



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT BETON SIAP PAKAI YANG MENGGUNAKAN
*FLY ASH***

SKRIPSI

**MARDIAH
0606072433**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JULI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI SUSUT BETON SIAP PAKAI YANG MENGGUNAKAN
*FLY ASH***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**MARDIAH
0606072433**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Mardiah

NPM : 0606072433

Tanda Tangan : *Mardiah*

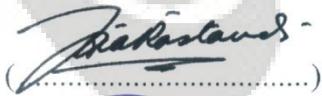
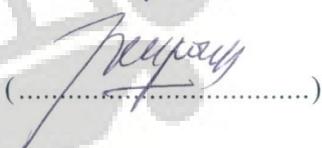
Tanggal : 08 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Mardiah
NPM : 0606072433
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Susut Beton Siap Pakai Yang Menggunakan
Fly Ash

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. -Ing Josia I. Rastandi, S.T, M.T ()
Pembimbing : Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D ()
Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA ()
Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 08 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, selama masa perkuliahan maupun dalam menyelesaikan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Ibu Ir. Essy Ariyuni, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Bapak Ir. Alan Marino, M.Sc., selaku pembimbing akademis;
- (4) Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA dan Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA., selaku Dosen Penguji Skripsi;
- (5) Seluruh pihak baik dari kontraktor maupun dari pihak *readymix* yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian;
- (6) Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA., selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia;
- (7) Seluruh dosen pengajar Sipil FTUI atas segala ilmu yang diberikan dan bimbingannya selama penulis kuliah di Departemen Sipil FTUI;
- (8) Seluruh staff Departemen Sipil FTUI yang telah memberikan segala informasi dan kemudahan kepada penulis selama kuliah dan proses pengajuan sidang skripsi ini;
- (9) Seluruh staff Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI yang telah membantu dan memberi saran kepada penulis dalam melakukan penelitian di Laboratorium;

- (10) Ayah, Ibu, kakak, adik dan seluruh keluarga tercinta atas doa dan dukungan berupa moril dan materil;
- (11) Teman seperjuangan Selly Aprianna dan Edward Yahya yang telah banyak membantu dalam penelitian yang dilakukan;
- (12) Teman-teman Departemen Teknik Sipil khususnya angkatan 2006 yang telah memberikan informasi dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
- (13) Sahabat-sahabat tersayang yang memberikan semangat serta keceriaan tersendiri bagi saya; serta
- (14) Pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini

Akhir kata, saya berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini menjadi salah satu dari sekian banyak skripsi yang dapat memberikan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam ilmu tentang Teknik Sipil.

Depok, Juli 2010

Penulis

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

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

Nama : Mardiah
NPM : 0606072433
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Fakultas Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Studi Susut Beton Siap Pakai Yang Menggunakan *Fly Ash*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengeloladalam 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 keaslian ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 08 Juli 2010

Yang menyatakan



(Mardiah)

ABSTRAK

Nama : Mardiah
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Susut Beton Siap Pakai Yang Menggunakan *Fly Ash*

Pada saat ini beton siap pakai sedang marak digunakan pada konstruksi bangunan. Seiring dengan perkembangan teknologi, beton siap pakai juga berkembang menggunakan material *fly ash* yang dapat digunakan sebagai bahan pereduksi semen. *Fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Selain ekonomis, penggunaan *fly ash* pada beton siap pakai juga dapat meningkatkan kekuatan beton pada usia lanjut dan menurunkan susut yang terjadi bahkan dapat mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan dari produksi semen. Namun, berdasarkan pengalaman dilapangan menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang banyak menimbulkan keretakan pada beton struktural yang mengindikasikan terjadinya susut beton yang lebih besar dari beton normal. Hal ini berkebalikan dengan pernyataan sebelumnya.

Beton yang diteliti merupakan beton siap pakai yang menggunakan *fly ash*. Kekuatan beton yang akan dipakai adalah f_c' 10 – 50 MPa dengan persentase *fly ash* yang digunakan 9% - 20%. Kemudian dilakukan pengujian susut selama lebih kurang 28 hari.

Berdasarkan, pengujian, diketahui bahwa besarnya persentase *fly ash* terhadap jumlah semen, perbandingan air semen, nilai slump, banyaknya air dari tiap-tiap sampel, dan kondisi luar seperti suhu dan kelembaban sangat mempengaruhi persentase susut beton.

Dari penelitian ini diperoleh bahwa beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* dengan persentase terhadap jumlah semen antara 9% - 20% memiliki persentase susut atau *strain* dari beton yang lebih kecil daripada beton normal pada usia 28 hari yang persentasenya bisa mencapai 0.035% - 0.041%.

Kata kunci:

Beton siap pakai, Fly ash, Susut beton

ABSTRACT

Name : Mardiah
Study Program : Civil Engineering
Title : The Study of Shrinkage from Ready Mix Concrete That
Used Fly Ash

Now ready mix concrete is very well known on construction of building. Along with technological development, ready mix concrete was also developed using fly ash material that can be used as ingredients in cement kilns. Fly ash is a coal combustion waste on the Steam Power Plant (Power Plant). Besides economic value, use of fly ash in ready mix concrete can also increase strength in the elderly and reduce shrinkage that occurs, even can reduce CO₂ emissions resulting from cement production. However, based on field experience shows that the use of fly ash causes a lot of cracks in structural concrete that indicate the occurrence of concrete shrinkage greater than normal concrete. This contrasts with the previous statement.

Concrete under study is a ready mix concrete using fly ash. Concrete strength will be used is f_c' 10 MPa - 50 MPa with the percentage of fly ash used in 9% - 20%. Then do the test more or less shrinkage during 28 days. Based testing, found that the percentages of fly ash on the amount of cement, water cement ratio, slump, amount of water from each sample, and external conditions such as temperature and humidity affect the percentage shrinkage of concrete.

From this study found that the ready mix concrete using fly ash with a percentage of total cement between 9% - 20% have a percentage of shrinkage or strain of concrete is smaller than normal concrete at the age of 28 days that the rates can reach 0035% - 0041%.

Key words:

Ready Mix Concrete, Fly Ash, Concrete Shrinkage

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
2. LANDASAN TEORI	5
2.1. Sejarah Beton	5
2.2. Material Penyusun Beton	6
2.2.1. Semen (<i>cement</i>).....	7
2.2.2. Air (<i>water</i>)	7
2.2.3. Agregat	7
2.2.4. Bahan Tambahan (<i>Admixture</i>)	10
2.3. Karakteristik Beton.....	12
2.3.1. Kelebihan dan Kekurangan Beton.....	12
2.3.2. <i>Workability</i>	13
2.3.3. Kuat Tekan Beton.....	15
2.3.4. Susut Beton	16
2.4. Semen (<i>Cement</i>)	16
2.4.1. Sejarah pembuata semen portland.....	16
2.4.2. Pembuatan semen	17
2.4.3. Senyawa utama semen portland	20
2.4.4. Jenis-jenis semen portland	20
2.5. Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	22
2.5.1. Alasan penggunaan <i>fly ash</i>	22
2.5.2. Pengertian <i>fly ash</i>	22
2.5.3. Pemanfaatan abu terbang	23
2.5.4. Properti material abu terbang	23
2.5.5. Proses hidrasi semen dan abu terbang	25
2.5.6. Efek penggunaan <i>fly ash</i> pada beton	26

2.6.	Susut Beton (<i>Shrinkage in Concrete</i>).....	28
2.6.1.	Definisi susut pada beton.....	28
2.6.2.	Mekanisme susut.....	28
2.6.3.	Faktor yang mempengaruhi susut.....	30
3.	METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1.	Penjelasan Penelitian.....	36
3.1.1.	Studi literatur.....	36
3.1.2.	Pengujian Bahan.....	36
3.1.3.	Bahan Penelitian.....	36
3.2.	Prosedur Penelitian.....	36
3.2.1.	Pengujian Slump Beton.....	36
3.2.2.	Percobaan Pengambilan dan Perawatan Sampel.....	38
3.2.3.	Pengujian Susut Beton.....	39
3.3.	Metode Pengolahan Hasil Data Analisis.....	41
4.	HASIL PENELITIAN.....	43
4.1.	Data Sampel Beton.....	43
4.2.	Pengambilan dan Perawatan Sampel.....	43
4.2.1.	Pengambilan Benda Uji.....	43
4.2.2.	Perawatan Sampel.....	44
4.3.	Analisa Susut Beton Teoritis.....	44
4.4.	Hasil dan Analisa Pengujian Susut Beton.....	45
4.4.1.	Hasil Pengujian Sampel A.....	45
4.4.2.	Hasil Pengujian Sampel B.....	47
4.4.3.	Hasil Pengujian Sampel C.....	50
4.4.4.	Hasil Pengujian Sampel D.....	53
4.4.5.	Hasil Pengujian Sampel E.....	54
4.4.6.	Hasil Pengujian Sampel Rata-rata.....	57
4.5.	Analisa Prediksi Susut Beton.....	59
4.5.1.	Analisa Sampel Beton A.....	59
4.5.2.	Analisa Sampel Beton B.....	61
4.5.3.	Analisa Sampel Beton C.....	62
4.5.4.	Analisa Sampel Beton D.....	63
4.5.5.	Analisa Sampel Beton E.....	64
4.5.6.	Analisa Sampel Beton Rata-rata.....	65
5.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1.	Kesimpulan.....	67
5.2.	Saran.....	68
	DAFTAR REFERENSI.....	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skematis proses pembuatan semen Portland	19
Gambar 2.2. Proses hidrasi semen	26
Gambar 2.3. Grafik regangan susut beton terhadap waktu.....	29
Gambar 2.4. Susut beton dengan perbedaan jumlah semen (pada suhu 20°C, kelembaban relatif 50%, dan kecepatan angin 2.25 mph) [A. M. Neville 1998:424]	30
Gambar 2.5. Pengaruh kadar agregat terhadap perbandingan susut beton terhadap susut pada pasta [G.Pichett, 1956].....	31
Gambar 2.6. Pengaruh konten agregat kasar terhadap susut beton	31
Gambar 2.7. Panas hidrasi yang ditimbulkan dari semen yang berbeda	32
Gambar 2.8. Susut pengeringan dan pengarbonasian pada kelembaban berbeda	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	35
Gambar 3.2. Pengujian slump beton	37
Gambar 3.3. <i>Length comparator</i>	40
Gambar 4.1. Grafik regangan susut beton terhadap waktu.....	45
Gambar 4.2. Grafik persentase susut beton proyek A ($f_c' 35$ MPa – fa 9%).....	46
Gambar 4.3. Grafik persentase susut beton proyek B (K400 – fa 20%)	47
Gambar 4.4. Grafik persentase susut beton B (koreksi)	49
Gambar 4.5. Grafik persentase susut beton C ($f_c' 30$ MPa – fa 15%)	50
Gambar 4.6. Grafik persentase susut beton C (koreksi).....	52
Gambar 4.7. Grafik persentase susut beton proyek D (K225 – fa 10%)	53
Gambar 4.8. Grafik persentase susut beton proyek E ($f_c' 35$ MPa – fa 9%).....	55
Gambar 4.9. Grafik persentase susut beton E (tanpa E-2).....	56
Gambar 4.10. Grafik persentase susut beton proyek A–E.....	58
Gambar 4.11. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton A	60
Gambar 4.12. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton B	61
Gambar 4.13. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton C	62
Gambar 4.14. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton D	63
Gambar 4.15. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton E.....	64
Gambar 4.16. <i>Trendline</i> dari persentase susut rata-rata beton.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Agregat berdasarkan bentuknya (telah diolah kembali).....	9
Tabel 2.2. Agregat berdasarkan tekstur permukaannya (telah diolah kembali)	10
Tabel 2.3. Senyawa utama semen Portland	20
Tabel 2.4. Persentase komposisi semen Portland	21
Tabel 2.5. Sifat fisik dan kimia	23
Tabel 2.6. <i>Typical chemical compounds (%) in pozzolans and portland cement</i>	24
Tabel 2.7. Perbedaan fly ash tipe F dan C	27
Tabel 4.1. Data sampel beton	43
Tabel 4.2. Hasil pengujian sampel beton di lapangan	44
Tabel 4.3. Persentase susut beton sampel A	45
Tabel 4.4. Persentase susut beton sampel B	47
Tabel 4.5. Persentase susut beton sampel B (setelah dilakukan penyesuaian)	49
Tabel 4.6. Persentase susut beton sampel C	50
Tabel 4.7. Persentase susut beton yang dikoreksi	51
Tabel 4.8. Persentase susut beton sampel C (koreksi)	52
Tabel 4.9. Persentase susut beton sampel D	53
Tabel 4.10. Persentase susut beton sampel E.....	54
Tabel 4.11. Persentase susut beton sampel E (tanpa E-2)	56
Tabel 4.12. Persentase susut beton rata-rata.....	57
Tabel 4.13. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek A ..	60
Tabel 4.14. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek B...	61
Tabel 4.15. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek C...	62
Tabel 4.16. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek D ..	63
Tabel 4.17. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek E...	64
Tabel 4.18. Persentase garis <i>trend</i> susut beton rata-rata.....	66

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Concrete Mix Design Data</i>	71
Lampiran 2. Foto-Foto	74
Lampiran 3. Hasil Pengujian Susut Beton.....	78



BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Dalam dunia konstruksi dewasa ini, beton merupakan salah satu material yang umum digunakan dalam struktur. Pada beton, kualitas semen mempengaruhi kualitas dari beton yang dihasilkan. Akan tetapi, beton bukan hanya mengenai semen melainkan juga material pendukung lain yang juga memiliki peran penting seperti agregat, air, serta terkadang bahan tambahan (*admixture*).

Seiring dengan perkembangan pengetahuan dan teknologi, maka pengetahuan mengenai material konstruksi juga semakin berkembang. Hal tersebut diikuti dengan kesadaran lingkungan yang semakin tinggi. Seperti yang diketahui, bahwa produksi semen memiliki andil yang cukup besar dalam menyumbang terjadinya pemanasan global akibat emisi gas CO₂ yang dihasilkan. Oleh karena itu, para *engineer* dan ilmuwan saat ini mengusahakan penggunaan suatu material ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan semen.

Abu terbang (*fly ash*) adalah residu dari pembakaran batu bara. Limbah ini banyak diproduksi oleh PLTU dengan kuantitas yang cukup banyak dan sifatnya membahayakan apabila kurang tepat penggunaannya, sehingga perlu dilakukan pemanfaatan *fly ash* lebih lanjut. *Fly ash* memiliki unsur penyusun semen yang tinggi dan memiliki sifat pizolan, yakni dapat bereaksi dengan kapur yang dilepaskan dari reaksi kimia antara semen dan air sehingga menghasilkan senyawa yang bersifat melekatkan. Hal itulah yang membuat *fly ash* terus dikembangkan sebagai salah satu material campuran beton, khususnya saat ini. Banyak perusahaan beton siap pakai (*readymix concrete*) yang memproduksi beton dengan campuran *fly ash* untuk mereduksi penggunaan semen.

Keuntungan dari penggunaan abu terbang (*fly ash*) tersebut antara lain dapat menurunkan biaya produksi mengingat harga semen yang mahal. Selain itu, dapat meningkatkan kekuatan beton pada usia lanjut, mampu memperkecil susut,

dapat mengurangi panas hidrasi, dan tentunya dapat mengurangi efek pemanasan global karena menggunakan beton yang ramah lingkungan.

Penggunaan beton siap pakai dengan campuran *fly ash* pada kondisi sebenarnya memang mengindikasikan terjadinya peningkatan mutu beton terutama pada usia beton lebih dari 28 hari. Akan tetapi, banyak dijumpai terjadinya retak pada beton bahkan sebelum dibebani meskipun mutu betonnya sudah dipenuhi. Keretakan beton ini mengindikasikan terjadinya susut yang besar pada beton. Susut merupakan perubahan volume pada beton akibat kehilangan air. Susut yang terjadi saat beton ditempatkan yakni susut plastis, atau akibat proses evaporasi air semen yang disebut susut pengeringan.

Uraian diatas merupakan dasar dari penelitian yang akan dilakukan, yakni melihat pengaruh susut dengan penambahan *fly ash* pada beton siap pakai.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Penambahan material abu terbang (*fly ash*) pada beton siap pakai sebagai bahan pereduksi semen akan mempengaruhi sifat susut beton. Abu terbang (*fly ash*) dikatakan dapat memperkecil susut yang terjadi pada beton. Namun kenyataannya dilapangan menunjukkan hal yang berkebalikan sehingga hipotesa dalam penelitian ini adalah bahwa *fly ash* dapat memperbesar susut beton.

Oleh karena itu, perlu diketahui besarnya pengaruh perubahan susut terhadap penambahan abu terbang (*fly ash*) pada beton siap pakai (*readymix concrete*).

1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh susut pada beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* serta membandingkan susut yang terjadi dengan literatur susut yang terjadi pada beton normal.

1.4. BATASAN MASALAH

Batasan permasalahan yang diangkat adalah penelitian yang dilaksanakan adalah pengaruh sifat susut pada beton dengan campuran abu terbang (*fly ash*) apabila dibandingkan dengan susut pada beton normal.

Beton yang dijadikan sampel adalah beton siap pakai dengan mutu antara 18 MPa – 40 MPa dan dengan campuran *fly ash* antara 9% - 20%.

Pengambilan beton tersebut dilaksanakan pada saat pengecoran suatu struktur tertentu di suatu proyek. Hasil dari pembacaan susut beton akan disajikan dalam bentuk grafik antara perubahan volume beton dalam persen (%) terhadap waktu dalam hari.

1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi penelitian yang digunakan adalah meliputi pengambilan sampel beton siap pakai (*readymix concrete*) dengan menggunakan *fly ash* adalah

- (1) Pengangkutan bekisting (*mold*) susut ukuran 10cm x 10cm x 50cm ke lokasi proyek
- (2) Persiapan bekisting meliputi pengecekan baut pada cetakan dan pengolesan pelumas pada cetakan untuk mempermudah pelepasan beton nantinya
- (3) Pengujian *slump* beton
- (4) Proses pengambilan sampel beton di lokasi proyek yang telah dituju
- (5) Pengangkutan bekisting dan sampel beton dari proyek ke laboratorium

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material dan Struktur Universitas Indonesia, meliputi pengujian susut beton dalam rentang waktu 24 jam (sehari) selama lebih kurang 28 hari

1.6. SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika penulisan dalam laporan seminar ini terdiri dari tiga bab, dimana setiap bab menguraikan beberapa hal yang terkait dengan skripsi yang akan diambil.

Pada bab I, yakni pendahuluan akan menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Pada bab 2, yakni landasan teori yang berisikan tentang teori-teori dasar yang menunjang penelitian. Hal tersebut mencakup sejarah penggunaan beton, material-material penyusun beton. Penguraian mengenai semen, abu terbang (*fly ash*) dan mengenai susut (*shrinkage*) termasuk faktor yang mempengaruhinya.

Bab 3, berisikan mengenai metodologi penelitian yang menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian antara lain rencana kebutuhan benda uji, proses pengambilan sampel sampai pengujian susut beton.

Bab 4, adalah bab mengenai pembahasan dan analisis penelitian yang telah dilakukan yang akan disajikan dalam bentuk grafik, tabel dan juga penjelasannya.

Bab 5, yakni penutup yang berisikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang diberikan mengenai hasil penelitian untuk proyek yang ditinjau serta untuk penelitian di masa datang.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1. SEJARAH BETON

Beton merupakan material yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi saat ini. Beton pada dasarnya adalah campuran antara 2 (dua) macam komponen yakni pasta (semen Portland, air dan udara) dan agregat (pasir, kerikil, dan batu pecah) dan terkadang, *admixture*. Semen dan air akan membentuk pasta yang keras dan bersama-sama mengikat agregat.

Sebelum mengenal beton seperti sekarang ini, pada tahun 12,000 sampai 6,000 sebelum masehi, pertama kali digunakan lime mortar di Cyprus, Yunani dan Timur Tengah.

Hal ini juga diikuti oleh temuan lainnya, antara lain :

- Mesir (2500 SM) digunakan semen dari mortar untuk membangun Piramida
- Romawi (dari tahun 300 SM) menggunakan beton dan semen- dari mortar pada semua jenis bangunan. Kemudian membuat banyak perkembangan pada teknologi beton meliputi penggunaan agregat ringan (*lightweight aggregates*) di atap Patheon. Asal kata '*cement*' dan '*concrete*' diadaptasi dari bahasa romawi yakni '*caementum*' (batu kesat atau *chipping*) dan '*concretus*' (bersama)
- Patheon di Roma / Italia yang dibangun pada jaman kaisar Hadrian (118 – 125 M) dibuat dari beton dengan span yang besar dan kubah yang bebas dari kolom. Dan merupakan kubah terbesar selama ratusan tahun.
- *The Great Wall* di Cina menggunakan lime mortar (mirip dengan semen) sebagai penyambung batu bata selama pembangunannya pada jaman Dinasti Ming (1368 – 1644 M) dengan bahan khusus adalah tepung nasi.

Setelah itu, pada tahun 1824, Joseph Aspdin mengambil alih hak paten akan pembuatan semen Portland. Pada tahun 1850, J.L.Lambot untuk pertama kalinya membuat kapal kecil dari bahan semen untuk dipamerkan pada pameran dunia tahun 1855 [Edward G. Nawy 1958:2]. Di tahun 1903, beton pertama untuk bangunan tingkat tinggi sebanyak 15 tingkat yakni bangunan *Ingalls* di Cincinnati (Amerika) oleh Elzner dan Anderson meskipun banyak yang meragukan bangunan tersebut akan berdiri tegak.

Selain bangunan *Ingalls*, semakin banyak lagi bermunculan bangunan-struktur beton lainnya dan semakin berkembang bahkan sampai sekarang. Perkembangan beton dari waktu ke waktu mendorong dibentuknya komite menerbitkan berbagai peraturan standar beton.

Dengan perkembangan konstruksi beton beserta analisa perancangannya, maka dapat dibangun suatu konstruksi yang sangat khas di Indonesia, yakni Keong Emas di Taman Mini Indonesia Indah.

2.2. MATERIAL PENYUSUN BETON

Pengertian beton menurut SNI 03-2847-2002 adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.

Kualitas dari beton ditentukan oleh kualitas dari pasta maupun agregat. Setiap partikel agregat dilapisi oleh pasta dan seluruh ruang kosong (spasi) antar agregat akan diisi oleh pasta. Apabila beton tersebut dirancang dengan baik maka akan diperoleh struktur yang kokoh dan dapat bertahan lama.

Untuk mengetahui perilaku bahan-bahan pembentuk beton, diperlukan pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing komponen pembentuknya. Beton dihasilkan dari sekumpulan interaksi mekanis dan kimia sejumlah material pembentuknya [Nawy 1985:8]. Oleh karena itu, masing-masing bahan pembentuk beton perlu dipelajari sebelum mempelajari beton secara keseluruhan.

2.2.1. Semen (*Cement*)

Semen Portland diambil dari nama pulau Portland, di semenanjung *English Channel* dimana pertama kali diproduksi pada tahun 1800-an. Sejak saat itu, terdapat sejumlah perkembangan dan peningkatan yang dibuat pada proses produksi maupun dalam hal properti semen.

Proses produksi semen Portland meliputi menggiling batu kapur (*limestone or chalk*), alumina, dan silika dari *shale* atau *clay*. Bahan baku tersebut kemudian ditakar, dicampur kemudian dibakar pada tungku pembakaran (*rotary kilns*) pada suhu 2500°F (1372 °C) sampai sebaginnya melebur menjadi *clinker*. Setelah *clinker* mendingin, dilakukan penambahan *gypsum* dan kedua material tanah menjadi butiran halus bernama semen Portland.

Selengkapnya akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab 2.4.

2.2.2. Air (*Water*)

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimia dengan semen untuk membasahi agregat dan sebagai pelumas campuran sehingga mempermudah pengerjaan beton segar (*fresh concrete*). Air sangat mempengaruhi afinitas (daya lekat) antara agregat dan semen serta kemungkinan mempengaruhi workabilitas beton.

Air yang baik sangat mempengaruhi kualitas beton. Air yang digunakan harus bebas dari sampah, bahan organik, dan sedikit mengandung bahan kimia dan/atau mineral. Dengan kata lain, air yang dapat dikonsumsi (diminum) maka air tersebut layak digunakan dalam pembuatan beton.

Air yang berlebihan menyebabkan munculnya banyak gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sebaliknya, apabila air sedikit akan membuat proses hidrasi tidak seluruhnya selesai bahkan akan mempengaruhi kekuatan beton. Oleh karena itu, kekuatan beton dan properti material dari beton sangat tergantung dari besarnya air dan faktor air semen, serta kualitas dari air campuran.

2.2.3. Agregat (*Aggregate*)

Agregat merupakan material granular misalnya pasir, krikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat

untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik (SNI-03-2847-2002). Agregat memenuhi hampir 60% sampai 80% dari volume beton. agregat yang umumnya digunakan adalah pasir, krikil, dan batu pecah. Seluruh partikel agregat harus bebas dari endapan (*silt*) dan/atau bahan organik.

