 0,5% - 2,0%. Nilai absorpsi yang baik menurut ASTM C 128 adalah di bawah 2%. Kondisi ini menyebabkan sebagian besar air yang digunakan terserap di agregat halus.

c) Berat isi dan rongga udara

Tabel IV. 2 Berat isi dan rongga udara agregat halus

Kondisi	Lepas	Penusukan	Penggoyangan
Berat Isi Agregat (kg/L)	1.23	1.36	1.40
Rongga Udara %	42,17%	35,97%	33,87%

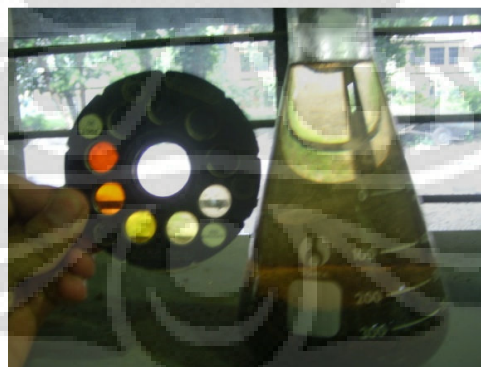
d) Bahan lewat saringan no.200 sebesar 3,8%

Kadar lumpur yang diizinkan dalam agregat halus menurut ASTM C 117 adalah 0,2% - 6%.

e) Kandungan organik pasir masuk dalam standar warna no.3

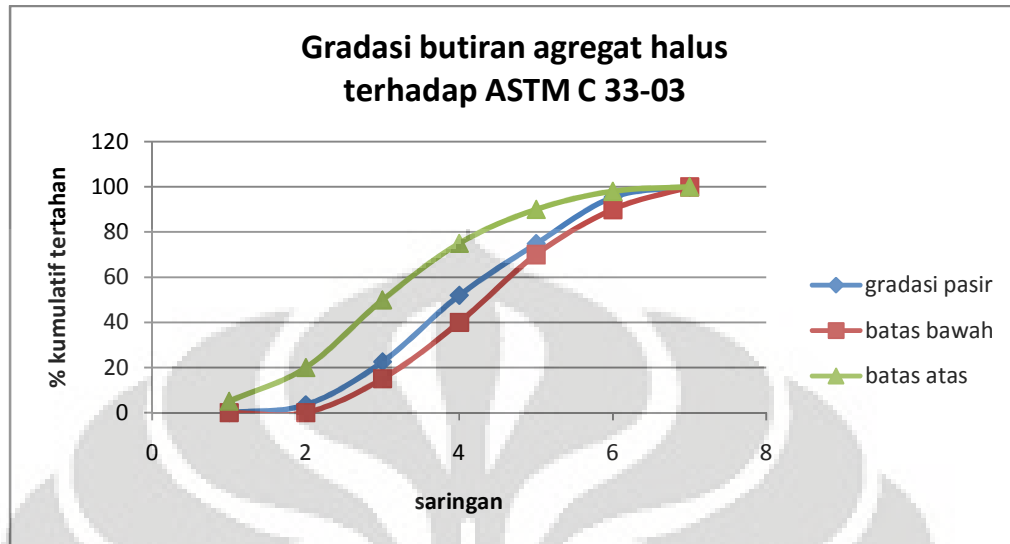
Tabel IV. 3 Kandungan organik agregat halus

Warna terdekat dari sampel	Organic Plate Number
<i>Lighter / Equal / Darker</i> Colour to	1
	2
	3 (Standard)
	4
	5



Gambar IV. 2 Pemeriksaan kandungan organik agregat halus

f) Analisis saringan



Gambar IV. 3 Grafik distribusi butiran agregat halus

Dilihat dari grafik distribusi diatas, agregat kasar memiliki distribusi/gradasi yang baik, karena termasuk dalam jenis gradasi menerus dan juga berada dalam batasan standar. Oleh karenanya, karakteristik agregat halus tersebut baik untuk beton normal.

g) *Fineness modulus* sebesar 2,48

Umumnya, agregat halus memiliki nilai FM sekitar 2,20 – 3,0, tetapi menurut ASTM C 128-04 yakni antara 2,3 sampai 3,1. Nilai *fineness modulus* sangat menentukan dalam perancangan proporsi campuran beton.

IV.2 ANALISIS SERBUK CANGKANG KERANG DARAH

Pemeriksaan kandungan mineral dilakukan untuk mengetahui persentase kimiawi, terutama sekali adalah oksida-oksida pembentuk semen yang terkandung dalam serbuk cangkang kerang darah. Pemeriksaan dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence (XRF)*, bekerjasama dengan Departemen Ilmu Material, Program Pascasarjana FMIPA UI, Salemba. Pemeriksaan dilakukan terhadap sampel yang telah dihaluskan. Keluaran data *XRF test* meliputi:

- kandungan kimia berupa unsur-unsur dan senyawa,
- persentase kandungan senyawa tersebut.

Berdasar pemeriksaan *XRF*, serbuk cangkang kerang darah mengandung 82,2112% CaO dan 12,7348% SiO₂ dimana keduanya merupakan oksida utama pembentuk semen portland. Oksida lain yang merupakan pembentuk semen adalah Fe₂O₃ (0,8442 %) dan Al₂O₃ (0,7036 %).

Tabel IV. 4 Data *XRF-Test* serbuk cangkang kerang darah

No	Atom/Chem Formula	wt (%)
1	Na ₂ O	2.9571
2	Al ₂ O ₃	0.7036
3	SiO ₂	12.7348
4	S	0.1247
5	CaO	82.2112
6	Cr ₂ O ₃	0.1406
7	MnO ₂	0.0587
8	Fe ₂ O ₃	0.8442
9	SrO	0.2251

Pemeriksaan kandungan organik cangkang kerang darah diperlukan karena serbuk akan berfungsi menggantikan semen *PCC*. Kandungan organik akan berpengaruh pada jangka panjang, dimana menimbulkan pelapukan/keropos pada beton atau tulangan. Pemeriksaan kandungan organik serbuk cangkang kerang dilakukan terhadap material pasirnya. Hasil pemeriksaan memberikan kadar organik dari standar warna adalah warna no.1.



Gambar IV. 4 Pemeriksaan kotoran organik serbuk kerang

Dilihat dari senyawa yang terkandung dan kadar organiknya tersebut, serbuk cangkang kerang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen.

IV.3 ANALISIS KOMPOSISI SEMEN PADA EMPAT KADAR PENGGANTIAN

Pemeriksaan kandungan kimiawi semen perlu dilakukan untuk mengetahui persentase senyawa dalam semen tersebut. Pengujian kandungan kimiawi dilakukan untuk semen normal dan semen dengan penggantian serbuk cangkang kerang darah masing-masing sebesar 5%, 10% dan 15%. Pengujian kimiawi semen dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) di Laboratorium Ilmu Material, UI Salemba.

Tabel IV. 5 Hasil pemeriksaan kimiawi semen pada empat kadar penggantian

Oksida semen	Kadar penggantian serbuk cangkang kerang			
	0%	5%	10%	15%
MgO	1.5461	1.5689	1.7508	1.7685
Al ₂ O ₃	5.8866	6.0329	6.0035	5.7811
SiO ₂	22.4098	20.966	21.0134	20.9812
SO ₃	1.456	1.3714	1.3492	1.2617
K ₂ O	0.9545	0.8355	0.9082	0.9714
CaO	62.5357	64.006	63.8144	64.0724
TiO ₂	0.356	0.431	0.4039	0.3898
Fe ₂ O ₃	4.4949	4.4683	4.4357	4.4627
ZnO	0.091	0.0861	0.0708	0.08
SrO	0.2695	0.2339	0.2502	0.2312

Berdasarkan persentase senyawa oksida tersebut, dapat diketahui persentase senyawa-senyawa yang berpengaruh dalam semen seperti C₃S, C₂S, C₃A dan C₄AF. Menurut aturan *R. H. Bogue*, persentase senyawa tersebut dapat diketahui berdasar persamaan berikut:

$$C_3S = 4,07(CaO) - 7,60(SiO_2) - 6,72(Al_2O_3) - 1,43(Fe_2O_3) - 2,85(SO_3)$$

$$C_2S = 2,87(SiO_2) - 0,75(3CaO.SiO_2)$$

$$C_3A = 2,65(Al_2O_3) - 1,69(Fe_2O_3)$$

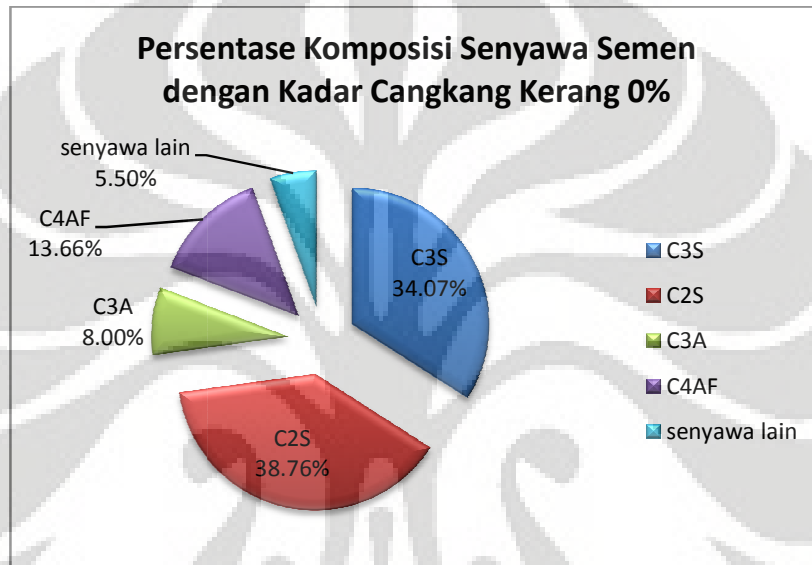
$$C_4AF = 3,04(Fe_2O_3)$$

Berdasar persamaan-persamaan tersebut, diperoleh kandungan keempat senyawa tersebut untuk empat tipe campuran semen.

