



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KUAT TEKAN BETON SIAP PAKAI
YANG MENGGUNAKAN *FLY ASH* BERDASARKAN
BENDA UJI PROYEK DAN BOR INTI**

SKRIPSI

**SELLY APRIANNA
0606029284**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KUAT TEKAN BETON SIAP PAKAI
YANG MENGGUNAKAN *FLY ASH* BERDASARKAN
BENDA UJI PROYEK DAN BOR INTI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SELLY APRIANNA
0606029284**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Selly Aprianna

NPM : 0606029284

Tanda Tangan : 

Tanggal : 7 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Selly Aprianna
NPM : 0606029284
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Kuat Tekan Beton Siap Pakai yang Menggunakan
Fly Ash Berdasarkan Benda Uji Proyek dan Bor Inti

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Josia Irwan Rastandi S.T.,M.T. ()

Pembimbing : Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D. ()

Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. ()

Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Studi Kuat Tekan Beton Siap Pakai yang Menggunakan *Fly Ash* Berdasarkan Benda Uji Proyek dan Bor Inti”. Penulisan laporan skripsi ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis menghaturkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam terselesaikannya laporan skripsi ini, terutama penulis ucapkan 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 penulis dalam penyusunan skripsi ini;
2. Ibu Ir. Essy Arijoeni M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ibu Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA. selaku Dosen Pembimbing Akademis dan Dosen Penguji Skripsi;
4. Bapak Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA. selaku Dosen Penguji Skripsi;
5. Seluruh pihak proyek yang telah membantu penulis dalam melaksanakan 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 kemudahan kepada penulis selama kuliah dan proses pengajuan sidang Skripsi ini;
9. Seluruh staff Laboratorium Struktur dan Material Departemen Sipil FTUI yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian di Laboratorium;
10. Ayah, bunda dan adik tercinta atas doa dan dukungan berupa moril dan materil kepada penulis;
11. Teman seperjuanganku, Mardiah dan Edward Yahya, yang telah membantu dalam melakukan penelitian di Proyek dan Laboratorium;
12. Teman-teman Departemen Teknik Sipil khususnya angkatan 2006 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini;
13. Sahabat-sahabat tercinta yang telah memberikan keceriaan tersendiri bagi penulis;
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa penulisan laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak sangat penulis harapkan agar penulisan ini menjadi lebih baik dan bermanfaat bagi semua pihak. Semoga laporan ini menjadi salah satu dari sekian banyak laporan skripsi yang dapat memberikan sumbangsih peran bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam ilmu tentang Teknik Sipil.

Depok, 7 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 : Selly Aprianna
NPM : 0606029284
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**Studi Kuat Tekan Beton Siap Pakai Yang Menggunakan *Fly Ash*
Berdasarkan Benda Uji Proyek dan Bor Inti**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 7 Juli 2010

Yang menyatakan



(Selly Aprianna)

ABSTRAK

Nama : Selly Aprianna

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Studi Kuat Tekan Beton Siap Pakai Yang Menggunakan *Fly Ash*
Berdasarkan Benda Uji Proyek dan Bor Inti

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yang saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk memanfaatkan *fly ash* agar menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis dan tidak mencemarkan lingkungan. Salah satu pemanfaatannya adalah digunakan sebagai material tambahan pada beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash*, dimana sampel yang digunakan berasal dari 5 proyek dan hasil bor inti. Beton yang diambil dari 5 proyek tersebut memiliki mutu (f_c') antara 15 - 45 MPa dengan persentase *fly ash* berkisar 5-20%. Perawatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan dengan 2 perlakuan, yakni perawatan beton sesuai standar dan yang diterapkan di lapangan. Pengujian kuat tekan beton *fly ash* sampel silinder dilakukan pada hari ke-3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90. Sedangkan untuk pengujian kuat tekan terhadap hasil bor inti dilakukan pada saat beton berumur ke-28, 56, dan 90 hari. Pada penelitian ini kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* menunjukkan hasil yang mendekati kekuatan beton normal yang terdapat dalam SNI. Selain itu, nilai kuat tekan beton akan memiliki nilai yang lebih tinggi jika beton dirawat dengan cara standar dibandingkan jika dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Untuk nilai kuat tekan beton hasil bor inti juga menunjukkan nilai yang tidak berbeda jauh dengan nilai kuat tekan beton silinder sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel hasil bor inti dapat dilakukan dan diterapkan pada kondisi eksisting di lapangan.

Kata kunci :

Fly ash, beton, bor Inti, kuat tekan, mutu (f_c')

ABSTRACT

Name : Selly Aprianna
Study Program : Civil Engineering
Title : Study of Compressive Strength of Ready Mix Concrete
that Use Fly Ash Based on Samples Project and Core Drill

Fly ash is a waste of coal combustion results in Steam Power Plant (power plant), which is currently not used optimally. Therefore, there is need efforts to use fly ash to be a valuable economic material and not pollute the environment. One of its utilization is used as additional material on the concrete This study aims to determine the compressive strength of concrete using fly ash, where the sample came from five projects and the results of core drilling (coring). Concrete taken from five projects which have the quality (f_c') between 15-45 MPa, with percentages of fly ash ranging from 50-20%. Curing of the samples in this study conducted with two treatments, by concrete maintenance standards and like applied in the field. Testing the strength of concrete cylinders samples was done at days 3, 7, 14, 21, 28, 56, and 90. Whereas the compressive strength testing for concrete by results of coring when the concrete at 28, 56, and 90 days. In this study the compressive strength of concrete using fly ash showed the results of which approximates the strength of normal concrete contained in the Standard. In addition, the value of compressive strength of concrete will have a higher value if the concrete was treated with a standard way than if treated in accordance with the application in the field. To value the strength of concrete coring results also show that the value does not differ much with the value of concrete cylinder compressive strength so it can be concluded that the results of coring samples can be introduced and applied in the existing condition in the field.

Key words :

Fly ash, concrete, core drill (coring), compressive strength, quality (f_c')

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Metodologi Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Material Beton.....	5
2.1.1. Sejarah Beton.....	5
2.1.2. Material Penyusun Beton.....	6
2.1.2.1. Semen.....	6
2.1.2.2. Air	12
2.1.2.3. Agregat.....	14
2.1.2.4. Material Campuran Tambahan	16
2.2. Material <i>Fly Ash</i>	20
2.2.1. Definisi dan Material Penyusun <i>Fly Ash</i>	20
2.2.2. Pengaruh <i>Fly Ash</i> Terhadap Beton.....	24
2.2.2.1. Kuat Tekan Beton (<i>Compressive Strength</i>).....	25

2.2.2.2.	Faktor Air Semen (<i>Water - Cement Ratio</i>).....	26
2.2.2.3.	Modulus Elastisitas	28
2.2.2.4.	Kemudahan Dalam Pengerjaan (<i>Workability</i>).....	29
2.2.2.5.	Panas Hidrasi (<i>Heat of Hydration</i>)	30
2.2.2.6.	Daya Tahan dan Permeabilitas Beton	31
2.2.2.7.	Susut (<i>Shrinkage</i>).....	32
2.2.3.	<i>Fly Ash</i> di Indonesia	33
2.3.	Pengujian Kuat Tekan Beton.....	35
2.4.	Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Bor Inti (<i>Coring</i>)	35
BAB 3	METODE PENELITIAN.....	37
3.1.	Persiapan dan Pengujian Material	38
3.2.	Pelaksanaan <i>Mix Design</i>	39
3.3.	Pemeriksaan <i>Slump</i>	40
3.4.	Pembuatan Sampel Benda Uji.....	40
3.5.	Perawatan Benda Uji	41
3.6.	Pengujian Kuat Tekan.....	42
3.6.1.	Pengujian Kuat Tekan Sampel Benda Uji	40
3.6.2.	Pengambilan dan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Hasil <i>Coring</i>	43
3.7.	Pengamatan Pola Keruntuhan Benda Uji.....	44
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN	45
4.1.	Data Awal.....	45
4.2.	Hasil dan Analisis Pengujian.....	46
4.2.1.	Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek A... 46	
4.2.1.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A.....	46
4.2.1.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A.....	46

4.2.2.	Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek B ...	49
4.2.2.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B.....	49
4.2.2.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B.....	49
4.2.3.	Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek C ...	52
4.2.3.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C.....	52
4.2.3.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C.....	52
4.2.4.	Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek D...	55
4.2.4.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D.....	55
4.2.4.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D.....	55
4.2.5.	Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek E ...	58
4.2.5.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E.....	58
4.2.5.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E.....	58
4.2.6.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Hasil Bor Inti.....	61
4.2.6.1.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek A.....	61
4.2.6.2.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek B.....	62
4.2.6.3.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek C.....	63

4.2.6.4.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek D.....	63
4.2.6.5.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek E.....	64
4.2.6.6.	Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Untuk Seluruh Proyek.....	65
4.2.7.	Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder	67
4.2.8.	Analisis Mengenai Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Yang Diperoleh Dari Proyek Dengan Teori (SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971).....	71
BAB 5 PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan.....	74
5.2.	Saran	75
DAFTAR REFERENSI		77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen Penyusun Semen Portland.....	7
Tabel 2.2	Sifat Fisika Semen Portland	9
Tabel 2.3	Sifat Kimia (Tingkat Oksida) Pada Semen Portland	10
Tabel 2.4	Sifat – Sifat Semen	10
Tabel 2.5	Persentase Komposisi Semen Portland	11
Tabel 2.6	Batas Toleransi Kotoran atau Senyawa Dalam Pencampuran Air	13
Tabel 2.7	Persyaratan Gradasi Untuk Agregat Pada Beton Normal (ASTM C33).	16
Tabel 2.8	Komposisi Fisika <i>Fly Ash</i> Berdasarkan ASTM C618-96 dan SNI 03-6863-2002	22
Tabel 2.9	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> Berdasarkan ASTM C618-96 dan SNI 03-6863-2002	22
Tabel 2.10	Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan.....	27
Tabel 2.11	Persyaratan Faktor Air Semen Untuk Lingkungan Khusus.....	27
Tabel 2.12	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> PLTU Suralaya	33
Tabel 2.13	Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton	34
Tabel 4.1	Data Awal Beton Yang Digunakan	45
Tabel 4.2	Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A	46
Tabel 4.3	Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek A.....	48
Tabel 4.4	Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B	49
Tabel 4.5	Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek B	51
Tabel 4.6	Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C	52
Tabel 4.7	Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek C	54
Tabel 4.8	Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D	55
Tabel 4.9	Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek D.....	57
Tabel 4.10	Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E	58
Tabel 4.11	Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek E.....	60
Tabel 4.12	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil <i>Coring</i> Proyek A.....	61
Tabel 4.13	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil <i>Coring</i> Proyek B.....	62
Tabel 4.14	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil <i>Coring</i> Proyek C.....	63

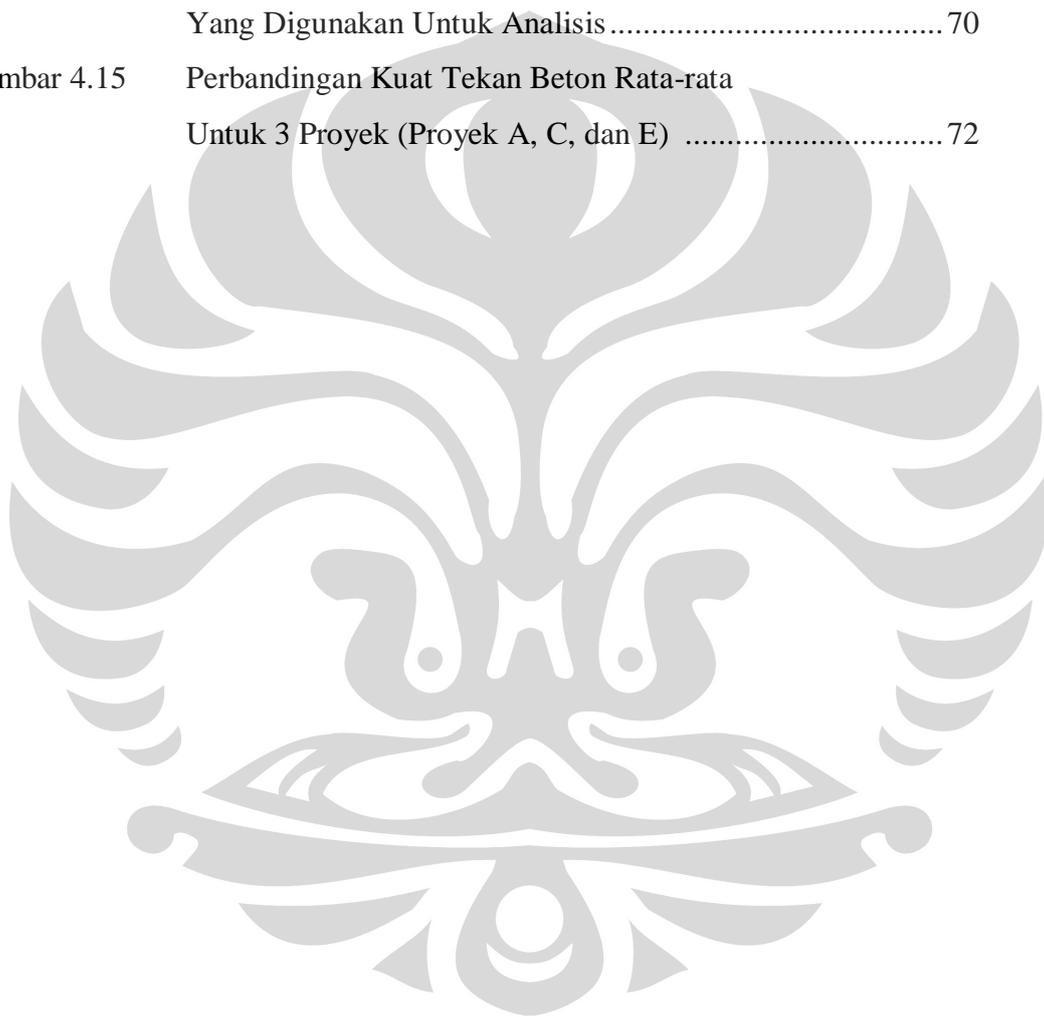
Tabel 4.15	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil <i>Coring</i> Proyek D.....	63
Tabel 4.16	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil <i>Coring</i> Proyek E.....	64
Tabel 4.17	Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder.....	67
Tabel 4.18	Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Untuk 3 Proyek (Proyek A, C, dan E)	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Produksi Semen Portland	8
Gambar 2.2	<i>Fly Ash</i>	21
Gambar 2.3	Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton Pada Semen dan Semen+ <i>Fly Ash</i>	25
Gambar 2.4	Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton Pada Semen dan Semen+ <i>Fly Ash</i>	26
Gambar 2.5	Hubungan Antara Faktor Air-Semen Dengan Kuat Tekan..	28
Gambar 2.6	Efek <i>Fly Ash</i> Jenis F Pada Panas Hidrasi.....	30
Gambar 2.7	Efek <i>Fly Ash</i> Jenis C Pada Panas Hidrasi	31
Gambar 2.8	Variasi Susut Terhadap Waktu.....	32
Gambar 3.1	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Metode Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Proses Secara <i>Dry Mix</i> di <i>Truck Mixer</i>	39
Gambar 3.3	Proses Secara <i>Wet Mix</i> di <i>Batching Plant</i>	39
Gambar 3.4	Pemeriksaan <i>Slump</i> Beton.....	40
Gambar 3.5	Pembuatan Benda Uji	41
Gambar 3.6	Perawatan Benda Uji	41
Gambar 3.7	Mesin Kuat Tekan Beton	42
Gambar 3.8	Mesin Bor Untuk <i>Coring</i>	43
Gambar 3.9	Pola Keruntuhan Pada Beton	44
Gambar 4.1	Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A	47
Gambar 4.2	Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek A.....	48
Gambar 4.3	Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B	50
Gambar 4.4	Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek B	51
Gambar 4.5	Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C	53
Gambar 4.6	Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek C	54
Gambar 4.7	Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D	56
Gambar 4.8	Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek D	57
Gambar 4.9	Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E.....	59
Gambar 4.10	Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek E	60

Gambar 4.11	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Pada Umur 28 Hari	65
Gambar 4.12	Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Pada Umur 56 Hari	66
Gambar 4.13	Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder	68
Gambar 4.14	Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Yang Digunakan Untuk Analisis	70
Gambar 4.15	Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Untuk 3 Proyek (Proyek A, C, dan E)	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Hasil Penelitian	80
Lampiran 2.	Foto-foto Penelitian	89



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkembangan dunia konstruksi saat ini menjadi hal yang tak terpisahkan dalam rangka pemenuhan kebutuhan manusia akan sarana dan prasarana infrastruktur bangunan. Hal ini terjadi sebagai akibat atas meningkatnya jumlah penduduk dari tahun ke tahun. Pelaksanaan konstruksi ini dapat berjalan dengan baik bilamana terdapat koordinasi terhadap hal-hal yang menunjang dengan kegiatan konstruksi. Salah satu penunjang dalam kegiatan konstruksi adalah pemilihan material yang akan digunakan.

Dalam pelaksanaan kegiatan konstruksi bangunan sipil, pemakaian material yang sering digunakan antara lain adalah material beton dan baja. Saat ini pemakaian beton sebagai material struktur lebih banyak dijumpai pada pelaksanaan konstruksi bangunan dibandingkan material baja. Hal ini dikarenakan material beton memiliki beberapa kelebihan yakni dapat dibentuk sesuai dengan yang dihendaki, memiliki kekuatan yang tinggi sehingga dapat memikul beban tekan yang berat, dan biaya perawatan material beton yang relatif murah. Selain itu, dibandingkan dengan material baja, material beton lebih tahan terhadap temperatur yang tinggi dan tahan terhadap korosi.

Beton sederhana umumnya dibentuk oleh campuran beberapa material yakni semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara, dan campuran tambahan lainnya. Bahan yang terbentuk ini akan menghasilkan kekuatan tekan yang tinggi dan ketahanan tarik yang rendah. Dibandingkan dengan material baja dan kayu yang bersifat homogen, komposisi material beton merupakan bahan yang tidak homogen sehingga perlu adanya inovasi melalui pendekatan dari prinsip-prinsip dasar perancangan struktural untuk memperoleh material beton yang kuat dan tahan lama.