2.2.3.1. Agregat berdasarkan asal batuan

(1) Natural aggregate

Diambil dari alam tanpa mengubah kealamian batuan tersebut selama produksi dengan hanya menghancurkan, memilah berdasarkan ukuran, mengklasifikasikan berdasarkan ukuran, dan membersihkan agregat tersebut. Yang termasuk dalam kelompok agregat ini antara lain : batu apung (*pumice*), *shell*, *iron*, dan batuan kapur (*lime rock*).

(2) Manufactured aggregate

Agregat jenis ini diproduksi secara langsung yang diperoleh dari pemecah batuan secara mekanis, antara lain *blast furnace slag*, *clay*, *shale*, dan agregat ringan (*lightweight aggregate*).

(3) Artificial aggregate

Disebut juga agregat sintetik yang diproduksi dari proses industri dan dikembangkan untuk menghasilkan agregat dengan properti yang spesial. Pembuatan agregat sintetik ini berasal dari sisa atau bekas material konstruksi.

2.2.3.2. Agregat berdasarkan ukuran agregat

Agregat harus memiliki gradasi tertentu sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi menjadi benda yang utuh, homogen, dan rapat dimana agregat yang berukuran kecil dapat berfungsi sebagai pengisi celah antara agregat yang berukuran lebih besar.

(1) Agregat halus

Agregat halus merupakan material pengisi berupa pasir. Agregat halus ini berfungsi sebagai material *filler* yang akan mengisi rongga antar agregat kasar yang kemudian diikat oleh pasta semen. Agregat halus

merupakan agregat yang memiliki fraksi butiran yang lolos saringan no.4 (4.75 mm) dan tertahan saringan no.200 (75 μ m).

(2) Agregat kasar

Agregat diklasifikasikan sebagai agregat kasar apabila ukuran terkecil agregat tersebut 4.75 mm dan lebih besar dari 6mm (saringan ¼ in).

Berdasarkan Metode ACI dijelaskan bahwa gradasi agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton harus berada diantara 5-40 mm.

Penggunaan agregat kasar dibedakan berdasarkan distribusi ukuran butirannya yaitu, *split* dan *screening*. *Split* mempunyai gradasi butiran antara 25-14 mm, sedangkan *screening* mempunyai gradasi butiran yang lebih kecil yaitu antara 5-14 mm.

Komposisi gradasi agregat kasar yang digunakan dimaksudkan selain untuk memenuhi persyaratan gradasi agregat kasar juga untuk meminimalkan terbentuknya rongga pada campuran beton sehingga agregat dapat saling mengisi dan mengunci.

2.2.3.3. Agregat berdasarkan bentuk agregat

Tabel 2.1. Agregat berdasarkan bentuknya (telah diolah kembali)

No.	Bentuk agregat	Karakteristik
1.	<i>Angular</i> (bersudut)	Memiliki permukaan yang kasar atau sudut pepotongan yang tajam Memberi properti saling mengunci antar agregat
2.	<i>Rounded</i> (bulat)	Terbentuk karena pengikisan air atau pergeseran Memiliki ikatan antar agregat kurang kuat
3.	<i>Irregular</i>	Secara alamiah berbentuk tidak teratur atau sebagian memiliki bentuk bulat pada sudutnya Ikatan antar agregat belum cukup baik (masih kurang kuat)
4.	<i>Elongated</i> (panjang)	Biasanya memiliki sudut dimana panjangnya lebih besar dari lebar dan tebalnya Kuat tekan beton dengan agregat ini buruk
5.	<i>Flaky</i> (pipih)	Memiliki ketebalan yang relatif kecil dibandingkan dengan lebar dan panjangnya
6.	<i>Elongated and flaky</i>	Berbentuk lonjong Panjang yang jauh lebih besar daripada lebarnya, dan lebarnya jauh lebih besar dari tebalnya Memiliki kekuatan yang rendah dan segregasi ukuran.

[A.M. Neville 1998:114]

2.2.3.4. Agregat berdasarkan jenis permukaan

Umumnya agregat dibedakan menjadi kasar, agak kasar, licin, agak licin. Berdasarkan pemeriksaan visual, tekstur agregat dapat dibedakan menjadi sangat halus (*glassy*), halus (*smooth*), granular, kasar (*rough*), berkristal (*crystalline*), berpori, dan berlubang-lubang (*honeycombed*). Klasifikasi agregat ini belum bisa dikatakan dapat digunakan untuk menentukan definisi dari susunan permukaan agregat.

Permukaan yang kasar akan menghasilkan ikatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan permukaan agregat yang licin. Kekasaran agregat akan menambah kekuatan gesekan antara pasta semen dengan permukaan butir agregat sehingga beton yang menggunakan agregat licin cenderung memiliki mutu yang lebih rendah. Semakin licin permukaan agregat akan semakin sulit beton untuk dikerjakan. Jenis agregat berdasarkan tekstur permukaannya dapat dibedakan sebagai berikut:

Tabel 2.2. Agregat berdasarkan tekstur permukaannya (telah diolah kembali)

No.	Tekstur permukaan	Karakteristik
1.	<i>Glassy</i>	Pecahan konsoidal
2.	<i>Smooth</i>	Agregat jenis ini lebih sedikit membutuhkan air. Agregat licin terbentuk dari akibat pengikisan oleh air, atau akibat patahnya batuan (<i>rocks</i>) berbutir halus atau batuan yang berlapis-lapis
3.	<i>Granular</i>	Pecahan agregat jenis ini berbentuk bulat dan seragam.
4.	<i>Rough</i>	Pecahan kasar dapat terdiri dari batuan berbutir halus atau kasar yang mengandung bahan-bahan berkristal yang tidak dapat terlihat dengan jelas melalui pemeriksaan visual.
5.	<i>Cystlline</i>	Mengandung Kristal-kristal terlihat jelas melalui pemeriksaan visual.
6.	<i>Honeycombed</i>	Terlihat jelas pori-porinya dan rongga-rongganya. Melalui pemeriksaan visual, kita dapat melihat lubang-lubang pada batumannya.

[A.M. Neville 1998:116]

2.2.4. Bahan Tambahan (*Admixture*)

Pada dasarnya, bahan tambahan untuk campuran beton dibagi menjadi 2 (dua) jenis; yakni bahan tambahan kimia (*chemical admixture*) dan bahan

tambahan mineral (*mineral admixture*). Keduanya bisa dikatakan memiliki fungsi yang makna yang berbeda dan fungsi maupun tujuan penggunaan yang agak berbeda.

2.2.4.1. Bahan tambahan kimia (*chemical admixture*)

Chemical admixture memiliki banyak variasi yang diproduksi melalui proses kimia dan memiliki fungsi yang beragam, tergantung dari jenis bahan kimia tambahan yang akan digunakan dengan semen.

Umumnya, penggunaan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) pada campuran beton akan mempengaruhi sifat beton pada saat beton plastis maupun beton keras.

Pada kondisi plastis, bahan tambahan kimia digunakan untuk meningkatkan *workability* atau mereduksi *water content*, memperlambat waktu *setting*, memodifikasi kecepatan atau kapasitas *bleeding*, mengurangi kemungkinan terjadinya segregasi, dan mengurangi kecepatan kehilangan *slump*. Sedangkan beton pada kondisi keras, *admixture* digunakan untuk menurunkan tingkat pelepasan panas selama mekanisme *hardening*, meningkatkan kekuatan, menurunkan kandungan semen, meningkatkan durabilty, menurunkan regangan susut, dan meningkatkan ketahanan terhadap erosi atau abrasi. *Admixtures* yang digunakan antara lain terdiri atas *superplasticizer* dan *retarder*.

(1) *Superplasticiser*

Superplasticiser digunakan untuk meningkatkan workabilitas campuran beton yang diindikasikan dengan peningkatan nilai *slump*. Peningkatan nilai *slump* tersebut dimaksudkan untuk menghasilkan *flowing concrete* sehingga mempermudah penghamparan beton pada lokasi pengecoran apalagi dengan kondisi area yang cukup luas. Selain itu, juga untuk mengantisipasi kehilangan *slump* akibat proses pemompaan oleh *concrete pump*.

(2) *Retarder*

Retarder digunakan untuk memperlambat *setting time* beton yaitu dari 2-3 jam untuk beton normal menjadi 7-8 jam untuk *mass concrete*. Penambahan *retarder* dilakukan dengan pertimbangan untuk menghindari

kemungkinan terjadinya *cold joint* akibat beton *setting* duluan sebelum proses *pouring* selesai dilakukan.

2.2.4.2. Bahan tambahan mineral (*mineral admixture*)

Penggunaan *mineral admixtures* saat ini menjadi sangat populer dalam dunia konstruksi. Bahan tambahan mineral diperoleh dari simpanan batuan alami atau diproduksi dari proses pembakaran dengan tingkat kemampuan seperti semen (*cementitious*).

Terdapat beberapa jenis bahan tambahan mineral yang gunanya lebih ditekankan sebagai bahan tambahan pereduksi jumlah semen dalam campuran beton. Bahan tambahan mineral yang saai ini sedang digandrungi adalah penggunaan *fly ash*. *Fly ash* atau abu terbang merupakan abu sisa hasil pembakaran batu bara ini lebih banyak digunakan pada beton siap pakai (*readymix concrete*) yang aplikasinya banyak digunakan pada proyek struktur beton. Penjelasan lebih lanjut akan dibahas pada sub-bab 2.5. yakni sub-bab khusus mengenai abu terbang (*fly ash*).

2.3. KAREKTERISTIK BETON

Berdasarkan komposisinya beton merupakan bahan yang tidak homogen. Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), udara, dan terkadang dicampurkan bahan tambahan lain (*admixture*). Jika berbagai unsur pembentuk beton tersebut dirancang dengan baik, maka akan diperoleh adalah beton yang kuat, tahan lama, dan apabila dikombinasikan dengan baja tulangan akan menjadi elemen utama pada suatu sistem struktur.

2.3.1. Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton

Beton dalam keadaan segar diibaratkan seperti bubur yang mudah dibentuk sesuai keinginan. Adapun kelebihan beton apabila digunakan dalam sebuah konstruksi adalah sebagai berikut :

- (1) Ekonomis
- (2) Dapat digunakan sebagai material struktural maupun arsitektural
 - Dalam keadaan plastis mudah untuk dibentuk
 - Perancang dapat menentukan ukuran dan bentuk
- (3) Ketahanan terhadap api
 - Konstruksi beton dapat bertahan antara 1 sampai 3 jam tanpa *fire proofing* dibandingkan dengan baja atau kayu.
- (4) Biaya pemeliharaan rendah/ kecil
- (5) Mampu memikul beban tekan yang berat
- (6) Tahan terhadap serangan korosi
- (7) Dapat digabungkan menjadi material komposit dengan material lain

Dibawah ini merupakan kekurangan penggunaan beton dalam suatu konstruksi :

- (1) Rendah dalam menahan tarikan
- (2) Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
- (3) Berat
- (4) Membutuhkan cetakan (bekisting) sebagai alat pembentuk
- (5) Setelah dicampur beton segera mengeras dan bentuk yang sudah dibuat sulit diubah

2.3.2. *Workability*

Beton segar atau *fresh concrete* merupakan beton yang dapat dibentuk sesuai tujuan yang diinginkan. Meskipun beton segar hanya berlangsung singkat dan bersifat sementara, namun pengerjaannya harus diperhatikan dengan seksama karena memiliki efek yang cukup besar terhadap sifat beton keras (*hardened concrete*) khususnya kekuatan beton yang terutama dipengaruhi pula oleh derajat kepadatan beton.

Namun, yang penting adalah sejauh mana pengerjaan beton segar mempengaruhi sifat-sifat beton pada saat mengeras. Terdapat 2 (dua) hal yang harus dipenuhi ketika membuat beton :

- (1) Sifat-sifat yang harus dipenuhi dalam jangka waktu lama oleh beton yang mengeras, seperti kekuatan, keawetan, dan kestabilan volume.
- (2) Sifat-sifat yang harus dipenuhi dalam jangka waktu pendek ketika beton dalam kondisi plastis (*workability*) atau kemudahan pengerjaan tanpa adanya *bleeding* (beton menjadi terlalu encer dimana menyebabkan agregat kasar akan jatuh kebawah lalu air semen dan agregat halus yang ringan yang naik ke permukaan) dan *segregation* (peristiwa pemisahan bahan penyusun beton sehingga penyebaran beton menjadi tidak merata).

Berikut ini merupakan penjelasan dari beberapa istilah diatas, khususnya mengenai *workability* pada beton segar :

(1) *Workability* (kemudahan pengerjaan)

Sifat workabilitas yakni kemudahan pengerjaan beton yang dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan, faktor air semen, jenis dan gradasi agregat, kehalusan semen, jumlah semen, dan bahan tambahan (*admixture*).

Pengukuran workabilitas ditentukan dari pengukuran nilai slump beton sebelum penghamparan. Semakin kecil nilai slump beton maka beton lebih kaku dan *workability* beton rendah.

Hal-hal yang berkaitan dengan sifat workabilitas beton antara lain :

- *Plasticity* yakni sifat kelenturan atau tingkat kegetasan beton,
- *Cohesiveness* yakni kemampuan melekat; tidak terpecah menjadi unsur-unsurnya selama pengerjaan beton,
- *Mobility* yakni kemampuan berpindah,
- *Fluidity* yakni kemampuan mengalir selama penuangan, dan
- *Consistency* yakni memiliki kekentalan yang cukup.

(2) Segregasi

Merupakan peristiwa pemisahan bahan-bahan penyusun dari suatu campuran beton dimana terjadi penyebaran bahan-bahan penyusun menjadi tidak merata. Ada dua (dua) bentuk segregasi :

- Agregat memisah

Pada kondisi dimana agregat memisah terjadi jika penggunaan pompa beton (*concrete pomp*) atau beton dengan jumlah besar didiamkan terlalu lama.

- Pasta semen memisah

Kondisi dimana pasta semen memisah terjadi karena faktor air semen yang tinggi sehingga daya kohesi pasta semen menurun.

(3) *Bleeding*

Merupakan keadaan beton menjadi terlalu encer dimana menyebabkan agregat kasar akan jatuh kebawah lalu air semen dan agregat halus yang ringan yang naik ke permukaan.

2.3.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton diukur dengan silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm atau kubus berukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm. Kuat tekan beton normal antara 20 – 30 MPa, untuk beton prategang antara 35 – 42 MPa, dan untuk beton mutu tinggi '*ready mix*' kuat tekannya mencapai 70 MPa.

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain :

- (1) Faktor air semen (FAS) yakni adalah rasio antara air dan semen (w/c), semakin kecil nilai FAS maka jumlah airnya sedikit sehingga kuat tekan betonnya akan semakin besar.
- (2) Sifat dan jenis agregat yang digunakan, semakin tinggi tingkat kekerasan agregat maka akan menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi
- (3) Jenis campuran
- (4) Keleccakan (*workability*)
- (5) Perawatan (*curing*) beton setelah 1 jam dilakukan penghamparan beton.

Curing merupakan usaha untuk memberikan kesempatan pada beton untuk mengembangkan kekuatan hingga tingkat kematangan tertentu (kuat tekan yang diinginkan pada usia beton mencapai 28 hari).

2.3.4. Susut Beton

Susut didefinisikan secara luas sebagai perubahan volume yang tidak berhubungan dengan pembebanan. Susut ini terjadi akibat proses pengeringan beton. Pengekangan susut beton dapat menimbulkan tegangan tarik sehingga cukup untuk menyebabkan terjadinya retak-retak pada beton. Uraian mengenai susut beton, akan dijelaskan pada sub-bab 2.6.

2.4. SEMEN (*CEMENT*)

Semen merupakan komponen material beton yang mempunyai fungsi *hardening* dan *setting* bila direaksikan dengan air. Oleh sebab itu, campuran semen dan air ini biasa dimanfaatkan sebagai perekat antar material (*bonding material*) yang akan memberikan ikatan antar agregat sehingga bisa menghasilkan suatu komponen struktur yang monolit.

Semen terbaik saat ini adalah semen Portland yang ditemukan tahun 1824 oleh Joseph Aspdin dengan bahan utama adalah *limestone* dan *clay* yang dihancurkan, digiling, dicampurkan dan dibakar.

2.4.1. Sejarah Pembuatan Semen Portland

Semen Portland pada dasarnya merupakan semen dengan kandungan kalsium silikat yang diproduksi dari peleburan parsial oleh *firing*, dicampurkan pada suhu 1500°C dan dihaluskan dari campuran *limestone* / kapur (kalsium karbonat) dan ditambahkan *clay* atau *shale*. Composisinya diseraskan dengan penambahan pasir dan oksida besi.

Sejak dulu, banyak yang percaya bahwa nenek moyang kita memiliki kemampuan kerekatkan batu-batu dengan mengandalkan zat putih telur sebagai perekat antar material sehingga berdirilah bangunan fenomenal, seperti Candi Borobudur maupun Candi Prambanan.

Semen kalsium silikat pertama dihasilkan di Yunani dan Romawi, yang ditemukan sebagai abu vulkanik (*volcanic ash*) yang jika dicampur dengan kapur (*lime*) dan air maka akan menghasilkan mortar keras yang tahan terhadap sifat aus

(*weathering*). Reaksi tersebut dikenal sebagai reaksi pozzolanik dan merupakan kontribusi dasar dari pembentuk kekuatan dan performa beton oleh material seperti abu terbang (*fly ash*), microsilika dan metakaolin pada beton modern.

Pada pertengahan abad kedelapan, John Smeaton menemukan bahwa suatu batuan kapur yang tidak murni (terdiri dari silica dan alumina) memiliki sifat hidraulik yakni terdiri dari silikat dan aluminat yang reaktif terhadap air yang menghasilkan hidrat yang tahan lama, yang tahan terhadap air. Smeaton menggunakan material tersebut untuk mendirikan mercusuar *Eddystone* pada tahun 1759 di pantai Cornwall, Inggris.

Namun ironisnya, justru Joseph Aspdin (insinyur berkebangsaan Inggris) tahun 1824 yang memperoleh hak paten pembuatan material yang kemudian disebut dengan semen Portland. Penamaan tersebut dikarenakan warna hasil olahannya mirip tanah liat Pulau Portland, Inggris.

2.4.2. Pembuatan Semen

Istilah '*Portland cement*' pertama kali diajukan oleh Joseph Aspdin dengan hak paten inggris No. 5022 (1824), yang isinya mendeskripsikan proses pembuatan semen Portland. Istilah 'Portland' digunakan karena hasilnya mirip dengan batu Portland dari Dorset dan diharapkan memiliki reputasi sebaik batu Portland karena performanya.

Semen Portland merupakan perekat hidrolis yang dibentuk oleh senyawa oksida pembentuk semen, yaitu:

- (1) Kapur (CaO) bahan baku dari batu kapur (CaCO_3),
- (2) Silika (SiO_2) bahan baku dari tanah liat (lempung),
- (3) Alumina (Al_2O_3) bahan baku dari tanah liat (lempung), dan
- (4) Besi (Fe_2O_3) dari tanah liat
- (5) Oksida lain, seperti Magnesia (MgO) dan Alkali (Na_2O dan K_2O)

Berikut ini adalah urutan pembuatan semen :

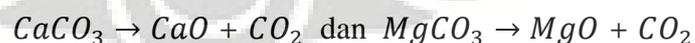
- (1) Penambangan (*quarry*)
 - a) Batu kapur : dilakukan dengan pengupasan lapisan atas tanah, pembuatan lubang bor, dan peledakan (*blasting*).

- b) Silika : dilakukan dengan mendorong silika ke tepi tebing sehingga jatuh di loading area
 - c) Tanah liat : dilakukan dengan mengeruk lapisan permukaan tanah dengan *excavator*
- (2) Pemecahan (*crushing*) material-material hasil tambang menjadi ukuran yang lebih kecil dengan menggunakan *crusher*.
 - (3) Pengangkutan (*conveying*) bahan mentah dari area penambangan ke lokasi pabrik dengan menggunakan *belt conveyor* untuk diproses lebih lanjut.
 - (4) Penggilingan bahan baku (*raw mill*) berupa campuran CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ diigiling bersama beberapa bahan tambahan lainnya, baik dalam bentuk kering maupun basah. Bentuk basah ini disebut *slurry*.
 - (5) Homogenisasi yang juga terjadi dalam kondisi kering (terjadi blending silo) dan basah (dengan mencampurkan *slurry* kedalam *mixing basin* yang dialirkan ke tabung koreksi).
 - (6) Pembakaran / pembentukan *clinker*

Terjadi di dalam klin, yakni alat berbentuk tabung yang didalamnya terdapat semburan api sehingga perpindahan panas dari pembakaran bahan bakar menjadi efisien.

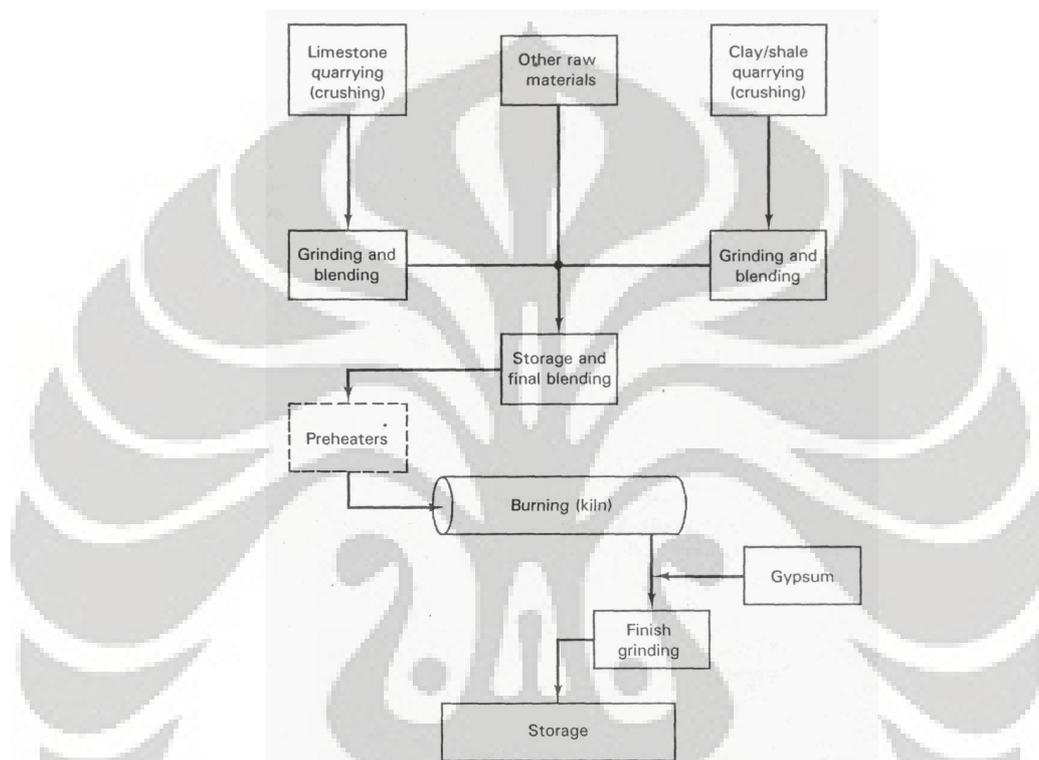
- a) Persiapan bahan bakar
- b) Pembentukan *clinker*

Pengeringan *slurry* (suhu 100–500°C) terjadi pelepasan air bebas dan air terikat untuk mendapatkan padatan tanah kering. Terjadi proses kalsinasi, yakni penguraian kalsium karbonat menjadi senyawa-senyawa penyusunnya pada suhu 600C, yakni



Kemudian dilanjutkan dengan pemijaran dimana reaksi antara oksida-oksida yang terdapat dalam material yang membentuk senyawa hidrolisis yaitu C₄AF, C₃A, C₂S pada suhu 1450°C membentuk *clinker*.

(7) Penggilingan (*cement mill*) merupakan proses akhir dimana *clinker* tersebut kemudian didinginkan dan dihancurkan sampai berbentuk serbuk dengan menambahkan sedikit gypsum. Untuk Transportasi dan penyimpanan *clinker*, klinker kasar akan jatuh kedalam penggilingan untuk dihaluskan untuk diangkut menuju silo.



Gambar 2.1. Skematis proses pembuatan semen Portland
[Edward J Nawy :2-2]

Dari proses pembuatan semen di atas akan menghasilkan polusi berupa polusi udara dalam bentuk debu dan sisa pembakaran tidak sempurna CO. Gas CO ini dihasilkan dari penggunaan *catalic converter* yang mengoksidasi CO menjadi CO₂.

Karbondioksida seperti yang kita ketahui merupakan salah satu pembentuk ozon yang mengakibatkan terjadinya efek rumah kaca sebagai salah satu potensi terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu, perlu dilakukan penghematan penggunaan semen dengan mereduksi jumlah semen yang digunakan dengan mengusung bahan tambahan mineral yang sifatnya mirip semen.