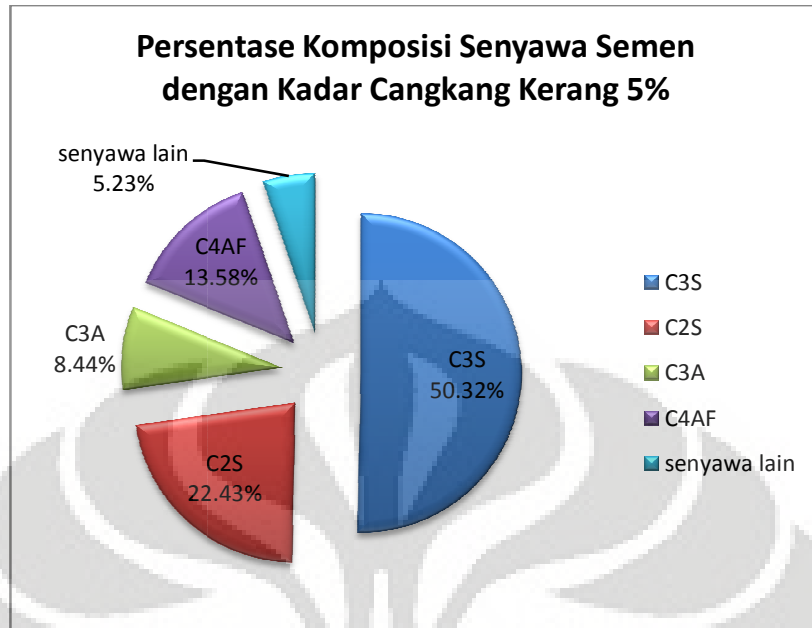
Tabel IV. 6 Komposisi senyawa semen pada kadar penggantian tertentu

Senyawa	0%	5%	10%	15%
C3S	34.07056	50.323573	49.49098	52.49105
C2S	38.76321	22.42974025	23.19023	20.84776
C3A	8.003109	8.435758	8.412942	7.777952
C4AF	13.6645	13.583632	13.48453	13.56661
senyawa lain	5.498629	5.22729675	5.421328	5.316633

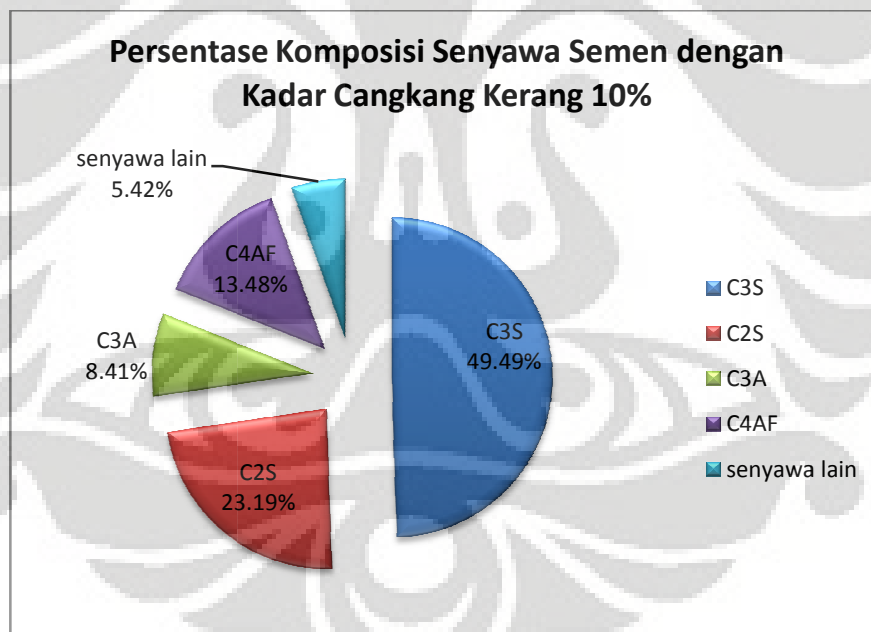
Berikut diagram persentase masing-masing kadar penggantian semen tersebut:

**Gambar IV. 5 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 0%**

..

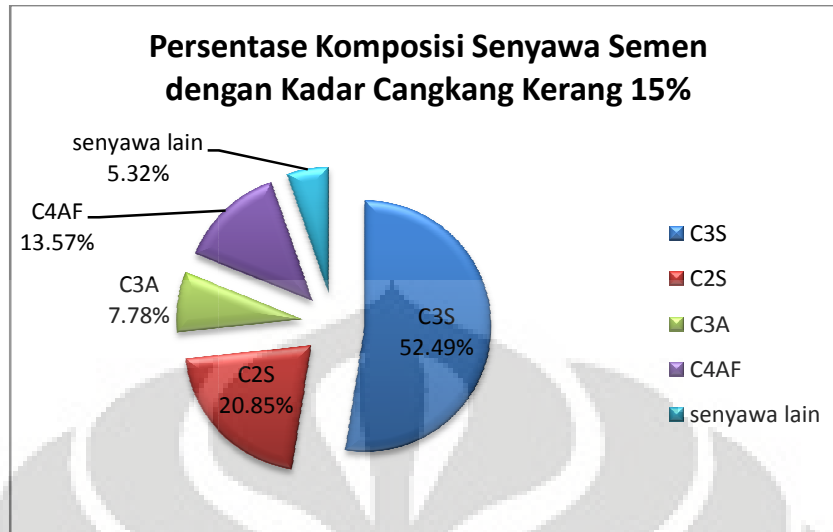


Gambar IV. 6 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 5%



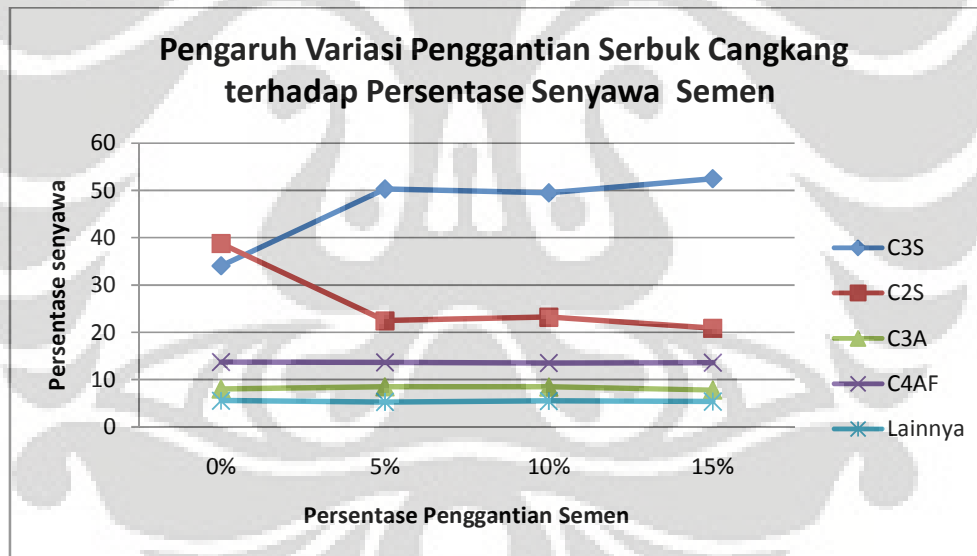
Gambar IV. 7 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 10%

..



Gambar IV. 8 Persentase kimia utama semen pada kadar kerang 15%

Dari keempat data tersebut, dapat dibuat grafik pengaruh penambahan serbuk cangkang kerang darah terhadap komposisi kimia utama semen.



Gambar IV. 9 Grafik perubahan senyawa utama semen pada 4 tipe campuran semen

Terlihat dari grafik, penggantian semen PCC dengan serbuk cangkang kerang darah memberikan kenaikan persentase senyawa $3CaO.SiO_2$ (C_3S) dan $2CaO.SiO_2$ (C_2S). Namun, dalam analisis lebih lanjut akan dijelaskan mengenai oksida CaO dan SiO_2 dalam serbuk cangkang kerang. Secara kimiawi, kedua

..

oksida tersebut tidak akan bereaksi dengan air ataupun menyatu dengan semen jika tidak dilakukan katalisasi.

Dari grafik memang terlihat adanya peningkatan kadar C_3S , namun tidak berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan beton. Hal ini dikarenakan secara rumus kimiawi memang mengandung senyawa C_3S , tetapi secara fisis belum dapat bereaksi karena tidak proses katalisasi sebelumnya. Dalam proses pembuatan semen, katalisasi terhadap oksida-oksida utama dilakukan melalui proses pembakaran sampai suhu $1400 - 1500$ °C. Oleh karenanya, pencampuran serbuk cangkang kerang dengan semen tidak akan bereaksi begitu saja dimana tidak ada pembakaran serbuk-serbuk tersebut (Drs. Sunardi, M.Sc, 3 Juli 2009, *personal interview*). Akibatnya, jika dilihat dari kekuatan tekan beton, penggantian semen dalam jumlah semakin besar akan menurunkan kekuatan beton tersebut.

Sehingga dapat disimpulkan dengan adanya penambahan kadar penggantian semen PCC dengan serbuk cangkang kerang darah akan mengurangi kandungan senyawa $3CaO.SiO_2$ dalam komposisi semen yang telah tercampur. Proses penggantian tersebut tidak memberikan pengaruh kenaikan kadar C_3S karena secara fisis belum dapat bereaksi seperti halnya semen dengan air.