Kualitas material beton sangat ditentukan oleh kualitas bahan pembentuknya dan kualitas pelaksanaan di lapangan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya,

material beton yang merupakan campuran dari semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara dan campuran tambahan lainnya agar dapat menghasilkan material beton yang kuat dan tahan lama, maka material pembentuk beton tersebut harus memiliki komposisi dan kualitas yang baik. Untuk mendapatkan material semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara dan campuran tambahan lainnya yang memiliki kualitas baik kadang kala dibutuhkan penggunaan dalam jumlah yang maksimal. Padahal kita ketahui bersama bahwa material semen, agregat halus, dan agregat kasar merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya di alam sangatlah terbatas. Atas dasar itulah yang menyebabkan saat ini penggunaan material khususnya material semen diusahakan seminimal mungkin. Oleh karena itu, untuk memecahkan masalah tersebut diperlukan suatu alternatif material tambahan lain yang fungsinya hampir sama dengan material semen, dimana alternatif material tambahan tersebut akan berperan sebagai bahan pengikat pada material beton.

Alternatif material tambahan yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut dapat berupa mortar, kapur, dan abu terbang (*fly ash*). Akan tetapi, pada penyusunan laporan skripsi ini akan difokuskan pada penggunaan material tambahan berupa abu terbang (*fly ash*). Material *fly ash* merupakan limbah yang dihasilkan akibat aktivitas dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan limbah bahan bakar mesin-mesin pabrik. Komposisi *fly ash* dapat dikatakan cukup kompleks, yakni terdiri dari komposisi kristal yang heterogen. Komponen utamanya antara lain adalah silika, SiO_2 (5-25%), alumina, As_2O_3 (10-30%) dan feri dioksida, Fe_2O_3 (5-25%), dimana komponen tersebut dapat mengikat material beton dan meningkatkan kekuatan tekan beton serta memperkecil nilai susut (*shrinkage*) dari beton. Selain itu, penggunaan *fly ash* juga dilakukan untuk mengurangi limbah PLTU dan pabrik agar tidak mencemarkan lingkungan dan untuk memanfaatkan limbah agar menjadi sesuatu yang bernilai ekonomis.

Atas dasar beberapa pertimbangan di atas, maka akan dilakukan suatu penelitian terhadap material beton yang menggunakan *fly ash* melalui pengambilan sampel dari beberapa proyek dan hasil bor inti (*coring*), yang selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap mutu beton khususnya kuat tekan beton.

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash*, dimana sampel yang digunakan berasal dari 5 proyek dan hasil bor inti (*coring*). Selain itu juga bertujuan untuk mengetahui perbandingan beton *fly ash* yang dirawat (*curing*) secara standar dengan beton *fly ash* yang dirawat (*curing*) pada kondisi lapangan.

1.3. BATASAN MASALAH

Secara garis besar, penyusunan skripsi ini ditulis berdasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan di laboratorium. Batasan yang digunakan dalam laporan skripsi ini adalah material beton *fly ash* diambil dari 5 proyek yang memiliki mutu (f_c') antara 15 - 45 MPa dengan persentase *fly ash* berkisar 5-20%, dimana untuk setiap proyek akan diambil sampel silinder berdiameter 15 cm sebanyak 42 buah dan sampel balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm sebanyak 3 buah. Perawatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan dengan 2 perlakuan, yakni perawatan beton sesuai dengan standar dan yang diterapkan di lapangan.

Untuk pengujian kuat tekan beton *fly ash* sampel silinder, pengujian dilakukan pada hari ke-3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 dimana setiap pengujian menggunakan 3 buah sampel yang perawatannya dilakukan sesuai standar (direndam dalam air) dan 3 buah sampel dengan perawatan yang diterapkan di lapangan. Untuk pengujian terhadap hasil *coring* dilakukan pada saat beton berumur ke-28, 56, dan 90 hari dimana setiap pengujian sampel yang digunakan sebanyak 3 buah silinder berukuran 6,8 cm yang *dicoring* dari 3 sampel balok.

1.4. METODOLOGI PENELITIAN

Di dalam penyusunan skripsi ini, metodologi penelitian dilakukan dengan cara melakukan kegiatan di laboratorium. Kegiatan penelitian di laboratorium ini

dilakukan melalui kegiatan pengujian terhadap mutu beton khususnya kuat tekan beton *fly ash* yang diperoleh dari sampel beberapa proyek dan hasil *coring*, yang dirawat secara standar maupun yang dirawat pada kondisi lapangan. Dari kegiatan pengujian kuat tekan di laboratorium ini, diperoleh data-data yang kemudian dapat dilakukan analisis untuk mengetahui perbandingan antara aplikasi di lapangan dengan teori yang ada, sehingga dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan pemecahan atas masalah-masalah yang muncul.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam laporan skripsi ini terdiri dari lima bab, dimana setiap bab menguraikan beberapa hal yang terkait dengan kegiatan penelitian sebagai bahan penyusunan skripsi, yaitu :

Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini, penulis menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Dalam bab ini akan menguraikan secara deskriptif mengenai teori-teori yang akan menjadi dasar dan arahan dalam kegiatan penelitian yang akan dilakukan dan dalam proses penyusunan skripsi.

Bab III Metode Penelitian

Dalam bab ini akan menjelaskan tentang tahapan pelaksanaan kegiatan penelitian yang dilakukan.

Bab IV Hasil dan Analisis Penelitian

Dalam bab ini akan membahas tentang hasil penelitian dan analisis terhadap kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

Bab V Penutup

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil analisis kegiatan penelitian yang telah dilakukan dan juga saran-saran yang diberikan untuk kegiatan penelitian pada masa yang akan datang.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1. MATERIAL BETON

2.1.1. Sejarah Beton

Beton merupakan salah satu material utama yang digunakan pada kegiatan konstruksi. Material ini telah digunakan sejak zaman Yunani dan Romawi. Pada abad 26 SM, bangsa Mesir membuat Pyramid dengan menggunakan campuran jerami untuk mengikat batu kering, gypsum, dan semen kapur. Kemudian pada abad ke-8 SM, masyarakat Yunani yang tinggal di Crete dan Cyprus menggunakan semen kapur untuk membuat suatu bangunan. Sama halnya dengan bangsa Yunani, bangsa Roma membuat beton pertama kali dengan menggunakan batu kapur kalsinasi yang dicampur dengan debu bebatuan atau abu vulkanik. Mereka menggunakannya untuk membangun jalan, bangunan-bangunan, dan saluran air. Selain itu bangsa Roma memakai *pozzolana*, jenis pasir tertentu dari Pozzuoli dekat gunung berapi Vesuvio (Italia bagian Selatan), untuk membangun bangunan yang penting seperti Pantheon atau Colosseo.

Pada abad pertama SM, seorang ilmuwan bernama Marco Vitruvio Pollione meletuskan sebuah campuran pozzolana dan kapur untuk membuat beton. Kemudian Marco Vitruvio Pollione menulis sebuah karangan tentang sifat beton yang berjudul *Concrete* yang diambil dari bahasa latin yaitu *Concretus*, yang berarti *tumbuh bersama*. Pada abad ke-15, kontraktor dari Venesia membuat beton dengan menggunakan kapur hitam (*Black Lime*) Abetone yang mempunyai kesamaan dengan pozzolana yang diperoleh dari sebuah wilayah dekat Vicenza (Italia bagian Utara). Selain itu, pada tahun 1779 M, Fra Giocondo menggunakan pasir pozzolana sebagai mortar pada Dermaga Pont de Notre Dame di Paris dan tahun 1793 M John Smeaton membangun Mercusuar Eddystone di Cornwall, Inggris dengan menggunakan kapur hidrolik.

Pada umumnya, material beton terbuat dari campuran material semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara, dan campuran tambahan lainnya yang

membentuk suatu pasta. Material penyusun beton ini menyebabkan beton memiliki sifat kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik. Selain itu, material beton juga memiliki beberapa karakteristik lainnya seperti mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang relatif tinggi, memiliki usia yang relatif sangat panjang, dan material beton dapat dicetak dengan bentuk yang beragam. Untuk membentuk material beton yang akan digunakan biasanya dilakukan beberapa tahapan proses yakni proses pencampuran material penyusun beton, pengecoran dan perawatan. Pengerasan material beton dapat terjadi dengan melakukan proses mempercepat reaksi hidrasi antara campuran semen dan air.

2.1.2. Material Penyusun Beton

Material beton dihasilkan melalui proses interaksi mekanis dan kimiawi material penyusunnya. Komponen material penyusun beton antara lain adalah semen, air, agregat halus, agregat kasar, udara, dan material tambahan lainnya.

2.1.2.1. Semen

Semen merupakan bahan ikat yang sangat penting dan banyak digunakan dalam kegiatan konstruksi. Pada umumnya semen dibentuk dari serbuk halus berupa mineral kristal yang komposisi utamanya adalah kalsium dan aluminium silikat. Semen dapat dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- Semen non-hidrolik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras bila dicampur dengan air, tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non-hidrolik adalah kapur.
- Semen hidrolik adalah semen yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras bila dicampur dengan air. Contoh dari semen hidrolik adalah semen pozollan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portland-pozollan, dll.

Pada awalnya, semen yang digunakan pertama kali dalam penyusunan struktur beton adalah semen yang berasal dari daerah *Portland*, Inggris. Semen portland merupakan semen hidrolik yang dapat mengeras ketika terjadi interaksi antara air

dan bahan penyusun lainnya. Dibandingkan dengan semen nonhidrolik seperti gipsum atau kapur, semen portland memiliki ketahanan dan menghasilkan kuat tekan yang tinggi pada material beton. Spesifikasi semen portland antara lain adalah memiliki ukuran partikel rata-rata sekitar 15 μ m.

Bahan baku pembentuk semen portland terdiri atas kapur (CaO) yang berasal dari batu kapur, silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang berasal dari lempung. Selain itu, semen portland juga mengandung sedikit magnesia (MgO) dan terkadang sedikit alkali.

Tabel 2.1 Komponen Penyusun Semen Portland

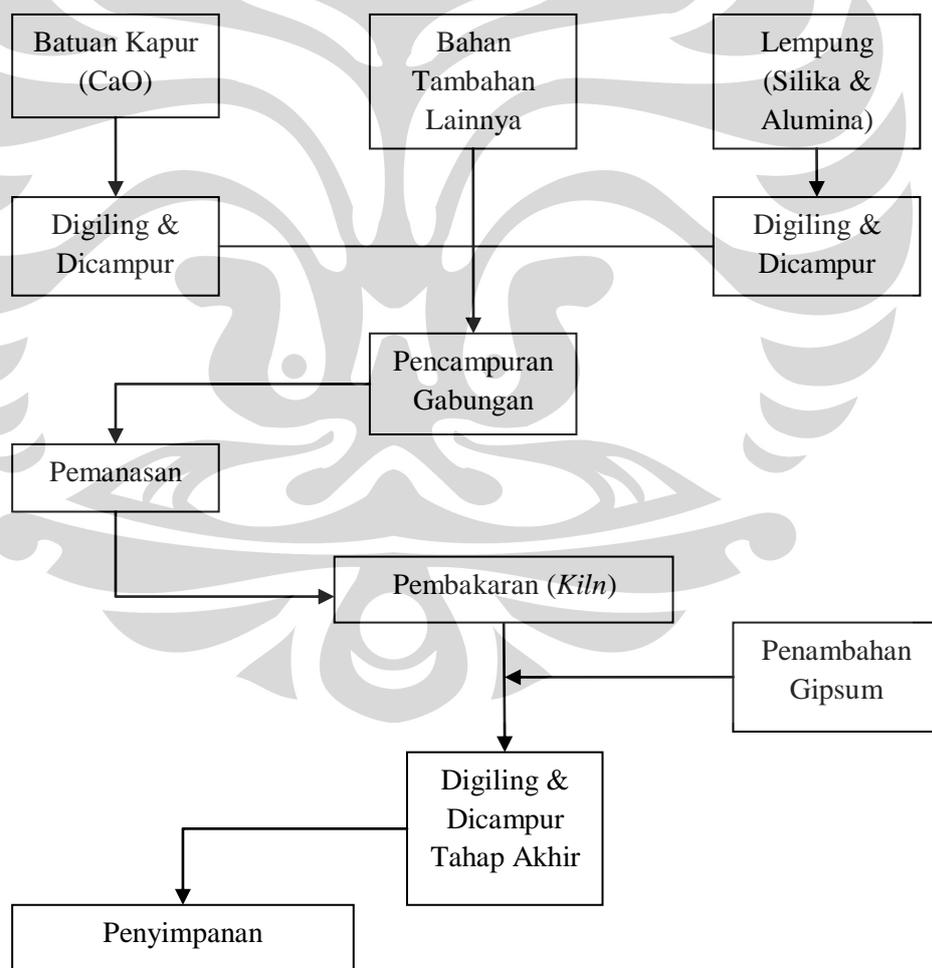
No.	Komponen Penyusun	Keterangan
1.	Trikalsium silikat (C ₃ S) atau 3CaO.SiO ₂	Sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air, pasta akan mengeras dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah 3 hari.
2.	Dikalsium silikat (C ₂ S) atau 2CaO.SiO ₂	Pasta akan mengeras jika ditambahkan air dan menimbulkan panas hidrasi 12 kalori/gram setelah 3 hari.
3.	Trikalsium aluminat (C ₃ A) atau 3CaO.Al ₂ O ₃	Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah 3 hari.
4.	Tetrakalsium aluminoforit (C ₄ AF) atau 4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	Unsur ini saat bereaksi dengan air akan membentuk pasta yang berlangsung dengan cepat serta menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram.

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Proses pembuatan semen portland pada dasarnya merupakan suatu proses yang sederhana. Proses pembuatan semen portland secara ringkas adalah sebagai berikut :

- Bahan baku semen portland yakni CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ dicampur menjadi satu dengan bahan tambahan lainnya.

- Tuangkan campuran ke ujung atas dari *kiln* yang diletakkan agak miring.
- Selama *kiln* yang telah dipanaskan bekerja, material tersebut akan mengalir dari atas ke bawah dengan kelajuan terkontrol yang telah ditentukan sebelumnya.
- Temperatur campuran tersebut dinaikkan sampai terjadi fusi awal yang disebut *temperature clinkering*. Temperatur dipertahankan hingga campuran tersebut membentuk semen portland atau *clinkers* yang berukuran antara 1/16 dan 2 in pada suhu 2700° F (1400° C - 1600° C).
- *Clinkers* didinginkan dan dihancurkan sampai berbentuk serbuk. Kemudian Sedikit gipsum ditambahkan selama proses pembentukan serbuk untuk mengontrol waktu pengerasan semen di lapangan.



Gambar 2.1 Skema Produksi Semen Portland

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Sifat fisika dari semen portland dapat dibedakan berdasarkan pada beberapa hal berikut ini :

Tabel 2.2 Sifat Fisika Semen Portland

No.	Sifat Fisika	Keterangan
1.	Kehalusan Butir (<i>fineness</i>)	Kehalusan butir semen akan berpengaruh pada proses hidrasi, waktu pengikatan (<i>setting time</i>), makin halus butiran semen, maka proses hidrasinya semakin cepat, sehingga kekuatan awal tinggi tetapi kekuatan akhir akan berkurang. Kehalusan butir semen yang tinggi dapat mengurangi terjadinya <i>bleeding</i> .
2.	Kepadatan (<i>density</i>)	Berat jenisnya adalah $3,150 \text{ kg/m}^3$. Berat jenis semen berpengaruh pada proporsi semen dalam campuran beton. Pengujian berat jenis semen dapat dilakukan dengan alat " <i>Turbidimeter</i> ".
3.	Waktu Pengikatan (<i>setting time</i>)	Waktu ikat adalah waktu yang diperlukan semen untuk mengeras, terhitung sejak berekasinya air dan menjadi pasta semen hingga semen menjadi cukup kaku dalam menahan tekan.
4.	Panas Hidrasi	Panas hidrasi adalah panas yang terjadi pada saat semen bereaksi dengan air. Dalam pelaksanaan, perkembangan panas ini dapat menimbulkan retakan pada saat pendinginan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan pendinginan melalui perawatan (<i>curing</i>) pada saat pelaksanaan.

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Sedangkan, sifat kimia dari semen portland biasanya dilihat berdasarkan tingkat oksida dari beberapa elemen yang digunakan, yakni :

Tabel 2.3 Sifat Kimia (Tingkat Oksida) Pada Semen Portland

Oksida	Nama	% Berat pada semen biasa
CaO	Kapur	63
SiO ₂	Silika	22
Al ₂ O ₃	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	Feri oksida	2.5
MgO	Magnesia	2.5
K ₂ O	Alkali	0.6
Na ₂ O	Alkali	0.4
SO ₃	Sulfur trioksida	2.0
CO ₂	Karbon dioksida	-
H ₂ O	Air	-

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Proses kimiawi pada semen portland berupa rekristalisasi dalam bentuk kristal yang bertautan satu sama lain (*interlocking-crystal*) yang menyebabkan terbentuknya pasta semen yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi bila mengeras. Sifat masing-masing komponen semen dalam mencapai kekuatannya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Sifat-Sifat Semen

Komponen	Kelajuan Reaksi	Pelepasan Panas	Kontribusi Terhadap Kuat Tekan
Trikalsium silikat (C ₃ S)	Sedang	Sedang	Baik
Dikalsium silikat (C ₂ S)	Lambat	Kecil	Baik
Trikalsium aluminat (C ₃ A)	Cepat	Besar	Buruk
Tetrakalsium aluminoferrat (C ₄ AF)	Lambat	Kecil	Buruk

(Sumber : Pendekatan Dasar Beton Bertulang, Edward G.Nawy)

Kekuatan awal semen portland semakin tinggi jika persentase C_3S semakin banyak. Selain itu, kekuatan akhirnya juga akan lebih besar jika saat perawatan kelembaban semen, persentase C_2S semakin besar. Komponen C_3A berkontribusi terhadap kekuatan selama beberapa hari setelah pengecoran beton karena komponen ini yang lebih dahulu mengalami hidrasi.

Komponen kapur dalam semen portland akan lepas sekitar 20% dari berat semen ketika semen portland dicampur dengan air, dimana hal ini memungkinkan terjadinya pemisahan struktur. Oleh karena itu, dilakukan alternatif tindakan yakni dengan menambahkan suatu mineral silika seperti pozolan yang akan bereaksi dengan kapur jika terdapat uap air yang kemudian membentuk bahan yang kuat berupa kalsium silikat. Komposisi semen portland pada masing-masing tipe semen memiliki variasi persentase dalam komposisi kimia dan variasi perilakunya yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Persentase Komposisi Semen Portland

Jenis Semen	Komponen (%)					Karakteristik
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	
Tipe I (Normal)	50	25	12	8	5	Semen untuk semua tujuan
Tipe II (Modifikasi)	45	30	7	12	5	Digunakan untuk struktur besar
Tipe III (Kekuatan awal tinggi)	60	15	10	9	5	Mencapai kekuatan tinggi pada umur 3 hari
Tipe IV (Pemanasan rendah)	25	50	5	12	4	Dipakai pada bendungan beton
Tipe V (Tahan Sulfat)	40	40	4	10	4	Dipakai pada saluran dan struktur yang diekspos terhadap sulfat

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Ukuran partikel semen mempunyai pengaruh yang besar terhadap kelajuan reaksi antara semen dengan air. Partikel semen yang mempunyai luas permukaan

yang besar menyebabkan kecepatan reaksi antara semen dan air menjadi lebih tinggi sehingga proses pengerasan akan menjadi lebih cepat.