2.4.3. Senyawa Utama Semen Portland

Tabel 2.3. Senyawa utama semen Portland

No.	Nama Pembentuk	Komposisi Oksida	Kependekan Nama	Karakteristik lain
1.	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	<i>Trikalsium Silikat</i>	C_3S	Memiliki sifat perekat Mudah mengeras Penunjang kekuatan awal semen
2.	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	<i>Dikalsium Silikat</i>	C_2S	Memiliki sifat perekat Lebih lambat mengeras Perkembangan kekuatan awal stabil dan lambat
3.	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	<i>Trikalsium Aluminat</i>	C_3A	Berkontribusi mempercepat peningkatan panas hidrasi pada beton
4.	$\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	<i>Tetrakalsium Aluminoforit</i>	C_4AF	Menyebabkan semen berwarna abu-abu

2.4.4. Jenis-Jenis Semen Portland

Menurut *American Society of Testing Materials (ASTM)*, jenis-jenis semen Portland terbagi menjadi :

(1) Jenis I (*ordinary Portland cement*)

Merupakan semen Portland jenis umum, yakni semen yang dipergunakan untuk keperluan konstruksi beton secara umum.

(2) Jenis II (*moderate heat cement*)

Merupakan semen Portland jenis umum dengan perubahan-perubahan, dipergunakan untuk pekerjaan konstruksi beton yang harus tahan terhadap pengaruh sulfat atau panas hidrasi sedang. Semen ini mencapai kekuatan agak lambat dibandingkan dengan semen Portland jenis I, tetapi pada akhirnya akan mencapai kekuatan yang sama. Biasanya semen ini digunakan untuk bangunan pinggir laut (pelabuhan), aliran irigasi, landasan jembatan, bangunan di bekas tanah rawa, beton dengan volume besar untuk bendungan.

(3) Jenis III (*high early strength cement*)

Merupakan semen Portland yang memiliki kekuatan awal yang tinggi. Dibuat khusus untuk pekerjaan-pekerjaan dimana kekuatan awal yang tinggi dibutuhkan dan biasanya digunakan untuk daerah yang

bersuhu dingin, bangunan bertingkat, dan bangunan dalam air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

(4) Jenis IV (*low heat cement*)

Merupakan semen Portland yang memiliki panas hidrasi yang rendah banyak mengandung C_4AF dan C_2S lebih banyak. Pengerasan dan perkembangan kekuatannya lambat. Digunakan untuk konstruksi bangunan di daerah panas, dan untuk konstruksi beton berdimensi tebal.

(5) Jenis V (*sulfate resistance cement*)

Merupakan semen Portland yang tahan terhadap sulfat karena susunan bahan atau cara pembuatannya sedemikian rupa sehingga lebih tahan terhadap zat kimia. Dibandingkan dengan keempat jenis semen Portland lainnya. Digunakan untuk bangunan yang berhubungan dengan air laut, air buangan industri, bangunan yang pengaruh gas atau uap kimia dan bangunan yang selalu berhubungan dengan air panas.

Karena ada berbagai jenis semen untuk berbagai tujuan, maka perlu dipelajari persentase komposisi kimia masing-masing jenis semen agar diketahui perilakunya.

Tabel 2.4. Persentase komposisi semen Portland

PC	Komponen (%)							Karakteristik Umum
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO	MgO	
I	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	Semen untuk semua tujuan
II	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	Pelepasan panas sedikit, untuk struktur besar
III	56	15	12	8	3.9	1.4	2.6	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
IV	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	Dipakai pada bendungan beton
V	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	Dipakai pada saluran struktur dan struktur yang diekspos sulfat

[Edward G. Nawy :11]

2.5. ABU TERBANG (*FLY ASH*)

2.5.1. Alasan Penggunaan *Fly Ash*

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, semen Portland berpotensi melepas karbondioksida ke atmosfer. Bahkan seperti yang tertulis dalam situs www.infopemanasanglobal.wordpress.com disebutkan bahwa produksi semen mampu melepaskan karbondioksida dalam jumlah besar (produksi 1 ton semen dapat menghasilkan lebih kurang 1 ton karbondioksida) serta menyumbang sekitar 5% emisi gas rumah kaca.

Produksi semen yang dibuat dengan cara pembakaran batu kapur atau tanah liat yang melepaskan 0.8 ton CO₂ setiap ton semen yang diproduksi. Selain itu, ketika dicampur dengan air untuk digunakan sebagai bahan bangunan, setiap ton semen dapat menyerap 0.4 ton CO₂, namun tetap saja keseluruhan proses menyisakan emisi gas karbon sebesar 0.4 ton setiap ton semen.

Oleh karena itu, saat ini banyak dikembangkan beton yang ramah lingkungan dengan mencampur semen dengan suatu bahan yang karakteristik utamanya hampir sama dengan semen, selain itu juga dapat mereduksi panas hidrasi yang dihasilkan semen dan air, salah satunya adalah penggunaan *fly ash* (limbah pembakaran batu bara).

2.5.2. Pengertian *Fly Ash*

Abu terbang (*fly ash*) dihasilkan dari operasional pembangkit listrik berbahan bakar pembakaran batubara. Pada tahun 1989, total abu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton. Sekitar 75 persen adalah abu terbang. Produsen utama adalah negara-negara bekas Uni Soviet, Cina, Amerika Serikat, dan India. Produksi abu ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton. Sedangkan di Indonesia, produksi abu terbang dalam setahun menghasilkan 700.000 ton dari limbah PLTU.

Abu terbang dikategorikan oleh Bapedal sebagai limbah berbahaya (B3). Abu terbang merupakan limbah radioaktif yang mengandung unsur uranium dan thorium sehingga bila terlarut dalam air maka akan mencemari air tersebut dan

membahayakan makhluk hidup yang meminumnya. Sehubungan dengan meningkatnya jumlah pembangunan PLTU berbahan bakar batu bara di Indonesia, maka jumlah limbah abu terbang juga akan meningkat. Oleh karena itu, perlu pemanfaatan limbah abu terbang tersebut.

2.5.3. Pemanfaatan Abu Terbang

Penggunaan *fly ash* sebagai campuran beton pertama kali diaplikasikan di Amerika Serikat pada tahun 1929 sebagai struktur *mass concrete* pada konstruksi *Hoover Dam*. Cina memanfaatkan sekitar 15 persen, India kurang dari lima persen, sedangkan di Indonesia pemanfaatannya dilakukan sebagai campuran beton. Pemanfaatannya saat ini juga digunakan sebagai pengisi dalam LASTON, pembuatan batako, stabilisasi tanah. Namun tingkat pemanfaatan abu terbang dalam produksi semen masih tergolong amat rendah karena masih terbatas pada perusahaan dan industri besar meskipun jumlah *fly ash* banyak tersedia di dunia.

Abu terbang dikenal sebagai abu batubara, yakni merupakan abu yang dikumpulkan secara mekanik maupun dengan cara elektrostatik dari hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap.

2.5.4. Properti Material Abu Terbang (Fly Ash)

(1) Sifat fisik

Abu terbang adalah suatu material berbutir halus terdiri atas partikel yang berbentuk bundar. Beberapa debu juga berisi partikel yang bersudut atau tidak beraturan. Ukuran partikelnya bervariasi tergantung pada sumber pengambilannya. Beberapa debu kemungkinan lebih kasar atau sangat lembut dibandingkan dengan partikel semen Portland.

Tabel 2.5. Sifat fisik dan kimia

Sifat Fisik	Jenis F	Jenis C
Kehalusan ayakan diatas 4 μ m (max)	34 %	34 %
Keaktifan dengan PC I pada umur 28 hari	75 %	75 %
Air (max)	105 %	105 %

[SNI 03-6863-2002]

(2) Kehalusan

Berdasarkan ASTM C 311-77 dalam keadaan kering distribusi ukuran abu terbang adalah tertahan di ukuran 45- μm . dalam beberapa kasus, abu terbang berisi partikel yang diameternya lebih kecil dari 1- μm .

(3) Komposisi Kimia

Komposisi dari *fly ash* sebagian besar terdiri dari *silikat dioksida* (SiO_2), *aluminium* (Al_2O_3), *besi* (Fe_2O_3), dan *kalsium* (CaO) sedangkan *magnesium*, *potasium*, *sodium*, *titanium*, dan *sulfur* juga ada tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit. Sebagian besar komposisi kimia dari *fly ash* ini tergantung dari jenis dan asal baru bara yang digunakan.

Berdasarkan komposisi kimia yang terkandung didalamnya, jenis-jenis abu terbang terbagi menjadi tiga, yakni : Jenis F, C, dan N. bahan-bahan penyusun abu terbang dan semen diperlihatkan melalui tabel berikut :

Tabel 2.6. *Typical chemical compounds (%) in pozzolans and portland cement*

Komposisi Kimia	Jenis Abu Terbang			Semen
	F	C	N	
SiO	54.90	39.90	58.20	22.60
Al_2O_3	25.80	16.70	18.40	4.30
Fe_2O_3	6.90	5.80	9.30	2.40
CaO	8.70	24.30	3.30	64.40
MgO	1.80	4.60	3.90	2.10
SO_3	0.60	3.30	1.10	2.30
$\text{Na}_2\text{O} \& \text{K}_2\text{O}$	0.60	1.30	1.10	0.60

[www.headwaterresources.com]

Informasi mengenai masing-masing klasifikasi abu terbang, antara lain :

(1) Jenis F

- a) Berasal dari pembakaran bitumen batu bara,
- b) Memiliki tingkat kehalusan dan komposisi karbon yang konstan,
- c) Memiliki partikel karbon yang cenderung kasar,
- d) Ukuran parikelnya adalah 45 μm

- e) Perbandingan penggunaan pada beton adalah 15–25% dari berat semen (berdasarkan ACI)

(2) Jenis C

- a) Berasal dari pembakaran *lignite* atau sub-bitumen batu bara
- b) Perbandingan penggunaan pada beton adalah 15–40% dari berat semen (berdasarkan ACI)
- c) Lebih reaktif terhadap air karena memiliki %CaO yang besar (Ca termasuk golongan IIA)

(3) Jenis N

- a) Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah diatomic, opaline chert dan shales, tuff dan abu vulkanik, dimana bisa diproses melalui pembakaran maupun tidak.
- b) Mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Pencampuran abu terbang dalam beton bisa bervariasi tergantung mutu beton yang dibutuhkan. Biasanya pencampuran yang maksimal untuk beton struktur memiliki perbandingan semen dan abu terbang sekitar 85% banding 15%. Sedangkan menurut ACI penambahan maksimum *fly ash* adalah 10 – 25 %.

2.5.5. Proses Hidrasi Semen Dan Abu Terbang

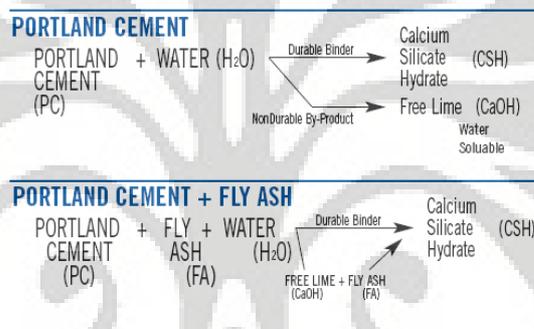
Campuran bahan penyusun beton jika sudah diberi air, maka akan mengeras sehingga menghasilkan struktur yang kompak. Bagian yang mengeras tersebut adalah pasta semen. Pasta semen dapat mengeras karena adanya proses kimia antara semen dan air yang disebut proses hidrasi semen dan menyebabkan terjadinya lekatan yang kuat antar agregat.

Dalam proses hidrasi ini, C_3S (*elite*) dan C_2S (*belite*) yang terdapat dalam semen akan bereaksi dengan *hydrogen* akan berubah menjadi $C_3S_2H_3$ dan $Ca(OH)_2$. Produk dari proses hidrasi ini memiliki kelarutan terhadap air yang rendah. Senyawa $C_3S_2H_3$ (*Calcium Silicate Hydrate*) ini merupakan senyawa yang memperkuat beton (karena bersifat mengikat agregat).

Proses hidrasi semen ini terjadi sejak 3 jam pertama setelah pemberian air dan baru dikatakan berhenti setelah beton mencapai umur 28 hari. Selama proses

hidrasi ini harus selalu ada jaminan tersedianya air secara terus menerus karena menghasilkan panas hidrasi yang berbeda-beda untuk setiap jenis PC tersebut lagi jika dilakukan pencampuran semen PC dengan *fly ash*.

Abu terbang mempunyai kadar bahan semen yang tinggi dan mempunyai sifat pozzolanik, yaitu dapat bereaksi dengan kapur bebas Ca(OH)_2 yang dilepaskan semen saat proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air. Reduksi *kalsium hidroksida* (CaOH) oleh SiO_2 ini akan mengurangi unsur pembentuk *ettringite* sehingga mengurangi sensitivitas beton terhadap serangan sulfat. Karenanya, beton tidak mudah ditembus air serta tidak mudah mengalami korosi.



Gambar 2.2. Proses hidrasi semen
[www.headwaterresources.com]

Dengan berkurangnya *calcium hidroksida* tidak membuat beton kekurangan sifat basanya karena *calcium silikat hidrat* juga bersifat basa kuat sehingga dapat menggantikan peran dari *calcium hidroksida* dalam membuat sifat basa dari beton. Dalam penggunaannya sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton, *fly ash* bersifat sebagai pozzolan dan sebagai *filler*. Sebagai pozzolan karena akan terjadi reaksi pengikatan antara semen dengan *fly ash*, sedangkan sebagai *filler* karena bentuk dari *fly ash* yang sangat halus. Selain itu kelebihan dari *fly ash* adalah tahan terhadap serangan dari sulfat.

2.5.6. Efek penggunaan Fly Ash pada beton

Penggunaan *fly ash* pada beton segar umumnya menyebabkan terjadinya peningkatan pada *setting time* beton karena kehalusan dan bentuk partikel yang bulat (*rounded shape*) dari partikel *fly ash*.

Penggunaan *fly ash* pada campuran beton memiliki berbagai keunggulan lain, diantaranya adalah :

- (1) Umumnya *fly ash* digunakan untuk meningkatkan kohesi dan *workability* beton pada slump yang diinginkan.
- (2) Mengurangi kebutuhan air sehingga segregasi dan *bleeding* yang sering terjadi pada beton konvensional dapat di reduksi,
- (3) Mereduksi panas hidrasi,
- (4) Mempermudah pelaksanaan untuk pekerjaan *finishing* yang permukaannya datar.

Sedangkan pengaruh penambahan abu terbang (*fly ash*) pada beton keras antara lain :

- (1) Fly ash dapat menurunkan kekuatan tekan beton pada awal umurnya, namun akan meningkatkan setelah 52 hari.
- (2) Secara umum, *fly ash* meningkatkan modulus elastisitas beton pada saat beton dengan kuat tekan yang sama baik dengan atau tanpa *fly ash*
- (3) Meningkatkan durabilitas (ketahanan) beton baik akibat sulfat (khususnya jenis F) maupun reaksi alkali silika
- (4) Meningkatkan kepadatan (density) beton.
- (5) Efek jangka panjang yang ditimbulkan memperlihatkan penurunan regangan *creep* dan dapat mengurangi *shrinkage*

Tabel 2.7. Perbedaan fly ash tipe F dan C

Fly ash Jenis F	Fly Ash Jenis C
Waktu setting lama	Waktu setting cepat
Kuat tekan pada umur awal lebih rendah dari C dan di umur tua akan sama dg C	Kuat tekan pada umur awal rendah, tapi akan meningkat di umur tua
Butuh lebih banyak air-entraining admixture	Menurunkan pemakaian air-entraining admixture
Pada keadaan plastis dapat menurunkan pengurangan rongga udara	Pada keadaan plastis dapat menurunkan pengurangan rongga udara

2.6. SUSUT BETON (*SHRINKAGE IN CONCRETE*)

2.6.1. Definisi Susut Pada Beton

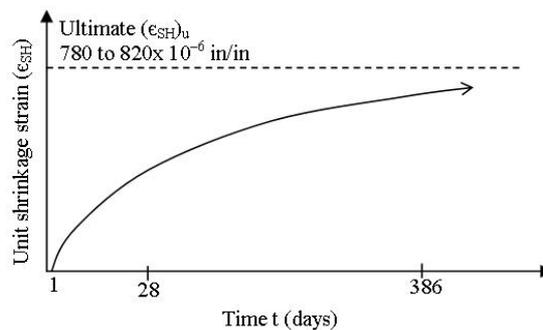
Susut beton merupakan sifat beton yang sangat penting untuk dievaluasi. Susut merupakan sifat utama dari pasta semen beton, yaitu terjadi akibat proses hidrasi yang terjadi pada saat air bercampur dengan semen. Proses penguapan air yang bebas dari pasta semen ini terjadi saat beton mengalami proses pengeringan yang sejalan dengan proses pengerasan.

Susut yang berlebihan memiliki keterkaitan dengan retak beton, bahkan kegagalan. Pada beton usia awal, karena memiliki kuat tekan yang masih rendah maka tegangan akibat *drying shrinkage* dapat menyebabkan retak beton. retak akibat susut ini dapat menjadi permulaan kegagalan beton sebelum waktunya, seperti dapat menyebabkan korosi pada besi tulangan. Tidak hanya itu, pada beton pra tekan, susut beton juga menjadi salah satu faktor utama yang berkontribusi menghilangkan tekanan awal.

Pada umumnya, beton yang semakin tahan terhadap susut akan mempunyai kecenderungan rangkai yang rendah, sebab kedua fenomena ini berhubungan dengan proses hidrasi pada semen.

2.6.2. Mekanisme Susut

Berdasarkan mekanismenya, terdapat 4 (empat) jenis utama dari susut beton; *plastic*, *autogeneous*, *carbonation*, and *drying shrinkage*. Susut plastis (*plastic shrinkage*) terjadi karena kehilangan kelembaban dari beton sebelum beton set. Susut *autogeneous* terkait dengan kehilangan air dari pori-pori kapiler karena hidrasi semen [Holt, 1998]. Jenis susut ini cenderung meningkat pada suhu tinggi dan jumlah semen yang besar. Namun secara umum relatif kecil dan tidak berbeda dari susut akibat pengeringan beton. Susut karbonasi (*carbonation shrinkage*) disebabkan oleh reaksi kimia dari berbagai produk hidrasi semen dengan karbondioksida bebas diudara. Susut jenis ini biasanya terjadi pada permukaan beton [Dilger, 1997]. Susut pengeringan (*drying shrinkage*) data didefinisikan sebagai perubahan volumerik karena beton mengering.



Gambar 2.3. Grafik regangan susut beton terhadap waktu
[Edward G Nawy in *concrete construction engineering handbook* P.4-9]

Gambar 2.3 diatas merupakan grafik yang terbentuk dari pertambahan regangan susut beton terhadap waktu t menunjukkan kelajuan perubahannya berkurang terhadap waktu karena semakin tua umur beton maka akan semakin tahan terhadap tegangan dan semakin sedikit mengalami susut.

2.6.2.1. Susut plastis

Susut plastis ini terjadi beberapa jam setelah beton segar dihamparkan. Hal ini terlihat ketika terjadinya penurunan agregat dan naiknya air semen pada saat pencetakan dan umumnya tidak terjadi keretakan.

Ketika pasta semen dalam keadaan plastis, terjadi penyusutan volume air. Susut plastis disebabkan oleh hilangnya air akibat evaporasi dari permukaan beton atau akibat penyerapan beton kering di bagian sisi atau bawah permukaan beton.

Permukaan pelat lantai akan lebih mudah dipengaruhi oleh udara kering karena adanya bidang kontak yang luas. Dalam hal demikian, terjadi penguapan yang lebih cepat melalui permukaan beton Oleh sebab itu pencegahan evaporasi setelah pencetakan beton harus dilakukan untuk mengurangi terjadinya susut.

2.6.2.2. Susut pengeringan

Susut pengeringan terjadi setelah beton sudah terbentuk (*setting*) dan proses hidrasi pasta semen telah selesai. Susut pengeringan akan mengurangi volume elemen beton saat terjadi kehilangan uap air karena penguapan.

Susut adalah proses yang tidak reversibel. Jika beton yang sudah mengalami susut kemudian dijenuhkan dengan air, maka tidak akan tercapai volume asalnya.

Air bebas saat pertama pencampuran, menyebabkan sedikit banyak terjadinya susut beton. Pada saat pengeringan berlangsung, penguapan terus berjalan dan perubahan volume pasta semen tidak ditahan. Pada saat itulah terjadi kehilangan air sekitar 1%, maka perubahan ukuran (dimensi) pasta semen dalam waktu pengerasan mencapai minimal 4×10^{-6} sampai 10×10^{-6} mm.

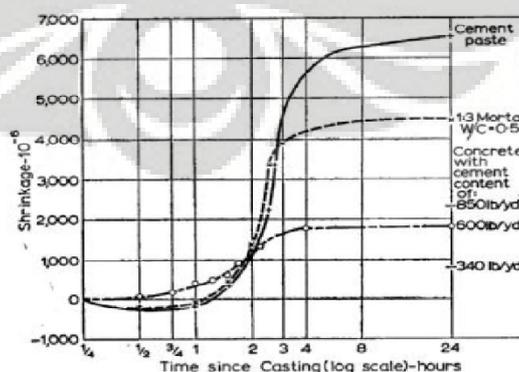
2.6.3. Faktor Yang Mempengaruhi Susut

Komposisi beton pada dasarnya dapat didefinisikan dengan faktor air semen (FAS), jenis semen, jenis agregat serta kandungan semen dan agregat. Susut akan semakin besar dengan meningkatnya FAS dan kandungan semen. Demikian pula, semakin banyak agregat yang digunakan semakin sedikit susut yang terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut dapat dijabarkan sebagai berikut :

(1) Agregat

Agregat berperan sebagai penahan susut pasta semen. Sehingga beton dengan kadar agregat yang semakin tinggi akan mengurangi perubahan volume beton akibat susut.

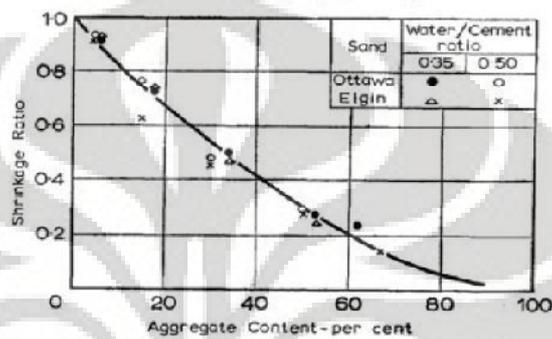
Kontribusi dari agregat kasar adalah menurunkan susut beton yang mengacu kepada penurunan volume dari pasta semen pada campuran beton. Gambar 2.4. menunjukkan pengaruh dari jumlah agregat kasar terhadap susut beton pada suhu, kelembaban relatif, dan kecepatan angin yang sama dari *curing* beton.



Gambar 2.4. Susut beton dengan perbedaan jumlah semen (pada suhu 20°C, kelembaban relatif 50%, dan kecepatan angin 2.25 mph) [A. M. Neville 1998:424]

Berdasarkan gambar 2.4. diatas, dapat dilihat pada beton usia awal, regangan beton dengan jumlah semen 850 lb/yd³ atau sekitar 510 kg/m³ (konten semen yang biasa) adalah hampir tiga kali lebih tinggi dari konten semen 340 lb/yd³ atau sekitar 204 kg/m³.

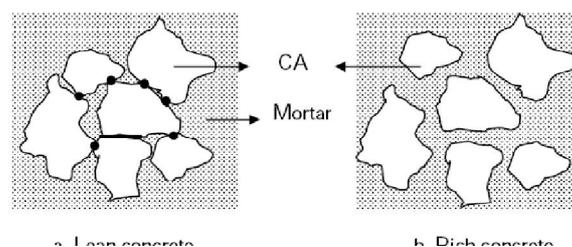
Pada gambar 2.5. menunjukkan pengaruh kadar agregat terhadap perbandingan susut beton terhadap susut pada pasta. Perbandingan susut meningkat secara signifikan terhadap penurunan kadar agregat.



Gambar 2.5. Pengaruh kadar agregat terhadap perbandingan susut beton terhadap susut pada pasta [G.Pichett, 1956]

Alasan ini bisa dijelaskan dengan pengaruh kadar agregat terhadap regangan susut beton adalah gambar 2.6. Untuk campuran *lean concrete* dengan jumlah agregat kasar yang tinggi, agregat kasar akan memiliki kontak berupa titik-titik atau sisi-sisi antar agregat. Jadi, suatu beton dengan suatu struktur agregat akan sangat efektif menahan tegangan yang disebabkan oleh penyusutan pasta semen. Partikel agregat kasar tidak dapat didesak lebih dekat oleh tegangan interior akibat susut.