IV.4 ANALISIS PERANCANGAN CAMPURAN BETON

Metode perancangan campuran beton adalah berdasarkan metode *US Beureu of Reclamation* seperti yang telah dijelaskan bab sebelumnya. Ketentuan jumlah material yang dibutuhkan tergantung dari data-data material yang telah didapat.

$$\begin{aligned} f_c' \text{ beton} &= 350 \text{ kg/cm}^2 & \text{bj semen} &= 3,15 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{MSA} &= 25 \text{ mm} & \text{bj. kerikil} &= 2,8 \text{ gr/cm}^3 \\ \text{Slump} &= 10 & \text{bj pasir} &= 2,3 \text{ gr/cm}^3 \\ & & \text{FM pasir} &= 2,48 \end{aligned}$$

Tabel IV. 7 Kebutuhan material berdasarkan ukuran *maksimum size aggregate*

MSA	Unit coarse agg cont by volume (%)	Entrapped air (%)	Sand percent S/a (%)	Water content (kg)	Air content (%)
25 mm (1")	66	1.5	41	175	5

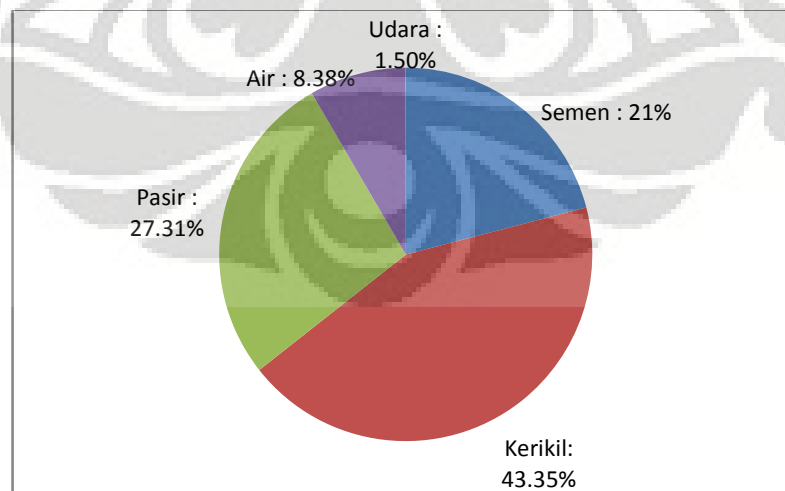
Beton yang digunakan pada konstruksi akan selalu mengandung udara (*entrapped air*) antara 0,5% sampai 2,5% yang besarnya tergantung dari ukuran agregat kasar maksimum. Udara yang terkandung dalam beton rencana adalah sebesar 1,5%, tergantung dari ukuran maksimum agregat.

Tabel IV. 8 Penyesuaian kebutuhan terhadap kondisi lainnya

Perubahan		S/Ca (%)	Water content (kg)
FM	berkurang	39,4	tetap
slump	bertambah	tetap	179,2
air content	tetap		
using crushed coarse agg	ya	43,4	191,2
using crushed sand	tidak	tetap	tetap
w/c ratio	tetap		
S/Ca	bertambah	tetap	194,8
Setelah perubahan		43,4	194,8

Tabel IV. 9 Kebutuhan material setelah penyesuaian

Material	SG (kg/m ³)	berat / m ³ beton
Semen	3150	487
Air	1000	194,8
Pasir	2300	634,8
Batu pecah	2800	1008
Udara		1,5%



Gambar IV. 10 Kebutuhan material per m³ beton

Dari diagram tersebut, terlihat kebutuhan total agregat mencapai 70% dari total volume beton.

IV.5 ANALISIS SUHU AWAL BETON SEGAR

Pengujian suhu awal beton segar dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan serbuk cangkang kerang darah terhadap suhu awal dari beton yang masih segar. Beton segar adalah campuran beton yang telah selesai diaduk sampai beberapa saat, karakteristiknya tidak berubah yaitu masih plastis dan belum terjadi pengikatan. Suhu awal beton merupakan salah satu karakteristik utama dari beton segar (*fresh concrete*). Pada kondisi dingin sangat mungkin menghasilkan beton dengan suhu awal beton segar berada di atas suhu lingkungan, begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan proses pencampuran air, semen, dan agregat.

Lebih lanjut, suhu beton segar ini akan mempengaruhi beberapa karakteristik teknis beton, seperti *workability*, *air content*, jumlah air, waktu *setting* dan laju pengerasan beton. Oleh karenanya, sangat penting pula menjaga suhu awal beton segar agar tetap berada dalam pengontrolan. Suhu awal beton segar standarnya adalah berkisar 8,5°C sampai 33,5°C.

Pengujian suhu beton segar dilakukan sesaat setelah pengadukan selesai, dimana beton siap dicetak. Pengukuran suhu dilakukan pada dua keadaan, yaitu pada saat berada dalam batching sebelum slump dan setelah berada dalam cetakan. Semua pengukuran suhu tersebut harus selesai dalam waktu tidak lebih dari 5 menit.



Gambar IV. 11 Pengujian suhu awal beton segar saat pengecoran

Pengujian suhu beton segar juga dipengaruhi oleh keadaan lingkungan sekitar. Data lingkungan tersebut mencakup waktu, suhu dan kelembaban, serta cuaca lingkungan.

➤ **Tipe 0%**

Tabel IV. 10 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 0%

tanggal	22-4-09		batching 1	batching 2	
waktu	11:10	suhu	point 1	28,5	28,3
suhu	32,1		point 2	28,1	28,4
kelembaban	66%		point 3	28	28,5
cuaca	terik		point 4	27,9	28,5
			point 5	27,9	28,6
			Rata-rata	28,08	28,46
			cetakan silinder 15 X 30	28,1	28,1

Suhu: 1. Batching = 28,27
2. Cetakan = 28,1

➤ **Tipe 5%**

Tabel IV. 10 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 5%

tanggal	25-4-09		batching 1	batching 2	
waktu	13:00	suhu	point 1	30,3	30,3
suhu	32,4		point 2	30,4	30,3
kelembaban	51%		point 3	30,3	30,4
cuaca	terik		point 4	30,4	30,4
			point 5	30,4	30,4
			Rata-rata	30,36	30,36
			cetakan silinder 15 X 30	30,5	30,5

Suhu: 1. Batching = 30,36
2. Cetakan = 30,5

➤ **Tipe 10%**

Tabel IV. 11 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 10%

tanggal	27-4-09		
waktu	14:10		
suhu	29.8		
kelembaban	77%		
cuaca	mendung		

		batching 1	batching 2
suhu	point 1	28.7	28.6
	point 2	28.7	28.6
	point 3	28.8	28.5
	point 4	28.8	28.6
	point 5	28.8	28.6
Rata-rata		28.76	28.58

cetakan silinder 15 X 30	28.6	28.5
--------------------------	------	------

Suhu: 1. Batching = 28,67
2. Cetakan = 28.55

➤ **Tipe 15%**

Tabel IV. 13 Data lingkungan dan pencatatan suhu beton segar tipe 15%

tanggal	29-4-09				
waktu	16:10				
suhu	30,2				
kelembaban	75%				
cuaca	berawan				

		batching 1	batching 2	batching 3	batching 4
suhu	point 1	30	30,1	30	30,4
	point 2	30	30,2	30,1	30,5
	point 3	30,1	30,2	30,1	30,5
	point 4	30	30,1	30,1	30,5
	point 5	30,1	30,2	30,2	30,5

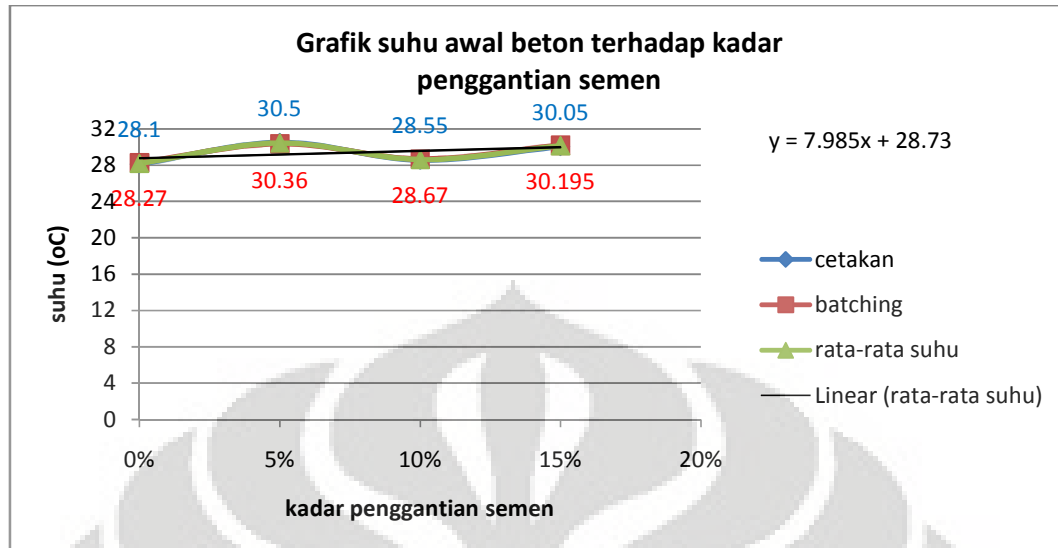
cetakan silinder 15 X 30	30	30,1
--------------------------	----	------

Suhu: 1. Batching = 30,2
2. Cetakan = 30,05

Suhu rata-rata

Tabel IV. 14 Suhu rata-rata beton segar hasil pengujian

sample	T lingk	batching			cetakan		
		T	ΔT thd 0%	% ΔT lingk	T	ΔT thd 0%	% ΔT lingk
0%	32.1	28.27	0	11.931	28.1	0	12.461
5%	32.4	30.36	2.09	6.296	30.5	2.4	5.864
10%	29.8	28.67	0.4	3.792	28.55	0.45	4.195
15%	30.2	30.195	1.925	0.017	30.05	1.95	0.497



Gambar IV. 12 Grafik suhu beton segar terhadap persentase campuran semen

Pencatatan suhu saat berada dalam batching dengan dalam cetakan dibedakan. Secara umum, terjadi peningkatan suhu awal beton seiring dengan penambahan kadar penggantian semen. Namun perbedaan suhu tersebut sangat kecil, dimana maksimum perbedaan suhu hanya sebesar 2,09 °C dan 2,4 °C. Terlihat, dari grafik pula terjadi peningkatan suhu awal beton segar. Peningkatan suhu terendah terjadi saat kadar penggantian sebesar 10%, yakni sebesar 0,4°C dan 0,45 °C terhadap beton semen normal. Perbedaan suhu beton dengan suhu lingkungan saat pengecoran maksimum sebesar 11,93% dan 12,46% pada kadar penggantian semen 0%. Tetapi, persentase perbedaan suhu tersebut cenderung turun sampai 0,017% dan 0,497% pada kadar penggantian 15%.