Berdasarkan ASTM C 150 dan SK SNI T-15-1990-03:2, semen portland dibagi atas beberapa tipe, yaitu :

- **Semen Portland Tipe I (*General Purpose*)**
Semen jenis ini digunakan untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan syarat khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain. kadar C_3S antara 48 – 52% dan kadar C_3A antara 10 – 15%.
- **Semen Portland Tipe II (*Moderate Heat-Modified General Purpose*)**
Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang. Kadar C_3S sedang, sama besar dengan kadar C_3A , yaitu maksimal 8% alkali rendah.
- **Semen Portland Tipe III (*High Early Strength*)**
Semen jenis ini dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi pada fase permulaan setelah terjadi pengikatan. Kadar C_3S -nya sangat tinggi dan butirannya sangat halus. Biasanya digunakan di daerah dengan udara dingin.
- **Semen Portland Tipe IV (*Low Heat*)**
Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi rendah, sehingga kadar C_3S dan C_3A rendah.
- **Semen Portland Tipe V (*Sulfate Resisting*)**
Semen portland yang dalam penggunaannya hanya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2.1.2.2. Air

Dalam pembuatan beton, air diperlukan guna menciptakan reaksi kimiawi dengan semen sehingga membentuk suatu pasta semen. Selain itu, air juga berperan untuk membasahi beton serta melumasi campuran agar mudah dalam pengerjaannya. Umumnya, air yang digunakan dalam pembuatan beton berkisar antara 150 kg/m^3 hingga 200 kg/m^3 . Air yang digunakan sebaiknya adalah air yang tidak mengandung senyawa yang berbahaya, karena senyawa yang berbahaya dapat menurunkan kekuatan beton, mengubah sifat semen, dan mengurangi afinitas atau daya tarik-menarik antara agregat dengan pasta semen.

Oleh karena itu, sebelum digunakan dalam campuran beton sebaiknya air diuji dengan mengacu pada beberapa parameter penentu kualitas air yakni kandungan zat-zat terlarut dalam air, warna, pH dan kekeruhan. Batas toleransi untuk beberapa senyawa atau kotoran dalam pencampuran air dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.6 Batas Toleransi Kotoran atau Senyawa Dalam Pencampuran Air

Senyawa atau Kotoran	Konsentrasi Maksimum (ppm)	Keterangan
Zat suspended	2000	Lempung, zat organik
Algae	500-1000	Menyebabkan adanya rongga udara
Karbonat	1000	Menurunkan waktu setting beton
Sodium sulfat	10,000	Meningkatkan kuat tekan baru dan mengurangi kuat tekan lam
Magnesium sulfat	40,000	
Sodium klorida	20,000	Menurunkan waktu setting beton, mengurangi kuat tekan ultimate
Kalsium klorida	50,000	
Magnesium klorida	40,000	
Gula	500	Mempengaruhi perilaku setting beton

(Sumber : Concrete Construction Engineering Handbook, Edward G.Nawy)

Pada pencampuran beton, seringkali terjadi penguapan air secara perlahan-lahan yang menyebabkan timbulnya rongga-rongga udara. Sering kali rongga-rongga udara dalam campuran beton tidak tersebar merata, sehingga perlu dilakukan upaya untuk menjaga persentase kandungan udara agar kandungan udaranya bernilai optimum dan agar rongga udara dapat tersebar merata. Rongga-rongga udara yang tersebar merata dalam campuran beton dapat memudahkan pengerjaan beton, menambah keawetan dan mengurangi kondisi segregasi. Kandungan udara optimum biasanya berkisar 9% dari fraksi pasta dalam beton. Kandungan udara yang berlebih pada campuran beton dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas beton.

Kekuatan suatu beton diukur berdasarkan pada faktor air dan semen. Faktor ini biasanya dinyatakan dalam perbandingan berat air dengan berat semen

dalam campuran beton. Perbandingan air ini harus sesuai dengan komposisi perhitungan, karena perbandingan jumlah air yang berlebih dapat menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai dan perbandingan jumlah air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai.

2.1.2.3. Agregat

Agregat merupakan komponen yang paling berperan dalam beton. Hal ini dikarenakan pada beton terdapat sekitar 60%-80% volume agregat. Pemilihan jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton akan sangat berpengaruh pada propertis dan kekuatan beton. Sifat agregat yang mempengaruhi propertis dan kekuatan beton dapat dibedakan berdasarkan pada tingkat kekasarannya dan ukuran maksimumnya, dimana kekasaran permukaan agregat dapat mempengaruhi kekuatan lekatan antar agregat dan ukuran maksimum agregat dapat berpengaruh pada kekuatan betonnya. Berdasarkan sifat agregat tersebut, maka secara umum agregat dibagi atas dua jenis yakni agregat kasar (kerikil dan batu pecah) dan agregat halus (pasir alami dan buatan).

2.1.2.3.1. Agregat Kasar

Pada umumnya, agregat kasar memiliki ukuran lebih dari $\frac{1}{4}$ in (6 mm). Agregat kasar dalam campuran beton memiliki sifat yakni dapat mempengaruhi kekuatan akhir dari beton yang telah mengeras dan tahan terhadap disintegrasi beton, cuaca serta efek-efek lain yang dapat merusak. Pada campuran beton, agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang mempunyai ikatan yang baik dengan semen. Selain itu, agregat juga harus bersih dari bahan-bahan organik. Hal ini dikarenakan bahan-bahan organik dapat menimbulkan efek merugikan terhadap mutu beton. Beberapa jenis agregat yang biasa digunakan antara lain adalah sebagai berikut :

- Batu pecah alami

Material ini diperoleh dari cadas atau batuan alami jenis sedimen atau metamorf yang berasal dari gunung api. Batu pecah alami ini dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi, namun dibandingkan dengan jenis

agregat kasar lainnya batuan ini kurang memberikan kemudahan dalam proses pengerjaan dan pengecorannya.

- Kerikil alami

Kerikil alami merupakan agregat kasar yang didapat dari proses pengikisan bagian tepi atau dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Material ini memberikan kekuatan beton yang rendah dibandingkan batu pecah alami, tetapi memberikan kemudahan dalam proses pengerjaannya.

- Agregat kasar buatan (*synthetic*)

Agregat kasar jenis ini berupa ampas (*slag*) atau serpihan (*shale*) hasil dari proses pembakaran (*blast-furnace*).

- Agregat pelindungan nuklir berbobot berat

Contoh agregat kasar jenis ini antara lain adalah barit, magnetit, hematit, limonit, baja pecah atau material lain yang memiliki berat jenis sekitar 3,5 hingga 5,3 dan berat satuan di atas 4100 kg/m^3 . Sifat beton ini tidak bergantung pada faktor air-semennya, melainkan sangat bergantung pada kerapatan, kepadatan, dan kekuatannya. Dengan kata lain, agregat ini tidak mempertimbangkan syarat ekonomis dan kemudahan dalam pengerjaannya.

2.1.2.3.2. Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir merupakan agregat pengisi diantara agregat kasar. Agregat ini memiliki ukuran yang beragam yakni mulai dari ukuran saringan No. 4 dan No. 100 standar Amerika. Sedangkan menurut SNI 03-6820-2002 (2002: 171), agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm. Sama halnya dengan agregat kasar, agregat halus juga harus bebas dari bahan organik, lempung, dan partikel yang lebih kecil dari saringan No. 100. Hal ini dilakukan agar tidak merusak campuran beton.

Berdasarkan ASTM C 33, persyaratan gradasi campuran antara agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan pada beton normal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.7 Persyaratan Gradasi Untuk Agregat Pada Beton Normal (ASTM C 33)

Ukuran Saringan (Standar Amerika)	Persentase Lewat				Agregat Halus
	Agregat Kasar				
	No. 4 – 2 in	No. 4 – 1 $\frac{1}{2}$ in	No.4 – 1 in	No. 4 – ¾ in	
2 in	95 – 100	100	-	-	-
1 $\frac{1}{2}$ in	-	95 – 100	100	-	-
1 in	25 – 70	-	95 – 100	100	-
¾ in	-	35 – 70	-	90 – 100	-
½ in	10 – 30	-	25 – 60	-	-
3/8 in	-	10 – 30	-	20 – 55	100
No. 4	0 – 5	0 – 5	0 – 10	0 – 10	95 – 100
No. 8	0	0	0 – 5	0 – 5	80 – 100
No. 16	0	0	0	0	50 – 85
No. 30	0	0	0	0	25 – 60
No. 50	0	0	0	0	10 – 30
No. 100	0	0	0	0	2 - 10

(Sumber : Pendekatan Dasar Beton Bertulang, Edward G.Nawy)

2.1.2.4. Material Campuran Tambahan

Material campuran tambahan (*admixtures*) merupakan bahan selain air, agregat, dan semen yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Material campuran tambahan ini berfungsi untuk mengubah sifat-sifat beton agar kekuatan betonnya sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, material tambahan ini juga berfungsi untuk membuat campuran beton yang bernilai ekonomis dan dapat mengurangi jumlah material utama tanpa mengurangi kualitasnya. Material tambahan pada campuran beton dibedakan atas 2 jenis yakni material tambahan bersifat kimia (*chemical admixtures*) dan material tambahan bersifat mineral (*mineral admixtures*).

2.1.2.4.1. Material tambahan bersifat kimia (*chemical admixtures*)

Material tambahan bersifat kimia (*chemical admixtures*) merupakan material tambahan yang dihasilkan melalui proses kimia. Material ini dikembangkan untuk meningkatkan kuat tekan (*strength*), kemampuan pengerjaan (*workability*), dan ketahanan (*durability*) dari beton. Jenis-jenis dari material tambahan bersifat kimia (*chemical admixtures*) ini antara lain adalah :

- Material tambahan yang bersifat pemercepat (*accelerating admixtures*)

Material ini digunakan pada campuran beton guna mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan. Contoh bahan kimia yang berfungsi untuk pemercepat yang sering digunakan antara lain adalah senyawa-senyawa garam seperti kalsium klorida, bromida, karbonat, dan silikat. Selain itu, ada juga yang menggunakan senyawa organik seperti trietanolamin.

Kalsium klorida sering digunakan karena memiliki beberapa keuntungan yakni mudah didapatkan, biayanya yang relatif murah, dan dapat mengurangi waktu pengeringan. Selain dapat mengurangi waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan, kalsium klorida juga dapat memberikan efek yang merugikan yakni dapat meningkatkan susut (*shrinkage*) dan rangkak (*creep*). Susut (*shrinkage*) dan rangkak (*creep*) ini terjadi karena kuat tekannya telah mencapai nilai maksimal (*ultimate*). Biasanya jumlah maksimum kalsium klorida yang digunakan adalah kurang dari 1% dari berat semen portland.

- Material tambahan untuk *air-entraining* (*air-entraining admixtures*)

Material ini digunakan untuk membentuk gelembung-gelembung udara berdiameter 1 mm atau lebih kecil pada beton selama proses pencampuran guna mempermudah pengerjaan campuran pada waktu pengecoran dan menambah ketahanan awal beton. Umumnya, material tambahan untuk *air-entraining* berbentuk cairan, tetapi ada juga yang berbentuk bubuk, serpihan, dan gumpalan (*semisolid*).

Jumlah material tambahan yang diperlukan untuk menghasilkan gelembung udara sangat tergantung pada bentuk dan gradasi agregat yang digunakan. Semakin halus ukuran agregat, maka semakin besar persentase bahan tambahan yang diperlukan. Pada dasarnya, penambahan udara dapat

mengurangi kekuatan beton. Akan tetapi, hal ini dapat dicegah karena faktor air-semennya berkurang.

- Material tambahan untuk pengurangan air dan pengontrol pengeringan (*water-reducing admixtures*)

Material tambahan yang berbentuk cair ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan beton dan mengurangi kandungan semen. Pengurangan kandungan semen ini juga berakibat pada pengurangan air, dimana pengurangan air yang terjadi berkisar antara 10% hingga 15%. Jenis material tambahan ini antara lain adalah karbohidrat dan asam hidroksilat karbosilic. Selain dapat mengurangi rasio air-semen untuk beton dengan kuat tekan yang tinggi, penggunaan material tambahan ini juga dapat meningkatkan kemampuan pengerjaan (*workability*), dan mengurangi susut.

- *Polymers*

Polimer merupakan material tambahan yang dapat meningkatkan kekuatan tekan beton yang sangat tinggi yakni sebesar 100 MPa atau lebih. Beberapa jenis polimer yang dapat ditambahkan pada campuran beton antara lain adalah *polymer-impregnated concrete* (PIC), *polymer-modified concrete* (PMC), dan *latex-modified concrete* (LMC). Prinsip penggunaannya adalah menggantikan air pencampur dengan beberapa jenis polimer tersebut sehingga didapat kekuatan beton yang tinggi. Untuk mencapai kekuatan beton yang tinggi maka digunakan perbandingan berat polimer dan beton yang optimum yakni sekitar 0,3 sampai 0,45.

- Material tambahan untuk beton tanpa *slump* (*admixtures for no-slump concrete*)

Seperti yang diketahui bersama bahwa pengangkutan campuran beton pada jarak yang cukup jauh dapat menyebabkan terjadi penurunan nilai *slump*. Penurunan nilai *slump* ini merupakan hal yang tidak dapat dihindari sehingga diusahakan para pembuat campuran beton hendaknya melakukan pendekatan perhitungan yang dapat mengurangi penurunan nilai *slump* menjadi minimum. Saat ini ada suatu metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi penurunan nilai *slump* yakni dengan menambahkan superplastisizer pada *batching plant*

dan menggunakan superplastisizer dengan dosis yang lebih tinggi dari dosis normal atau dengan menggunakan retarder.

- *Superplasticizers*

Superplasticizers merupakan material tambahan kimia pengurang air pada campuran beton. Beberapa jenis *superplasticizers* yang biasa digunakan antara lain adalah kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0,005%, sulfonat naftalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan, dan modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida. Ketiga jenis material tambahan ini terbuat dari sulfonat organik. Keuntungan dari penggunaan material tambahan berupa *superplasticizers* adalah dapat mengurangi air pada campuran beton dan menyebabkan nilai *slump* bertambah sampai 8 in (208 mm). Penggunaan dosis *superplasticizers* ini biasanya sekitar 1% hingga 2% dari berat semen dan tidak boleh berlebihan karena jika berlebihan dapat mengurangi kekuatan tekan beton.

2.1.2.4.2. Material tambahan bersifat mineral (*mineral admixtures*)

Material tambahan bersifat mineral (*mineral admixtures*) merupakan material tambahan yang dihasilkan dari endapan batuan alami atau material yang diperoleh dari proses pembakaran pada beberapa jenis semen.

- *Silica fume*

Silica fume merupakan material yang dihasilkan dari penggunaan alat elektrik pemurnian kwarsa dan bijih batubara yang dibakar untuk menghasilkan campuran silikon dan ferosilikon. Ukuran diameter dari partikel *silica fume* adalah 0,1-0,12 μ m dengan luas permukaan sebesar 15-25 m²/g. Pada campuran beton, proporsi dari *silica fume* berkisar antara 5-20% dari berat semen dan proporsi air meningkat seiring dengan meningkatnya proporsi *silica fume*. Material ini digunakan untuk mengisi rongga diantara semen dan untuk mengatur ukuran partikel agar tersebar merata pada campuran beton.

- *Highly reactive metakaolin*

Highly reactive metakaolin merupakan material tambahan berupa material *pozzolan* yang sangat aktif untuk digunakan pada beton. Material ini merupakan hasil fabrikasi dari lempung kaolin murni pada suhu 700°-800° C.

Ukuran partikel dari material ini adalah sekitar 1-2 μ m. Penggunaan material ini untuk meningkatkan kuat tekan dari beton dan menghentikan susut pada beton.

- *Fly ash*

Fly ash merupakan material tambahan berupa partikel abu yang bergabung secara elektrostatis hasil pembakaran batu bara. Kadang kala material ini sering disebut sebagai *pozzolan* buatan. Partikel dari *fly ash* mempunyai ukuran butiran yang hampir sama dengan partikel semen yakni sebesar 15 μ m. Kandungan karbon dalam *fly ash* adalah sekitar lebih dari 3%. Efek pemakaian *fly ash* pada campuran beton adalah dapat meningkatkan modulus elastisitas beton dan mengurangi susut pada beton.

2.2. MATERIAL FLY ASH

2.2.1. Definisi dan Material Penyusun *Fly Ash*

Secara umum, *fly ash* diartikan sebagai material debu hasil pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Berdasarkan SNI 03-2460-1991, *fly ash* berarti bahwa abu terbang yang mempunyai sifat pozzolan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasi pada suhu 1560 °C. Sedangkan menurut SNI 03-6414-2002, *fly ash* atau abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar dan bersifat pozzolanik. Sifat pozzolan itu sendiri menurut SK SNI S-15-1990 merupakan sifat dari suatu material yang dihasilkan oleh alam maupun buatan yang mengandung unsur silikat atau aluminat yang dalam keadaan halus dapat bereaksi dan mempunyai sifat seperti semen ketika dicampur dengan air, dimana material tersebut akan membentuk suatu massa padat dan mengeras pada suhu kamar (24°-27°C).

Fly ash atau abu terbang merupakan material tambahan yang baik untuk digunakan sebagai bahan pengikat pada beton karena bahan penyusun utamanya adalah silika (SiO_2 : 25%-60%), alumina (Al_2O_3 : 10%-30%) dan besi oksida (Fe_2O_3 : 5%-25%). Selain itu, bahan penyusun lainnya yang terkandung dalam *fly ash* antara lain adalah kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), sulfur

trioksida (SO_3), dan alkali oksida (Na_2O). Karakteristik dari *fly ash* dapat dilihat berdasarkan pada propertis dan komposisinya secara fisik dan kimia. Propertis *fly ash* secara fisik berupa partikel berbutir halus yang umumnya berbentuk bola (*spherical*) atau kaca (*glassy*) yang berukuran mikroskopis. Selain itu, beberapa *fly ash* atau abu terbang juga mengandung partikel yang tidak teratur atau bersifat anular.