Bagaimanapun, untuk campuran beton yang “*rich*”, terdapat jarak yang lebih besar antar partikel agregat kasar. Kondisi ini memberi beton lebih sedikit perlawanan untuk bergerak akibat susut.



Gambar 2.6. Pengaruh konten agregat kasar terhadap susut beton

Derajat ketahanan beton ditentukan oleh sifat dan jenis agregatnya, yaitu dengan modulus elastisitas yang tinggi atau dengan permukaan yang kasar akan lebih tahan terhadap proses susut.

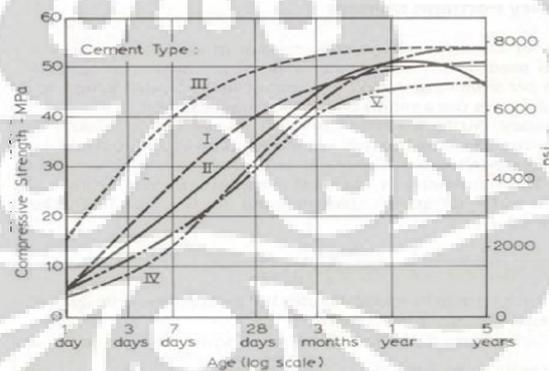
Ukuran dan bentuk agregat juga berpengaruh terhadap susut pada beton keras. Indikasi dari total panjang dan kedalaman dari retak mikro disebabkan oleh susut beton yang akan meningkat seiring dengan besarnya ukuran agregat.

(2) Rasio air terhadap semen

Jumlah air berpengaruh besar terhadap susut pengeringan pada pasta semen dan beton. Beton yang memiliki proporsi semen dan agregat tertentu, kelembaban konstan dengan faktor air semen yang tinggi akan memperbesar susut. Sebaliknya, semakin kecil faktor air-semen, maka akan memperkecil susut yang terjadi.

(3) Jenis semen yang digunakan

Jenis semen yang digunakan ini dipengaruhi oleh panas hidrasi yang ditimbulkan.



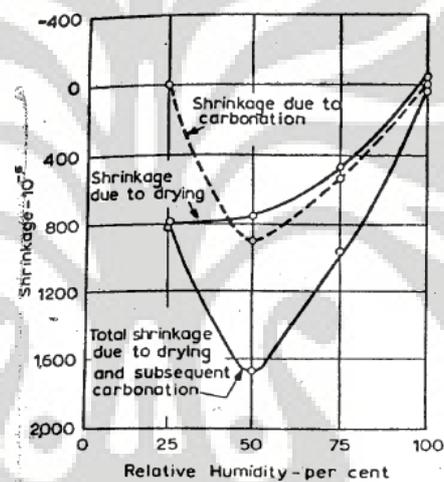
Gambar 2.7. Panas hidrasi yang ditimbulkan dari semen yang berbeda [A. M. Neville 1998:41]

(4) *Carbonation*

Susut karbonasi disebabkan oleh adanya reaksi antara karbondioksida (CO_2) yang ada di udara dan yang ada dalam pasta semen. Besarnya karbonasi tergantung pada kadar air dari beton, kelembaban relatif dan ukuran dari agregat. Karbonasi mulai terjadi di permukaan kemudian

masuk ke dalam beton tetapi sangat lambat. Besarnya karbonasi akan bertambah bersamaan dengan tingginya rasio air semen. Karbonasi dapat menyebabkan terjadinya korosi pada tulangan beton bila karbonasi mencapai permukaan tulangan beton.

Besarnya susut karbonasi bervariasi, bergantung pada urutan kejadian antara proses susut karbonasi dan susut pengeringan. Jika kedua fenomena ini terjadi bersamaan, maka susut yang terjadi lebih kecil. Berbeda dengan pada proses susut pengeringan, proses karbonasi sangat berkurang pada kelembaban relatif di bawah 50%.



Gambar 2.8. Susut pengeringan dan pengarbonasian pada kelembapan berbeda [A. M. Neville, 2005:445]

(5) Ukuran elemen beton

Kelajuan susut akan melambat dan berkurang apabila volume betonnya besar karena dibutuhkan waktu yang lebih banyak untuk mengeringkan beton.

(6) *Chemical admixture*

Pengaruh yang ditimbulkan sangat bervariasi, bergantung pada bahan tambahan yang digunakan. Akselerator seperti kalsium klorida digunakan untuk mempercepat proses pengerasan beton dan memperbesar susut. Sedangkan bahan *air entraining* hanya mempunyai sedikit pengaruh terhadap susut.

(7) Penggunaan abu terbang (*fly ash*)

Penggunaan *fly ash* saat ini menjadi sangat populer dalam dunia konstruksi. Secara umum, bahan ini dapat meningkatkan kebutuhan air dalam campuran beton.

Ukuran partikel berdiameter kurang dari 1 mikron sampai 100 mikron, dengan lebih dari 20% dibawah 20 mikron. Kelas C yang *high calcium fly ash* secara kimia lebih aktif daripada Kelas F yang *low calcium fly ash*.

Fly ash jenis C memiliki kemampuan menurunkan susut pengeringan. Pada aplikasinya, *fly ash* dapat mereduksi kebutuhan air sehingga menurunkan susut beton.

Penggunaan *fly ash* yang tidak tepat akan dapat memicu terjadinya masalah pada struktur beton yang dihasilkan, seperti meningkatkan *drying shrinkage* (susut kering) yang mengakibatkan penurunan *durability* dan kekuatan awal yang rendah.

(8) Kondisi lingkungan

Faktor luar yang juga sangat mempengaruhi susut adalah temperatur udara dan kelembaban. Kelembaban relatif disekeliling beton sangat mempengaruhi besarnya susut, laju perubahan susut semakin kecil pada lingkungan dengan kelembababn relatif tinggi. Temperatur disekeliling juga merupakan faktor yang menentukan, yaitu susut akan tertahan pada temperatur rendah.

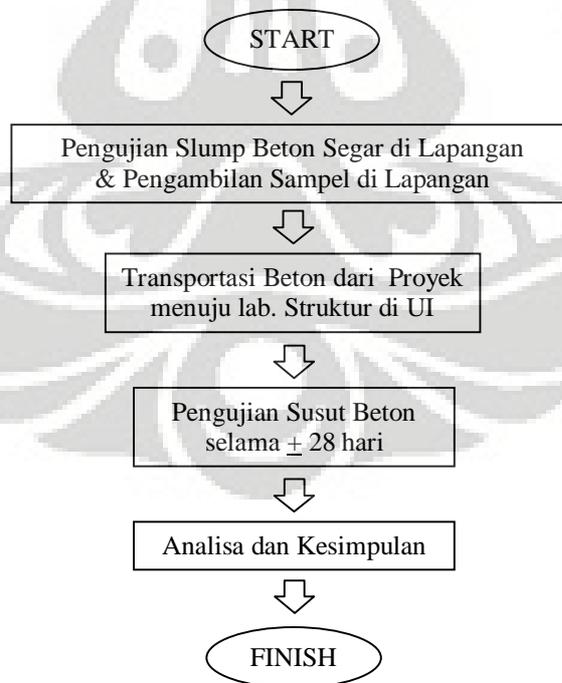
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian beton dengan campuran *fly ash* yang dilihat berdasarkan segi susutnya ini akan dilakukan dengan cara mengambil sampel beton yang digunakan pada suatu proyek tertentu. Hal ini mewakili kondisi ril beton yang digunakan sebagai material utama pada suatu struktur.

Pengukuran terhadap susut beton ini memiliki kemungkinan campuran material-material penyusun beton termasuk *fly ash* yang berbeda-beda. Pengaruh dari komposisi material khususnya material *fly ash* terhadap susut beton inilah yang akan diamati, khususnya pada kondisi susut pengeringan yang kerap kali menimbulkan keretakan pada beton struktural.

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah pengambilan beton benda uji dilapangan meliputi pengujian beton awal (*slump*) dan pengambilan sampel beton yang dilakukan di lokasi proyek, pengangkutan sampel beton, dan pengujian susut yang dilakukan di laboratorium.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.1. PENJELASAN PENELITIAN

3.1.1. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur ini dilakukan kajian mengenai beton secara umum, semen, material *fly ash* dan kandungan didalamnya, serta metode mengenai pengambilan sampel dan pengujian yang akan dilakukan.

3.1.2. Pengujian Material

Pada penelitian ini tidak dilakukan pengujian material apapun. Hal ini dikarenakan benda uji (beton) yang digunakan diambil langsung dari beton siap pakai (*readymix concrete*).

3.1.3. Bahan Penelitian

Bahan penelitian dari perilaku susut beton ini adalah balok berukuran 10cm x 10cm x 50cm dengan kisaran mutu beton 18 MPa – 40 MPa dan persentase penggunaan abu terbang (*fly ash*) antara 9% – 20%. Pada setiap pengecoran yang dilakukan pada proyek tertentu, dilakukan pengambilan sampel sebanyak 5 buah.

3.2. PROSEDUR PENELITIAN

3.2.1. Pengujian Slump Beton (ASTM C.143 – 90a)

Pengujian slump beton dilakukan setelah *readymix* datang ke lokasi proyek. Adapun tujuan dari pemeriksaan slump ini adalah untuk mengetahui ukuran kekentalan (*plastisitas*) dan kohesif dari beton segar.

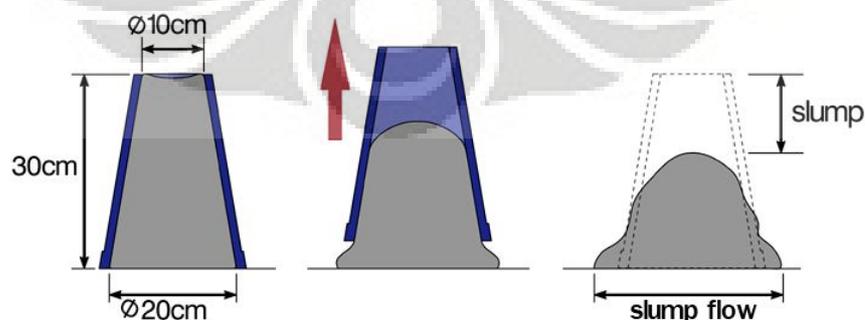
Peralatan yang digunakan dalam pengujian slump beton ini berdasarkan *ASTM C 143 – 90 a*, adalah

- (1) Cetakan berupa kerucut terpancung dengan diameter bagian bawah 20 cm, bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm. bagian bawah dan atas cetakan terbuka.

- (2) Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dibuatkan dari baja tahan karat.
- (3) Pelat logam dengan permukaan yang kokoh rata dan kedap air.
- (4) Sendok cekung.
- (5) Mistar ukur atau meteran

Adapun prosedur pengujian nilai slump beton adalah sebagai berikut:

- (1) Pelat logam diletakan pada bidang yang datar, kemudian di atasnya diletakan cetakan kerucut terpancung.
- (2) Masukkan beton dengan sendok cekung dan dilakukan pengisian cetakan sampai penuh dalam 3 (tiga) lapis, dimana tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Pada saat pemadatan, tongkat harus ditusukkan secara merata pada tiap permukaan sampai lapisan bawah tiap-tiap lapisan.
- (3) Ratakan permukaan benda uji dengan tongkat segera setelah pemadatan. Tunggu selama beberapa saat dan dalam jangka waktu tersebut, semua benda uji yang jatuh di sekitar cetakan harus disingkirkan.
- (4) Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan sehingga beton mengalami keruntuhan maksimum sesuai *slump* yang dirancang.
- (5) Baliklah cetakan kerucut tersebut dan letakkan perlahan-lahan di samping benda uji.
- (6) Ukurlah *slump* yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.



Gambar 3.2. Pengujian slump beton
[<http://commons.wikimedia.org/wiki/>]

3.2.2. Percobaan Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton

Percobaan ini melingkupi prosedur untuk pembuatan dan perawatan benda uji beton yang sesuai standar yang diberlakukan di laboratorium. Pembuatan dan perawatan benda uji tersebut harus berada dibawah pengawasan yang akurat terhadap material.

Adapun peralatan yang digunakan antara lain adalah cetakan baja berukuran 10cm x 10 cm x 50cm, tongkat pemadat, dan peralatan tambahan lain seperti sekop, palu karet, maupun sendok perata.

Berikut ini merupakan prosedur yang harus dilakukan dalam membuat benda uji :

(1) Persiapan cetakan

Sebelum melakukan pengangkutan cetakan dari laboratorium ke lokasi proyek, hal yang terlebih dulu dilakukan adalah mengeluarkan cetakan yang akan digunakan. Kemudian melakukan pemeriksaan terhadap kekencangan baut sehingga pada saat penghamparan dan pemadatan benda beton segar tidak keluar dari sisi cetakan serta meminyaki cetakan dengan oli agar memudahkan saat cetakan dibuka.

(2) Pembuatan beton segar

Pada penelitian ini pembuatan benda uji dilakukan di masing-masing *plant* dari setiap perusahaan beton siap pakai. Ada 2 (dua) metode pembuatan, yakni dengan cara kering (*drymix*) atau dengan cara basah (*wetmix*).

Pada cara kering, pencampuran dilakukan pada molen yakni dengan terlebih dulu menakar tiap-tiap material penyusun beton kemudian memasukkannya kedalam molen satu persatu yakni semen dan agregat halus yang dicampur dan diaduk terlebih dulu kemudian dimasukkan agregat kasar dengan penambahan air sedikit demi sedikit.

Pada cara basah, pencampuran langsung dilakukan dalam tabung pencampuran di *plant* sesuai dengan takaran pada rancang campuran (*mix design*) yang dipesan oleh kontraktor untuk kemudian dituangkan kedalam molen.

(3) Pengisian cetakan

Isilah cetakan dengan adukan beton dalam 3 (tiga) lapis, tiap-tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata.

Pada saat melakukan pemadatan pertama, tongkat pemadat tidak boleh menyentuh dasar cetakan. Pada saat pemadatan lapisan kedua dan ketiga tidak boleh masuk kira-kira 25.4 mm kedalam lapisan yang dibawahnya. Pada saat selesai melakukan pemadatan, sisi-sisi cetakan diketuk dengan menggunakan palu karet sampai tongga bekas tusukan menutup.

Ratakan permukaan beton setelah 5 menit dimana air semen sudah naik keatas yang menandakan bahwa rongga-rongga udara lenyap. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam, dan bukalah cetakan serta keluarkanlah benda uji tersebut.

Berikut ini merupakan perawatan yang sebaiknya dilakukan pada sampel benda uji berdasarkan ASTM C 192/C 192 M – 05 Vol 04.02 dan SNI 03-4431-1998.

- (1) Setelah 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkanlah benda uji.
- (2) Rendamlah benda uji dalam bak perendam berisi air selama waktu yang dikehendaki
- (3) Biarkan beton direndam dalam bak perawatan sampai satu hari sebelum pengetesan.

3.2.3. Pengujian Susut Beton (ASTM C 490 – 93a)

(1) Ruang lingkup

Pengetesan ini mencakup *apparatus* dan peralatan yang digunakan untuk persiapan *specimen* dalam menentukan perubahan panjang pada pasta semen, dan beton yang telah mengeras.

(2) Alat dan Bahan

- a.) Beton yang diproduksi oleh *readymix* dari proyek pembangunan tertentu

- b.) Alat uji susut
- c.) *Length comparator*, berukuran 58 cm
- d.) *Dial gage* dengan ketelitian 0.01 mm
- e.) Alat ukur suhu dan kelembaban digital
- f.) Cetakan balok beton ukuran 10cm x 10cm x 50cm



Gambar 3.3. *Length comparator*

[<http://www.universalsoilequippers.com>]

(3) Prosedur Pengetesan

a.) Persiapan cetakan

Join-join pada cetakan, garis kontak dari cetakan dan pelat dasar harus ditutup dengan rapat untuk mencegah kebocoran air dari specimen yang baru dicetak. Lapisi dengan tipis permukaan interior dari cetakan dengan minyak mineral.

b.) Prosedur Pengujian

Pengujian susut setelah *specimen* beton terpasang pada apparatus. Prosedur pengetesan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

- Letakkan posisi batang penunjuk *dial* pada suatu acuan yang sama untuk setiap spesimen yang dibandingkan pada suhu ruang yang ditetapkan.
- Catat pembacaan minimum dari *dial* untuk setiap perubahan yang terjadi pada pembacaan *dial*.

- Temperatur ruang harus dijaga antar suhu 20 – 27.5 °C dengan kelembaban relatifnya lebih dari 50%.
- Pembacaan dilakukan setiap 24 jam sekali

c.) Perhitungan perubahan panjang (susut)

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

Dimana :

L = Perubahan panjang pada umur x (%)

L_x = Pembacaan benda uji pada umur x dikurangi pembacaan besi acuan pada umur x (mm)

L_i = Pembacaan benda uji pada umur awal dikurangi pembacaan besi acuan pada umur yang sama (mm)

G = Nominal gage length (500 mm)

3.3. METODE PENGOLAHAN HASIL ANALISIS DATA

Pelepasan bekisting beton harus dibuka 1 (satu) hari atau 24 jam setelah beton dituangkan. Kemudian dilakukan pencatatan *dial* awal beton di *length comparator* selama lebih kurang 28 hari dalam interval pembacaan setiap 24 jam. Pencatatan *reference bar* (besi acuan) diusahakan tetap setiap pembacaan sehingga dapat diketahui penyusutan setiap harinya. Setiap pembacaan juga dicatat suhu ruang dan kelembaban relatifnya.

Berdasarkan hasil pembacaan dial pada beton selama lebih kurang 28 hari, kemudian data tersebut dimasukkan kedalam tabel-tabel dan grafik-grafik yang disesuaikan dengan pengujian.

Dari analisa data pembacaan dial, selanjutnya dibuat grafik persentase regangan susut dari tiap sampel yang bersangkutan yang kemudian akan dibandingkan regangan susutnya terhadap beton normal. Beton normal merupakan

beton yang mempunyai berat satuan 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah [SNI 03-2847-2002].

Jadi apabila pada pengecoran 1 terdapat 5 (lima) sampel maka grafik dalam satu gambar grafik ada 6 (enam) buah termasuk nilai rata-ratanya. Kurva rata-rata tiap sampel kemudian dibuat *trendline*-nya dalam bentuk logaritma beserta dimunculkan persamaan grafik *trendline* tersebut. Grafik yang diplot akan memperlihatkan hubungan antara perubahan panjang beton dalam persentase setiap harinya.



BAB 4

ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN

4.1. DATA SAMPEL BETON

Sampel beton yang digunakan untuk penelitian ini adalah sampel beton yang diambil langsung dari pengecoran dilapangan, yakni langsung berasal dari beton siap pakai (*readymix*) dengan campuran komposisi *fly ash*. Berikut ini merupakan data dari pengambilan sampel:

Tabel 4.1. Data sampel beton

Waktu pengecoran	Nama Sampel	Mutu Beton	Komposisi Fly Ash	w/c	Peruntukan
24 April 2010 10.30 – 14.30	A	$fc' 35$	9 %	0.31	Pondasi TC
31 April 2010 09.00 – 12.30	B	$K - 400$ (<i>screening</i>)	20%	0.35	Kolam Renang
13 – 14 Mei 2010 20.00 – 01.00	C	$fc' 40$	15 %	0.45	Pelat Lantai 8
29 Mei 2010 11.00 – 17.00	D	$K - 225$	10 %	0.66	Pelat Lantai
6 Juni 2010 14.00 – 19.00	E	$fc' 30$	9 %	0.39	<i>Mass Foundation</i>

4.2. PENGAMBILAN DAN PERAWATAN SAMPEL

4.2.1. Pengambilan Benda Uji

Sebelum melakukan pengambilan benda uji di proyek konstruksi, terlebih dahulu dilakukan pengangkutan bekisting balok berukuran 10cm x 10cm x 50cm ke lokasi proyek yang dituju. Bekisting yang angkut terlebih dahulu diperiksa kekencangan baut-bautnya.

Setelah melakukan koordinasi mengenai waktu dan tempat pengambilan sampel, dilakukan persiapan bekisting dengan cara mengoleskan pelumas ke bekisting baja yang bertujuan untuk mempermudah pelepasan bekisting setelah 1 (satu) hari dikeringkan di proyek.

Sebelum dilakukan penghamparan pada area pengecoran maupun penuangan beton ke bekisting benda uji, terlebih dulu dilakukan pengujian *slump beton*. Hasil pengujian slump beton dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.2. Hasil pengujian sampel beton di lapangan

No. Sampel	Slump (cm)	No. Mixer
A – 1	10.00	1
A – 2 s.d. A – 3	13.00	2
A – 4 s.d. A – 5	14.00	3
B – 1 s.d. B – 3	6.00	1
B – 4	8.00	2
B – 5	8.00	3
C – 1 s.d. C – 2	13.00	1
C – 3 s.d. C – 5	13.00	2
D – 1 s.d. D – 2	12.00	1
D – 3 s.d. D – 5	14.00	2
E – 1 s.d. E – 2	12.00	1
E – 3 s.d. E – 5	12.00	2

4.2.2. Perawatan Sampel

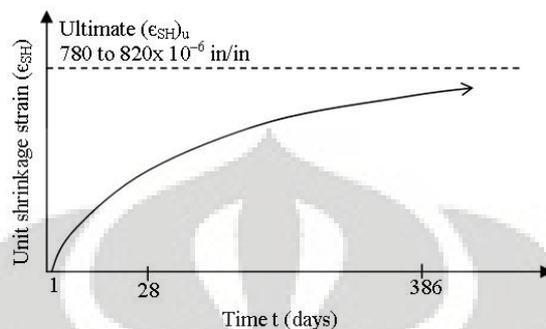
Setelah 1 (satu) hari, beton beserta bekisting diangkut kembali ke Laboratorium Struktur dan Material FTUI untuk dilakukan pelapasan beton dari bekistingnya. Untuk langsung dilakukan pembacaan *dial* terhadap sampel beton. Pembacaan dilakukan setiap harinya selama lebih kurang 28 hari.

Perawatan beton untuk pengujian susut dilakukan dengan menutup beton dengan kain basah setiap harinya atau terkadang dilakukan penyemprotan pada permukaan masing-masing beton.

4.3. ANALISA SUSUT BETON TEORITIS

Susut merupakan perubahan panjang atau perubahan volume yang tidak berhubungan dengan beban. Susut terjadi karena beberapa faktor seperti akibat reaksi kimia antara air dan semen dalam beton, perubahan *moisture content* dan perubahan temperatur [G.E. Troxell, 1968].

Susut beton telah dijelaskan pada sub-bab 2.6, Sehingga berdasarkan gambar 2.3 pada pembahasan tersebut dapat diketahui besarnya persentase regangan susut beton yang kembali ditampilkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik regangan susut beton terhadap waktu
[Edward G Nawy in *concrete construction engineering handbook* P.4-9]

Dengan melakukan pendekatan dengan menggunakan metode interpolasi, diketahui bahwa beton normal memiliki %susut di usia 28 hari sebesar 0.035% - 0.041%.

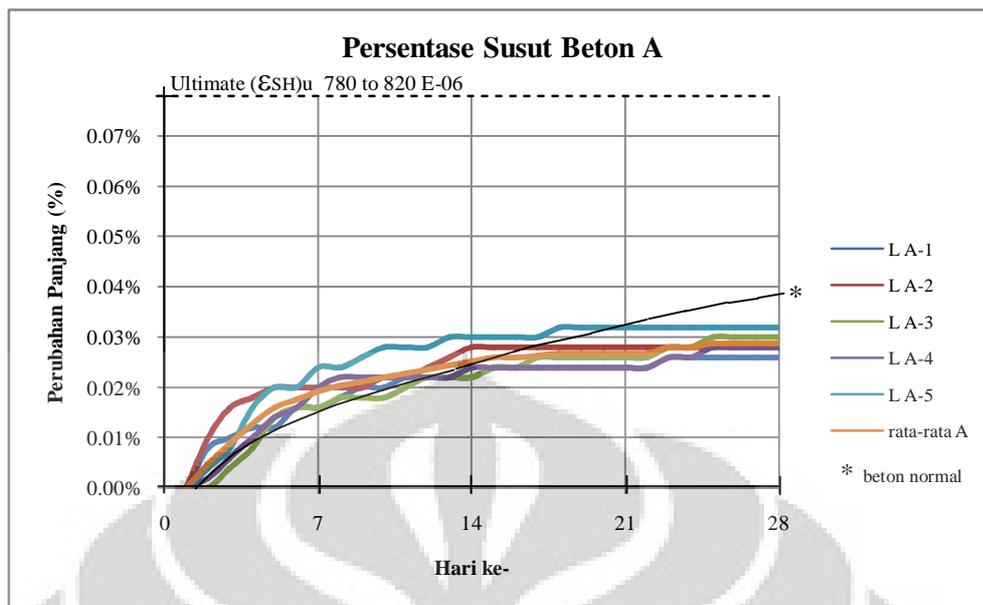
Sedangkan berdasarkan SK SNI S-15-1990-F halaman 3 menyebutkan bahwa beton normal mengalami regangan akibat susut pengeringan sebesar 0.03% pada usia 28 hari.