Pengaruh reaksi hidrasi semen dengan air tidak berpengaruh terhadap keadaan suhu awal beton segar. Panas yang ditimbulkan akibat reaksi tersebut terjadi pada 3 jam sampai 8 jam pertama setelah pengecoran. Adapun penurunan suhu pada kadar 10% terhadap kadar penggantian 5% lebih dikarenakan oleh kondisi lingkungan, dimana cuaca pada saat pengukuran suhu kadar penggantian 10% mendung. Begitu pula pada saat penggantian sebesar 15%, dimana kondisi lingkungan saat pengecoran berawan.

Terlihat dari grafik, penggantian semen dengan serbuk cangkang kerang darah sedikit mampu menaikkan suhu awal beton segar. Penggantian semen dengan serbuk cangkang kerang darah sedikit berpengaruh terhadap peningkatan suhu

awal beton segar. Dari literatur, dijelaskan karakteristik suhu agregat berpengaruh besar terhadap perubahan suhu beton segar. Nilai suhu saat dalam batching dan cetakan dirata-ratakan, kemudian ditarik garis linier terhadap perubahan suhu awal seperti pada grafik di atas, diperoleh persamaan kenaikan suhu $y = 7,985x + 28,73$. Dapat diketahui gradient persamaan yang positif, artinya suhu mengalami kenaikan meskipun kecil. Dari penjelasan di atas, kenaikan suhu lebih disebabkan karakteristik suhu material dan keadaan cuaca lingkungan saat pengukuran.

IV.6 ANALISIS SUSUT KERING BETON

Pada waktu panas hidrasi berlangsung, beton melepaskan panas dan air, dimana dapat diamati dengan naiknya suhu beton tersebut. Kenaikan suhu tersebut dapat menyebabkan susut, apalagi jika tidak dilakukan kontrol suhu dengan baik.

Susut yang diukur adalah perubahan panjang, peningkatan atau pengurangan dalam dimensi linear benda uji, diukur sepanjang sumbu longitudinal, tanpa adanya pembebanan. Pengujian susut dilakukan selama 56 hari. Pengujian dilakukan untuk memperoleh data tentang pengaruh semen dengan kadar penggantian serbuk cangkang kerang darah terhadap susut kering beton yang dibuat dengan semen tersebut. Perhitungan susut linear dari setiap benda uji dengan mengurangkan terhadap pembacaan angka pembanding awal dari pembacaan angka tiap harinya, dan dinyatakan dalam nilai penyusutan panjang dan persentase penyusutan tersebut tiap harinya.

Tabel IV. 15 Penyusutan panjang sampai umur 56 hari

umur (hari)	penyusutan panjang (ΔL)			
	0%	5%	10%	15%
1	0	0	0	0
2	5E-05	0	3.33333E-05	0
3	5E-05	3.33333E-05	3.33333E-05	6.66667E-05
4	5E-05	3.33333E-05	3.33333E-05	6.66667E-05
5	5E-05	3.33333E-05	3.33333E-05	6.66667E-05
6	5E-05	3.33333E-05	6.66667E-05	0.000133333
7	5E-05	3.33333E-05	0.000166667	0.000133333
8	0.0001	3.33333E-05	0.0002	0.000166667
9	0.0001	0.0001	0.0002	0.000233333
10	0.0001	0.0001	0.000233333	0.000233333

11	0.0001	0.0001	0.000266667	0.000233333
12	0.0001	0.0001	0.000333333	0.000266667
13	0.0001	0.000166667	0.000333333	0.000333333
14	0.0001	0.000166667	0.000333333	0.000333333
15	0.00015	0.0002	0.000366667	0.000366667
16	0.00015	0.0002	0.000366667	0.000433333
17	0.00015	0.0002	0.0004	0.000433333
18	0.0002	0.0002	0.0004	0.000433333
19	0.0002	0.000233333	0.0004	0.000433333
20	0.0002	0.0003	0.000466667	0.000433333
21	0.00025	0.000333333	0.000466667	0.000466667
22	0.00025	0.000366667	0.0005	0.0005
23	0.00025	0.000366667	0.000566667	0.0005
24	0.00025	0.0004	0.000566667	0.000533333
25	0.0003	0.0004	0.000566667	0.000533333
26	0.00035	0.000433333	0.000566667	0.000533333
27	0.00035	0.000433333	0.000566667	0.000533333
28	0.00035	0.000433333	0.0006	0.000533333
29	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000533333
30	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000533333
31	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
32	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
33	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
34	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
35	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
36	0.0004	0.000466667	0.000633333	0.000633333
37	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
38	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
39	0.00045	0.000466667	0.000666667	0.000633333
40	0.00045	0.000466667	0.000666667	0.000633333
41	0.00045	0.000466667	0.000666667	0.000633333
42	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
43	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
44	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
45	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
46	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
47	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
48	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
49	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
50	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
51	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
52	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
53	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333

54	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
55	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333
56	0.0004	0.000466667	0.000666667	0.000633333

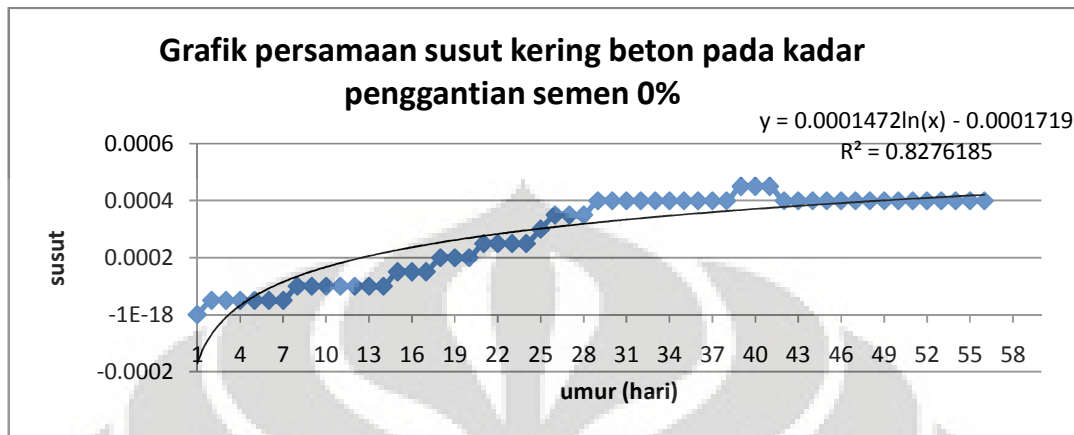
Tabel IV.16 Persentase pertambahan susut pada umur 56 hari

Tipe	Sampel	ΔL	ΔL rata-rata	% susut	% rata-rata	% pertambahan susut
0%	1	0.0004	0.0004	8E-05	8E-05	0
	2	0.0004		8E-05		
	3	0.001		0.0002		
5%	4	0.0005	0.00046667	1E-04	0.0000933	16.66666667
	5	0.0005		0.0001		
	6	0.0004		8E-05		
10%	7	0.0007	0.00066667	0.00014	0.00013333	66.66666667
	8	0.0006		0.00012		
	9	0.0007		0.00014		
15%	10	0.0006	0.00063333	0.00012	0.00012667	58.33333333
	11	0.0006		0.00012		
	12	0.0007		0.00014		

Data tidak diperhitungkan

Secara umum, peningkatan kadar penggantian semen meningkatkan susut beton. Terlihat pada umur beton 56 hari, susut beton maksimum adalah pada kadar penggantian semen 10%, yakni sebesar 667×10^{-6} atau 66,67% lebih besar dari susut pada beton normal. Fungsi perubahan panjang longitudinal beton terhadap waktu dapat dimodelkan menjadi persamaan logaritmik. Berikut persamaan pada tiap kadar penggantian.