Gambar 2.2 *Fly Ash*
(Sumber : www.flyash.com)

Menurut ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts I 226.3R-6, sifat fisik dari *fly ash* antara lain adalah memiliki *specific gravity* sekitar 1,97-3,02 (normalnya berkisar 2,2-2,8) dan ukurannya adalah ≥ 1 mikron – ≤ 1 mm, dengan kehalusan 70%-80% melewati saringan no. 200 (75 mikron). Sedangkan untuk komposisi secara fisika dari *fly ash* atau abu terbang berdasarkan ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002 (2002: 150) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.8 Komposisi Fisika Fly Ash Berdasarkan ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002

No.	Senyawa	Kadar %		
		Jenis C	Jenis F	Jenis N
1.	Jumlah yang tertahan saringan No.325 (0,045 mm), maks	34	34	34
2.	Indeks aktifitas kekuatan : • Semen dengan umur 7 hari, min • Semen dengan umur 28 hari, min	75	75	75
3.	Kebutuhan air, maks	105	105	105
4.	Kekekalan bentuk pengembangan / penyusutan dengan autoclave (<i>Autoclave expansion / contraction</i>), maks	0,8	0,8	0,8
5.	Berat Jenis (<i>density</i>) • Perbedaan maksimum dari rata-rata • Persentase partikel yang tertahan pada ayakan No.325, perbedaan maksimum dari rata-rata	5	5	5

(Sumber : ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002)

Sedangkan komposisi kimia dari *fly ash* atau abu terbang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.9 Komposisi Kimia Fly Ash Berdasarkan ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002

No.	Senyawa	Kadar %		
		Jenis C	Jenis F	Jenis N
1.	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min	50	70	70
2.	SO_3 , maks	5	4	5
3.	Hilang Pijar (<i>Loss of Ignition</i>), maks	6	10	6
4.	Kadar Air (<i>Moisture Content</i>), maks	3	3	3
5.	Alkali (Na_2O), maks	1,5	1,5	1,5

(Sumber : ASTM C618 – 96 dan SNI 03-6863-2002)

Dalam SNI 03-6863-2002 (2002:146) dan ASTM C618, spesifikasi mengenai jenis *fly ash* atau abu terbang sebagai material mineral tambahan (*mineral admixtures*) untuk campuran beton dibedakan atas 3 jenis *fly ash* atau abu terbang, yaitu :

- a. *Fly ash* atau abu terbang jenis C, adalah *fly ash* atau abu terbang hasil pembakaran *lignite* atau batubara dengan kadar karbon sekitar 60%. Abu terbang jenis ini mempunyai sifat seperti semen dengan kadar kapur (CaO) di atas 10%, kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 50% dan kadar Na_2O mencapai 10%. Dalam campuran beton umumnya digunakan sebanyak 15%-35% dari total berat semen.
- b. *Fly ash* atau abu terbang jenis F, adalah *fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis antrasit pada suhu kurang lebih 1560°C dan mengandung CaO lebih kecil dari 10%, kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70% dan kadar Na_2O kurang dari 5%. Dalam campuran beton umumnya digunakan sebanyak 15%-25% dari total berat semen.
- c. *Fly ash* atau abu terbang jenis N, adalah *fly ash* atau abu terbang hasil kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah *diatomite*, *shole*, *tuft* dan batu apung.

Fly ash jenis F mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan *Fly ash* jenis C karena *fly ash* jenis C mempunyai kandungan CaO yang cukup tinggi. Kandungan CaO ini sangat baik bagi *cementitious properties* tetapi tidak begitu baik dalam mengontrol reaksi alkali-agregat atau memberikan ketahanan terhadap pengaruh sulfat. Penggunaan *fly ash* jenis C sangat bermanfaat untuk beton *pre-stress* dan beton lainnya yang membutuhkan kekuatan awal yang tinggi serta dapat menurunkan permeabilitas. Sedangkan penggunaan *fly ash* jenis F pada beton sangat bermanfaat untuk mengurangi *bleeding* dan segregasi pada beton plastis. Pada beton keras, *fly ash* jenis ini dapat meningkatkan kekuatan akhir beton, mengurangi susut (*shrinkage*) menurunkan permeabilitas, menurunkan panas hidrasi dan mengurangi rangkakan (*creep*). Dalam ACI Committe 363, 1992; ASTM, 1996 disebutkan bahwa penggunaan *fly ash* jenis C ditetapkan sebesar 15% - 35% sedangkan *fly ash* jenis F ditetapkan sebesar 15% - 25%.

2.2.2. Pengaruh *Fly Ash* Terhadap Beton

Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan *fly ash* atau abu terbang saat ini mulai banyak dikembangkan. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Umumnya saat ini *fly ash* atau abu terbang digunakan sebagai material mineral tambahan (*mineral admixtures*) yang dapat digunakan untuk mengurangi penggunaan semen dan meningkatkan kuat tekan beton. Penambahan *fly ash* atau abu terbang pada beton menunjukkan adanya peningkatan kualitas beton. Peningkatan kualitas beton ini disebabkan oleh kandungan unsur silikat dan aluminat pada *fly ash* atau abu terbang yang bereaksi secara reaktif dengan kapur bebas pada proses hidrasi antara semen dan air menjadi kalsium silikat.

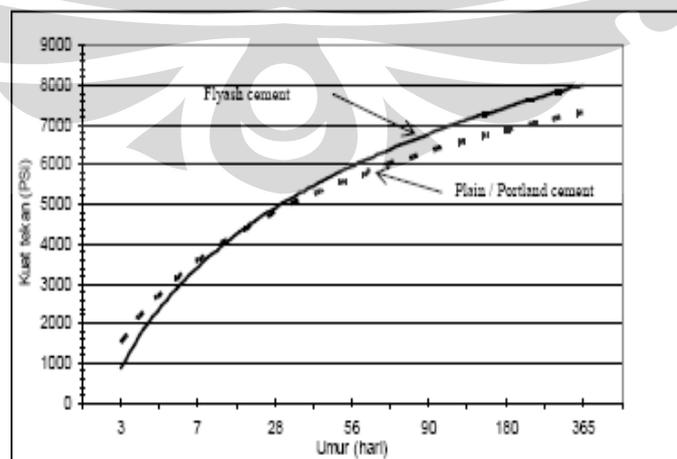
Kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* menunjukkan hasil yang hampir sama atau bahkan melebihi kuat tekan beton normal. Hal ini terjadi karena pada beton yang menggunakan *fly ash* akan mengalami pengurangan jumlah air sekitar 5-15% pada campurannya. Pengurangan air pada campuran agregat akan menyebabkan berkurangnya faktor air-semen. Pengurangan faktor air-semen inilah yang menyebabkan kuat tekan beton menjadi lebih tinggi pula. Selain itu, pengurangan faktor air-semen juga dapat mengurangi susut (*shrinkage*) pada beton sehingga meningkatkan daya tahan (*durability*) pada beton.

Manfaat lain dari penggunaan *fly ash* dalam campuran beton yaitu dapat meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*). Dengan peningkatan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*) ini, berarti mengurangi jumlah air yang digunakan. Dengan demikian dapat menurunkan potensi terjadinya segregasi pada campuran beton dan menghasilkan beton dengan mutu yang lebih tinggi. Penggunaan *fly ash* juga dapat meningkatkan kualitas beton terhadap kekedapan air dan ketahanan beton terhadap sulfat. Di sisi lain, penggunaan *fly ash* tidak selamanya menguntungkan. 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 daya tahan (*durability*) beton dan kekuatan awal yang rendah.

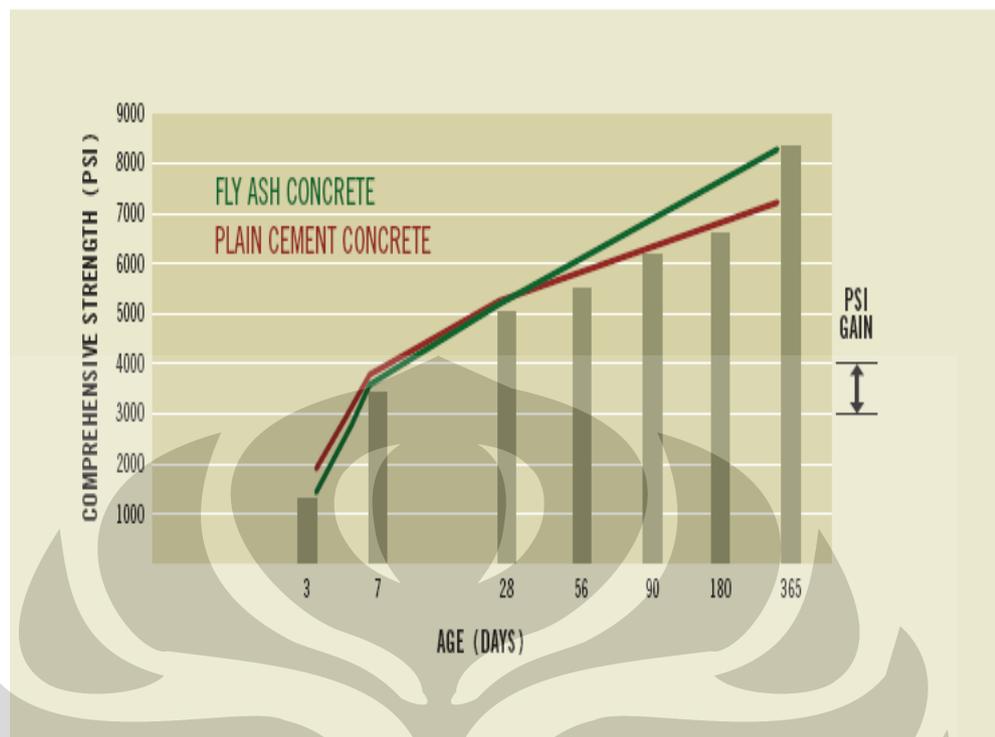
Selain itu, penggunaan *fly ash* juga merupakan bentuk pemanfaatan limbah yang akan membantu menjaga kelestarian lingkungan. Seperti diketahui bersama, produksi semen berpotensi melepaskan karbon dioksida ke atmosfer dalam jumlah besar (produksi 1 ton semen menghasilkan 1 ton karbon dioksida). Dengan kondisi ini, maka produksi semen berkontribusi menyumbang 7% dari total emisi karbon dioksida di dunia. Selain itu, produksi semen juga termasuk ke dalam salah satu industri dengan konsumsi energi terbesar setelah aluminium dan baja. Sehingga, dengan mereduksi penggunaan semen dan menggantinya dengan *fly ash* berarti juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang ditimbulkan akibat penggunaan semen tersebut.

2.2.2.1. Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength*)

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah pengaruh bahan tambahan yang digunakan dan perbandingan air-semen. Pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kekuatan beton dapat dilihat melalui laju kenaikan kekuatannya. Penambahan *fly ash* pada campuran beton akan mengurangi kekuatan awal beton ketika beton masih berumur 3 hari dan 7 hari. Hal ini terjadi karena lambatnya reaksi pozzolanik *fly ash*. Pada umur 28 hari kekuatan beton yang menggunakan *fly ash* menunjukkan hasil yang sama dengan beton normal dan terus mengalami peningkatan kekuatan ketika berumur lebih dari 28 hari. Perilaku laju kenaikan kekuatannya dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 2.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton Pada Semen dan Semen + Fly ash
(Sumber : www.flyash.com)



Gambar 2.4 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur beton Pada Semen dan Semen + Fly ash
(Sumber : www.flyash.com)

2.2.2.2. Faktor Air Semen (*Water – Cement Ratio*)

Faktor air semen (*water - cement ratio*) adalah perbandingan berat air dan berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kuat tekan beton. Faktor air semen yang rendah dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang tinggi, begitu juga sebaliknya. Namun demikian, nilai faktor air semen yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang akhirnya akan menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai faktor air semen minimum untuk beton normal sekitar 0,4 dan maksimum 0,65.

Menurut ASTM C 150, ASTM C 595 M, atau ASTM C 845, perhitungan rasio air semen pada campuran beton dilakukan dengan cara menambah berat semen dengan berat *fly ash* (abu terbang) dan bahan *pozzolan* lainnya seperti yang disyaratkan pada tabel berikut :

Tabel 2.10 Faktor Air Semen Untuk Setiap Kondisi Lingkungan

No.	Keterangan	Kondisi Lingkungan		
		Kondisi Normal	Basah-Kering	Di bawah Pengaruh Sulfat (Air Laut)
1.	Yang hanya mempunyai penutup tulangan kurang dari 25mm.	0,53	0,49	0,40
2.	Struktur dinding penahan tanah, pilar, balok, abutmen.	*	0,53	0,44
3.	Beton yang tertanam dalam pilar, balok, kolom.	-	0,44	0,44
4.	Struktur lantai beton di atas tanah	*	-	-
5.	Beton yang terlindung dari perubahan udara	*	-	-

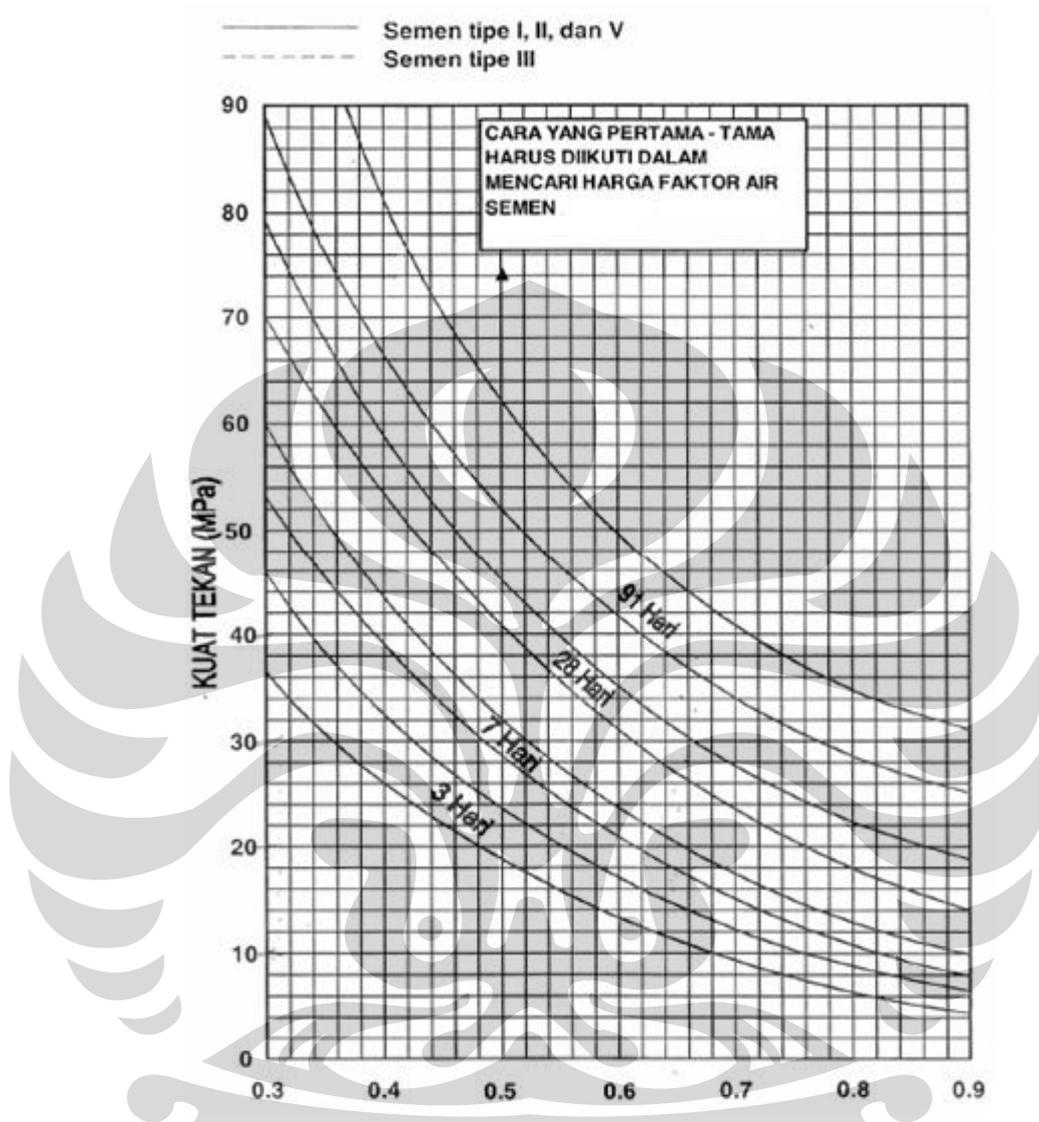
* Rasio air semen Ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan tekan rencana
(Sumber : Tim Penyusun Struktur Beton, 1999)

Tabel 2.11 Persyaratan Faktor Air Semen Untuk Lingkungan Khusus

Kondisi Lingkungan	Rasio Air – Semen Maksimum ¹	fc' Minimum (MPa) ²
Beton dengan permeabilitas rendah yang terkena pengaruh lingkungan air	0,50	28
Untuk perlindungan tulangan terhadap korosi pada beton yang terpengaruh lingkungan yang mengandung klorida dari garam atau air laut	0,40	35
CATATAN :		
1. Dihitung terhadap berat dan berlaku untuk beton normal		
2. Untuk beton berat normal dan beton berat ringan		

(Sumber : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton, SNI 2002)

Hubungan antara faktor air-semen dengan kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.5 Hubungan Antara Faktor Air-Semen Dengan Kuat Tekan
(Sumber : Tata Cara Pembuatan Beton Normal, SK SNI T-15-1990-03)

2.2.2.3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu karakteristik agregat, umur beton, kondisi perawatan beton dan penggunaan material tambahan pada campuran beton. Karakteristik agregat merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam campuran beton. Penggunaan agregat yang berbutir kecil dengan tekstur yang tajam dapat meningkatkan modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton akan meningkat dengan bertambahnya waktu.

Peningkatan modulus elastisitas tergantung pada kelangsungan proses hidrasi semen, yang berhubungan dengan berkurangnya porositas beton dan peningkatan kekuatan. Penggunaan bahan tambah sebagai pengganti semen seperti penambahan material *fly ash* juga dapat meningkatkan kepadatan beton, meningkatkan kekuatan dan menaikkan modulus elastisitas beton sehingga dapat mengurangi susut. Untuk menghitung besarnya modulus elastisitas, dapat dipergunakan formulasi sebagai berikut:

$$E_c = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

dengan :

- E_c = modulus elastisitas
- σ = tegangan
- ε = regangan

2.2.2.4. Kemudahan Dalam Pengerjaan (*Workability*)

Material *fly ash* dalam campuran beton dapat meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*). Hal ini terjadi karena *fly ash* memproduksi lebih banyak pasta semen dan memiliki satuan berat yang lebih rendah, sehingga *fly ash* memberikan kontribusi sekitar 30% lebih volume bahan *cementitious per pound* versus semen. Semakin besar persentase *fly ash* dalam pasta, maka agregat dalam beton akan dilumasi dengan baik dan beton juga akan mengalir dengan baik.