4.4. HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN SUSUT BETON

4.3.1. Hasil Pengujian Susut Sampel A

Tabel 4.3. Persentase susut beton sampel A

Hari ke-	Tanggal	L A-1	L A-2	L A-3	L A-4	L A-5	Rata-rata A
3	27-Apr	0.010%	0.016%	0.004%	0.006%	0.008%	0.009%
7	1-May	0.016%	0.020%	0.016%	0.020%	0.024%	0.019%
14	8-May	0.022%	0.028%	0.022%	0.024%	0.030%	0.025%
21	15-May	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%	0.027%
28	22-May	0.026%	0.028%	0.030%	0.028%	0.032%	0.029%



Gambar 4.2. Grafik persentase susut beton proyek A (f_c' 35 MPa – fa 9%)

Dari tabel 4.3 yang dituangkan dalam bentuk gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada sampel beton A yang memiliki rencana mutu beton f_c' 35 MPa dengan kadar *fly ash* 9% memiliki perilaku susut yang cenderung seragam. Persentase susut beton mengalami kenaikan yang cukup pesat pada saat beton berumur 1hari–14hari jika dibandingkan dengan grafik %susut pada beton normal. Pada saat mulai berumur lebih dari 14hari mengalami masih kenaikan %susut beton namun cenderung konstan.

Persentase susut beton yang berumur 28 hari pada semua sampel A berada dibawah nilai 0.038% yang menjadi acuan %susut beton normal. Persentase susut beton sampel A pada hari ke-28 untuk sampel A-1, A-2, A-3, A-4, dan A-5 masing-masing sebesar 0.026%, 0.028%, 0.030%, 0.028%, dan 0.032% serta dengan %susut rata-ratanya sebesar 0.029%. Hal ini menunjukkan bahwa sampel beton A memiliki %susut yang lebih kecil dari beton normal.

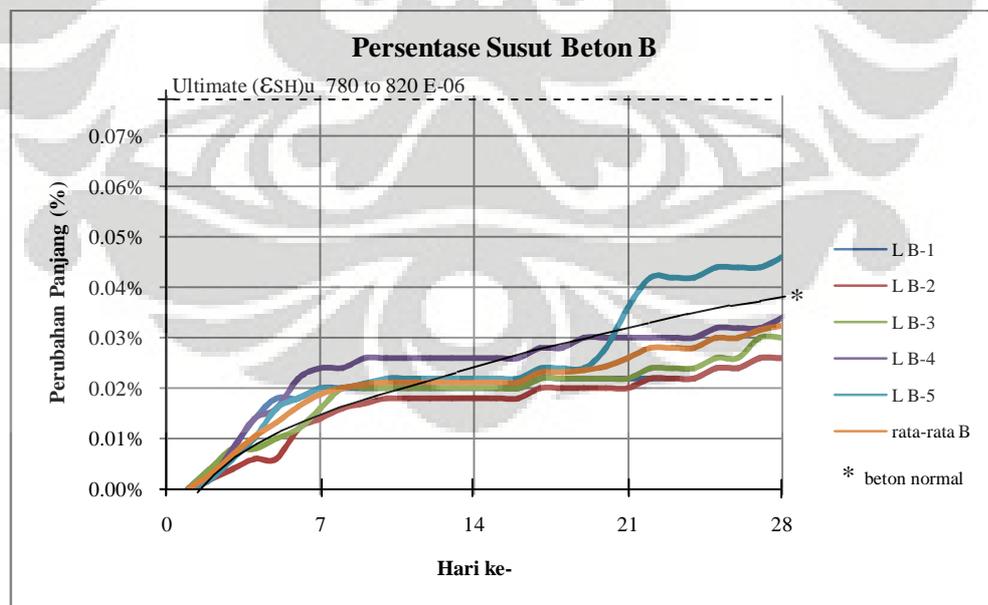
Beton hingga umur 28 hari pada sampel A-1, A-2, A-3, dan A-4 memiliki %kenaikan susut yang cenderung seragam. Sampel A-5 memiliki %susut yang lebih besar dari sampel yang lain diikuti oleh sampel A-3, A-2, A-4, dan A-1 yang memiliki %susut terkecil dari sampel beton proyek A. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh pengambilan sampel yang berasal dari molen yang berbeda yang juga memiliki perbedaan nilai slump. Pada sampel A-5 memiliki slump yang lebih

encer yakni sekitar 14 cm daripada sampel A-1 dengan nilai slump yang lebih kental sebesar 10 cm seperti yang disajikan pada tabel 4.2. Namun, pada sampel A-4 dengan slump 14 cm bisa dikatakan memiliki %susut yang sama dengan sampel A-4 yang memiliki slump sebesar 13 cm apabila dikaitkan dengan nilai slumpnya. Hal ini dapat pula membuktikan bahwa meskipun berasal dari molen yang sama, kemungkinan besar komposisi agregat pada masing-masing sampel yang dibuat berbeda. Ada yang lebih banyak agregatnya apabila beton yang dituangkan pada wadah diambil di bagian atas dari wadah. Ada pula yang lebih banyak pastinya jika diambil terakhir.

4.3.2. Hasil Pengujian Susut Sampel B

Tabel 4.4. Persentase susut beton sampel B

Hari ke-	Tanggal	L B-1	L B-2	L B-3	L B-4	L B-5	Rata-rata B
3	3-May	0.008%	0.004%	0.008%	0.008%	0.006%	0.0068%
7	7-May	0.020%	0.014%	0.016%	0.024%	0.020%	0.0188%
14	14-May	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%	0.0212%
21	21-May	0.022%	0.020%	0.022%	0.030%	0.036%	0.0260%
28	28-May	0.026%	0.026%	0.030%	0.034%	0.046%	0.0324%



Gambar 4.3. Grafik persentase susut beton proyek B (K400 – fa 20%)

Tabel 4.4 menyajikan data mengenai kenaikan %susut beton proyek B dengan kelipatan 7 hari sampai 28 hari pengujian sampel beton. Pada hari ke-28, %beton sampel B-1, B-2, B-3, dan B-4 berturut-turut adalah sebesar 0.026%, 0.026%, 0.030%, dan 0.034%. Keempat sampel tersebut memiliki %susut yang lebih kecil dari beton normal. Sedangkan pada sampel B-5 memiliki %susut mencapai nilai 0.046% dimana nilai %susut tersebut sudah melampaui %susut beton normal. Namun jika dilihat dari rata-rata sampel proyek B memiliki %susut yang lebih kecil dari beton normal dimana berada pada nilai 0.0324%. Hal yang disebutkan tersebut juga jelas terlihat pada gambar 4.3.

Grafik persentase susut beton proyek B memperlihatkan adanya kejanggalan seperti yang terlihat pada gambar 4.3. Pada sampel beton B-1 sampai B-4 memiliki %susut yang cenderung seragam dan hanya sampel B-5 yang mengalami simpangan yang cukup besar. Ketidakteraturan tersebut terjadi pada saat beton berumur 19, 20, dan 21 hari yang memiliki selisih %susut sekitar 0.015% atau mengalami kenaikan hampir 25%.

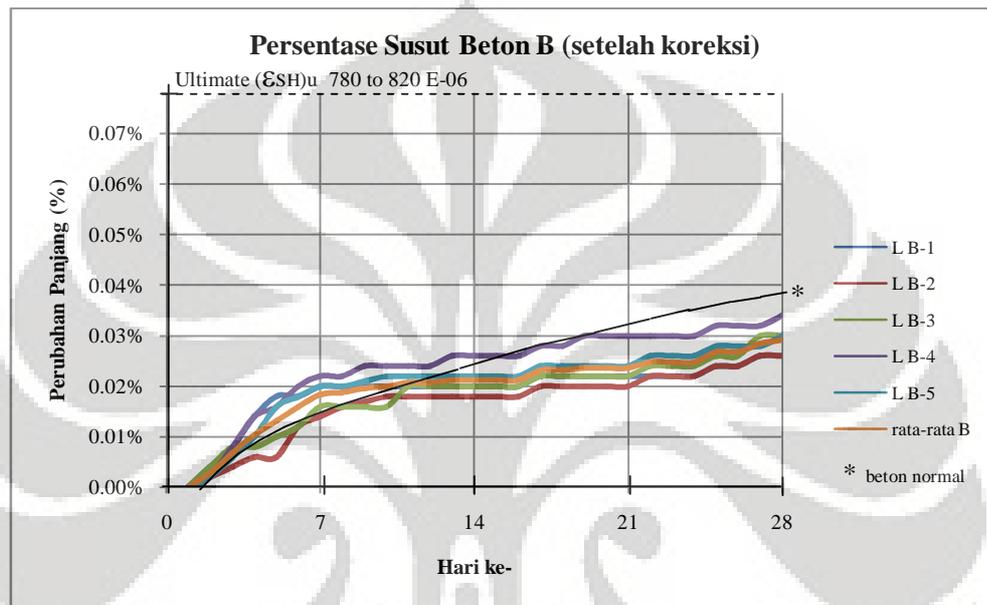
Apabila dikorelasikan dengan nilai slump antara masing-masing sampel beton B, maka sampel B-5 jelas memiliki %susut yang lebih besar dari sampel lainnya pada proyek B. Namun, sampel A-5 tersebut seharusnya memiliki %susut tidak jauh berbeda dengan sampel A-4 yang sama-sama memiliki slump sebesar 8 cm. sedangkan sampel A-1 dan A-2 memiliki %susut yang cukup seragam dengan sampel A-3 mengingagt berasal dari molen dan nilai yang sama yakni sebesar 6 cm.

Hal tersebut mungkin disebabkan oleh pengambilan sampel dilakukan pada molen yang berbeda (seperti yang disebutkan sebelumnya) yang memungkinkan terjadinya perbedaan cara pengerjaan dilapangan (metode pencampuran di area *batching plant* dan tingkat kepadatan beton), faktor air semen, dan lain-lain. Kesalahan dapat terjadi karena terjadinya penggerusan bagian dasar atau atas beton yang setiap kali pengujian kemungkinan terjadinya benturan sana-sini sehingga pada pembacaan pada dial bisa menimbulkan deviasi yang besar.

Oleh karena itu, peneliti melakukan penyesuaian (koreksi) dengan menurunkan deviasi yang terjadi dari hari ke-19 sampai 28 hari. Caranya adalah dengan mengabaikan deviasi pada hari ke 19, 20, dan 21 sehingga memiliki %susut beton yang sama. Jadi pada hari ke-22 sampai 90 %susut beton proyek B akan diturunkan sebesar 0.015%.

Tabel 4.5. Persentase susut beton sampel B (setelah dilakukan penyesuaian)

Hari ke-	Tanggal	L B-1	L B-2	L B-3	L B-4	L B-5	Rata-rata B
3	3-May	0.008%	0.004%	0.008%	0.008%	0.006%	0.0068%
7	7-May	0.020%	0.014%	0.016%	0.022%	0.020%	0.0184%
14	14-May	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%	0.0212%
21	21-May	0.022%	0.020%	0.022%	0.030%	0.024%	0.0236%
28	28-May	0.026%	0.026%	0.030%	0.034%	0.028%	0.0288%



Gambar 4.4. Grafik persentase susut beton B (koreksi)

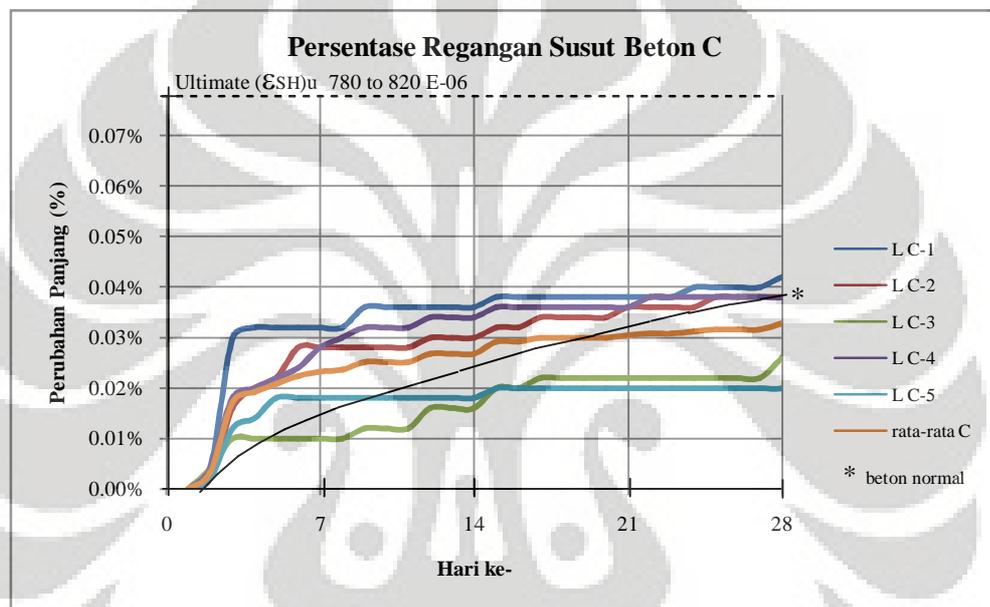
Seperti halnya yang terjadi pada sampel beton proyek A, sampel beton proyek B juga mengalami kecenderungan perilaku susut beton yang seragam terlebih lagi setelah dilakukan penyesuaian (koreksi). Pada sampel B-1, B-2, B-3 dan B-5 memiliki grafik % susut yang hampir sama, sedangkan pada sampel B-4 memiliki % susut yang sedikit lebih tinggi dari keempat sampel lainnya meskipun memiliki perilaku yang sama. Akan tetapi, setelah melakukan koreksi dilihat pada gambar 4.4 bahwa beton proyek B dengan rancangan mutu beton K-400 memiliki % susut beton yang lebih kecil dari beton normal.

Persentase susut beton mengalami kenaikan yang cukup pesat pada saat beton berumur 1hari–14hari. Pada saat mulai berumur lebih dari 14 hari sampel-sampel beton A masih mengalami kenaikan % susut beton namun cenderung konstan.

4.3.3. Hasil Pengujian Susut Sampel C

Tabel 4.6. Persentase susut beton sampel C

Hari ke-	Tanggal	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5	Rata-rata C
3	16-May	0.030%	0.016%	0.010%	0.018%	0.012%	0.0172%
7	20-May	0.032%	0.028%	0.010%	0.028%	0.018%	0.0232%
14	27-May	0.036%	0.030%	0.016%	0.034%	0.018%	0.0268%
21	3-Jun	0.038%	0.036%	0.022%	0.036%	0.020%	0.0304%
28	10-Jun	0.042%	0.038%	0.026%	0.038%	0.020%	0.0328%



Gambar 4.5. Grafik persentase susut beton C (f_c' 30 MPa – f_a 15%)

Dari hasil persentase susut beton proyek C yang disajikan pada gambar 4.5, terlihat jelas bahwa terjadi kenaikan % susut beton yang cukup berbeda dengan 2 (dua) proyek sebelumnya. Apabila dibandingkan dengan % susut pada beton normal, maka % kenaikan susut rata-rata beton sampel C memiliki % susut yang bisa dikatakan memiliki lebih kecil. Dari hari ke-1 sampai hari ke-18 terjadi kenaikan %susut yang lebih besar dari%susut normal, sedangkan pada saat beton mulai memasuki umur 18 hari susut beton mengalami kenaikan %susut yang cenderung rendah.

Pada umur beton mencapai usia 28 hari % kenaikan susut beton C-1, C-2, C-3, C-4 dan C-5 masing-masing mencapai 0.042%, 0.038%, 0.026%, 0.038%, 0.020%, dan 0.0328% dengan persentase susut rata-rata dari beton mencapai

0.0328%. Terdapat 2 (dua) macam kecenderungan nilai grafik. Pada sampel C-1, C-2, dan C-4, nilai dari persentase susut yang disajikan menunjukkan lebih besar dari beton normal dan sampel C-3 dan C-5 memiliki %susut yang lebih rendah dari beton normal. Pada sampel C-1 dan C-2 berasal dari satu molen yang sama sedangkan C-3, C-4, dan C-5 berasal dari satu molen yang sama namun berbeda dari sampel C-1 dan C-2 meskipun memiliki nilai slump yang sama.

Hal tersebut diatas dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh banyak faktor yang sudah disebutkan sebelumnya. Namun yang tidak kalah penting dari suatu penelitian adalah ketelitian alat. Kesalahan tersebut dapat dilihat dari kenaikan %susut beton terjadi pada semua sampel proyek C. Kesalahan alat sangat mungkin terjadi akibat *length comparator* yang bagian dasarnya sudah mulai korosi juga akibat longgarnya baut pengaku komparatornya yang diperparah oleh besi acuan yang juga sudah korosi sehingga sangat mempengaruhi pembacaan.

Oleh karena itu, peneliti melakukan penyesuaian terhadap deviasi %sust beton hari ke-2 sampai hari ke-3 yang dilakukan dengan cara merata-ratakan %kenaikan susut antara %susut hari ke-1 dan ke-2 dengan %susut beton hari ke-3 dan ke-4.

Tabel 4.7. Persentase susut beton yang dikoreksi

Hari ke-	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5	Rata-rata C
1	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.0000%
2	0.004%	0.002%	0.004%	0.004%	0.002%	0.0032%
3	0.030%	0.016%	0.010%	0.018%	0.012%	0.0172%
4	0.032%	0.020%	0.010%	0.020%	0.014%	0.0192%
5	0.032%	0.022%	0.010%	0.022%	0.018%	0.0208%

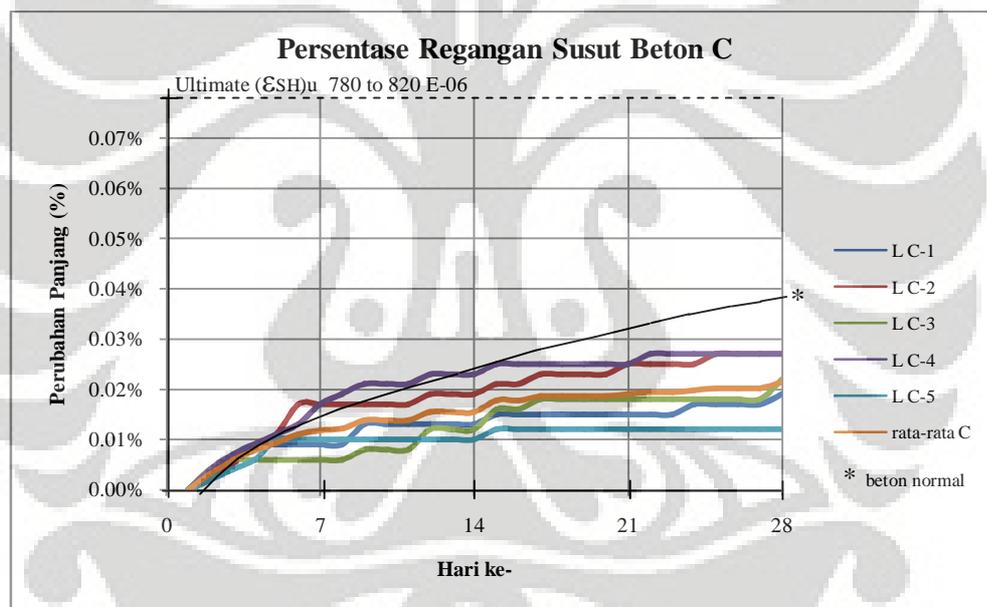
menjadi

Hari ke-	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5	Rata-rata C
1	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.0000%
2	0.004%	0.002%	0.004%	0.004%	0.002%	0.0032%
3	0.007%	0.005%	0.006%	0.007%	0.004%	0.0058%
4	0.009%	0.009%	0.006%	0.009%	0.006%	0.0078%
5	0.009%	0.011%	0.006%	0.011%	0.010%	0.0094%

Penyesuaian yang dilakukan adalah dengan menjadikan sampel C-5 sebagai acuan dengan % susut sebesar 0.058% di hari ke-3, yang diikuti dengan penurunan sampel proyek C yang lain sejauh selisih %susut C-5 sebenarnya dengan %susut C-5 koreksi. Penyesuaian ini mempengaruhi besarnya %susut beton pada hari-hari berikutnya.

Tabel 4.8. Persentase susut beton sampel C (koreksi)

Hari ke-	Tanggal	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5	Rata-rata C
3	16-May	0.007%	0.005%	0.006%	0.007%	0.004%	0.0058%
7	20-May	0.009%	0.017%	0.006%	0.017%	0.010%	0.0118%
14	27-May	0.013%	0.019%	0.012%	0.023%	0.010%	0.0154%
21	3-Jun	0.015%	0.025%	0.018%	0.025%	0.012%	0.0190%
28	10-Jun	0.019%	0.027%	0.022%	0.027%	0.012%	0.0214%



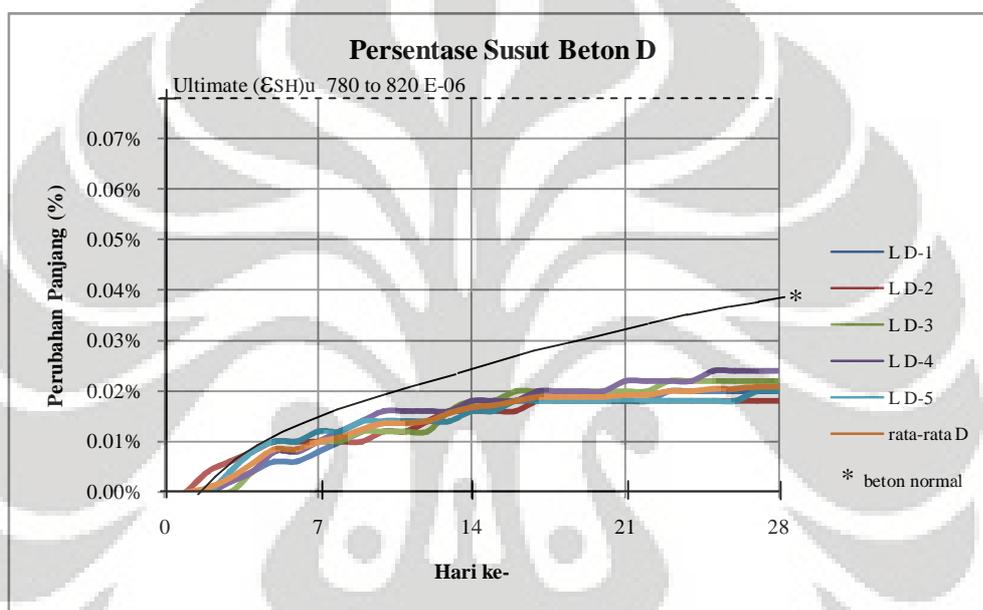
Gambar 4.6. Grafik persentase susut beton C (koreksi)

Dengan terjadinya penyesuaian ini, maka dapat diperoleh %susut beton usia 28 hari untuk masing-masing sampel mencapai 0.019%, 0.027%, 0.022%, 0.027%, dan 0.012% dengan %susut rata-rata sampel C hanya mencapai angka 0.0214%. Nilai persentase susut tersebut bisa dikatakan lebih kecil dari beton normal yang bisa mencapai 0.038% pada usia 28 hari.

4.3.4. Hasil Pengujian Susut Sample D

Tabel 4.9. Persentase susut beton sampel D

Hari ke-	Tanggal	L D-1	L D-2	L D-3	L D-4	L D-5	Rata-rata D
3	1-Jun	0.002%	0.006%	0.000%	0.002%	0.004%	0.003%
7	5-Jun	0.008%	0.010%	0.010%	0.010%	0.012%	0.0100%
14	12-Jun	0.016%	0.016%	0.018%	0.018%	0.016%	0.0168%
21	19-Jun	0.018%	0.018%	0.020%	0.022%	0.018%	0.0192%
28	26-Jun	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%	0.020%	0.0208%



Gambar 4.7. Grafik persentase susut beton proyek D (K225 – fa 10%)

Pada grafik persentase susut sampel beton proyek D diatas, dapat dilihat bahwa %susut yang terjadi lebih kecil dari %susut beton normal dengan perilaku grafik %susutnya yang cukup seragam satu sama lainnya dan jika dikorelasikan dengan nilai slump dan perbedaan pengambilan sampel yang berasal dari molen yang berbeda sepertinya tidak terlalu berpengaruh besar terhadap deviasi %susutnya.

Kalau pada 3 (tiga) proyek sebelumnya memiliki kenaikan %susut beton yang besar mulai dari hari ke-1 sampai hari ke-14 kemudian %susut mulai cenderung naik secara perlahan-lahan pada hari ke-15. Namun, sepertinya perilaku tersebut tidak ditunjukkan pada %susut sampel beton proyek D. Kenaikan %susut dari hari ke-1 sampai ke-4 memiliki kecenderungan perilaku

sama seperti beton normal, setelah hari ke-5 terjadi kenaikan yang kecil sampai hari ke-17. Namun setelah hari ke-18 sampai hari ke-28 mulai terlihat terjadinya kenaikan %susut beton yang sangat kecil bahkan cenderung konstan.