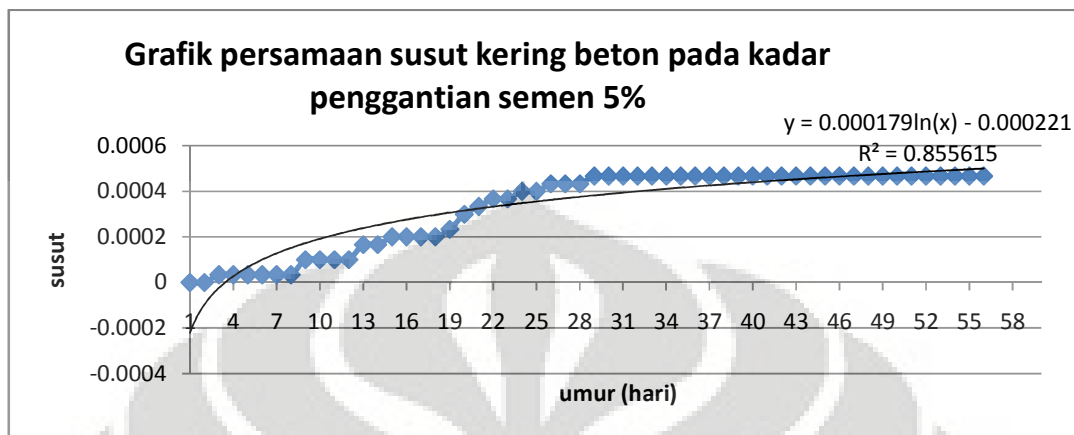
IV.6.1 Susut kering pada kadar penggantian 0%



Gambar IV. 13 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 0%

Pada kadar penggantian 0%, terjadi peningkatan susut secara cepat terutama pada umur-umur awal. Dari grafik terlihat susut yang terjadi terus membesar sampai berumur 30 hari. Setelahnya, hingga 56 hari panjang longitudinal beton tidak berubah atau cenderung tetap. Penyusutan beton hingga umur 56 hari sebesar 400×10^{-6} . Dalam metode pengujian ASTM C 157 diberikan toleransi terhadap suhu ruang $\pm 1^\circ\text{C}$ dan terhadap kelembaban relatif $\pm 4\%$ yang dianggap memuaskan untuk operasi sehari-hari. Jika mengacu pada toleransi tersebut, perbedaan suhu dan kelembaban pada saat pengukuran masing-masing sebesar $0,5^\circ\text{C}$ dan 1% masih merupakan data yang baik dan memuaskan. Adanya kenaikan angka susut pada umur 39, 40 dan 41 hari lebih disebabkan oleh keadaan peralatan dan pengukuran yang tidak teliti. Persamaan regresi untuk permodelan grafik tersebut adalah $y = 0.0001472\ln(x) - 0.0001719$.

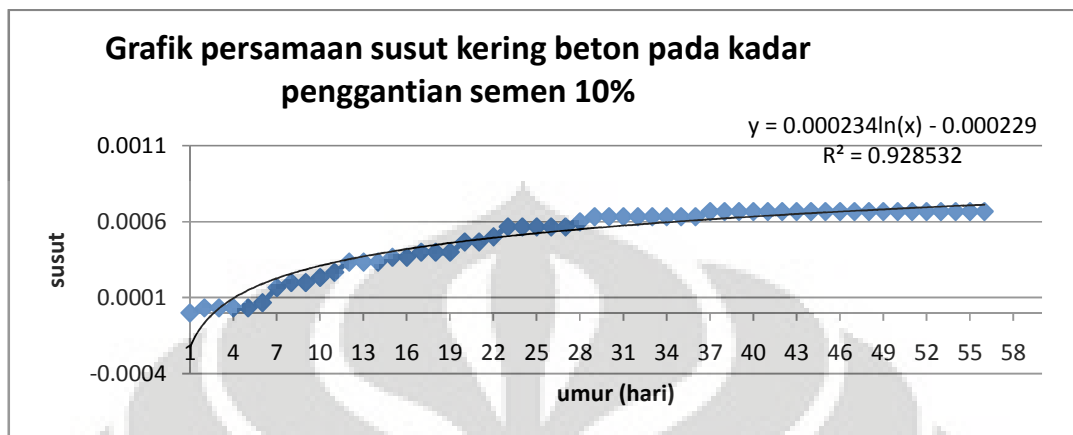
IV.6.2 Susut kering pada kadar penggantian 5%



Gambar IV. 14 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 5%

Pada kadar penggantian 5%, terjadi peningkatan susut secara besar terutama pada umur-umur awal. Dari grafik terlihat susut yang terjadi terus membesar sampai berumur 29 hari. Setelahnya, hingga 56 hari panjang longitudinal beton tidak berubah. Penyusutan beton hingga umur 56 hari sebesar 466×10^{-6} . Dalam metode pengujian ASTM C 157 diberikan toleransi terhadap suhu ruang $\pm 1^\circ\text{C}$ dan terhadap kelembaban relatif $\pm 4\%$ yang dianggap memuaskan untuk operasi sehari-hari. Jika mengacu pada toleransi tersebut, perbedaan suhu dan kelembaban pada saat pengukuran tiap harinya masing-masing sebesar $0,5^\circ\text{C}$ dan 1% , masih merupakan data yang baik dan memuaskan. Persamaan regresi untuk permodelan grafik tersebut adalah $y = 0.000179\ln(x) - 0.000221$. Terlihat dari persamaan tersebut perubahan susut beton lebih baik dari kadar penggantian semen 0%. Dapat diketahui dimana nilai $R^2 = 0,856$ lebih besar dari sebelumnya dan semakin mendekati 1.

IV.6.3 Susut kering pada kadar penggantian 10%

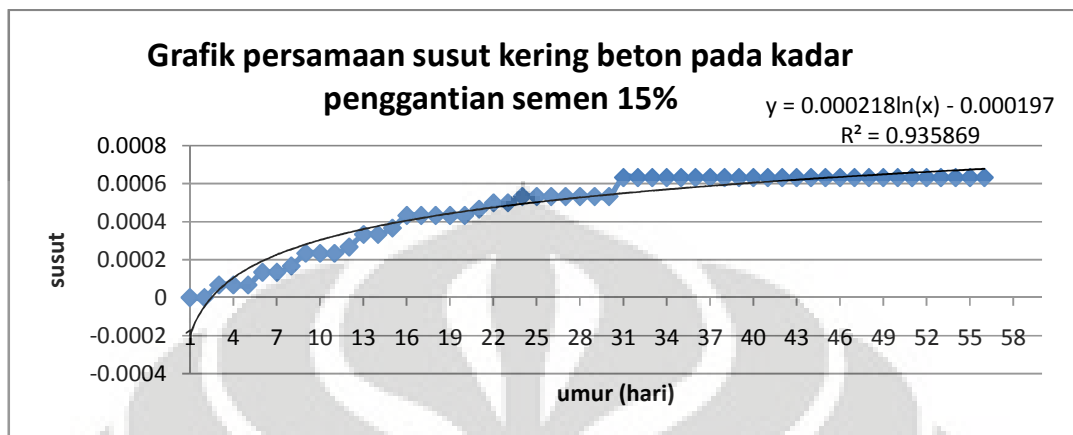


Gambar IV. 15 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 10%

Pada kadar penggantian 10%, terjadi peningkatan susut secara besar terutama pada umur-umur awal. Dari grafik terlihat susut yang terjadi terus membesar sampai berumur 29 hari. Setelahnya, hingga 56 hari panjang longitudinal beton tidak berubah. Penyusutan beton hingga umur 56 hari sebesar 667×10^{-6} . Dalam metode pengujian ASTM C 157 diberikan toleransi terhadap suhu ruang $\pm 1^\circ\text{C}$ dan terhadap kelembaban relatif $\pm 4\%$ yang dianggap memuaskan untuk operasi sehari-hari. Jika mengacu pada toleransi tersebut, perbedaan suhu dan kelembaban pada saat pengukuran tiap harinya masing-masing sebesar $0,5^\circ\text{C}$ dan 1% , masih merupakan data yang baik dan memuaskan. Persamaan regresi untuk permodelan grafik tersebut adalah $y = 0.000234\ln(x) - 0.000229$.

Persamaan permodelan nilai susut kering beton terhadap waktu untuk kadar 10% sudah dapat didekati dengan baik melalui persamaan *logaritmik* tersebut, dimana diperoleh nilai $R^2 = 0,928$ yang mendekati 1. Hal ini berarti data susut dan penyusutan beton terkontrol dengan baik. Berbeda dengan dua kadar penggantian semen sebelumnya, permodelan dengan persamaan *logaritmik* pada kadar penggantian semen 10% memberikan nilai R^2 yang lebih baik.

IV.6.4 Susut kering pada kadar penggantian 15%



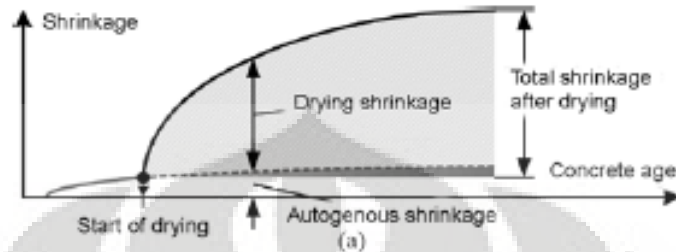
Gambar IV. 16 Plot persamaan susut kering beton pada kadar penggantian 15%

Pada kadar penggantian 5%, terjadi peningkatan susut secara besar terutama pada umur-umur awal. Dari grafik terlihat susut yang terjadi terus membesar sampai berumur 29 hari. Setelahnya, hingga 56 hari panjang longitudinal beton tidak berubah. Penyusutan beton hingga umur 56 hari sebesar 633×10^{-6} . Dalam metode pengujian ASTM C 157 diberikan toleransi terhadap suhu ruang $\pm 1^\circ\text{C}$ dan terhadap kelembaban relatif $\pm 4\%$ yang dianggap memuaskan untuk operasi sehari-hari. Jika mengacu pada toleransi tersebut, perbedaan suhu dan kelembaban pada saat pengukuran tiap harinya masing-masing sebesar $0,5^\circ\text{C}$ dan 1% , masih merupakan data yang baik dan memuaskan. Persamaan regresi untuk permodelan grafik tersebut adalah $y = 0.000218\ln(x) - 0.000197$.

Persamaan permodelan nilai susut kering beton terhadap waktu untuk kadar 15% sudah dapat didekati dengan baik melalui persamaan *logaitmik* seperti grafik di atas, terlihat dari nilai $R^2 = 0,936$ yang mendekati 1. Hal ini berarti data susut dan penyusutan beton terkontrol dengan baik. Berarti pula perawatan beton selama periode pengujian berjalan dengan baik.