Selain itu, *fly ash* juga dapat mengurangi jumlah air yang dibutuhkan dalam campuran beton untuk menghasilkan nilai slump yang sesuai. Bentuk partikel *fly ash* yang bulat (*spherical*) dan kemampuannya dalam menyebarkan air inilah yang menyebabkan *fly ash* memiliki karakteristik yang sama dengan material tambahan pengurang air (*water reducing admixtures*). Biasanya, jumlah penggunaan air pada beton dengan tambahan *fly ash* akan dikurangi sekitar 2% hingga 10%, tergantung pada sejumlah faktor seperti jumlah dan kelas *fly ash* yang digunakan.

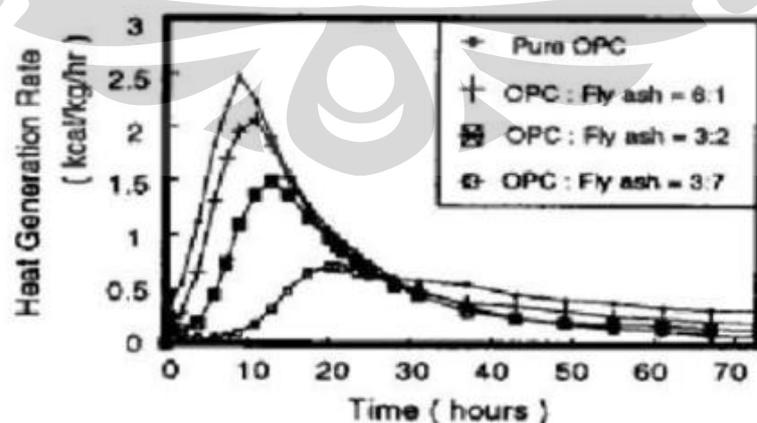
Penggunaan tambahan *fly ash* pada beton juga dapat mengurangi jumlah pasir yang dibutuhkan dalam campuran. Hal ini terjadi karena *fly ash* yang menghasilkan lebih banyak pasta menyebabkan pasta menjadi lebih licin, sehingga secara proporsional jumlah pasir dalam campuran dapat dikurangi.

Pengurangan pasir ini berarti menyebabkan pasta yang tersedia bisa lebih efisien dalam melapisi luas permukaan agregat yang masih tersisa.

2.2.2.5. Panas Hidrasi (*Heat of Hydration*)

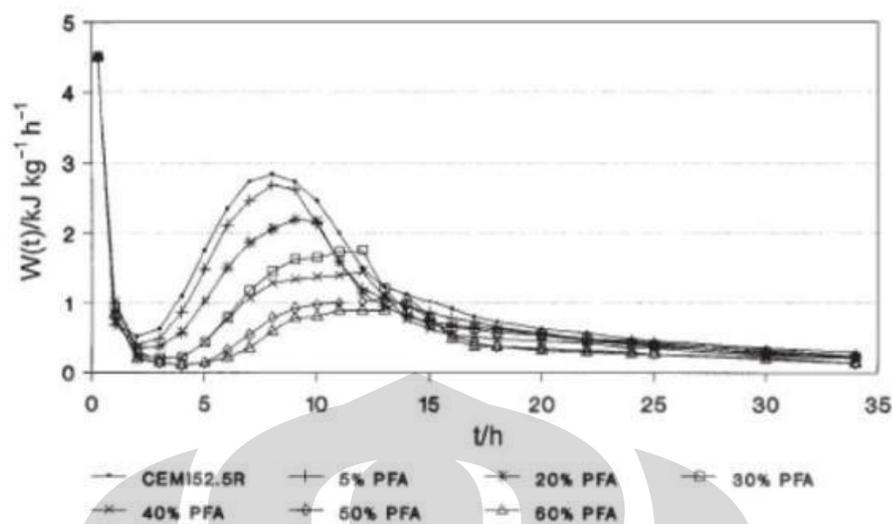
Proses hidrasi semen merupakan sebuah reaksi eksotermik. Panas yang dihasilkan dari proses ini sangat cepat sehingga menyebabkan suhu beton menjadi meningkat dan mempercepat waktu pengaturan (*setting time*) serta memperoleh kekuatan dari beton. Panas yang dihasilkan ini sebenarnya tidak akan merugikan kekuatan (*strength*) dan daya tahan (*durability*) beton dalam jangka panjang. Namun, kenyataannya saat ini panas yang terjadi pada aplikasi lapangan menyebabkan kemungkinan terjadinya retak (*cracking*), penurunan kekuatan dan ketahanan beton.

Oleh karena itu, penggantian persentase semen yang besar dengan *fly ash* atau abu terbang saat ini mulai banyak dikembangkan penggunaannya. Hal ini dikarenakan material tambahan *fly ash* dapat mengurangi efek terjadinya retak (*termal cracking*). Material *fly ash* yang digunakan sebagai tambahan pada beton ini hanya menghasilkan panas sekitar 15% hingga 35% dibandingkan dengan semen. Seorang ilmuwan bernama Crow et al. (1981) berhasil membuktikan pengaruh penggunaan kedua jenis *fly ash* tersebut pada campuran beton terutama untuk mereduksi panas yang dihasilkan akibat reaksi hidrasi semen dan air pada campuran beton. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Gambar 2.6 Efek *Fly Ash* Jenis F Pada Panas Hidrasi

(Sumber : Kishi dan Maekawa, 1995)



Gambar 2.7 Efek *Fly Ash* Jenis C Pada Panas Hidrasi
(Sumber : Nocun-Wczelik, 2001)

2.2.2.6. Daya Tahan (*Durability*) dan Permeabilitas (*Permeability*) Beton

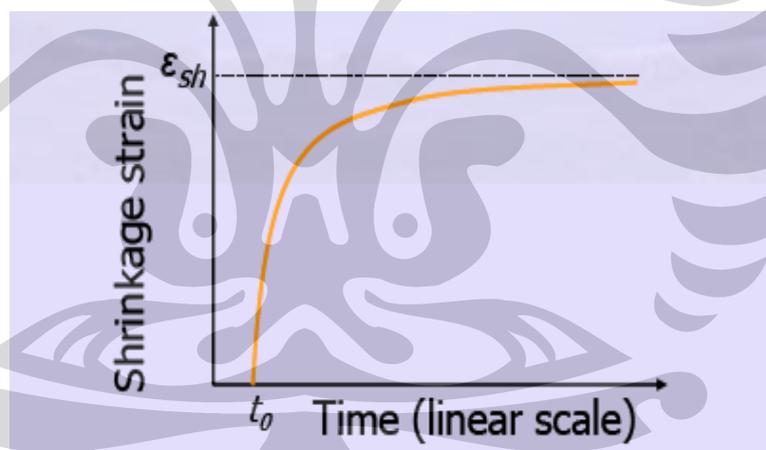
Daya tahan adalah kemampuan untuk mempertahankan integritas dan kekuatan dari waktu ke waktu. Daya Tahan Beton (*Durability*) dapat dilihat dari ketahanannya terhadap serangan kimia, perlawanan terhadap keretakan dan kemerosotan secara umum dari waktu ke waktu. Material *fly ash* pada beton dapat membantu menjaga senyawa agresif di permukaan sehingga hal-hal yang bersifat merusak beton dapat berkurang. Selain itu, *fly ash* juga lebih tahan terhadap serangan sulfat, asam ringan, lembut (kapur lapar) air, dan air laut. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa material *fly ash* sebagai bahan pengikat dan bahan pengganti semen dapat meningkatkan daya tahan beton (*durability*).

Pengurangan jumlah air dalam campuran beton dengan *fly ash* dapat mengurangi permeabilitas beton. Dengan menurunnya permeabilitas beton, maka *fly ash* dapat mengurangi laju masuknya air, bahan kimia korosif dan oksigen sehingga melindungi baja penguat dari korosi. *Fly ash* juga meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan alkali-silika serta dapat mengurangi reaktifitas. *Fly ash* jenis F lebih efektif dalam mengurangi ekspansi sulfat dan alkali-silika serta penurunan dalam beton. Selain itu, beberapa material *fly ash* jenis C juga telah digunakan untuk mengurangi reaksi-reaksi ini, tetapi harus digunakan pada tingkat yang lebih tinggi sebagai pengganti semen.

2.2.2.7. Susut (*Shrinkage*)

Susut adalah sifat beton yang ditandai dengan mengecilnya volume beton akibat berkurangnya kandungan air. Biasanya, susut beton disebabkan oleh proses penguapan yang berlanjut setelah pengerasan semen. Faktor utama yang menentukan besarnya susut adalah kandungan air dalam adukan beton dan kandungan agregat dalam beton. Besarnya regangan susut juga tergantung dari kelembaban udara, semakin rendah kelembaban udara maka susut yang terjadi semakin tinggi. Selain itu, beban penyusutan pada beton meningkat seiring dengan meningkatnya variabel-variabel seperti suhu *ambient*, rasio air-semen rasio dan komponen dari semen.

Susut pertama beton akan terjadi pada tiga bulan pertama umur beton dan berlanjut sebagai fungsi waktu hingga mencapai kisaran 0,0002 – 0,0003. Hubungan antara waktu dengan variasi penyusutan beton ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Variasi Susut Terhadap Waktu

(Sumber : Concrete Structure, DR. Amlan K Sengupta dan Prof. Devdas Menon)

Beton yang dicampur dengan material tambahan *fly ash* dapat mengurangi susut pada beton. Hal ini terjadi karena penambahan material *fly ash* akan mengurangi jumlah air dalam campuran beton dan menghasilkan pasta yang lebih banyak sehingga agregat dalam beton akan dilumasi dengan baik. Aktivitas pelumasan inilah yang menyebabkan *fly ash* dapat mengurangi penyusutan.

2.2.3. Fly Ash Di Indonesia

Material *fly ash* atau abu terbang merupakan limbah yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara. Di Indonesia, produksi material *fly ash* atau abu terbang merupakan hasil sampingan yang diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya, Banten dan PLTU Paiton, Jawa Timur. Dalam setahun, Indonesia dapat menghasilkan *fly ash* atau abu terbang kurang lebih sekitar 700.000 ton.

Fly ash atau abu terbang yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya dan PLTU Paiton berbentuk butiran halus yang berukuran 0,31mm – 300,74mm, dengan distribusi 80% berukuran 0,31mm – 40,99mm. Butiran *fly ash* atau abu terbang dari PLTU Suralaya dan PLTU Paiton berbentuk bulat yang tidak berikatan satu sama lain (terlepas). Untuk komposisi mineralnya berupa kuarsa dan sedikit mulite. Berikut ini adalah komposisi kimia *fly ash* PLTU Suralaya dan Paiton :

Tabel 2.12 Komposisi Kimia *Fly Ash* PLTU Suralaya

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji <i>Fly Ash</i> PLTU Suralaya
1.	SiO ₂	% Berat	72,90
2.	Al ₂ O ₃	% Berat	11,40
3.	Besi	% Berat	6,00
4.	Titan	% Berat	0,80
5.	Oksida Natrium	% Berat	1,50
6.	Kapur	% Berat	3,20

(Sumber : Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2003)

Tabel 2.13 Komposisi Kimia *Fly Ash* PLTU Paiton

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji <i>Fly Ash</i> PLTU Paiton
1.	Berat Jenis	g/cm ³	1,43
2.	Kadar Air	% Berat	0,20
3.	Hilang Pijar	% Berat	0,43
4.	SiO ₂	% Berat	62,49
5.	Al ₂ O ₃	% Berat	6,36
6.	Fe ₂ O ₃	% Berat	16,71
7.	CaO	% Berat	5,69
8.	MgO	% Berat	0,79
9.	S(SO ₄)	% Berat	7,93

(Sumber : Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, 2003)

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa *fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya dan PLTU Paiton termasuk kedalam *fly ash* atau abu terbang jenis F. Hal ini dikarena kandungan oksida silica yang dihasilkan lebih dari 54,90% yakni sekitar 72,90% untuk *fly ash* yang dihasilkan PLTU Suralaya dan 62,49% untuk *fly ash* yang dihasilkan PLTU Paiton. Selain itu, jumlah gabungan oksida silica; alumunium; dan besi dari *fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan lebih dari 70% yakni sebesar 90,30% untuk *fly ash* yang dihasilkan PLTU Suaralaya dan 85,56% untuk *fly ash* yang dihasilkan PLTU Paiton. Selain itu, *fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya dan PLTU Paiton memiliki data teknis lainnya yakni spesifik gravitinya sebesar 2.25 gr/cm³ dan mempunyai ketahanan terhadap cuaca sekitar 5.86%.

Berdasarkan komposisi fisik dan kimia yang telah dijelaskan di atas, maka *fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya dan PLTU Paiton dapat digunakan sebagai material tambahan pengganti semen dalam campuran beton. *Fly ash* atau abu terbang yang dihasilkan oleh PLTU Suralaya dan PLTU Paiton selain sebagai pengganti semen juga dapat mengurangi dampak lingkungan.

2.3. PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

Menurut SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian kuat tekan beton biasanya dilakukan ketika beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Kuat tekan dirumuskan sebagai berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

dengan :

- f_c' = kuat tekan beton (benda uji) silinder (MPa)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas permukaan benda uji tertekan (mm^2)

2.4. PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON HASIL BOR INTI (*CORING*)

Pengujian kuat tekan beton hasil *coring* dilakukan dengan cara pengambilan contoh benda uji langsung dibagian struktur yang berupa inti beton (core). Pengujian ini biasanya dilakukan karena adanya ketidakyakinan terhadap mutu atau kekuatan beton aktual, apakah telah sesuai dengan yang disyaratkan atau tidak. Berdasarkan SNI 03-2492-1991, pengujian kuat tekan beton hasil *coring* hendaknya memperhatikan beberapa ketentuan berikut yakni pengambilan benda uji beton inti umurnya tidak boleh kurang dari 14 hari, benda uji yang cacat seperti berongga atau ada agregat yang lepas maka tidak boleh digunakan untuk pengujian kuat tekan, jumlah tulangan beton dalam benda uji beton inti tidak boleh lebih dari dua batang, dan permukaan bidang tekan benda uji harus rata dan tegak lurus terhadap sumbu benda uji. Rumus kekuatan tekan beton hasil *coring* sama halnya dengan rumus kuat tekan beton yakni :

$$f'_{c \text{ coring}} = \frac{P}{A}$$

dengan :

- $f'_{c \text{ coring}}$ = kuat tekan beton (benda uji) hasil *coring* (MPa)
- P = beban tekan maksimum (N)
- A = luas permukaan benda uji tertekan (mm²)

Kemudian nilai kuat tekan beton hasil *coring* dikonversikan kedalam nilai kuat tekan beton silinder berdiameter 15 cm, yakni dengan cara :

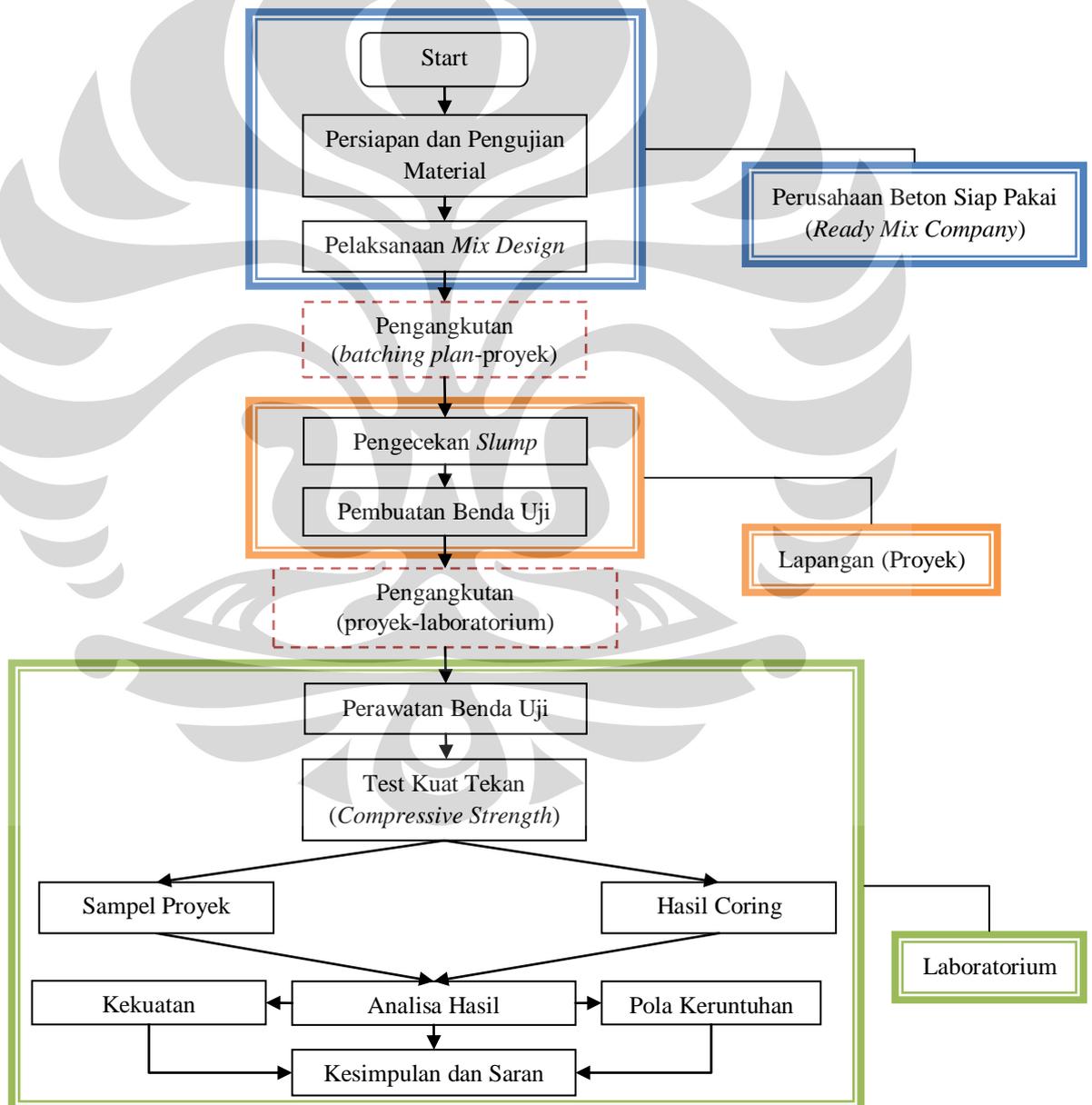
$$f_c = \frac{f'_{c \text{ coring}}}{1,07}$$

dengan :

- f_c = kuat tekan beton (benda uji) silinder diameter 15 cm (MPa)
- $f'_{c \text{ coring}}$ = kuat tekan beton (benda uji) hasil *coring* (MPa)

BAB 3 METODE PENELITIAN

Penelitian mengenai uji kuat tekan beton siap pakai bertujuan untuk mengetahui perbandingan mutu beton *fly ash* yang diambil berdasarkan sampel proyek dengan hasil *coring* serta perbandingan mutu beton *fly ash* yang dirawat secara standar dengan yang dirawat pada kondisi lapangan. Metode yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Metode Penelitian

Berdasarkan pada gambar 3.1, maka dapat dilihat bahwa tahapan yang akan dilakukan di laboratorium hanya tahapan pengujian mutu beton khususnya kuat tekan beton, pengamatan pola keruntuhan yang terjadi dan analisis dari pengujian atau tes yang dilakukan. Untuk tahapan-tahapan sebelumnya akan dilaksanakan oleh pihak perusahaan beton siap pakai (*ready mix concrete company*) dan pihak lapangan (proyek).

Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan beton yang akan dilakukan menggunakan sampel beton yang diperoleh dari beberapa proyek dan sampel beton hasil *coring*. Untuk setiap pengujian kuat tekan beton digunakan sebanyak 6 buah sampel beton silinder berdiameter 15 cm dan 3 buah sampel silinder berukuran 6,8 cm yang *dicoring* dari 3 buah sampel beton balok. Pengujian kuat tekan sampel beton silinder akan dilakukan ketika beton berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Sedangkan pengujian kuat tekan sampel beton balok untuk *coring* akan dilakukan ketika beton berumur 28 hari, 56 hari dan 90 hari.

3.1. Persiapan dan Pengujian Material

Tahapan persiapan dan pengujian material beton akan dilakukan oleh pihak perusahaan beton siap pakai (*ready mix concrete company*). Pada tahapan ini, pihak perusahaan beton siap pakai (*ready mix concrete company*) akan menyiapkan dan melakukan pengujian terhadap karakteristik material-material yang akan digunakan dalam penelitian guna memperoleh komposisi campuran dengan bahan tambahan berupa *fly ash* secara benar. Hal ini dilakukan karena beton merupakan material yang tidak homogen sehingga perlu adanya modifikasi melalui pendekatan dari prinsip-prinsip dasar perancangan campuran untuk memperoleh material beton yang memiliki kekuatan tekan yang tinggi. Kualitas kuat tekan beton sangat ditentukan oleh kualitas material yang akan digunakan.

Material yang akan dipersiapkan dan diuji pada awal penelitian ini antara lain adalah semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Persiapan dan pengujian semen dilakukan untuk mengetahui jenis dan karakteristik semen yang akan digunakan. Sedangkan pengujian agregat halus dan kasar dilakukan untuk

menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering-permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry-SSD*), berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) dan penyerapan dari agregat. Selain itu, pengujian material *fly ash* sebagai material tambahan utama dalam campuran beton juga akan dilakukan. Persiapan dan pengujian material *fly ash* pada penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui jenis, komposisi kimia, gradasi dan kadar dari *fly ash* yang akan digunakan.

3.2. Pelaksanaan *Mix Design*

Setelah persiapan dan pengujian material telah dilakukan oleh pihak perusahaan beton siap pakai (*ready mix concrete company*), maka tahap selanjutnya adalah proses *mix design*. Proses *mix design* yang dilakukan oleh pihak perusahaan beton siap pakai (*ready mix concrete company*) umumnya dilakukan secara *dry mix* maupun *wet mix*. Proses *mix design* secara *dry mix* dilakukan dengan cara mengaduk seluruh material di dalam *truck mixer*, sedangkan proses *mix design* secara *wet mix* dilakukan dengan cara mengaduk seluruh material di *batching plant* lalu dituang ke dalam *truck mixer*. Setelah proses *mix design* selesai dilakukan, maka selanjutnya material *mix design* tersebut diangkut dan dikirim ke lokasi proyek.



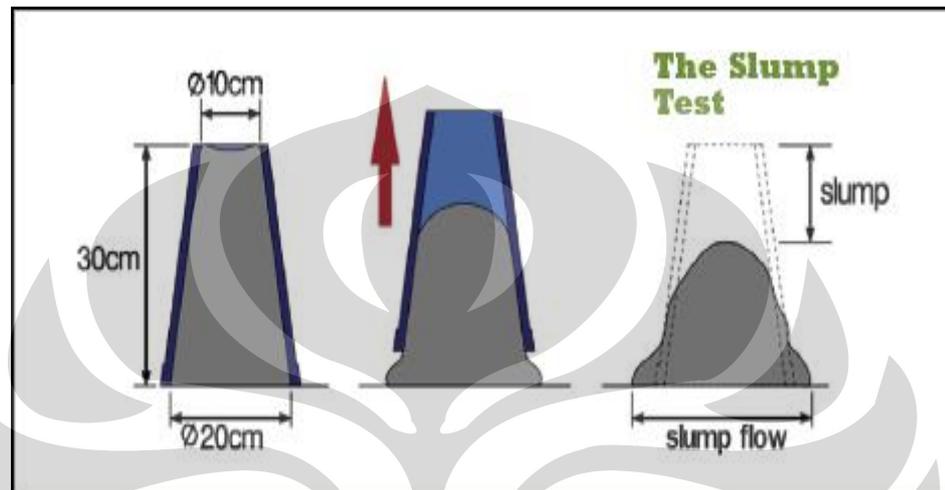
Gambar 3.2 Proses Secara *Dry Mix* di *Truck Mixer*



Gambar 3.3 Proses Secara *Wet Mix* di *Batching Plant*

3.3. Pemeriksaan *Slump*

Pemeriksaan *slump* dilakukan di lapangan (lokasi proyek). Hal ini baru dapat dilaksanakan ketika benda uji telah berada di lokasi proyek, tepatnya setelah dikirim dari *batching plant*.



Gambar 3.4 Pemeriksaan *Slump* Beton

(Sumber : commons.wikimedia.org)

3.4. Pembuatan Sampel Benda Uji

Pembuatan sampel benda uji dari proyek ini direncanakan menggunakan cetakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan berbentuk balok berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Pembuatan sampel benda uji ini dilakukan dengan cara mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis. Setiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Pada saat melakukan pemadatan lapisan pertama, tongkat pemadat tidak boleh mengenai dasar cetakan.

Pada saat pemadatan lapisan kedua serta ketiga, tongkat pemadat boleh masuk kira-kira 25,4 mm kedalam lapisan dibawahnya. Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan dengan palu karet secara perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup. Lalu ratakan permukaan beton. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam dan letakkan cetakan pada tempat yang bebas dari getaran.



Gambar 3.5 Pembuatan Benda Uji

3.5. Perawatan Sampel Benda Uji

Setelah 24 jam benda uji dicetak, selanjutnya pihak lapangan (proyek) mengangkut benda uji ke laboratorium. Lalu bukalah cetakan dan keluarkan benda uji. Kemudian dilakukan perawatan benda uji yakni dengan cara merendam sampel benda uji didalam air pada bak perendam yang terdapat di laboratorium dan disimpan dengan cara ditutup dengan kain basah (karung goni basah). Lalu tahapan selanjutnya dilakukan pengetesan kuat tekan.



Gambar 3.6 Perawatan Benda Uji

3.6. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan benda uji (*compression strength*) yang akan dilakukan di laboratorium terdiri dari dua pengujian yakni pengujian kuat tekan sampel benda uji dan pengujian kuat tekan benda uji hasil *coring*. Pada pengujian kuat tekan ini mengacu pada standar ASTM C 109 – 193.

3.6.1. Pengujian Kuat Tekan Sampel Benda Uji

Pengujian kuat tekan sampel benda uji ini dilakukan untuk menentukan kekuatan tekan beton yang akan digunakan pada proyek. Pengujian ini akan dilaksanakan ketika sampel benda uji berumur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari dan 90 hari. Proses pengujian kuat tekan benda uji tersebut dilakukan dengan beberapa tahapan berikut ini :

- Sampel benda uji yang dikirim dari proyek, *dicuring* dengan cara merendam sampel benda uji didalam bak perendam yang terdapat di laboratorium dan disimpan dengan cara ditutup dengan kain basah (karung goni basah). Ketika hendak melakukan pengujian kuat tekan, sampel benda uji diangkat satu hari sebelum pengetesan berlangsung dan diletakkan di tempat yang kering.
- Kemudian sampel benda uji *dicapping* agar permukaannya rata lalu sampel benda uji ditimbang beratnya.
- Sampel benda uji lalu diletakkan secara simetris pada mesin uji tekan. Jalankan mesin tekan dengan penambahan berat yang konstan berkisar antara 2 hingga 4 kg/cm^2 per detik. Perhatikan jarum manometer yang menunjukkan kenaikan kuat tekan yang terjadi.
- Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur (beban maksimum), kemudian baca beban maksimum yang dapat ditahan benda uji dengan melihat jarum manometer lalu catat beban maksimum tersebut.



Gambar 3.7 Mesin Kuat Tekan Beton

3.6.2. Pengambilan dan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Hasil *Coring*

Pada proses pengambilan benda uji hasil *coring*, peralatan yang digunakan antara lain adalah mesin bor beton dengan bagian mata bor terbuat dari intan, tempat dudukan mesin bor, jangka sorong, baji dari baja untuk mematahkan beton inti bagian atasnya, dan kawat baja untuk mengangkat beton yang sudah dipatahkan. Kemudian pengambilan benda uji hasil *coring* berdasarkan SNI 03-2492-1991 dan SNI 03-6898-2002 dilakukan dengan beberapa cara berikut, yakni:

- Tempatkan mesin bor beton dekat dengan titik pengambilan benda uji beton inti yang telah ditentukan.
- Ikatkan mesin bor agar mesin bor beton tidak bergoyang pada waktu dilakukan pengeboran. Kemudian atur mesin bor tersebut agar posisi mata bor tegak lurus pada bidang yang akan diambil beton intinya.
- Hidupkan mesin bor dan lakukan pengeboran, jika pengeboran sudah mencapai ukuran yang diinginkan maka segera hentikan pengeboran dan keluarkan mata bor.
- Patahkan beton inti bagian atasnya dan angkat beton inti tersebut. Bila kualitas benda uji baik maka lakukan penandaan dan catat data lokasi titik.
- Lalu langkah terakhir adalah bungkus beton inti dengan kain basah atau masukan kedalam bak yang berisi air.

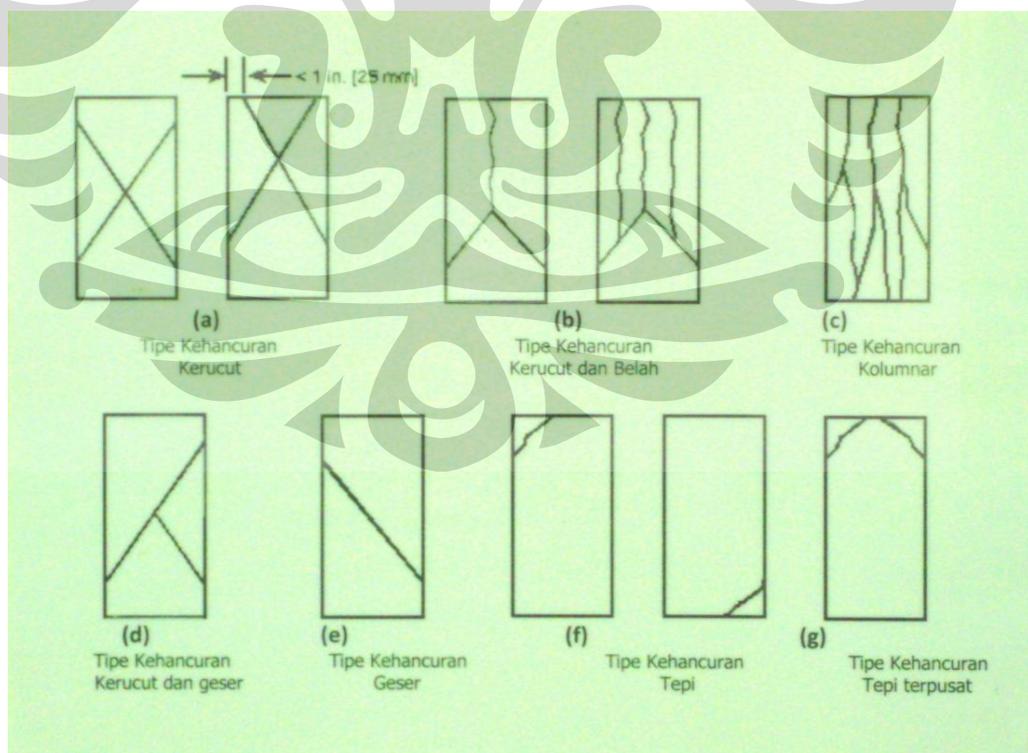


Gambar 3.8 Mesin Bor untuk *Coring*

Setelah pengambilan beton inti selesai dilakukan, kemudian beton inti dipotong sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Setelah itu sampel beton inti *dicapping* agar permukaannya rata. Tahap selanjutnya adalah pengujian kuat tekan benda uji hasil *coring*. Proses pengujian kuat tekan benda uji hasil *coring* sama halnya dengan proses pengujian kuat tekan sampel benda uji. Dalam penelitian ini, sampel benda uji hasil *coring* direncanakan akan menggunakan benda uji dengan cetakan berbentuk balok sebanyak 3 buah sampel, dimana setiap sampel benda uji berbentuk balok tersebut akan diambil 3 buah sampel berbentuk silinder berukuran 3 inch.

3.7. Pengamatan Pola Keruntuhan Benda Uji

Pengamatan pola keruntuhan benda uji beton dilakukan setelah tes kuat tekan benda uji selesai dilaksanakan. Sama halnya dengan pengujian kuat tekan benda uji, pengamatan pola keruntuhan sampel benda uji juga akan dilakukan di laboratorium. Berikut ini beberapa contoh pola keruntuhan beton :



Gambar 3.9 Pola Keruntuhan Pada Beton

(Sumber : Standar Nasional Indonesia)

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian dan analisis mengenai penelitian yang telah dilakukan. Setiap sampel beton siap pakai (*ready mix*) yang menggunakan *fly ash*, baik itu berupa sampel silinder maupun sampel balok yang akan *dicoring*, akan dilakukan pengujian kuat tekan beton (*compressive strength*) di laboratorium struktur dan material Universitas Indonesia.

4.1. DATA AWAL

Penelitian ini menggunakan sampel beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* yang diperoleh dari 5 proyek. Sampel beton yang digunakan mempunyai mutu beton dan komposisi *fly ash* yang bervariasi untuk setiap proyek, yakni dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1 Data Awal Beton Yang Digunakan

Proyek	Mutu	Slump	% Fly Ash	W/C
A	fc' 35 Mpa	12 ± 2	9%	0,31
B	K-400	6 ± 2	20%	0,35
C	fc' 40 Mpa	13 ± 2	15%	0,45
D	K-225	12 ± 2	10%	0,66
E	fc' 30 Mpa	12 ± 2	9%	0,39

(Sumber : Penelitian di Lapangan)

Perawatan beton *fly ash* yang diperoleh dari 5 proyek ini akan dilakukan dengan 2 perlakuan yakni dirawat sesuai dengan standar yaitu dengan cara

direndam dalam bak perendam dan dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan yaitu ditutup dengan kain (karung goni) basah.

4.2. HASIL DAN ANALISIS PENGUJIAN

4.2.1. Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek A

4.2.1.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A

Pengujian kuat tekan beton sampel proyek dilakukan dengan menggunakan sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian kuat tekan ini dilakukan ketika beton berumur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari. Berikut ini hasil pengujian kuat tekan beton sampel proyek :

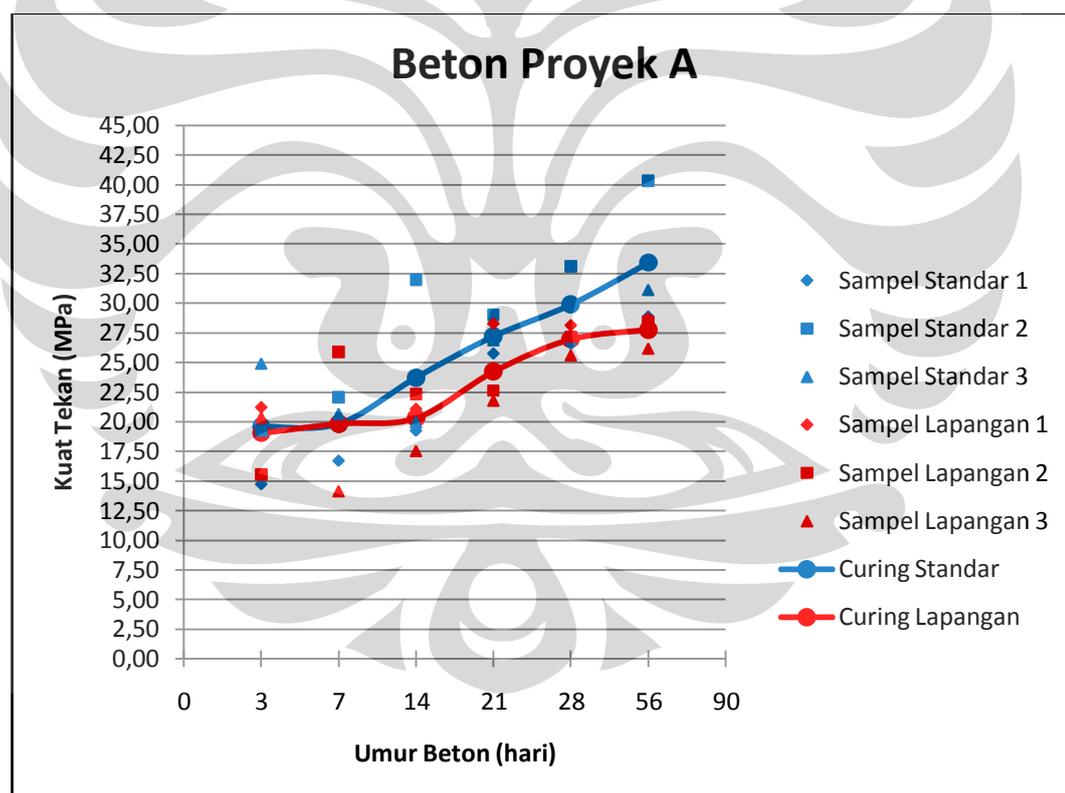
Tabel 4.2 Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur (MPa) Proyek A													
Proses Curing		Umur Beton (hari)											
		3		7		14		21		28		56	
Curing Standar	1	14,713	B	16,128	B	19,240	B	25,748	B	26,597	C	28,860	C
	2	19,240	B	22,069	B	31,972	C	29,002	B	33,104	B	40,319	B
	3	24,899	C	20,655	C	19,947	C	26,880	C	29,992	B	31,124	B
	Rata2	19,617	-	19,617	-	23,720	-	27,210	-	29,898	-	33,434	-
Curing Lapangan	1	21,221	C	19,523	C	21,079	B	28,294	B	28,153	B	28,719	B
	2	15,562	C	25,889	B	22,352	B	22,635	B	27,162	B	28,436	C
	3	20,372	C	14,147	B	17,542	C	21,787	B	25,606	C	26,172	B
	Rata2	19,051	-	19,853	-	20,325	-	24,239	-	26,974	-	27,775	-