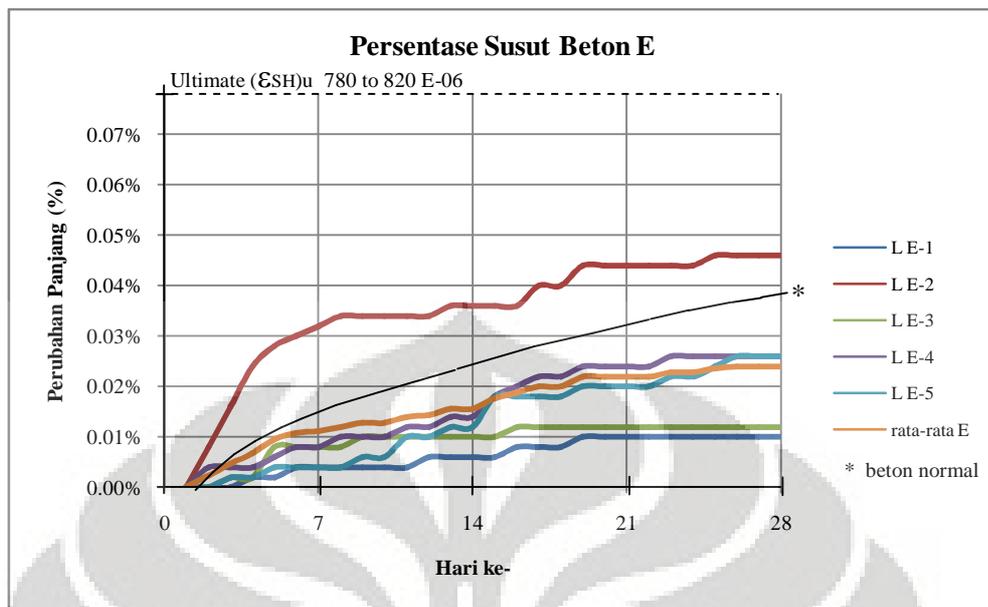
Pada hari ke-28, % kenaikan susut 5 buah sampel beton D masing-masing hanya mengalami kenaikan sebesar 0.020% , 0.018%, 0.022%, 0.024%, dan 0.020% dengan %susut rata-ratanya adalah 0.0208%.

Pada sampel beton proyek D ini, pengambilan sampel beton dilakukan pada malam hari dimana suhu udara turun sehingga dapat memperkecil susut yang terjadi. Kesalahan sangat memungkinkan timbul adalah pada saat pengujian sampel beton proyek D ini banyak mengalami penggerusan beton pada saat dilakukan pembukaan bekisting bahkan juga kerap terjadi saat pengujian yang mungkin mempengaruhi pembacaan dial.

4.3.5. Hasil Pengujian Susut Sampel E

Tabel 4.10. Persentase susut beton sampel E

Hari ke-	Tanggal	L E-1	L E-2	L E-3	L E-4	L E-5	Rata-rata E
3	9-Jun	0.000%	0.016%	0.002%	0.004%	0.002%	0.0048%
7	13-Jun	0.004%	0.032%	0.008%	0.008%	0.004%	0.0112%
14	20-Jun	0.006%	0.036%	0.010%	0.014%	0.012%	0.0156%
21	27-Jun	0.010%	0.044%	0.012%	0.024%	0.020%	0.0220%
28	4-Jul	0.010%	0.046%	0.012%	0.026%	0.026%	0.0240%



Gambar 4.8. Grafik persentase susut beton proyek E (f_c' 35 MPa – f_a 9%)

Pada hari ke-28, sampel beton E-1, E-3, E-4, dan E-5 memiliki %susut beton masing masing sebesar 0.010%, 0.012%, 0.026%, dan 0.026% sedangkan %susut sampel beton E-2 mencapai 0.046%. Dengan begitu, %susut sampel beton rata-rata kelima sampel beton proyek E mencapai 0.0240% yang disajikan pada tabel 4.10. Dengan demikian, seperti halnya pada sampel-sampel proyek sebelumnya, sampel beton proyek E memiliki % susut yang lebih kecil dari beton normal.

Dari grafik persentase susut sampel beton E diatas, jelas terlihat bahwa terjadi perbedaan yang cukup mencolok antara sampel E-2 dengan keseragaman perilaku susut beton sampel E-1, E-3, E-4, dan E-5. Keseragaman yang terjadi adalah sama-sama memiliki %susut beton yang lebih kecil dari %susut beton normal.

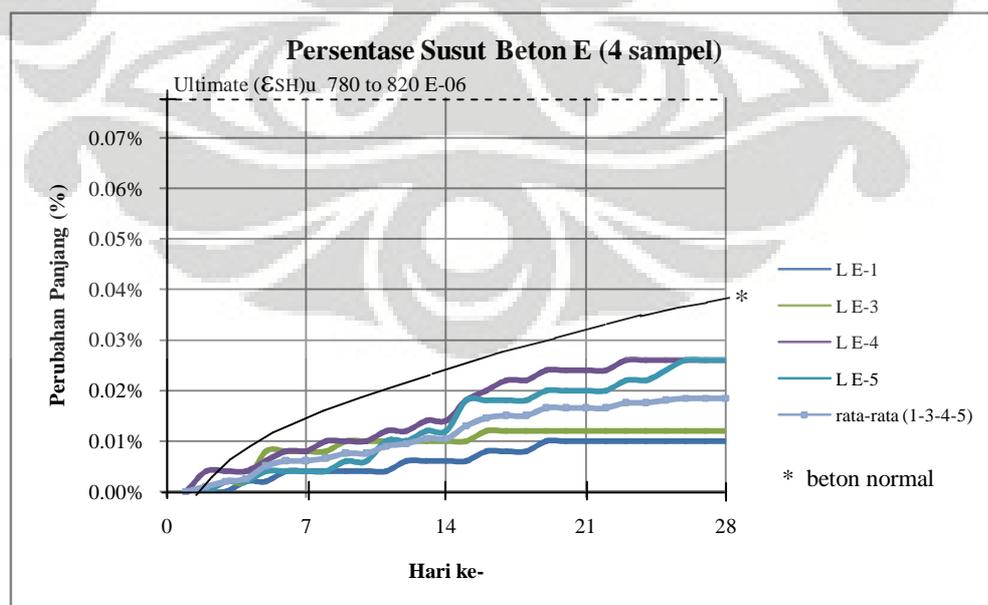
Berdasarkan hal tersebut diatas, maka sampel beton E-2 dianggap gagal sehingga perlu dilakukan penyesuaian dengan tidak memperhitungkan sampel E-2 tersebut. Hal ini bisa disebabkan oleh kesalahan pembacaan dial, penempatan beton yang berbeda saat perawatan, jumlah air semen yang berbeda pada tiap sampel, sampel beton yang berasal dari molen yang berbeda.

Tabel 4.11. Persentase susut beton sampel E (tanpa E-2)

Hari ke-	Tanggal	L E-1	L E-3	L E-4	L E-5	Rata-rata (4 sampel)
3	9-Jun	0.000%	0.002%	0.004%	0.002%	0.0020%
7	13-Jun	0.004%	0.008%	0.008%	0.004%	0.0060%
14	20-Jun	0.006%	0.010%	0.014%	0.012%	0.0105%
21	27-Jun	0.010%	0.012%	0.024%	0.020%	0.0165%
28	4-Jul	0.010%	0.012%	0.026%	0.026%	0.0185%

Berdasarkan tabel diatas, nilai %susut rata-rata sampel beton proyek E pada hari ke-28 adalah sebesar 0.0185%. Nilai tersebut hampir 50% lebih kecil daripada %susut beton pada beton normal (umur 28 hari).

Apabila diperhatikan pada gambar 4.9, perilaku %susut antara sampel yang satu dan yang lainnya pada sampel beton E memiliki grafik yang tidak berhimpit. Sampel beton E-1 dan E-3 memiliki %susut yang hampir mendekati yakni 0.010% dan 0.012% sedangkan sampel beton E-4 dan E-5 memiliki %susut yang sama pada hari ke-28 yakni 0.026%. Perilaku sampel E-1 dan E-3 pada grafik terlihat memiliki kecenderungan %susut yang sama pada hari ke-28 serta sampel E-4 dan E-5 yang memiliki perilaku grafik %susut yang cenderung lebih kecil dari sampel yang lain. Perbedaan semacam ini dimungkinkan mengingat sampel E-1 sampai E-3 dan E-4 sampai E-5 berasal dari molen yang berbeda.



Gambar 4.9. Grafik persentase susut beton E (tanpa E-2)

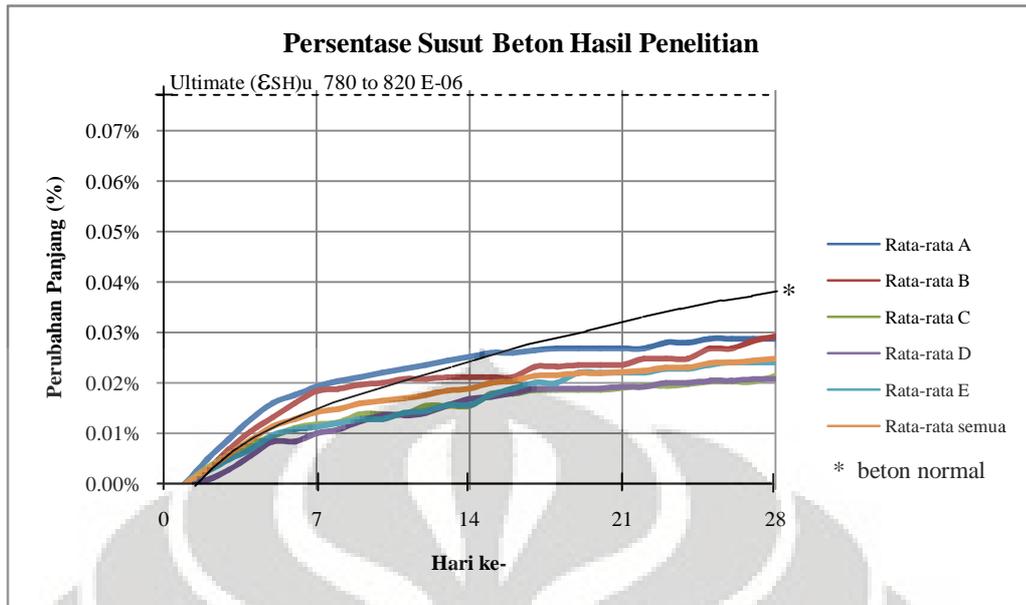
4.3.6. Hasil Pengujian Susut Sampel Rata-rata

Perubahan susut berpengaruh terhadap proses pencampuran material di area *bathing plant*, perbedaan kepadatan, perbedaan nilai slump, perbedaan jumlah air semen tiap molen, perbedaan molen yang berbeda antara sampel yang satu dan yang lainnya. Terlebih lagi kesalahan saat beton keras (umur 1 hari) antara lain kesalahan yang berasal dari peneliti meliputi kesalahan pembacaan dan kesalahan penempatan beton yang mungkin berbeda setiap kali pengujian (meskipun sudah diberi tanda) maupun dari peralatan pengujian yang meliputi *length comparator* yang mengalami korosi pada dasar peletakan betonnya sampai baut pengakunya tidak terkekang dengan baik ('kendor') serta besi acuan yang mengalami korosi. Faktor lain yang sepatutnya mempengaruhi %kenaikan susut beton adalah waktu dan kondisi cuaca saat pengambilan sampel maupun suhu dan kelembaban ruangan saat perawatan beton. Penggunaan bahan tambahan kimia pada beton siap pakai yang dijadikan sampel kemungkinan menjadi faktor selanjutnya yang mempengaruhi %kenaikan susut beton.

Penggunaan *fly ash* mampu meningkatkan kohesi dan workability dari beton, selain itu juga memperlambat waktu *setting time*, dapat mereduksi penggunaan air, dan mampu mengurangi susut yang terjadi.

Tabel 4.12. Persentase susut beton rata-rata

Hari ke-	Rata-rata A	Rata-rata B	Rata-rata C	Rata-rata D	Rata-rata E	Rata-rata semua
3	0.0088%	0.0068%	0.0058%	0.0028%	0.0048%	0.0058%
7	0.0192%	0.0184%	0.0118%	0.0100%	0.0112%	0.0141%
14	0.0252%	0.0212%	0.0154%	0.0168%	0.0156%	0.0188%
21	0.0268%	0.0236%	0.0190%	0.0192%	0.0220%	0.0221%
28	0.0288%	0.0292%	0.0214%	0.0208%	0.0240%	0.0248%



Gambar 4.10. Grafik persentase susut beton proyek A-E

Berdasarkan tabel maupun grafik dari %susut rata-rata seluruh sampel diketahui bahwa %susut pada beton siap pakai yang menggunakan campuran *fly ash* antara 9% – 20% akan memperoleh % kenaikan susut yang lebih kecil dari %kenaikan susut beton normal. Pada hari ke-28, pada sampel beton proyek A, B, C, D, dan E memiliki %susut beton masing-masing adalah 0.0288%, 0.0292%, 0.0214%, 0.0208%, dan 0.0240% dengan %susut beton rata-rata mencapai 0.0248%.

Pada penelitian ini, meskipun kelima proyek memiliki sampel beton dengan rancang mutu, komposisi material, nilai slump, % *fly ash*. Namun, peneliti hanya melihat pengaruh perubahan susut pada beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* dengan beton normal tanpa *fly ash* terhadap umur beton sehingga %kenaikan susut 5 (lima) proyek yang berbeda tersebut bisa dirata-rata. Selain itu, referensi grafik beton normal (lihat tabel 4.1) pun hanya melihat %susut terhadap usia beton tanpa parameter rancang campuran dan lain-lain.

4.5. ANALISA PREDIKSI SUSUT BETON

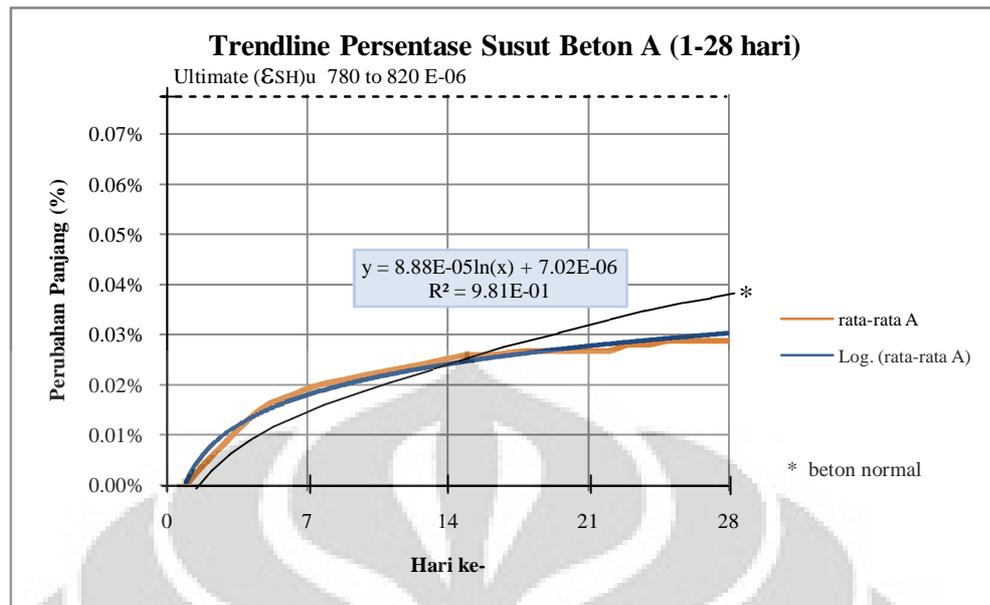
Seperti yang dijelaskan sebelumnya pada bab metodologi penelitian bahwa peneliti akan melihat susut dari sampel beton selama 28 hari. Namun, besarnya %susut ultimit yang diperoleh berdasarkan referensi (lihat grafik 4.1) pada hari ke-386 adalah sebesar 0.078%-0.082%. Oleh karena itu untuk mengetahui besarnya %kenaikan susut beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* pada usia tersebut. menutupi kekosongan data peneliti mencoba melakukan prediksi susut tiap sampel beton berdasarkan persamaan yang diperoleh dengan membuat garis *trend* dari %susut rata-rata dari kelima sampel beton dari lima proyek berbeda.

Garis *trend* yang digunakan adalah garis *trend* bentuk logaritmik ($y = c \ln x + b$). Kurva logaritmik ini dipergunakan karena susut merupakan perilaku perkerasan beton yang terjadi karena proses kimia (sulit untuk diprediksi secara presisi). Pengujian susut antara beton yang satu dengan yang lain, sekarang atau beberapa waktu mendatang kemungkinan berbeda karena banyak parameter yang mempengaruhinya.

Persamaan dari garis *trend* tersebut nantinya akan diterjemahkan menjadi prediksi susut beton yang terjadi pada beton yang diuji pada hari ke-90 dan ke-386. Prediksi ini diharapkan mampu memproyeksikan %susut beton yang dapat mewakili kondisi ril dari %susut sampel beton saat penelitian ini memasuki usia ke-90 bahkan mungkin sampai usia ke-386 (satu tahun).

4.5.1 Analisa Sampel Beton A

Setelah dilakukan pengujian susut beton, maka akan diperoleh nilai rata-rata dari %susut beton proyek A dari kelima sampelnya sehingga akan diperoleh persamaan garis dalam bentuk logaritmik yang mengikuti *trend* dari %susut rata-rata. Seperti yang disajikan pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.11. Trendline dari persentase susut rata-rata beton A

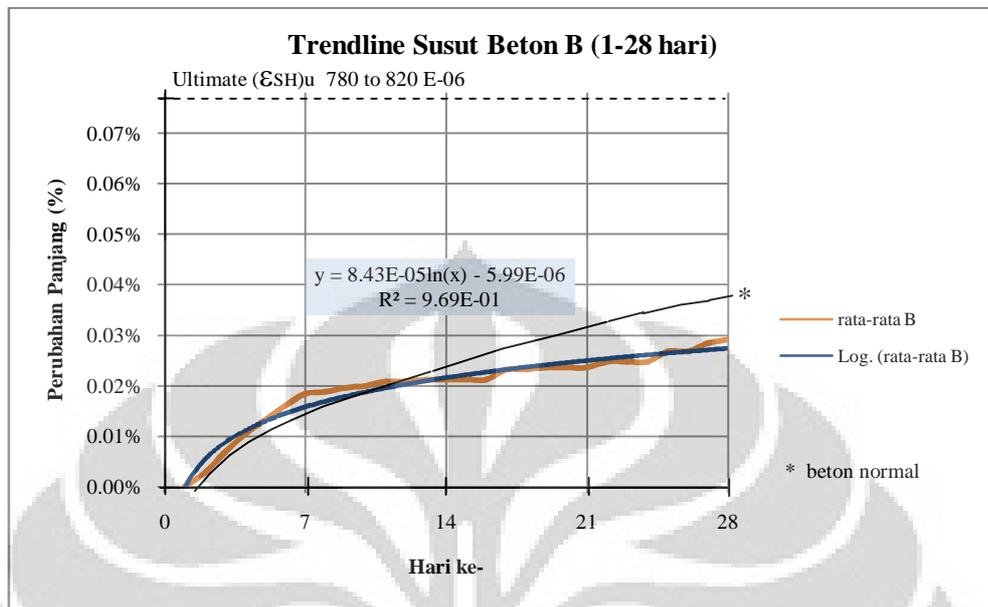
Peningkatan %susut rata-rata beton proyek A mulai hari ke-1 sampai hari ke-28 digambarkan melalui persamaan $y = 8.71E-05 \ln(x) + 9.87E-06$ dengan koefisien korelasi R^2 sebesar 0.981. Maka berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat perbedaan %susut rata-rata beton dengan persamaan garis *trend*-nya sebagai berikut :

Tabel 4.13. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek A

Hari ke-	Tanggal	Rata-rata A	$y = 8.71E-05 \ln(x) + 9.87E-06$
3	3-May-10	0.0160%	0.0087%
7	7-May-10	0.0184%	0.0158%
14	14-May-10	0.0212%	0.0216%
21	21-May-10	0.0236%	0.0251%
28	28-May-10	0.0292%	0.0275%

Berdasarkan tabel diatas, terlihat adanya perbedaan antara %susut rata-rata sampel A dengan %susut dari persamaan garis *trend*-nya. Maka dari persamaan garis *trend* %susut rata-rata sampel A, dapat diketahui besarnya %susut pada hari ke-90 dan ke-386 masing-masing adalah 0.0402% dan 0.0528%.

4.5.2 Analisa Sampel Beton B



Gambar 4.12. *Trendline* dari persentase susut rata-rata beton B

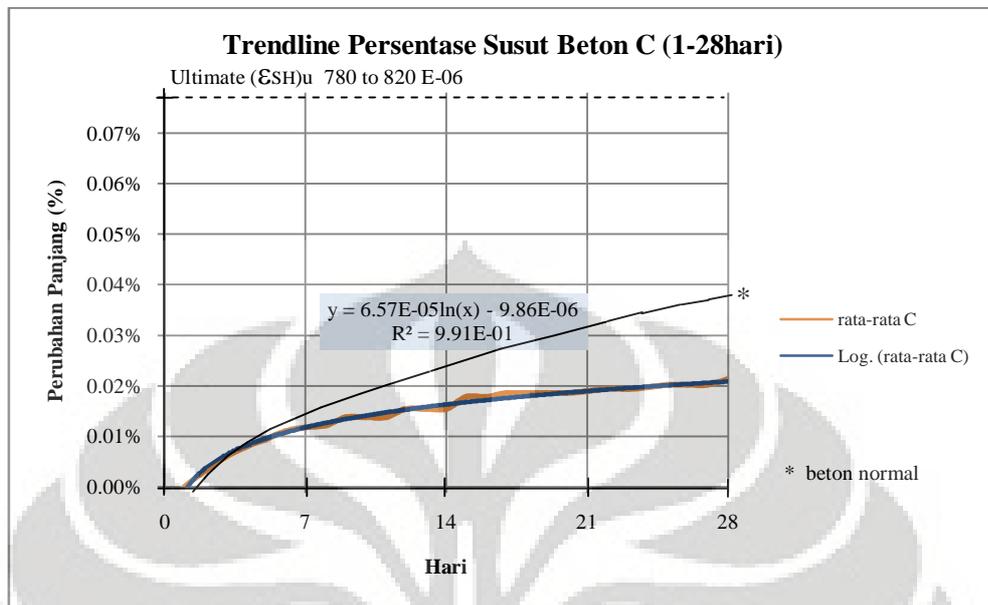
Peningkatan %susut rata-rata beton proyek A mulai hari ke-1 sampai hari ke-28 digambarkan melalui persamaan $y = 8.43E-05\ln(x) - 5.99E-06$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0.969$. Maka berdasarkan persamaan tersebut dapat dilihat perbedaan %susut rata-rata beton dengan persamaan garis *trend*-nya sebagai berikut :

Tabel 4.14. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek B

Hari ke-	Tanggal	Rata-rata B	$y = 8.43E-05\ln(x) - 5.99E-06$
3	3-May-10	0.0160%	0.0087%
7	7-May-10	0.0184%	0.0158%
14	14-May-10	0.0212%	0.0216%
21	21-May-10	0.0236%	0.0251%
28	28-May-10	0.0292%	0.0275%

Berdasarkan tabel diatas, terlihat adanya perbedaan antara %susut rata-rata sampel B dengan %susut dari persamaan garis *trend*-nya. Maka dari persamaan garis *trend* %susut rata-rata sampel B, dapat diketahui besarnya %susut pada hari ke-90 dan ke-386 masing-masing adalah 0.0373% dan 0.0496%.