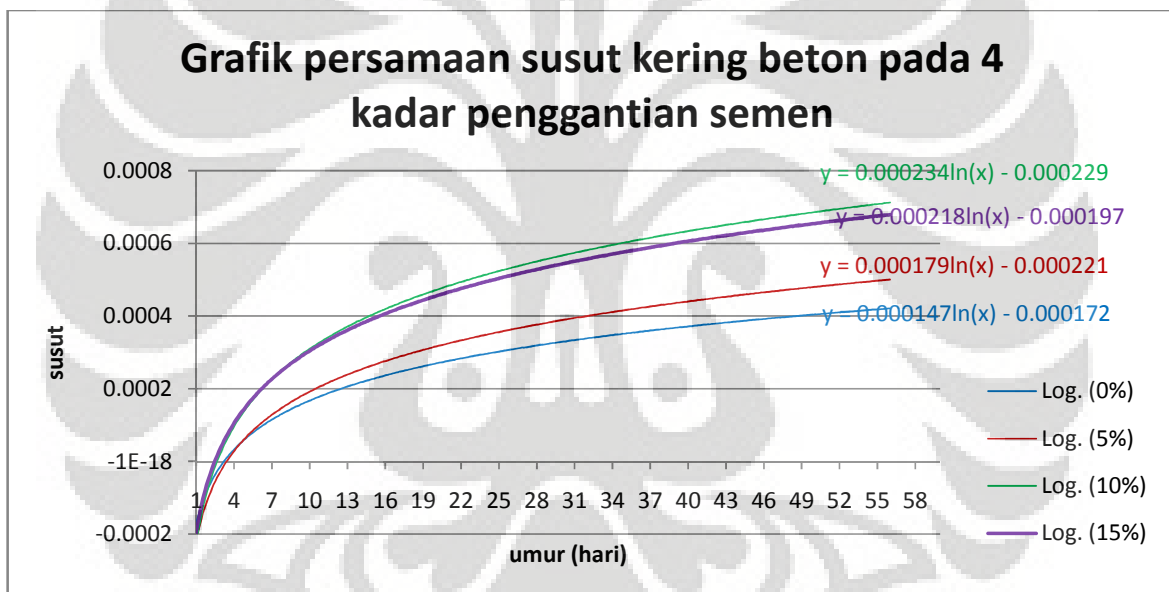
Secara umum, penyusutan kering pada masa awal beton tidak stabil. Hal ini dikarenakan masih adanya pengaruh penyusutan akibat kehilangan air melalui pori-pori beton selama proses hidrasi (*autogenous shrinkage*) dan akibat pengaruh reaksi kimia produk hidrasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan CO_2 di udara (*carbonation*

shrinkage). Namun, setelah beton mengeras selama rata-rata 7 hari seperti terlihat pada grafik-grafik di atas, susut beton sudah mulai terlihat stabil. Ditandai dengan data-data pembacaan dial yang menyatakan susut beton terjadi.



Gambar IV. 17 Hubungan autogenous shrinkage dengan drying shrinkage

(Journal of Civil Engineering and Management, 2008: 14(1): 49 – 60)



Gambar IV. 18 Grafik perubahan susut pada umur 56 hari untuk empat tipe semen

Sifat penyusutan beton akan sangat berpengaruh pada beton massal, dimana lebih disebabkan oleh berkurangnya kandungan air dan suhu lingkungan sekitar. Dalam penelitian ini, susut yang diamati dan dianalisis termasuk ke dalam tipe susut kering. Susut kering beton diakibatkan oleh kondisi suhu, kelembaban relatif dan laju penguapan lingkungan sekitar. Kondisi-kondisi tersebut cenderung menyebabkan penambahan atau pengurangan panjang selama periode penyimpanan benda uji dalam lingkungan tertentu dan terjadi pula sejumlah proses seperti hidrasi semen dengan laju beragam (Ruang lingkup penelitian susut

kering dalam SNI 03-6823-2002). Nilai maksimum susut beton pada umur 56 hari terjadi pada beton dengan kadar penggantian semen sebesar 10%. Tetapi, secara umum terlihat adanya kenaikan nilai susut pada kadar penggantian semen yang lebih besar.

Khusus pada penelitian ini, berdasarkan data dan pembahasan diatas, susut kering beton diakibatkan oleh pergerakan dan kehilangan air akibat penekanan ke luar melalui pori-pori kapilaritas beton, dikarenakan kelembaban internal beton cenderung seragam dan lebih tinggi sedangkan kelembaban lingkungan luar lebih rendah. Akibatnya, pergerakan air cenderung menekan ke luar dan kehilangan air terjadi dibarengi dengan penyusutan volume beton. Derajat kekasaran semen yang masih besar, dimana serbuk cangkang kerang hanya lolos ukuran saringan 150 μm , tidak semua ruang dalam beton terisi dengan baik. Akibatnya, banyak pula air yang terperangkap dalam beton yang berpotensi menyebabkan kehilangan air melalui pori-pori yang ada.

Faktor lainnya adalah nilai absorpsi agregat, terutama pasir yang sangat besar, yakni 8,6% menyebabkan air dalam beton terserap banyak oleh pasir. Akibatnya beton mengalami kehilangan volume air dalam jumlah banyak, yang menyebabkan pula perubahan volume beton yang diwakili oleh penyusutan pada panjang longitudinal beton.

Dalam literatur disebutkan C_3S menyebabkan reaksi hidrasi yang lebih cepat. Dalam proses tersebut juga terjadi pelepasan kalor, akibatnya terjadi penguapan air. Adanya kehilangan air tersebut menyebabkan susut menjadi lebih besar (Neville, 1995). Tingkat kehalusan semen juga berpengaruh terhadap susut beton. Berkurangnya tingkat kehalusan semen, menyebabkan semakin besar pula susut beton yang terjadi (Troxell, George Earl dkk. 1968, hal 297). Oleh karenanya dengan kadar penggantian semen yang lebih besar menyebabkan susut yang lebih besar pula.

Tabel IV. 17 Susut pada umur 56 hari

Tipe	ΔL rata-rata	% penambahan susut
0%	0.0004	0
5%	0.0004667	16.6666667
10%	0.0006667	66.6666667
15%	0.0006333	58.3333333

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

1. Adanya penambahan kadar penggantian semen PCC dengan serbuk cangkang kerang darah akan mengurangi kandungan senyawa $3CaO.SiO_2$ dalam komposisi semen yang telah tercampur. Proses penggantian tersebut tidak memberikan pengaruh kenaikan kadar C_3S karena secara fisis belum dapat bereaksi seperti halnya semen dengan air.
2. Penggantian semen dengan serbuk cangkang kerang darah tidak berpengaruh terhadap peningkatan suhu awal beton segar. Kenaikan suhu awal beton segar lebih dipengaruhi oleh karakteristik material yang digunakan, terutama sekali agregat dan kondisi lingkungan saat pengecoran.
3. Tingkat kehalusan semen berpengaruh terhadap susut beton. Semakin kasar semen menyebabkan semakin besar pula susut beton yang terjadi. Oleh karenanya, dengan kadar penggantian semen yang lebih besar menyebabkan susut yang lebih besar pula.
4. Derajat kekasaran semen yang masih besar, dimana serbuk cangkang kerang hanya lolos ukuran $150 \mu m$, tidak semua ruang dalam beton terisi dengan baik. Akibatnya, banyak pula air yang terperangkap dalam beton yang berpotensi menyebabkan kehilangan air melalui pori-pori yang ada.
5. Pergerakan dan kehilangan air akibat penekanan ke luar melalui pori-pori kapilaritas beton, dikarenakan kelembaban internal beton cenderung seragam sedangkan kelembaban lingkungan luar lebih rendah. Akibatnya, pergerakan air cenderung menekan ke luar dan kehilangan air terjadi dibarengi dengan penyusutan volume beton yang diwakili oleh berkurangnya panjang longitudinal beton.

V.2 SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian terhadap perilaku beton dengan cangkang kerang tersebut yang sebelumnya dibakar.
2. Pembakaran terhadap serbuk cangkang kerang dilakukan sampai suhu 1400°C – 1500°C seperti pada pembakaran semen PCC. Pembakaran sampai tingkat suhu tersebut adalah agar serbuk cangkang kerang yang digunakan sebagai pengganti semen bersifat reaktif seperti halnya semen.
3. Perlu dilakukan penelitian terhadap perilaku beton dengan serbuk cangkang kerang tersebut memiliki kehalusan dengan ukuran butiran yang lolos saringan No. 200 ASTM. Hal ini sangatlah penting untuk mengetahui pengaruh kehalusan semen terhadap kenaikan kekuatan beton.

Diharapkan dari kesimpulan dan saran tersebut di atas, dapat memberikan pemahaman yang lebih baik dan mampu menumbuhkan ide-ide lainnya, terutama terkait dengan teknologi material beton.

DAFTAR ACUAN

Heidi Duma, Skripsi: *Karakteristik Beton dengan Agregat Daur Ulang*, FTUI, 2008

Journal of Civil Engineering and Management, Shrinkage In Reinforced Concrete Structures: A Computational Aspect. 2008: 14(1): 49 – 60

Neville, A. M, 1995. *Properties of Concrete*, 4th edition, Longman Group Ltd, England

Standar Nasional Indonesia 03-6823-2002. *Metode pengujian susut kering mortar yang mengandung semen Portland*.