4.2.1.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A

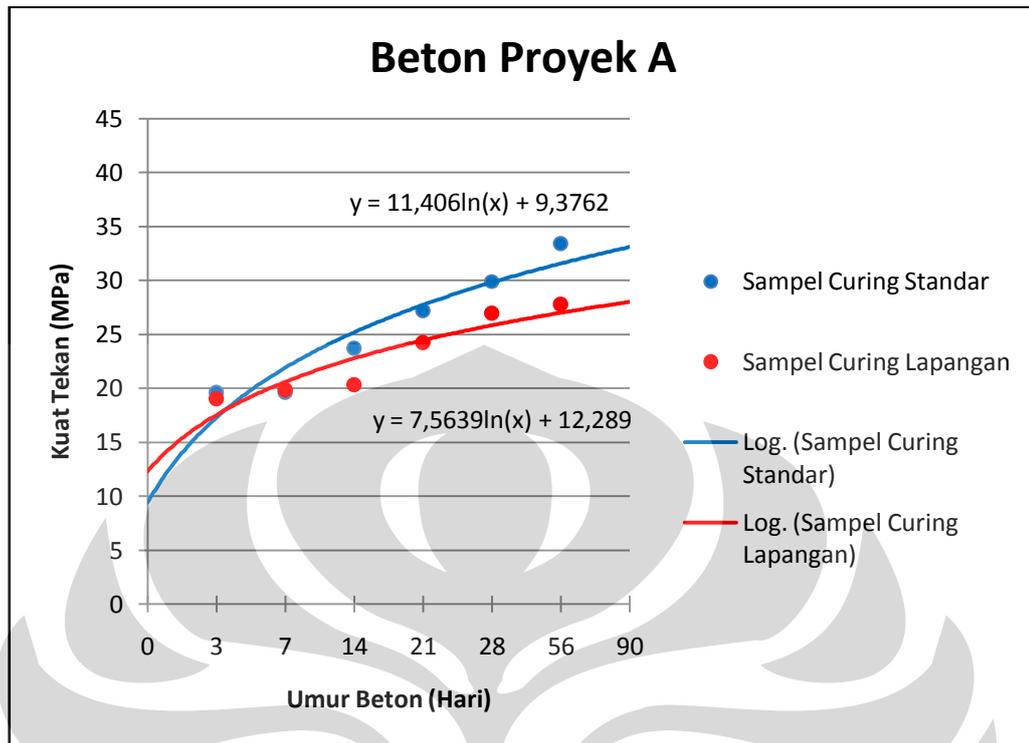
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proyek A seperti yang ditunjukkan pada gambar grafik 4.1 dapat diketahui bahwa pada awal umur beton yakni pada saat beton berumur 3 dan 7 hari, beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan mengalami peningkatan kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan kuat tekan beton yang dirawat dengan cara standar. Rendahnya kekuatan awal beton *ready mix* ini disebabkan adanya penambahan *fly ash* pada campuran beton. Namun setelah beton berumur 14 hari, beton *fly ash* yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan menunjukkan hal yang

sebaliknya yakni memiliki kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan kuat tekan beton yang dirawat dengan cara standar. Proses ini terus berlanjut hingga beton berumur 28 hari. Proses kenaikan kuat tekan beton ini dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah adanya penambahan bahan tambah (*admixtures*), dimana pada proyek A ini digunakan bahan tambah berupa *viscocrete*. Selain itu, kuat tekan untuk masing-masing sampel benda uji memiliki nilai yang bervariasi. Hal ini dikarenakan sampel benda uji yang diperoleh dari proyek A berasal dari beberapa mesin pengaduk (*mixer*) beton dengan nilai *slump* yang berbeda, tetapi dengan mutu dan persentase *fly ash* yang sama. Dengan demikian berdasarkan gambar grafik 4.1, dapat ditunjukkan bahwa metode perawatan beton dapat mempengaruhi kuat tekan beton *ready mix* yang menggunakan *fly ash*.



Gambar 4.1 Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek A

Dari gambar grafik 4.1 di atas akan diperoleh suatu *trendline* untuk masing-masing perawatan beton. Berikut ini *trendline* yang dihasilkan berdasarkan data kuat tekan beton pada proyek A :



Gambar 4.2 *Trendline* Kuat Tekan Beton Pada Proyek A

Pada gambar 4.2 dapat diketahui persamaan dari masing-masing *trendline*. Untuk beton yang dirawat dengan cara standar diperoleh persamaan $y=11,406\ln(x)+9,3762$ sedangkan untuk beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan diperoleh persamaan $y= 7,5639\ln(x)+12,289$. Persamaan dari *trendline* pada gambar 4.2 akan digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton pada saat beton berumur 90 hari. Berikut ini hasil prediksi kuat tekan beton yang diperoleh dari persamaan *trendline* :

Tabel 4.3 Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek A

Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek A			
Proses Curing	Umur (Hari)	Persamaan <i>Trendline</i>	Kuat Tekan (MPa)
Standar	90	$y = 11,406\ln(x) + 9,3762$	60,701
Lapangan	90	$y = 7,5639\ln(x) + 12,289$	46,325

4.2.2. Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek B

4.2.2.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B

Berikut ini merupakan data hasil pengujian dan grafik kuat tekan beton silinder pada proyek B. Pengujian kuat tekan beton silinder pada proyek B ini dilakukan ketika beton berumur umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari :

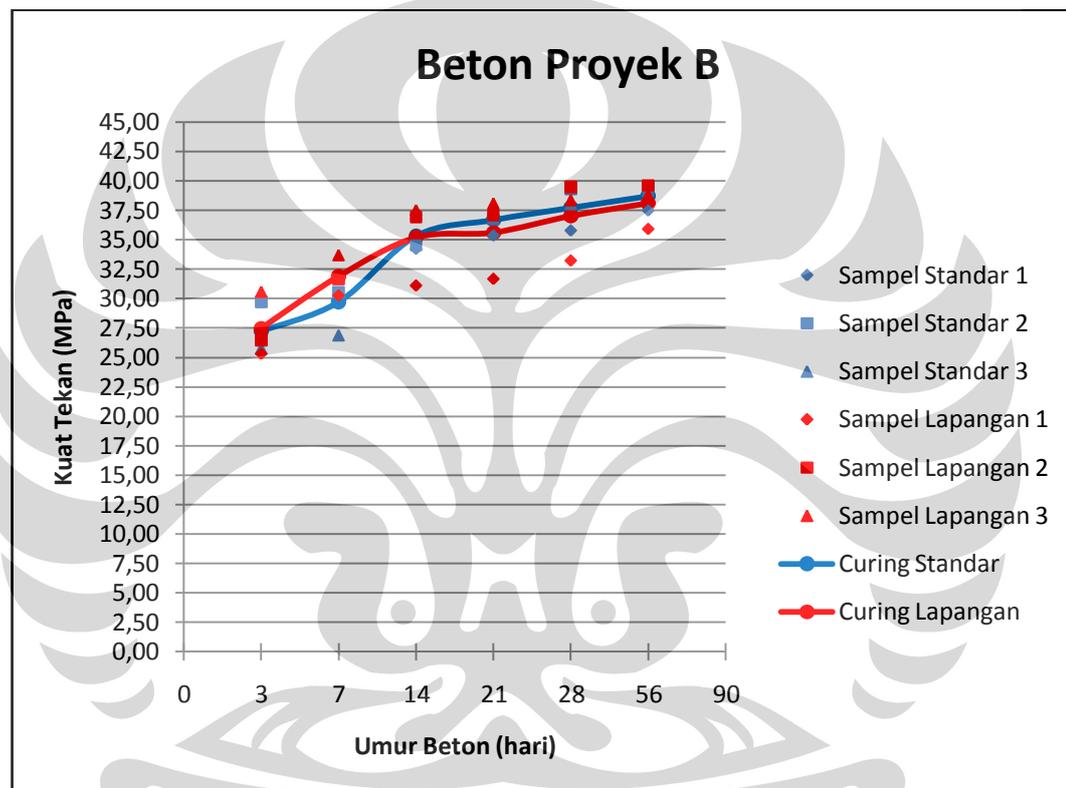
Tabel 4.4 Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur (MPa) Proyek B													
Proses Curing		Umur Beton (hari)											
		3		7		14		21		28		56	
Curing Standar	1	26,314	C	31,690	C	34,236	C	35,368	B	35,792	C	37,490	B
	2	29,709	C	30,558	C	34,519	C	36,782	B	39,329	B	39,470	C
	3	25,748	C	26,880	C	37,207	B	37,914	B	38,056	C	39,187	B
	Rata2	27,257	-	29,709	-	35,321	-	36,688	-	37,726	-	38,716	-
Curing Lapangan	1	25,323	C	30,275	C	31,124	B	31,690	B	33,246	B	35,934	B
	2	26,455	C	31,690	C	36,924	B	37,065	C	39,470	B	39,612	C
	3	30,558	B	33,670	C	37,490	B	38,056	C	38,339	B	38,763	B
	Rata2	27,445	-	31,878	-	35,179	-	35,604	-	37,018	-	38,103	-

4.2.2.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B

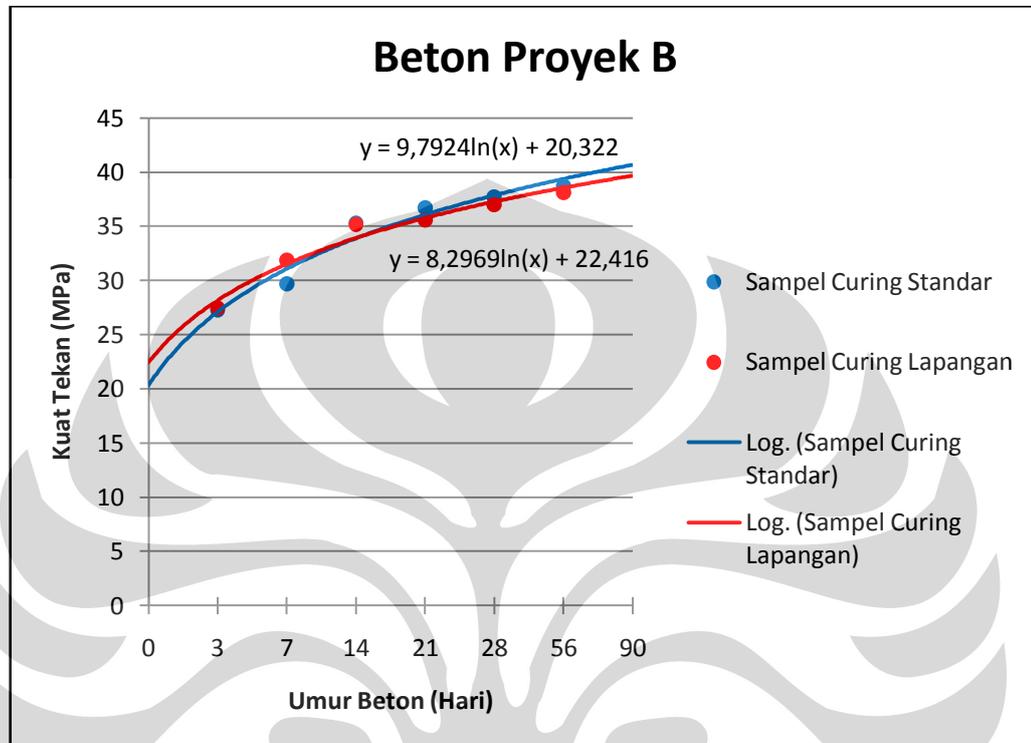
Pada proyek B, kuat tekan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan juga menunjukkan peningkatan yang lebih tinggi ketika beton berumur 3, 7, dan 14 hari. Namun saat beton menuju umur 28 hari, beton yang dirawat dengan cara standarlah yang memiliki kuat tekan beton yang lebih tinggi. Meskipun kuat tekan beton yang dirawat dengan cara standar memiliki nilai yang lebih tinggi ketika berumur 28 hari, tetapi nilai kuat tekan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan menunjukkan nilai yang mendekati. Hal ini dapat dilihat pada gambar grafik 4.3. Peningkatan nilai kuat tekan beton *fly ash* pada proyek B ini dipengaruhi oleh material dan bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan. Pada proyek B ini, beton yang digunakan merupakan beton *screening*, dimana distribusi ukuran butirannya berkisar antara 5-14 mm. Beton jenis ini dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi, namun *slump* beton yang terjadi sebesar 6 cm dimana hal ini kurang memberikan

kemudahan dalam proses pengerjaan dan pengecorannya. Oleh karena itu, untuk mempermudah proses pengerjaan dan pengecoran digunakan bahan tambah (*admixtures*) berupa *viscocrete*. Bahan tambah berupa *viscocrete* ini selain digunakan untuk mempermudah proses pengerjaan dan pengecoran juga digunakan untuk mengantisipasi kehilangan *slump* akibat proses pemompaan oleh *concrete pump*.



Gambar 4.3 Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek B

Dari gambar grafik 4.3 akan diperoleh suatu *trendline* untuk masing-masing perawatan beton. Berikut ini *trendline* yang dihasilkan berdasarkan data kuat tekan beton pada proyek B :



Gambar 4.4 *Trendline* Kuat Tekan Beton Pada Proyek B

Pada gambar 4.4 di atas diperoleh persamaan $y=9,7924\ln(x)+20,322$ untuk beton yang dirawat dengan cara standar dan persamaan $y=8,2969\ln(x)+22,416$ untuk beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Berikut ini hasil prediksi kuat tekan beton yang diperoleh dari persamaan *trendline* :

Tabel 4.5 Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek B

Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek B			
Proses Curing	Umur (Hari)	Persamaan <i>Trendline</i>	Kuat Tekan (MPa)
Standar	90	$y = 9,7924\ln(x) + 20,322$	64,386
Lapangan	90	$y = 8,2969\ln(x) + 22,416$	59,750

4.2.3. Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek C

4.2.3.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C

Sama halnya dengan pengujian kuat tekan beton pada proyek sebelumnya, pengujian kuat tekan beton proyek C ini juga dilakukan ketika beton berumur 3, 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari. Hasil penelitian kuat tekan beton pada proyek C dapat dilihat pada tabel 4.21 berikut ini:

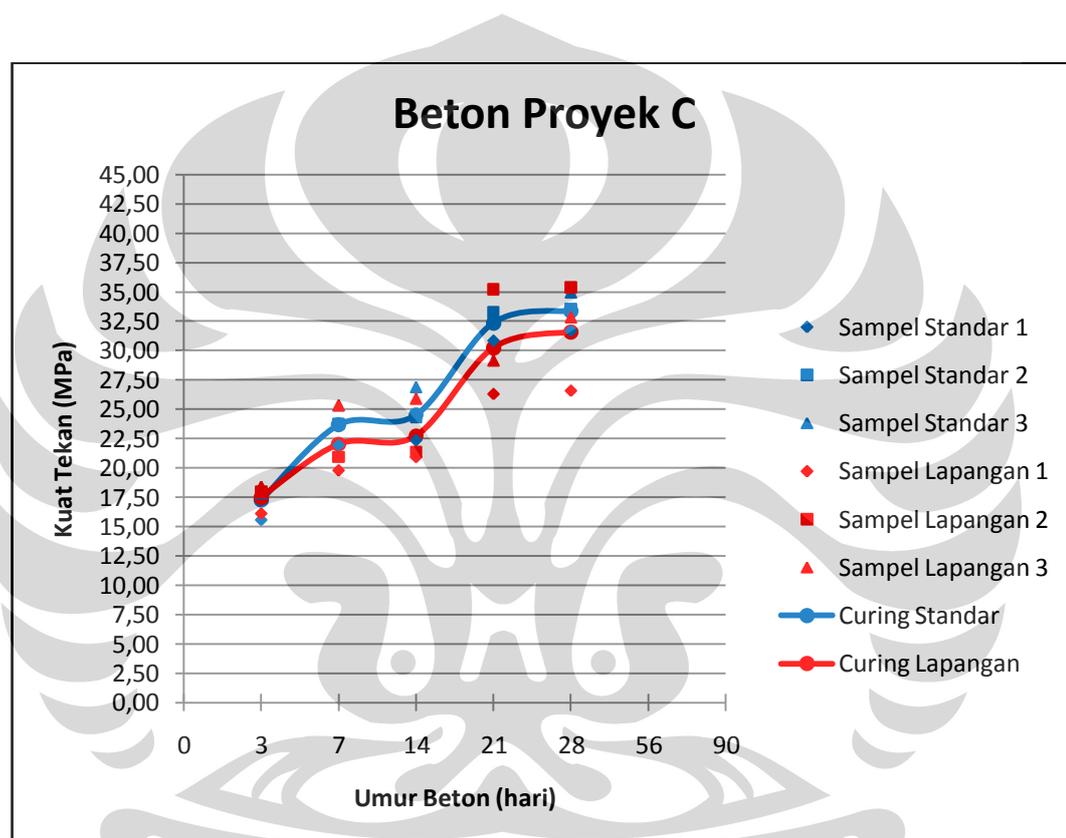
Tabel 4.6 Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur (MPa)											
Proyek C											
Proses Curing		Umur Beton (hari)									
		3		7		14		21		28	
Curing Standar	1	15,562	B	21,928	B	22,352	B	30,841	B	31,690	B
	2	17,825	B	23,767	C	24,333	C	33,246	B	33,529	B
	3	18,391	B	25,323	B	26,880	B	32,963	B	34,943	C
	Rata2	17,259	-	23,673	-	24,522	-	32,350	-	33,387	-
Curing Lapangan	1	16,128	B	19,806	C	20,938	B	26,314	B	26,597	B
	2	17,967	C	20,938	B	21,362	B	35,226	B	35,368	C
	3	18,391	B	25,323	C	25,889	B	29,143	B	32,821	B
	Rata2	17,495	-	22,022	-	22,730	-	30,228	-	31,595	-