4.5.3 Analisa Sampel Beton C



Gambar 4.13. *Trendline* dari persentase susut rata-rata beton C

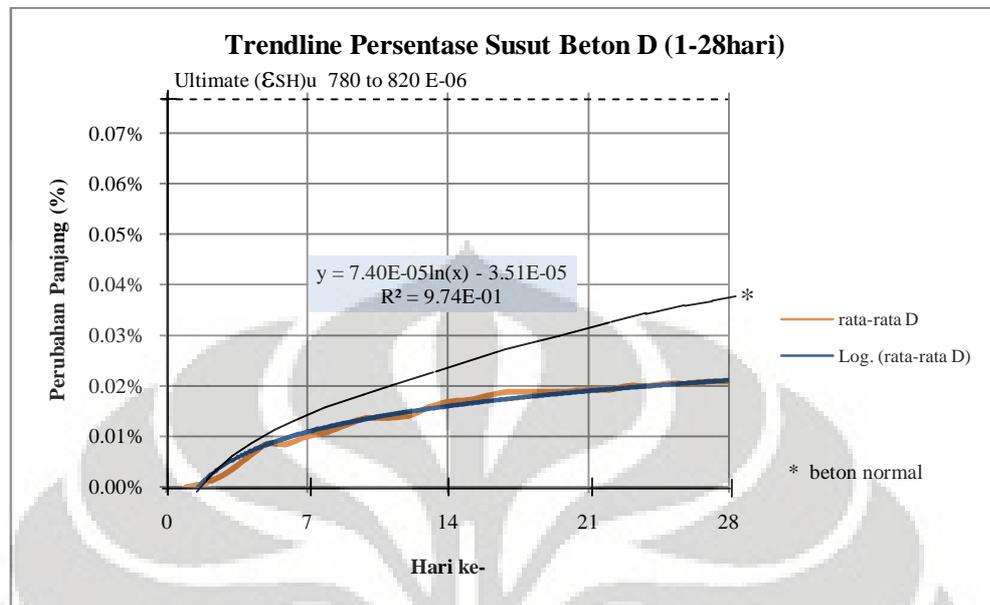
Peningkatan susut beton C sampai usia beton mencapai 28 hari digambarkan dari persamaan $y = 6.57E-05\ln(x) - 9.86E-06$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0.991$.

Tabel 4.15. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek C

Hari ke-	Tanggal	Rata-rata C	$y = 6.57E-05\ln(x) - 9.86E-06$
3	16-May-10	0.0110%	0.0062%
7	20-May-10	0.0118%	0.0118%
14	27-May-10	0.0154%	0.0164%
21	3-Jun-10	0.0190%	0.0190%
28	10-Jun-10	0.0214%	0.0209%

Berdasarkan tabel diatas, terlihat adanya perbedaan antara %susut rata-rata sampel C dengan %susut dari persamaan garis *trend*-nya. Maka dari persamaan garis *trend* %susut rata-rata sampel C, dapat diketahui besarnya %susut pada hari ke-90 dan ke-386 masing-masing adalah 0.0286% dan 0.0381%.

4.5.4 Analisa Sampel Beton D



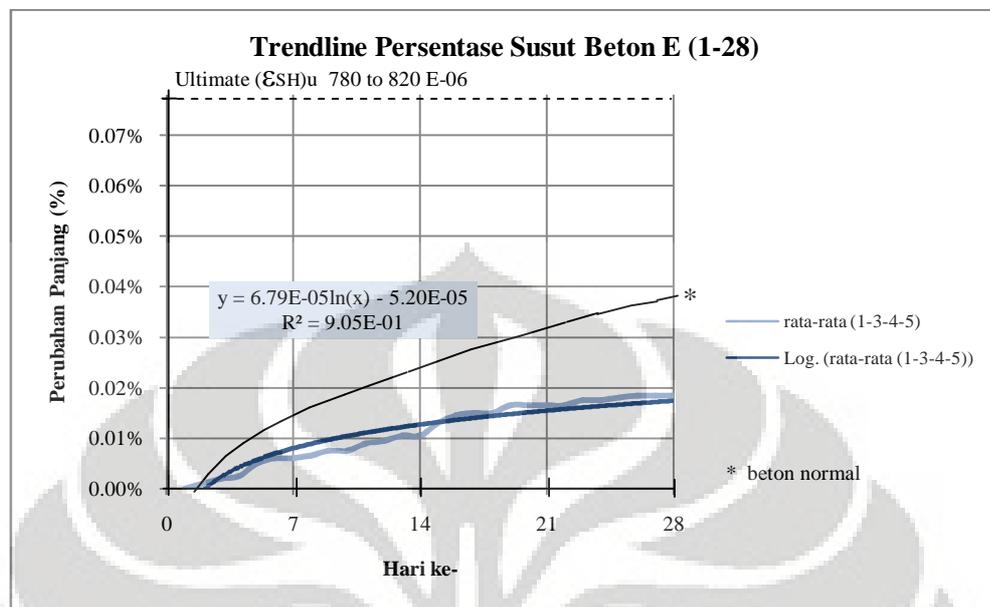
Gambar 4.14. Trendline dari persentase susut rata-rata beton D

Tabel 4.16. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek D

Hari ke-	Tanggal	Rata-rata D	$y = 7.40E-05\ln(x) - 3.51E-05$
3	1-Jun-10	0.0084%	0.0046%
7	5-Jun-10	0.0100%	0.0109%
14	12-Jun-10	0.0168%	0.0160%
21	19-Jun-10	0.0192%	0.0190%
28	26-Jun-10	0.0208%	0.0211%

Peningkatan susut beton D sampai usia beton mencapai 28 hari digambarkan dari persamaan $y = 7.40E-05\ln(x) - 3.51E-05$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0.974$. Maka, besarnya %kenaikan susut beton sampel D pada hari ke-90 dan ke-386 adalah 0.0289% dan 0.0406%.

4.5.5 Analisa Sampel Beton E



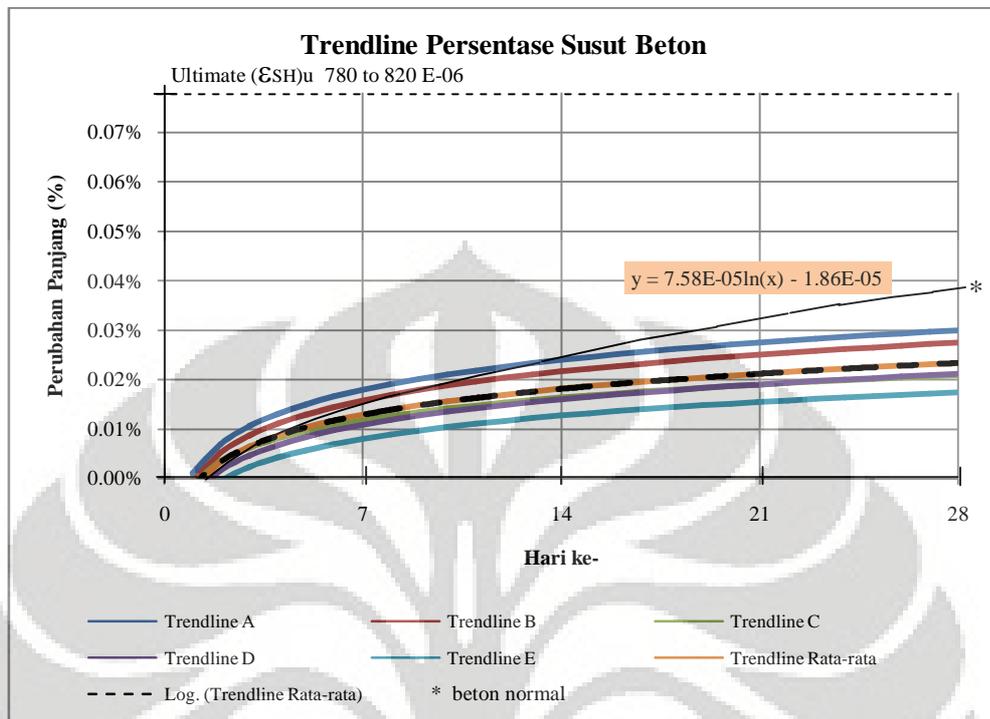
Gambar 4.15. Trendline dari persentase susut rata-rata beton E

Tabel 4.17. Perbedaan %susut rata-rata dengan hasil persamaan susut beton proyek E

Hari ke-	Tanggal	Rata-rata E	$y = 6.79E-05\ln(x) - 5.20E-05$
3	9-Jun-10	0.0020%	0.0023%
7	13-Jun-10	0.0060%	0.0080%
14	20-Jun-10	0.0105%	0.0127%
21	27-Jun-10	0.0165%	0.0155%
28	4-Jul-10	0.0185%	0.0174%

Peningkatan susut beton E sampai usia beton mencapai 28 hari digambarkan dari persamaan $y = 6.79E-05\ln(x) - 5.20E-05$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0.905$. Maka, besarnya %kenaikan susut beton sampel D pada hari ke-90 dan ke-386 adalah 0.0254% dan 0.0352%.

4.5.6 Analisa Sampel Beton Rata-rata



Gambar 4.16. *Trendline* dari persentase susut rata-rata beton

Berdasarkan grafik 4.16 yang menunjukkan garis trend dari masing-masing sampel dari suatu proyek, dapat disimpulkan bahwa %susut sampel beton yang diujikan sampai hari ke-28 umur beton memiliki %susut yang lebih kecil dari beton normal.

Kurva *trend* rata-rata sampai hari ke-7 memiliki kurva *trend* yang sama dengan beton normal. Kemudian memasuki hari ke-8 sampai hari ke-28 *trend* kurvanya lebih kecil dari beton normal yang meskipun masih mengalami kenaikan namun cenderung kecil.

Sampel beton proyek A, B, dan C memiliki kurva *trend* yang berada diatas kurva *trend* rata-rata seluruh sampel mulai dari hari pertama sampai menginjak hari ke-28. Sedangkan kurva *trend* sampel D dan E berada dibawah kurva *trend* rata-rata semua sampel. Secara umum, semua sampel memiliki %susust beton yang lebih kecil dari beton normal. Akan tetapi pada usia awal beton, misalnya saja sampel A memiliki %susut yang lebih besar terhadap beton normal sampai hari ke-11, sampel B sampai hari ke-7, dan sampel C sampai hari ke- 14.

Sedangkan sampel D dan E tetap konsisten dari hari pertama sampai hari ke-28 memiliki kurva *trend* yang lebih kecil dari *trend* beton normal.

Tabel 4.18. Persentase garis *trend* susut beton rata-rata

Hari ke-	Trendline A	Trendline B	Trendline C	Trendline D	Trendline E	Trendline Rata-rata
3	0.0106%	0.0087%	0.0062%	0.0046%	0.0023%	0.0065%
7	0.0179%	0.0158%	0.0118%	0.0109%	0.0080%	0.0129%
14	0.0240%	0.0216%	0.0164%	0.0160%	0.0127%	0.0181%
21	0.0275%	0.0251%	0.0190%	0.0190%	0.0155%	0.0212%
28	0.0300%	0.0275%	0.0209%	0.0211%	0.0174%	0.0234%
90	0.0402%	0.0373%	0.0286%	0.0298%	0.0254%	0.0322%
386	0.0528%	0.0496%	0.0381%	0.0406%	0.0352%	0.0433%

Mengingat kurva trend %susut beton masing-masing sampel memiliki kurva lebih rendah dari kurva beton normal. Maka, untuk %susut beton dengan rencana mutu beton antara f_c' 18 MPa – 40 MPa dan variasi % *fly ash* antara 9% – 20% diprediksikan baik untuk hari ke-90 maupun hari ke-386 memiliki %susut yang pastinya lebih kecil dari beton normal.

Untuk hari ke-90 saja %susut beton nilainya kemungkinan berada pada kisaran persentase 0.0254% - 0.0427%, sedangkan pada hari ke-386 kisaran %susut betonnya hanya mencapai antara 0.0352% - 0.0558% (dengan %susut beton normal mencapai 0.078% sampai 0.082%).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk membandingkan %susut beton siap pakai dengan menggunakan *fly ash* terhadap %susut beton normal dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

- (1) Hingga pada hari ke-28 pengujian, sampel beton siap pakai dengan mutu f_c' 18 MPa – 40 MPa dengan campuran % *fly ash* antara 9% – 20% memiliki %kenaikan susut beton yang lebih kecil dari beton normal pada hari ke-28.
- (2) Pada sampel beton A (f_c' 35 MPa), B (K-400), dan C (f_c' 40 MPa) saat mencapai hari ke-14, susut beton memiliki %kenaikan susut beton yang cukup pesat jika dibandingkan dengan beton normal. Namun, untuk sampel beton D (K-225) dan E (f_c' 30 MPa) sejak menginjak usia awal memiliki %susut beton yang lebih kecil dari beton normal.
- (3) Pada saat beton menginjak usia ke-15 hari, %susut beton masih mengalami kenaikan namun cenderung kecil bahkan konstan.
- (4) Hasil analisis data rata-rata sampel beton tiap proyek menggunakan persamaan dengan menarik kurva *trend* menunjukkan pengaruh %susut beton dengan koefisien korelasi R^2 antara 0.905 sampai 0.991 adalah lebih kecil terhadap beton normal, bahkan menginjak hari ke-90 maupun hari ke-386 dari pengujian beton.
- (5) Kenyataan dilapangan menggambarkan bahwa perbedaan pengambilan sampel yang bukan berasal dari molen yang sama dapat menyebabkan perbedaan rasio air semen, nilai slump beton, bahkan perbedaan jumlah agregat dan pasta yang ada pada masing-masing cetakan meskipun memiliki proporsi atau rancang campuran yang sama juga memiliki andil terhadap ketidakseragaman nilai %susut beton pada suatu proyek.

5.2. SARAN

Berikut ini merupakan beberapa saran terkait dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan sehingga penelitian tersebut benar-benar dapat diaplikasikan pada pengujian selanjutnya atau bahkan dalam industri konstruksi yang semakin berkembang, antara lain:

- (1) Pengujian 1 (satu) sampel beton sebaiknya dilakukan pada 1 (satu) buah komparator sehingga pengujian lebih akurat dan dapat meminimalisasi adanya kesalahan pembacaan dial, berpindahannya titik referensi pengujian dari beton, penggerusan perpindahan benda uji.
- (2) Peralatan merupakan media yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian. Lamanya penggunaan peralatan mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas alat uji yang berakibat pada keakuratan data yang diperoleh peneliti. Oleh karena itu, keakuratan dan kesempurnaan alat ukur sangat menentukan hasil pengamatan benda uji.
- (3) Sebaiknya pengambilan sampel beton dilakukan pada malam hari karena suhu udaranya rendah sehingga penguapan yang terjadi juga sedikit. Selain itu juga peneliti sebaiknya memperhatikan proses pemadatan yakni sebanyak 75 kali pada tiap cetakan.
- (4) Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai % susut untuk beton siap pakai dengan variasi % *fly ash* lebih dari 20%.
- (5) Perlu dilakukan serangkaian percobaan untuk menentukan jenis *fly ash* yang tepat dan persentase optimum sehingga tidak menimbulkan indikasi keretakan pada struktur yang kemungkinan disebabkan oleh faktor susut beton yang besar.

DAFTAR REFERENSI

American Standard Testing Material. 2005 Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia : ASTM. 2005

Anonim, kuliah Manajemen Konstruksi Teknik Sipil Universitas Indonesia, Concrete Construction, Depok. 2006.

Buku Pedoman Praktikum. Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton. Depok : Lab Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil FT UI. 1998.

Dilger, W.H. and Wang, C., *Shrinkage and Creep of High Performance Concrete (HPC) – A critical Review.*

Gunawan, David Aryanto dan David Hardian Handoko., (May 2005). Pengaruh penggunaan Fly Ash Pada Beton Ditinjau Dari Segi Shrinkage. Skripsi S1 Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Surabaya : 2005.

<http://digilib.petra.ac.id/jiunkpe/s1/sip4/2008/jiunkpe-ns-s1-2005-21401045-2558-shrinkage-chapter2.pdf>

Headwaters Resources of America. *Fly Ash Performance.* 2005

<http://ww.flyash.com/utilityindustrial.asp>

Holt, E. and Janssen, D., *Influence of Early Age Volume Changes on Long-Term Concrete Shrinkage.* Washington, D.C.: Transportation Research Board. 1998.

Kirby, R. S., dan Laurson, P. G., *The Early Years of Modern Civil Engineering.* New Haven: Yale University Press. 1932.

Mehta, P. K., and Monteiro, P.J.M., Concrete structure, Properties and Materials, Second Edition, Prentice Hall, 1993.

Mardiah., Selly Aprianna dan Ucik Nurhayati., (Desember 2009). Proyek Pembangunan *Kemang Village*. Laporan Kerja Praktek Teknik Sipil Universitas Indonesia. Depok. 2009

Nawy, Edward G., Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar) (Bambang Suryoatmono, Penerjemah). (n.d)

Nawy, Edward G. Concrete Construction Engineering Handbook. CRC Press. 1997.

Neville, A.M., Properties of Concrete. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1998.

Yuris K, Arif., (Juli 2008) Karakteristik Kuat Lentur dan Susut Beton dengan Portland Composite Cement (PCC). Skripsi FT UI. Depok. 2008.

LAMPIRAN 1

Concrete Mix Design Data

Nama Proyek **Proyek A**

Mutu	Fc' 35	MPa
Slump rencana	12 ± 2	cm
Kode JF Teoritis	FA 9%	

Keterangan :

A : proporsi material setelah adjustment

B : proporsi material kondisi SSD

Kadar Air Material	Penyerapan
Splite : 2.35 %	2.01 %
Pasir : 6.08 %	1.44 %

Komposisi Material	1m ³		Toleransi Penimbangan
	A	B	%
Semen (inducement type 1)	389.72	389.72 kg/m ³	± 1 %
Fly Ash (Ex. PLTU Suralaya)	38.54	38.54 kg/m ³	± 1 %
Split 10 – 25 (Ex. BSM)	1,049.62	1,046.07 kg/m ³	± 1 %
Abu Batu (Ex. BAM)	0.00	0.00 kg/m ³	± 1 %
Pasir (Ex. Bangka)	699.83	688.80 kg/m ³	± 1 %
Plastiment-V105 (Ex. Sika)	1.36	1.36 lt/m ³	± 1 %
Air	162.41	197.00 lt/m ³	± 3 %

Nama Proyek **Proyek D**

Mutu K-225
Slump rencana 12 ± 2 cm
Kode JF Teoritis FA 15%

MATERIAL

<i>Fine aggregate</i>	Natural sand ex. Bangka Dust Stone	SP. Grafiti SSD 2.6 SSD 2.54
<i>Coarse aggregate</i>	Crushed Stone ex. Rumpin PT. Gunung Sampurna Makmur	SSD 2.61
<i>Cement</i>	Tigaroda Brand ex. PT. Indocement PC-1	3.15
<i>Fly ash</i>	PT. Tunas Wangi	2.10
<i>Silica fume</i>	PT. BASF	2.10
<i>Water</i>		1.00
<i>Admixtures – 1</i>	Plastiment-V105 ex. PT. SIKA	1.06
<i>Admixtures – 2</i>	Visconcrete ex. PT. SIKA	1.08

DESIGN CALCULATION

<i>Water cement ratio</i>	0.66	
<i>Free water require</i>	182 kg/m ³	182 dm ³
<i>Cement</i>	233 kg/m ³	73.9 dm ³
<i>Fly As</i>	41 kg/m ³	19.6 dm ³
<i>Admixtures – 1</i>	0.58 lt/m ³	0.58 dm ³
<i>Admixtures – 2</i>	0.00 lt/m ³	0.00 dm ³
<i>Fine Aggregate</i>		
<i>Coarse aggregate</i>		
<i>Paste volume</i>		276.1 dm ³
<i>Aggregat volume</i>		723.9 dm ³
<i>Fine Aggregate 1(SSD)</i>	0.420 x 723.9 x 2.60	791 kg
<i>Fine Aggregate2 (SSD)</i>	0.000 x 723.9 x 2.54	0 kg
<i>Coarse aggregate (SSD)</i>	0.580 x 723.9 x 2.61	1096 kg

Nama Proyek **Proyek E**

Mutu	$F_c' 30$	MPa
Slump rencana	12 ± 2	cm
Kode JF Teoritis	FA 9%	

Keterangan :

A : proporsi material setelah adjustment

B : proporsi material kondisi SSD

Kadar Air Material		Penyerapan
Splite	: 2.35 %	2.01 %
Pasir	: 6.08 %	1.44 %

Komposisi Material	1m ³		Toleransi Penimbangan
	A	B	%
Semen (inducement type 1)	351.26	351.26 kg/m ³	± 1 %
Fly Ash (Ex. PLTU Suralaya)	34.74	34.74 kg/m ³	± 1 %
Split 10 – 25 (Ex. BSM)	1,060.83	1,057.24 kg/m ³	± 1 %
Abu Batu (Ex. BAM)	0.00	0.00 kg/m ³	± 1 %
Pasir (Ex. Bangka)	737.53	704.83 kg/m ³	± 1 %
Plastiment-V105 (Ex. Sika)	1.23	1.23 lt/m ³	± 1 %
Air	156.70	193.00 lt/m ³	± 3 %

LAMPIRAN 2

Foto-Foto

Pengambilan Sampel Proyek A



Persiapan bekisting
(pengolesan pelumas)



Penuangan beton segar dari molen ke gerobak



Pencampuran beton segar sebelum dimasukkan ke dalam bekisting



Pengujian slump dengan besi pengaduk



Pengujian slumb beton proyek A
(molen 2, slump : 13 cm)



Sampel beton proyek A

Pengambilan Sampel Proyek B



Sampel beton B



Bahan kimia tambahan yang digunakan pada beton siap pakai

Pengambilan Sampel Proyek C



Pengujian slump beton (sl : 14 cm)



Sampel beton proyek C

Pengambilan Sampel Proyek D



Pengujian slump beton proyek D
(slump : 12 cm)



Bekisting, palu karet, dan besi pengaduk



Mistar untuk meratakan permukaan beton



Sampel beton proyek D

Pengambilan Sampel Proyek E



Situasi pengambilan sampel E

Pengujian Sampel Di Lab. Struktur dan Material FT UI



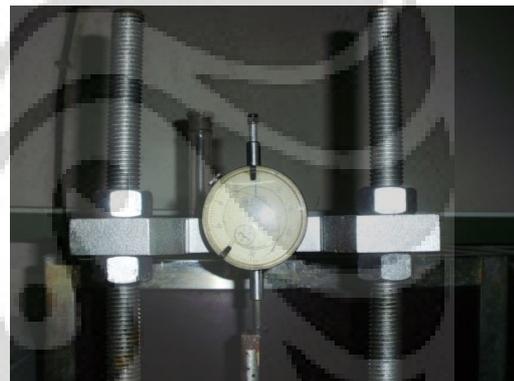
Setting sampel beton pada length comparator



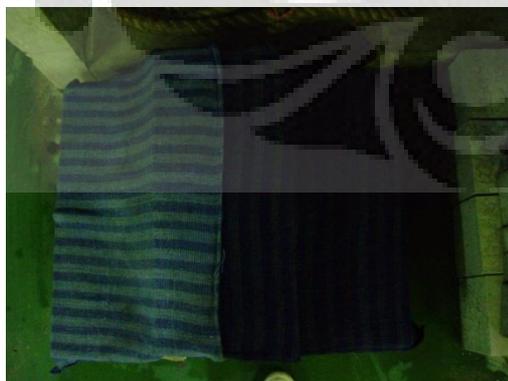
Alat pengujian susut (length comparator dan besi acuan)



Landasan beton saat pengujian



Dial untuk pengujian susut beserta pengekang komparator yang harus dicek kekangannya sebelum pengujian.