Standar Nasional Indonesia 03-4807-1998. *Metode pengujian suhu beton segar*

Troxell, George Earl dkk. *Composition and Properties of Concrete*, 2nd edition, Mc Graw Hill, New York, USA

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

Van Vlack, 1986. *Ilmu dan Teknologi Bahan, Terjemahan*. Jakarta. Penerbit Erlangga: Jakarta

<http://www.concretenetwork.com>

<http://www.seashellhub.com/Arcidae.html>

<http://www.itis.gov>: [ITIS]. 2003. *Andara*.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards* 2005:, Vol .04.02, *Concrete and Aggregates*, Philadelphia.
- Arif K Yuris, Skripsi: *Karakteristik kuat lentur dan susut beton dengan Portland Composite Cements*, FTUI, 2008
- Badan Standarisasi Nasional, *Handbook Standar Nasional Indonesia*, 2008.
- Bowes, William H., Russel, Leslie T., dan Suter, Gerhard T. 1984. *Mechanics of Engineering Materials*. USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Heddy Rohandi Agah, Diktat Mata Kuliah: *Properti Material*, Departemen Teknik Sipil, FTUI: Depok
- Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* Vol 10, No. 1, Januari 2006
- Journal of Civil Engineering and Management, Shrinkage In Reinforced Concrete Structures: A Computational Aspect*. 2008: 14(1): 49 – 60
- Kliger, Paul dan Joseph F. Lamond, editors. 1994. *Significance of test and properties of concrete amd concrete-making materials*. Philadelphia, US.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- Nawy, Edward G. 1990. *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach, Terjemahan*. PT Eresco. Bandung
- Neville, A. M, 1995. *Properties of Concrete*, 4th edition, Longman Group Ltd, England
- Neville, A. M dan J.J Brooks. 1987. *Concrete Technology*. Singapore. Longman Scientific and Technical, Longman Group Ltd.
- Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton, Laboratorium Struktur dan Material*, Departemen Teknik Sipil, FTUI: Depok
- Popovics, Sandor. 1982. *Fundamentals of Portland Cement Concrete*, Volume 1. A Wiley-Interscience publications, USA.

Ropke, John C. 1982. *Concrete Problems, Causes and Cures*. Mc Graw Hill Comp, New York, USA

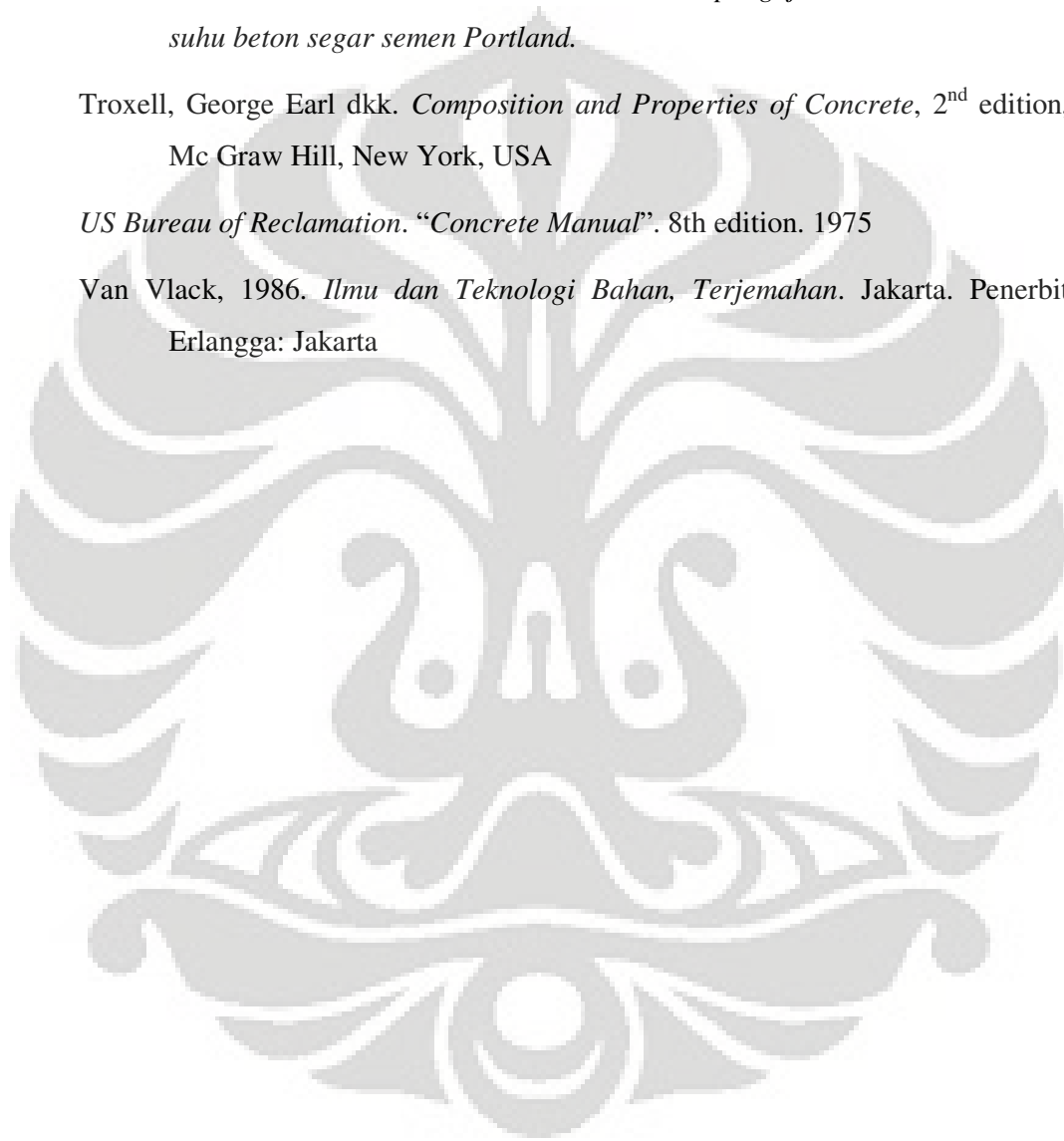
Standar Nasional Indonesia 03-6823-2002. *Metode pengujian susut kering mortar yang mengandung semen Portland*.

Standar Nasional Indonesia 03-4807-1998. *Metode pengujian untuk menentukan suhu beton segar semen Portland*.

Troxell, George Earl dkk. *Composition and Properties of Concrete*, 2nd edition, Mc Graw Hill, New York, USA

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

Van Vlack, 1986. *Ilmu dan Teknologi Bahan, Terjemahan*. Jakarta. Penerbit Erlangga: Jakarta



LAMPIRAN A-1
Analisa *Specific Gravity* & Absorpsi Agregat Halus
(ASTM C 128)

Sampel : Agregat Halus
 Sumber : Pasir Cimangkok

Sample	I	II	III	
berat pasir awal	500	500	500	Rata2
berat piknometer + benda uji + air (C)	947	930	953	
berat piknometer + air (B)	669	647	667	
berat benda uji setelah oven (A)	457	461	463	
BJ curah (bulk)	2.06	2.12	2.16	2.12
BJ SSD	2.25	2.3	2.34	2.30
BJ Semu (apparent)	2.55	2.59	2.62	2.59
Absorpsi	0.094	0.085	0.08	8.6 %

LAMPIRAN A-2
Pemeriksaan Berat Isi & Rongga Udara Agregat Halus
(ASTM C 29)

Sampel : Agregat Halus
Sumber : Pasir Cimangkok

Kondisi	Lepas	Penusukan	Penggoyangan
berat wadah (kg)	1.044	1.044	1.044
wadah + air (kg)	3.044	3.044	3.044
wadah + pasir (kg)	3.496	3.759	3.848
berat sample (kg)	2.452	2.715	2.804
volume wadah (L)	2	2	2
berat isi agregat (kg/L)	1.226	1.3575	1.402

LAMPIRAN A-3
Pemeriksaan Bahan Lewat Saringan No.200
(ASTM C 117)

Sampel : Agregat Halus
Sumber : Pasir Cimangkok

Kondisi	sample 1	sample 2	sample 3
berat awal	500	500	500
berat setelah oven	478	481	484
kadar lumpur (%)	4.4	3.8	3.2
Rata-rata	3.8 %		

LAMPIRAN A-4
Pemeriksaan Kotoran Organik Agregat Halus
(ASTM C 40)

Sampel : Agregat Halus
Sumber : Pasir Cimangkok

Warna terdekat dari sampel	<i>Organic Plate Number</i>
<i>Lighter / Equal / Darker Colour to</i>	1
	2
	3 (Standard)
	4
	5

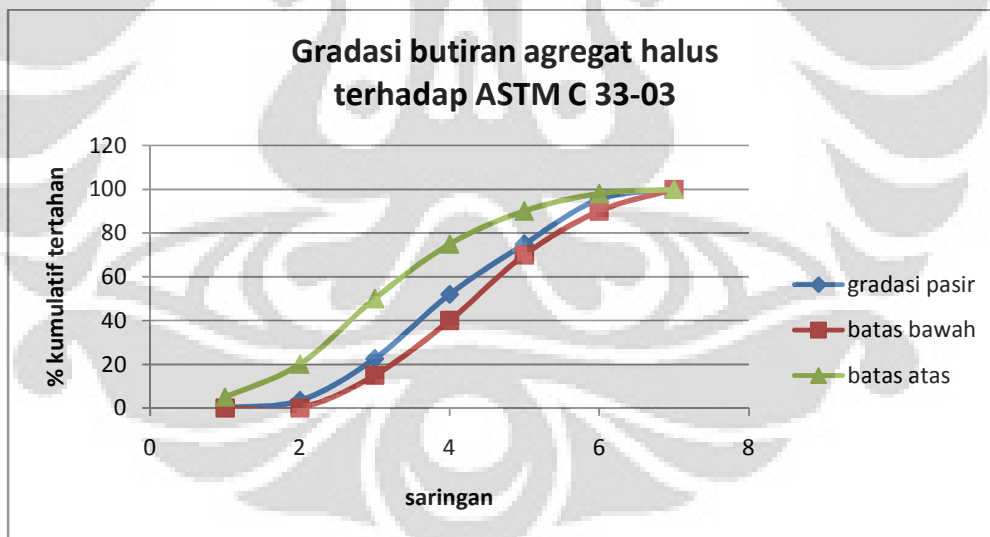


LAMPIRAN A-5
Analisa Saringan Agregat Halus
(ASTM C 136)