Curing sampel beton (ditutup dengan kain basah)



Penyemprotan air sampel beton

LAMPIRAN 3
HASIL PENGUJIAN SUSUT



HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON A

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL A-1	ΔL A-2	ΔL A-3	ΔL A-4	ΔL A-5	L A-1	L A-2	L A-3	L A-4	L A-5
1	25-Apr	28.50	71%	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	26-Apr	30.50	66%	17.22	0.04	0.05	0.00	0.01	0.02	0.008%	0.010%	0.000%	0.002%	0.004%
3	27-Apr	30.30	52%	17.22	0.05	0.08	0.02	0.03	0.04	0.010%	0.016%	0.004%	0.006%	0.008%
4	28-Apr	29.70	62%	17.22	0.06	0.09	0.04	0.05	0.08	0.012%	0.018%	0.008%	0.010%	0.016%
5	29-Apr	29.40	72%	17.22	0.06	0.10	0.07	0.07	0.10	0.012%	0.020%	0.014%	0.014%	0.020%
6	30-Apr	30.70	64%	17.22	0.08	0.10	0.08	0.08	0.10	0.016%	0.020%	0.016%	0.016%	0.020%
7	1-May	30.00	65%	17.22	0.08	0.10	0.08	0.10	0.12	0.016%	0.020%	0.016%	0.020%	0.024%
8	2-May	29.90	68%	17.22	0.09	0.10	0.09	0.11	0.12	0.018%	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%
9	3-May	29.70	63%	17.22	0.10	0.10	0.09	0.11	0.13	0.020%	0.020%	0.018%	0.022%	0.026%
10	4-May	30.10	68%	17.22	0.10	0.11	0.09	0.11	0.14	0.020%	0.022%	0.018%	0.022%	0.028%
11	5-May	29.30	68%	17.22	0.11	0.11	0.10	0.11	0.14	0.022%	0.022%	0.020%	0.022%	0.028%
12	6-May	30.30	63%	17.22	0.11	0.12	0.11	0.11	0.14	0.022%	0.024%	0.022%	0.022%	0.028%
13	7-May	30.70	66%	17.22	0.11	0.13	0.11	0.11	0.15	0.022%	0.026%	0.022%	0.022%	0.030%
14	8-May	30.30	68%	17.22	0.11	0.14	0.11	0.12	0.15	0.022%	0.028%	0.022%	0.024%	0.030%
15	9-May	29.00	78%	17.22	0.12	0.14	0.12	0.12	0.15	0.024%	0.028%	0.024%	0.024%	0.030%
16	10-May	29.40	71%	17.22	0.12	0.14	0.12	0.12	0.15	0.024%	0.028%	0.024%	0.024%	0.030%
17	11-May	29.20	75%	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.15	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.030%
18	12-May	28.50	79%	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.16	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%
19	13-May	N/A	N/A	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.16	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%
20	14-May	27.50	81%	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.16	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%
21	15-May	27.90	83%	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.16	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%
22	16-May	27.90	81%	17.22	0.12	0.14	0.13	0.12	0.16	0.024%	0.028%	0.026%	0.024%	0.032%
23	17-May	28.40	83%	17.22	0.13	0.14	0.14	0.13	0.16	0.026%	0.028%	0.028%	0.026%	0.032%
24	18-May	29.20	78%	17.22	0.13	0.14	0.14	0.13	0.16	0.026%	0.028%	0.028%	0.026%	0.032%
25	19-May	29.40	72%	17.22	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16	0.026%	0.028%	0.030%	0.028%	0.032%
26	20-May	27.40	81%	17.22	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16	0.026%	0.028%	0.030%	0.028%	0.032%
27	21-May	29.50	73%	17.22	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16	0.026%	0.028%	0.030%	0.028%	0.032%
28	22-May	28.00	77%	17.22	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16	0.026%	0.028%	0.030%	0.028%	0.032%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON B

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL B-1	ΔL B-2	ΔL B-3	ΔL B-4	ΔL B-5	L B-1	L B-2	L B-3	L B-4	L B-5
1	1-May	30.00	65%	17.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%	0.0000%
2	2-May	29.90	68%	17.22	0.020	0.010	0.020	0.010	0.010	0.0040%	0.0020%	0.0040%	0.0020%	0.0020%
3	3-May	29.70	63%	17.22	0.040	0.020	0.040	0.040	0.030	0.0080%	0.0040%	0.0080%	0.0080%	0.0060%
4	4-May	30.10	68%	17.22	0.070	0.030	0.040	0.070	0.050	0.0140%	0.0060%	0.0080%	0.0140%	0.0100%
5	5-May	29.30	68%	17.22	0.090	0.030	0.050	0.080	0.080	0.0180%	0.0060%	0.0100%	0.0160%	0.0160%
6	6-May	30.30	63%	17.22	0.090	0.060	0.060	0.110	0.090	0.0180%	0.0120%	0.0120%	0.0220%	0.0180%
7	7-May	30.70	66%	17.22	0.100	0.070	0.080	0.120	0.100	0.0200%	0.0140%	0.0160%	0.0240%	0.0200%
8	8-May	30.30	68%	17.22	0.100	0.080	0.100	0.120	0.100	0.0200%	0.0160%	0.0200%	0.0240%	0.0200%
9	9-May	29.00	78%	17.22	0.100	0.085	0.100	0.130	0.105	0.0200%	0.0170%	0.0200%	0.0260%	0.0210%
10	10-May	29.40	71%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
11	11-May	29.20	75%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
12	12-May	28.50	79%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
13	13-May	N/A	N/A	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
14	14-May	27.50	81%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
15	15-May	27.90	83%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
16	16-May	27.90	81%	17.22	0.100	0.090	0.100	0.130	0.110	0.0200%	0.0180%	0.0200%	0.0260%	0.0220%
17	17-May	28.40	83%	17.22	0.110	0.100	0.110	0.140	0.120	0.0220%	0.0200%	0.0220%	0.0280%	0.0240%
18	18-May	29.20	78%	17.22	0.110	0.100	0.110	0.140	0.120	0.0220%	0.0200%	0.0220%	0.0280%	0.0240%
19	19-May	29.40	72%	17.22	0.110	0.100	0.110	0.150	0.120	0.0220%	0.0200%	0.0220%	0.0300%	0.0240%
20	20-May	27.40	81%	17.22	0.110	0.100	0.110	0.150	0.140	0.0220%	0.0200%	0.0220%	0.0300%	0.0280%
21	21-May	29.50	73%	17.22	0.110	0.100	0.110	0.150	0.180	0.0220%	0.0200%	0.0220%	0.0300%	0.0360%
22	22-May	28.00	77%	17.22	0.110	0.110	0.120	0.150	0.210	0.0220%	0.0220%	0.0240%	0.0300%	0.0420%
23	23-May	28.70	79%	17.22	0.110	0.110	0.120	0.150	0.210	0.0220%	0.0220%	0.0240%	0.0300%	0.0420%
24	24-May	28.50	78%	17.22	0.110	0.110	0.120	0.150	0.210	0.0220%	0.0220%	0.0240%	0.0300%	0.0420%
25	25-May	28.90	78%	17.22	0.120	0.120	0.130	0.160	0.220	0.0240%	0.0240%	0.0260%	0.0320%	0.0440%
26	26-May	28.00	76%	17.22	0.120	0.120	0.130	0.160	0.220	0.0240%	0.0240%	0.0260%	0.0320%	0.0440%
27	27-May	27.30	75%	17.22	0.130	0.130	0.150	0.160	0.220	0.0260%	0.0260%	0.0300%	0.0320%	0.0440%
28	28-May	29.40	64%	17.22	0.130	0.130	0.150	0.170	0.230	0.0260%	0.0260%	0.0300%	0.0340%	0.0460%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON B (Setelah dikoreksi)

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL B-1	ΔL B-2	ΔL B-3	ΔL B-4	ΔL B-5	L B-1	L B-2	L B-3	L B-4	L B-5
1	1-May	N/A	N/A	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	2-May	29.90	68%	17.22	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.004%	0.002%	0.004%	0.002%	0.002%
3	3-May	29.70	63%	17.22	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.008%	0.004%	0.008%	0.008%	0.006%
4	4-May	30.10	68%	17.22	0.07	0.03	0.04	0.07	0.05	0.014%	0.006%	0.008%	0.014%	0.010%
5	5-May	29.30	68%	17.22	0.09	0.03	0.05	0.08	0.08	0.018%	0.006%	0.010%	0.016%	0.016%
6	6-May	30.30	63%	17.22	0.09	0.06	0.06	0.10	0.09	0.018%	0.012%	0.012%	0.020%	0.018%
7	7-May	30.70	66%	17.22	0.10	0.07	0.08	0.11	0.10	0.020%	0.014%	0.016%	0.022%	0.020%
8	8-May	30.30	68%	17.22	0.10	0.08	0.08	0.11	0.10	0.020%	0.016%	0.016%	0.022%	0.020%
9	9-May	29.00	78%	17.22	0.10	0.09	0.08	0.12	0.10	0.020%	0.017%	0.016%	0.024%	0.021%
10	10-May	29.40	71%	17.22	0.10	0.09	0.08	0.12	0.11	0.020%	0.018%	0.016%	0.024%	0.022%
11	11-May	29.20	75%	17.22	0.10	0.09	0.10	0.12	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.024%	0.022%
12	12-May	28.50	79%	17.22	0.10	0.09	0.10	0.12	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.024%	0.022%
13	13-May	N/A	N/A	17.22	0.10	0.09	0.10	0.13	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%
14	14-May	27.50	81%	17.22	0.10	0.09	0.10	0.13	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%
15	15-May	27.90	83%	17.22	0.10	0.09	0.10	0.13	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%
16	16-May	27.90	81%	17.22	0.10	0.09	0.10	0.13	0.11	0.020%	0.018%	0.020%	0.026%	0.022%
17	17-May	28.40	83%	17.22	0.11	0.10	0.11	0.14	0.12	0.022%	0.020%	0.022%	0.028%	0.024%
18	18-May	29.20	78%	17.22	0.11	0.10	0.11	0.14	0.12	0.022%	0.020%	0.022%	0.028%	0.024%
19	19-May	29.40	72%	17.22	0.11	0.10	0.11	0.15	0.12	0.022%	0.020%	0.022%	0.030%	0.024%
20	20-May	27.40	81%	17.22	0.11	0.10	0.11	0.15	0.12	0.022%	0.020%	0.022%	0.030%	0.024%
21	21-May	29.50	73%	17.22	0.11	0.10	0.11	0.15	0.12	0.022%	0.020%	0.022%	0.030%	0.024%
22	22-May	28.00	77%	17.22	0.11	0.11	0.12	0.15	0.13	0.022%	0.022%	0.024%	0.030%	0.026%
23	23-May	28.70	79%	17.22	0.11	0.11	0.12	0.15	0.13	0.022%	0.022%	0.024%	0.030%	0.026%
24	24-May	28.50	78%	17.22	0.11	0.11	0.12	0.15	0.13	0.022%	0.022%	0.024%	0.030%	0.026%
25	25-May	28.90	78%	17.22	0.12	0.12	0.13	0.16	0.14	0.024%	0.024%	0.026%	0.032%	0.028%
26	26-May	28.00	76%	17.22	0.12	0.12	0.13	0.16	0.14	0.024%	0.024%	0.026%	0.032%	0.028%
27	27-May	27.30	75%	17.22	0.13	0.13	0.15	0.16	0.14	0.026%	0.026%	0.030%	0.032%	0.028%
28	28-May	29.40	64%	17.22	0.13	0.13	0.15	0.17	0.15	0.026%	0.026%	0.030%	0.034%	0.030%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON C

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL C-1	ΔL C-2	ΔL C-3	ΔL C-4	ΔL C-5	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5
1	14-May	27.50	81%	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	15-May	27.90	83%	17.22	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.004%	0.002%	0.004%	0.004%	0.002%
3	16-May	27.90	81%	17.22	0.15	0.08	0.05	0.09	0.06	0.030%	0.016%	0.010%	0.018%	0.012%
4	17-May	28.40	83%	17.22	0.16	0.10	0.05	0.10	0.07	0.032%	0.020%	0.010%	0.020%	0.014%
5	18-May	29.20	78%	17.22	0.16	0.11	0.05	0.11	0.09	0.032%	0.022%	0.010%	0.022%	0.018%
6	19-May	29.40	72%	17.22	0.16	0.14	0.05	0.12	0.09	0.032%	0.028%	0.010%	0.024%	0.018%
7	20-May	27.40	81%	17.22	0.16	0.14	0.05	0.14	0.09	0.032%	0.028%	0.010%	0.028%	0.018%
8	21-May	29.50	73%	17.22	0.16	0.14	0.05	0.15	0.09	0.032%	0.028%	0.010%	0.030%	0.018%
9	22-May	28.00	77%	17.22	0.18	0.14	0.06	0.16	0.09	0.036%	0.028%	0.012%	0.032%	0.018%
10	23-May	28.70	79%	17.22	0.18	0.14	0.06	0.16	0.09	0.036%	0.028%	0.012%	0.032%	0.018%
11	24-May	28.50	78%	17.22	0.18	0.14	0.06	0.16	0.09	0.036%	0.028%	0.012%	0.032%	0.018%
12	25-May	28.90	78%	17.22	0.18	0.15	0.08	0.17	0.09	0.036%	0.030%	0.016%	0.034%	0.018%
13	26-May	28.00	76%	17.22	0.18	0.15	0.08	0.17	0.09	0.036%	0.030%	0.016%	0.034%	0.018%
14	27-May	27.30	75%	17.22	0.18	0.15	0.08	0.17	0.09	0.036%	0.030%	0.016%	0.034%	0.018%
15	28-May	29.40	64%	17.22	0.19	0.16	0.10	0.18	0.10	0.038%	0.032%	0.020%	0.036%	0.020%
16	29-May	29.00	70%	17.22	0.19	0.16	0.10	0.18	0.10	0.038%	0.032%	0.020%	0.036%	0.020%
17	30-May	28.20	73%	17.22	0.19	0.17	0.11	0.18	0.10	0.038%	0.034%	0.022%	0.036%	0.020%
18	31-May	28.40	71%	17.22	0.19	0.17	0.11	0.18	0.10	0.038%	0.034%	0.022%	0.036%	0.020%
19	1-Jun	29.70	70%	17.22	0.19	0.17	0.11	0.18	0.10	0.038%	0.034%	0.022%	0.036%	0.020%
20	2-Jun	29.40	75%	17.22	0.19	0.17	0.11	0.18	0.10	0.038%	0.034%	0.022%	0.036%	0.020%
21	3-Jun	32.30	56%	17.22	0.19	0.18	0.11	0.18	0.10	0.038%	0.036%	0.022%	0.036%	0.020%
22	4-Jun	29.10	73%	17.22	0.19	0.18	0.11	0.19	0.10	0.038%	0.036%	0.022%	0.038%	0.020%
23	5-Jun	28.30	78%	17.22	0.19	0.18	0.11	0.19	0.10	0.038%	0.036%	0.022%	0.038%	0.020%
24	6-Jun	27.70	80%	17.22	0.20	0.18	0.11	0.19	0.10	0.040%	0.036%	0.022%	0.038%	0.020%
25	7-Jun	29.90	73%	17.22	0.20	0.19	0.11	0.19	0.10	0.040%	0.038%	0.022%	0.038%	0.020%
26	8-Jun	28.00	81%	17.22	0.20	0.19	0.11	0.19	0.10	0.040%	0.038%	0.022%	0.038%	0.020%
27	9-Jun	27.40	78%	17.22	0.20	0.19	0.11	0.19	0.10	0.040%	0.038%	0.022%	0.038%	0.020%
28	10-Jun	27.90	81%	17.22	0.21	0.19	0.13	0.19	0.10	0.042%	0.038%	0.026%	0.038%	0.020%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON C (Setelah dikoreksi)

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL C-1	ΔL C-2	ΔL C-3	ΔL C-4	ΔL C-5	L C-1	L C-2	L C-3	L C-4	L C-5
1	14-May	27.50	81%	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	15-May	27.90	83%	17.22	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.004%	0.002%	0.004%	0.004%	0.002%
3	16-May	27.90	81%	17.22	0.04	0.02	0.03	0.04	0.02	0.007%	0.005%	0.006%	0.007%	0.004%
4	17-May	28.40	83%	17.22	0.04	0.04	0.03	0.05	0.03	0.009%	0.009%	0.006%	0.009%	0.006%
5	18-May	29.20	78%	17.22	0.04	0.05	0.03	0.05	0.05	0.009%	0.011%	0.006%	0.011%	0.010%
6	19-May	29.40	72%	17.22	0.04	0.08	0.03	0.07	0.05	0.009%	0.017%	0.006%	0.013%	0.010%
7	20-May	27.40	81%	17.22	0.04	0.08	0.03	0.09	0.05	0.009%	0.017%	0.006%	0.017%	0.010%
8	21-May	29.50	73%	17.22	0.04	0.08	0.03	0.09	0.05	0.009%	0.017%	0.006%	0.019%	0.010%
9	22-May	28.00	77%	17.22	0.07	0.08	0.04	0.11	0.05	0.013%	0.017%	0.008%	0.021%	0.010%
10	23-May	28.70	79%	17.22	0.07	0.08	0.04	0.11	0.05	0.013%	0.017%	0.008%	0.021%	0.010%
11	24-May	28.50	78%	17.22	0.07	0.08	0.04	0.11	0.05	0.013%	0.017%	0.008%	0.021%	0.010%
12	25-May	28.90	78%	17.22	0.07	0.09	0.06	0.12	0.05	0.013%	0.019%	0.012%	0.023%	0.010%
13	26-May	28.00	76%	17.22	0.07	0.09	0.06	0.12	0.05	0.013%	0.019%	0.012%	0.023%	0.010%
14	27-May	27.30	75%	17.22	0.07	0.09	0.06	0.12	0.05	0.013%	0.019%	0.012%	0.023%	0.010%
15	28-May	29.40	64%	17.22	0.07	0.10	0.08	0.13	0.06	0.015%	0.021%	0.016%	0.025%	0.012%
16	29-May	29.00	70%	17.22	0.07	0.10	0.08	0.13	0.06	0.015%	0.021%	0.016%	0.025%	0.012%
17	30-May	28.20	73%	17.22	0.07	0.11	0.09	0.13	0.06	0.015%	0.023%	0.018%	0.025%	0.012%
18	31-May	28.40	71%	17.22	0.07	0.11	0.09	0.13	0.06	0.015%	0.023%	0.018%	0.025%	0.012%
19	1-Jun	29.70	70%	17.22	0.07	0.11	0.09	0.13	0.06	0.015%	0.023%	0.018%	0.025%	0.012%
20	2-Jun	29.40	75%	17.22	0.07	0.11	0.09	0.13	0.06	0.015%	0.023%	0.018%	0.025%	0.012%
21	3-Jun	32.30	56%	17.22	0.07	0.13	0.09	0.13	0.06	0.015%	0.025%	0.018%	0.025%	0.012%
22	4-Jun	29.10	73%	17.22	0.07	0.13	0.09	0.14	0.06	0.015%	0.025%	0.018%	0.027%	0.012%
23	5-Jun	28.30	78%	17.22	0.07	0.13	0.09	0.14	0.06	0.015%	0.025%	0.018%	0.027%	0.012%
24	6-Jun	27.70	80%	17.22	0.09	0.13	0.09	0.14	0.06	0.017%	0.025%	0.018%	0.027%	0.012%
25	7-Jun	29.90	73%	17.22	0.09	0.13	0.09	0.14	0.06	0.017%	0.027%	0.018%	0.027%	0.012%
26	8-Jun	28.00	81%	17.22	0.09	0.13	0.09	0.14	0.06	0.017%	0.027%	0.018%	0.027%	0.012%
27	9-Jun	27.40	78%	17.22	0.09	0.13	0.09	0.14	0.06	0.017%	0.027%	0.018%	0.027%	0.012%
28	10-Jun	27.90	81%	17.22	0.09	0.13	0.11	0.14	0.06	0.019%	0.027%	0.022%	0.027%	0.012%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON D

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL D-1	ΔL D-2	ΔL D-3	ΔL D-4	ΔL D-5	L D-1	L D-2	L D-3	L D-4	L D-5
1	30-May	28.20	73%	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	31-May	28.40	71%	17.22	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.004%	0.000%	0.000%	0.000%
3	1-Jun	29.70	70%	17.22	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.002%	0.006%	0.000%	0.002%	0.004%
4	2-Jun	29.40	75%	17.22	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.004%	0.008%	0.004%	0.004%	0.008%
5	3-Jun	32.30	56%	17.22	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.006%	0.010%	0.008%	0.008%	0.010%
6	4-Jun	29.10	73%	17.22	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.006%	0.010%	0.008%	0.008%	0.010%
7	5-Jun	28.30	78%	17.22	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.008%	0.010%	0.010%	0.010%	0.012%
8	6-Jun	27.70	80%	17.22	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.010%	0.010%	0.010%	0.012%	0.012%
9	7-Jun	29.90	73%	17.22	0.06	0.05	0.06	0.07	0.07	0.012%	0.010%	0.012%	0.014%	0.014%
10	8-Jun	28.00	81%	17.22	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07	0.014%	0.012%	0.012%	0.016%	0.014%
11	9-Jun	27.40	78%	17.22	0.07	0.06	0.06	0.08	0.07	0.014%	0.012%	0.012%	0.016%	0.014%
12	10-Jun	27.90	81%	17.22	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.014%	0.014%	0.012%	0.016%	0.014%
13	11-Jun	28.70	75%	17.22	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.016%	0.016%	0.016%	0.016%	0.014%
14	12-Jun	28.40	73%	17.22	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.016%	0.016%	0.018%	0.018%	0.016%
15	13-Jun	28.60	70%	17.22	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.018%	0.016%	0.018%	0.018%	0.016%
16	14-Jun	29.00	73%	17.22	0.09	0.08	0.10	0.09	0.09	0.018%	0.016%	0.020%	0.018%	0.018%
17	15-Jun	26.90	74%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.020%	0.018%
18	16-Jun	27.00	76%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.020%	0.018%
19	17-Jun	27.20	79%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.020%	0.018%
20	18-Jun	27.50	80%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.10	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.020%	0.018%
21	19-Jun	27.30	77%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.022%	0.018%
22	20-Jun	28.40	79%	17.22	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	0.018%	0.018%	0.020%	0.022%	0.018%
23	21-Jun	28.70	71%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.11	0.09	0.020%	0.018%	0.022%	0.022%	0.018%
24	22-Jun	29.20	63%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.11	0.09	0.020%	0.018%	0.022%	0.022%	0.018%
25	23-Jun	29.30	62%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.12	0.09	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%	0.018%
26	24-Jun	29.50	65%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.12	0.09	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%	0.018%
27	25-Jun	27.00	78%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.12	0.10	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%	0.020%
28	26-Jun	27.50	80%	17.22	0.10	0.09	0.11	0.12	0.10	0.020%	0.018%	0.022%	0.024%	0.020%

HASIL PENGUJIAN SUSUT BETON E

Hari	Tanggal	T (°C)	W (%)	Ref. Bar	ΔL E-1	ΔL E-2	ΔL E-3	ΔL E-4	ΔL E-5	L E-1	L E-2	L E-3	L E-4	L E-5
1	7-Jun	29.90	73%	17.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
2	8-Jun	28.00	81%	17.22	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.000%	0.008%	0.000%	0.004%	0.000%
3	9-Jun	27.40	78%	17.22	0.00	0.08	0.01	0.02	0.01	0.000%	0.016%	0.002%	0.004%	0.002%
4	10-Jun	27.90	81%	17.22	0.01	0.12	0.01	0.02	0.01	0.002%	0.024%	0.002%	0.004%	0.002%
5	11-Jun	28.70	75%	17.22	0.01	0.14	0.04	0.03	0.02	0.002%	0.028%	0.008%	0.006%	0.004%
6	12-Jun	28.40	73%	17.22	0.02	0.15	0.04	0.04	0.02	0.004%	0.030%	0.008%	0.008%	0.004%
7	13-Jun	28.60	70%	17.22	0.02	0.16	0.04	0.04	0.02	0.004%	0.032%	0.008%	0.008%	0.004%
8	14-Jun	29.00	73%	17.22	0.02	0.17	0.04	0.05	0.02	0.004%	0.034%	0.008%	0.010%	0.004%
9	15-Jun	26.90	74%	17.22	0.02	0.17	0.05	0.05	0.03	0.004%	0.034%	0.010%	0.010%	0.006%
10	16-Jun	27.00	76%	17.22	0.02	0.17	0.05	0.05	0.03	0.004%	0.034%	0.010%	0.010%	0.006%
11	17-Jun	27.20	79%	17.22	0.02	0.17	0.05	0.06	0.05	0.004%	0.034%	0.010%	0.012%	0.010%
12	18-Jun	27.50	80%	17.22	0.03	0.17	0.05	0.06	0.05	0.006%	0.034%	0.010%	0.012%	0.010%
13	19-Jun	27.30	77%	17.22	0.03	0.18	0.05	0.07	0.06	0.006%	0.036%	0.010%	0.014%	0.012%
14	20-Jun	28.40	79%	17.22	0.03	0.18	0.05	0.07	0.06	0.006%	0.036%	0.010%	0.014%	0.012%
15	21-Jun	28.70	71%	17.22	0.03	0.18	0.05	0.09	0.09	0.006%	0.036%	0.010%	0.018%	0.018%
16	22-Jun	29.20	63%	17.22	0.04	0.18	0.06	0.10	0.09	0.008%	0.036%	0.012%	0.020%	0.018%
17	23-Jun	29.30	62%	17.22	0.04	0.20	0.06	0.11	0.09	0.008%	0.040%	0.012%	0.022%	0.018%
18	24-Jun	29.50	65%	17.22	0.04	0.20	0.06	0.11	0.09	0.008%	0.040%	0.012%	0.022%	0.018%
19	25-Jun	27.00	78%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.12	0.10	0.010%	0.044%	0.012%	0.024%	0.020%
20	26-Jun	27.50	80%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.12	0.10	0.010%	0.044%	0.012%	0.024%	0.020%
21	27-Jun	28.40	76%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.12	0.10	0.010%	0.044%	0.012%	0.024%	0.020%
22	28-Jun	30.60	65%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.12	0.10	0.010%	0.044%	0.012%	0.024%	0.020%
23	29-Jun	31.40	58%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.13	0.11	0.010%	0.044%	0.012%	0.026%	0.022%
24	30-Jun	29.00	75%	17.22	0.05	0.22	0.06	0.13	0.11	0.010%	0.044%	0.012%	0.026%	0.022%
25	1-Jul	29.40	68%	17.22	0.05	0.23	0.06	0.13	0.12	0.010%	0.046%	0.012%	0.026%	0.024%
26	2-Jul	28.70	79%	17.22	0.05	0.23	0.06	0.13	0.13	0.010%	0.046%	0.012%	0.026%	0.026%
27	3-Jul	27.90	91%	17.22	0.05	0.23	0.06	0.13	0.13	0.010%	0.046%	0.012%	0.026%	0.026%
28	4-Jul	28.20	87%	17.22	0.05	0.23	0.06	0.13	0.13	0.010%	0.046%	0.012%	0.026%	0.026%