Sampel : Agregat Halus
Sumber : Pasir Cimangkok

Saringan		sampel 1			sampel 2		
No	mm	Berat tertahan (gr)	% RET	CUM % RET	Berat tertahan (gr)	% RET	CUM % RET
8	2.36	18	3.6	3.6	16	3.2	3.2
16	1.18	91	18.2	21.8	98	19.6	22.8
30	0.	142	28.4	50.2	150	30	52.8
50	0.3	114	22.8	73	113	22.6	75.4
100	0.15	101	20.2	93.2	102	20.4	95.8
pan		34	6.8	100	21	4.2	100
Total		500	100		500	100	
FM		2.44			2.52		

FM = 2,48



LAMPIRAN B-1

Analisa *Specific Gravity & Absorpsi Agregat Kasar*
(ASTM C 127)

Sampel : Agregat Kasar
Sumber : Batu Pecah, *PT Adhimix Precast Indonesia*

Agregat kasar adhimix	sample 1	sample 2	
berat dalam SSD (B)	5000	5000	Rata2
Berat dalam air (C)	3215	3211	
Berat setelah di oven (A)	4733	4729	
SG bulk	2.65	2.64	2.65
SG SSD	2.80	2.79	2.80
SG apparent	3.12	3.12	3.12
% absorpsi	0.056	0.057	5.7 %

LAMPIRAN B-2

**Pemeriksaan Berat Isi & Rongga Udara Agregat Kasar
(ASTM C 29)**

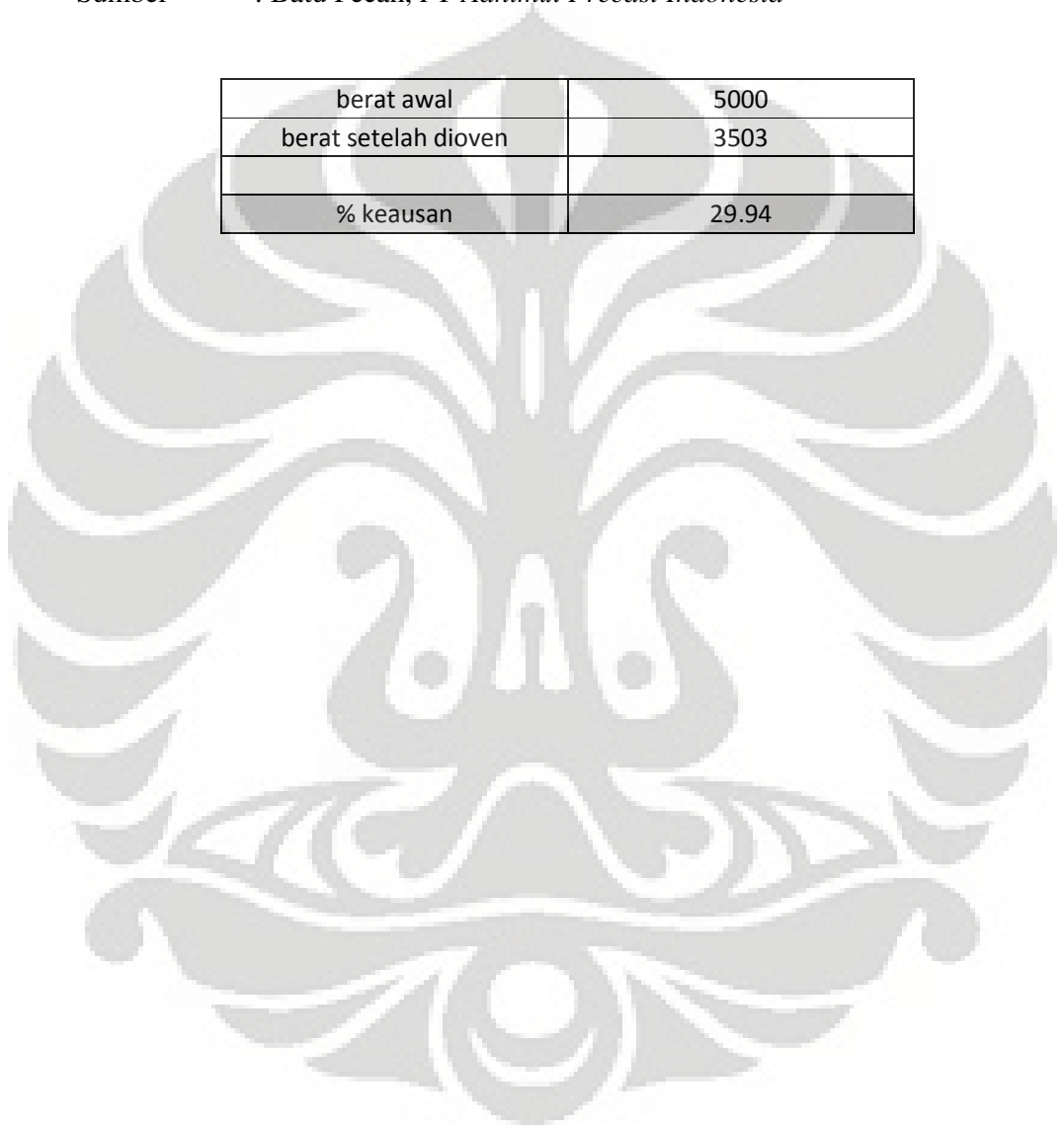
Sampel : Agregat Kasar
Sumber : Batu Pecah, *PT Adhimix Precast Indonesia*

	Lepas	Penusukan	Penggoyangan	Satuan
Berat Wadah	5.089	5.089	5.089	kg
Berat Wadah+Sampel	17.87	19.16	18.82	kg
Berat Sampel	12.781	14.071	13.731	kg
Volume Wadah	9.272	9.272	9.272	liter
Berat isi Agregat	1.38	1.52	1.48	kg/liter
Bulk Specific Agregat	2.65	2.65	2.65	kg/liter
Berat Isi Air	1	1	1	kg/liter
Rongga udara	47.98	42.73	44.12	%

LAMPIRAN B-3
Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar
(ASTM C 131)

Sampel : Agregat Kasar
Sumber : Batu Pecah, *PT Adhimix Precast Indonesia*

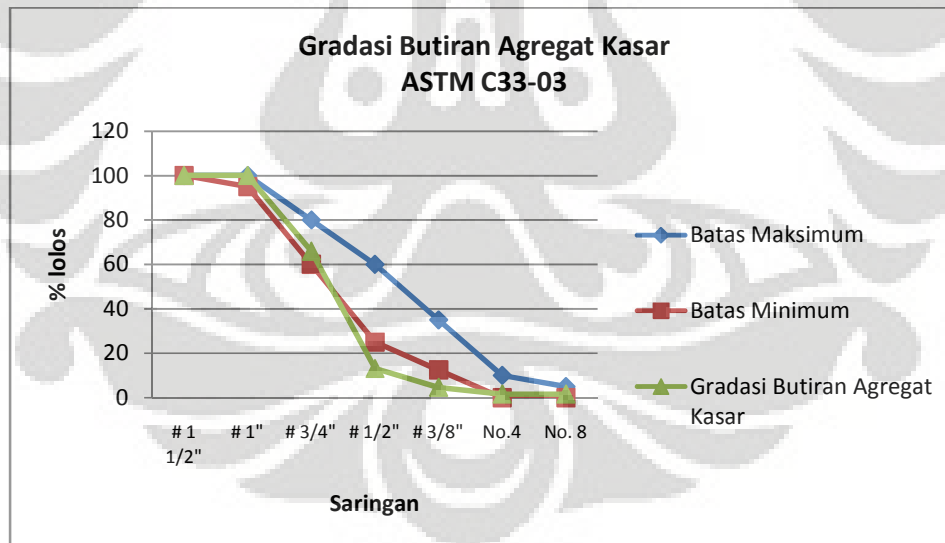
berat awal	5000
berat setelah dioven	3503
% keausan	29.94



LAMPIRAN B-4
Analisa Saringan Agregat Kasar
(ASTM C 136)

Sampel : Agregat Kasar
Sumber : Batu Pecah, *PT Adhimix Precast Indonesia*

Saringan	Berat tertahan (gr)	% tertahan	% kumulatif tertahan
1"	0	0	0
¾"	852	34.08	34.08
½"	1321	52.84	86.92
3/8"	212	8.48	95.4
No.4	76	3.04	98.44
No.8	0	0	98.44
Pan	39	1.56	100
<hr/>			
Total	2500	100	
FM	4.1328		



LAMPIRAN C
PERHITUNGAN RANCANG CAMPUR BETON
Metode US Beureu of Reclamation

f_c' beton = 350 kg/cm²

MSA = 25 mm

Slump = 10

bj semen = 3,15 gr/cm³

bj. kerikil = 2,8 gr/cm³

bj pasir = 2,3 gr/cm³

FM pasir = 2,48

MSA	Unit coarse agg cont by volume (%)	Entrapped air (%)	Sand percent S/a (%)	Water content (kg)	Air content (%)
25 mm (1")	66	1.5	41	175	5

Perubahan		S/Ca (%)	Water content (kg)
FM	berkurang	39,4	tetap
slump	bertambah	tetap	179,2
air content	tetap		
using crushed coarse agg	ya	43,4	191,2
using crushed sand	tidak	tetap	tetap
w/c ratio	tetap		
S/Ca	bertambah	tetap	194,8
Setelah perubahan		43,4	194,8

Material	SG (kg/m ³)	berat / m ³ beton
Semen	3150	487
Air	1000	194,8
Pasir	2300	634,8
Batu pecah	2800	1008
Udara		1,5%

LAMPIRAN D DOKUMENTASI