4.2.3.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C

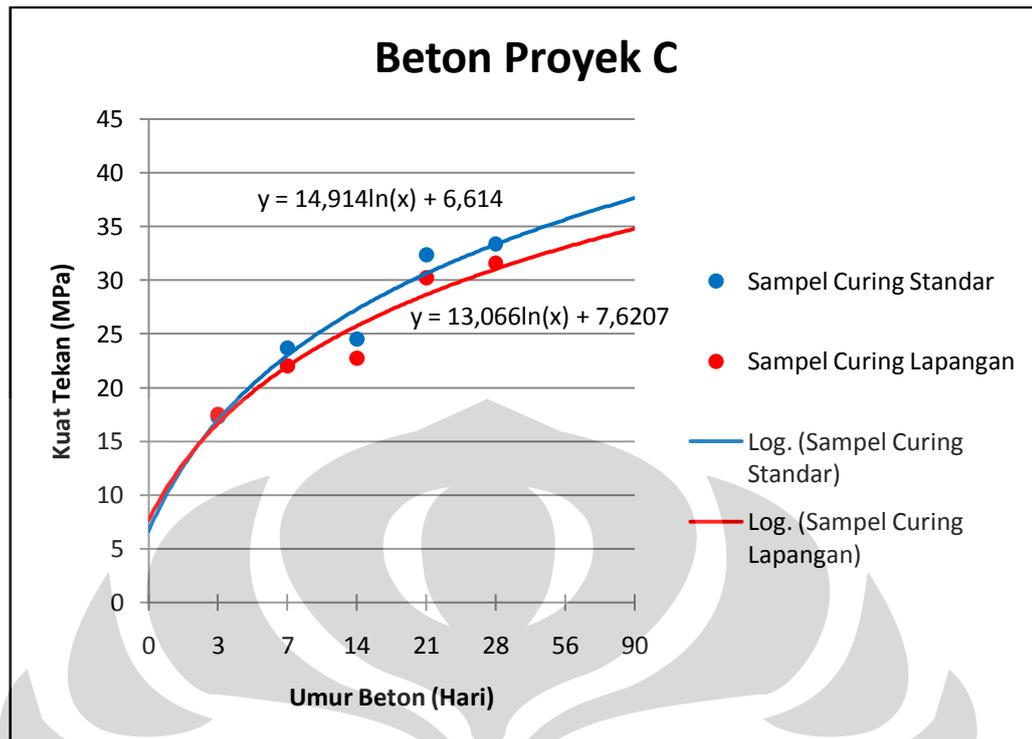
Berbeda dengan proyek A dan proyek B, pada proyek C nilai kuat tekan beton saat awal umur beton menunjukkan bahwa beton yang dirawat dengan cara standar memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang dirawat sesuai yang diterapkan di lapangan. Peningkatan kuat tekan beton ini terus berlanjut hingga beton berumur 28 hari. Hal ini terjadi karena *fly ash* pada beton yang dirawat dengan cara standar (dirawat dengan cara direndam dalam bak perendam) akan memberikan sifat hidrolis dan air yang digunakan sebagai perawatan beton dapat mereduksi panas yang dihasilkan akibat reaksi hidrasi antara semen dan air, sehingga dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi. Selain itu, temperatur dalam pembuatan benda uji juga berpengaruh pada peningkatan kuat tekan beton. Pembuatan benda uji proyek C ini berlangsung pada malam hari dimana temperatur pada malam hari umumnya lebih stabil dan

proses penguapan air pada beton tidak terjadi terlalu cepat. Peningkatan kuat tekan beton pada proyek C ini juga dipengaruhi oleh faktor *water/cement ratio*. Pada proyek C, faktor *water/cement rationya* adalah sebesar 0,45. Berdasarkan Tata Cara Pembuatan Beton Normal, SK SNI T-15-1990-03, disebutkan bahwa faktor *water/cement ratio* yang rendah dapat menyebabkan beton yang dihasilkan mempunyai kuat tekan yang tinggi, begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.5 Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek C

Dari gambar grafik 4.5 akan diperoleh suatu *trendline* untuk beton yang dirawat dengan cara standar dan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Berikut ini *trendline* yang dihasilkan berdasarkan data kuat tekan beton pada proyek C :



Gambar 4.6 Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek C

Berdasarkan gambar 4.6 di atas dapat diketahui mengenai persamaan dari masing-masing *trendline*. Untuk beton yang dirawat dengan cara standar diperoleh persamaan $y=14,914\ln(x)+6,614$ sedangkan untuk beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan diperoleh persamaan $y=13,066\ln(x) + 7,6207$. Berdasarkan persamaan yang diperoleh dari *trendline* pada gambar 4.6 akan digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton pada saat beton berumur 56 dan 90 hari. Berikut ini hasil prediksi kuat tekan beton yang diperoleh dari persamaan *trendline* :

Tabel 4.7 Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek C

Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek C			
Proses Curing	Umur (Hari)	Persamaan <i>Trendline</i>	Kuat Tekan (MPa)
Standar	56	$y = 14,914\ln(x) + 6,614$	66,648
	90	$y = 14,914\ln(x) + 6,614$	73,724
Lapangan	56	$y = 13,066\ln(x) + 7,6207$	60,216
	90	$y = 13,066\ln(x) + 7,6207$	66,415

4.2.4. Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek D

4.2.4.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D

Data pengujian kuat tekan beton silinder untuk proyek D, dimana pengujian kuat tekan beton silinder dilakukan ketika beton berumur 3, 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini :

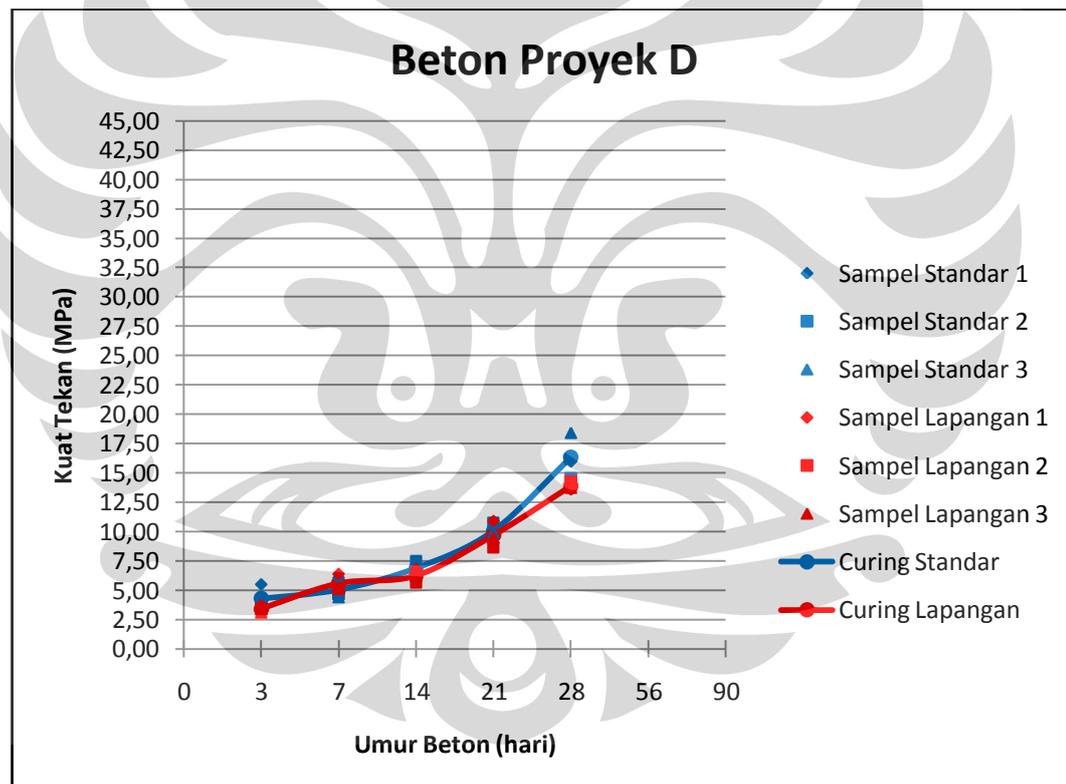
Tabel 4.8 Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur (MPa) Proyek D											
Proses Curing		Umur Beton (hari)									
		3		7		14		21		28	
Curing Standar	1	5,517	B	6,083	C	6,932	C	9,479	C	15,986	C
	2	3,678	B	4,669	C	7,498	C	10,752	C	14,572	C
	3	3,678	B	4,386	C	6,225	C	9,903	C	18,391	C
	Rata2	4,291	-	5,046	-	6,885	-	10,044	-	16,316	-
Curing Lapangan	1	3,678	B	6,366	C	6,791	B	10,893	B	13,581	C
	2	3,395	B	5,093	B	5,659	B	8,630	B	14,289	B
	3	3,112	B	5,234	C	6,225	B	9,479	B	13,723	C
	Rata2	3,395	-	5,565	-	6,225	-	9,667	-	13,864	-

4.2.4.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D

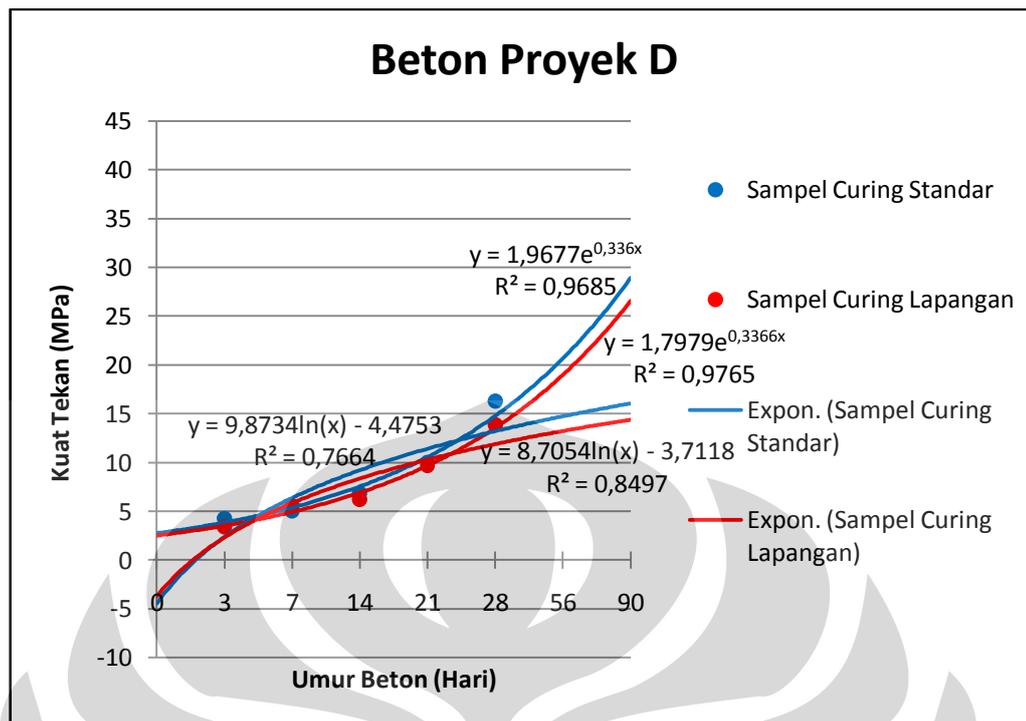
Beton proyek D yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan memiliki nilai kuat tekan yang terus meningkat dari awal umur beton hingga beton berumur 28 hari. Berdasarkan gambar grafik 4.7, dapat diketahui bahwa beton yang dirawat dengan cara standar menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Hal ini terjadi dikarenakan adanya pengaruh dari metode perawatan beton yang dilakukan. Seperti yang telah dijelaskan pada proyek sebelumnya, metode perawatan beton dengan cara standar umumnya akan menghasilkan kekuatan beton yang tinggi. Hal ini dikarenakan perawatan beton dengan cara standar yang menggunakan air dapat menjaga kestabilan temperatur dan kelembaban di dalam dan di luar beton itu sendiri. Selain itu, peningkatan kuat tekan juga dipengaruhi oleh bahan tambah (*admixture*s) yang digunakan. Bahan tambah yang digunakan dalam proyek D ini

berupa *plastiment* dan *viscocrete*. Bahan tambah *plastiment* ini digunakan untuk menghasilkan kualitas beton yang seragam dan mengurangi susut penyebab retak. Akan tetapi, meskipun nilai kuat tekan beton yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan terus meningkat, nilai kuat tekan beton awal pada proyek D ini dapat dikatakan rendah. Hal ini terjadi karena faktor *water/cement ratio* pada beton ini cukup besar yakni 0,66. Semakin besar faktor *water/cement ratio* maka menyebabkan beton mempunyai kuat tekan yang rendah. Pada gambar grafik 4.7 juga dapat dilihat mengenai sebaran nilai kuat tekan beton yang hampir mendekati. Hal ini dikarenakan sampel benda uji pada proyek D diambil dari mesin pengaduk (mixer) beton yang sama sehingga nilai kuat tekan betonnya saling mendekati.



Gambar 4.7 Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek D

Trendline untuk beton yang dirawat dengan cara standar dan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini :



Gambar 4.8 Trendline Kuat Tekan Beton Pada Proyek D

Pada proyek D digunakan 2 tipe *trendline*, yakni tipe logaritmik dan eksponensial. Akan tetapi, *trendline* yang digunakan dalam analisis adalah *trendline* logaritmik. Hal ini dikarenakan nilai prediksi kuat tekan beton yang mungkin terjadi adalah berdasarkan persamaan *trendline* logaritmik. Persamaan *trendline* untuk masing-masing tipe, baik untuk beton yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai di lapangan, dapat dilihat pada gambar 4.8 dan tabel 4.9. Berikut ini hasil prediksi kuat tekan beton yang diperoleh dari persamaan *trendline* :

Tabel 4.9 Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek D

Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek D					
Proses Curing	Umur (Hari)	Pers. Trendline Logaritmik	Kuat Tekan (MPa)	Pers. Trendline Eksponensial	Kuat Tekan (MPa)
Standar	56	$y=9,8734\ln(x) - 4,4753$	35,269	$y=1,9677e^{0,336x}$	292175541,2
	90	$y=9,8734\ln(x) - 4,4753$	39,953	$y=1,9677e^{0,336x}$	26731542416454,9
Lapangan	56	$y=8,7054\ln(x) - 3,7118$	31,330	$y=1,7979e^{0,3366x}$	276084991,7
	90	$y=8,7054\ln(x) - 3,7118$	35,461	$y=1,7979e^{0,3366x}$	25779979471665,5

4.2.5. Hasil dan Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek E

4.2.5.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E

Berikut ini merupakan grafik kuat tekan beton silinder pada proyek E untuk pengujian kuat tekan beton umur 3, 7, 14, 21, 28, 56 dan 90 hari :

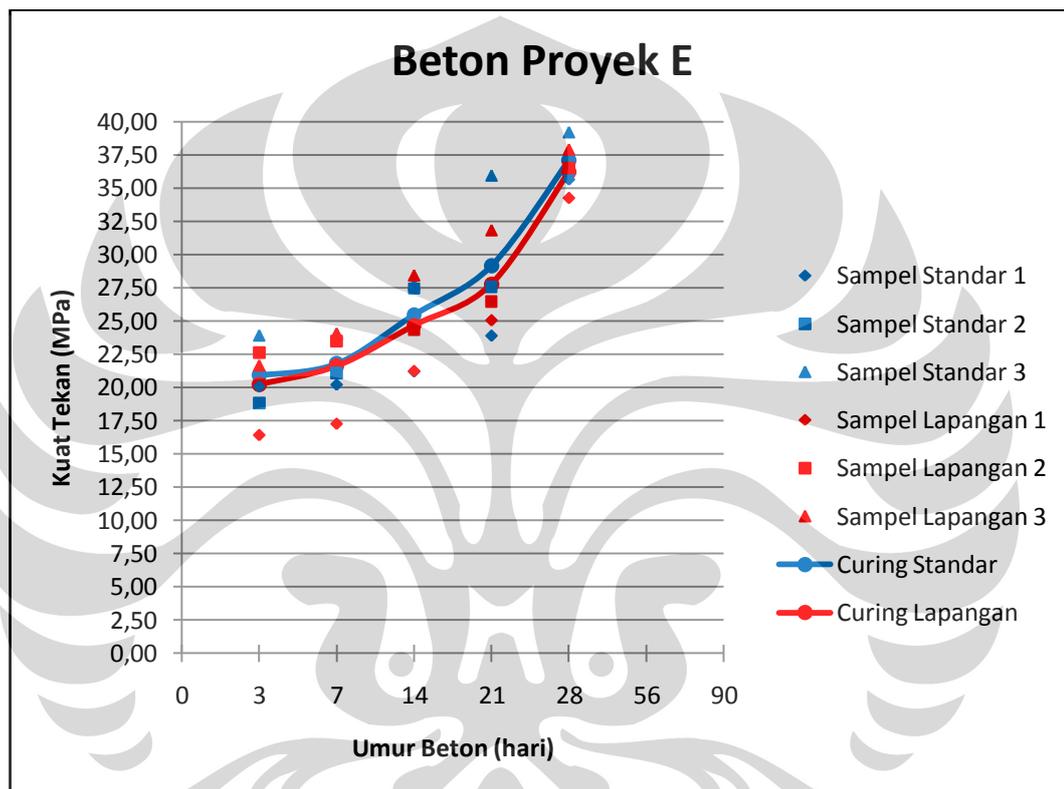
Tabel 4.10 Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur (MPa) Proyek E											
Proses Curing		Umur Beton (hari)									
		3		7		14		21		28	
Curing Standar	1	20,089	B	20,230	C	21,221	B	23,909	B	35,651	C
	2	18,816	B	21,079	C	27,445	C	27,587	C	36,358	C
	3	23,909	B	24,050	C	27,728	C	35,934	B	39,187	C
	Rata2	20,938	-	21,787	-	25,465	-	29,143	-	37,065	-
Curing Lapangan	1	16,411	C	17,259	B	21,221	B	25,040	B	34,236	C
	2	22,635	C	23,484	C	24,333	B	26,455	C	36,500	C
	3	21,645	C	24,050	C	28,436	C	31,831	B	37,914	B
	Rata2	20,230	-	21,598	-	24,663	-	27,775	-	36,217	-

4.2.5.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E

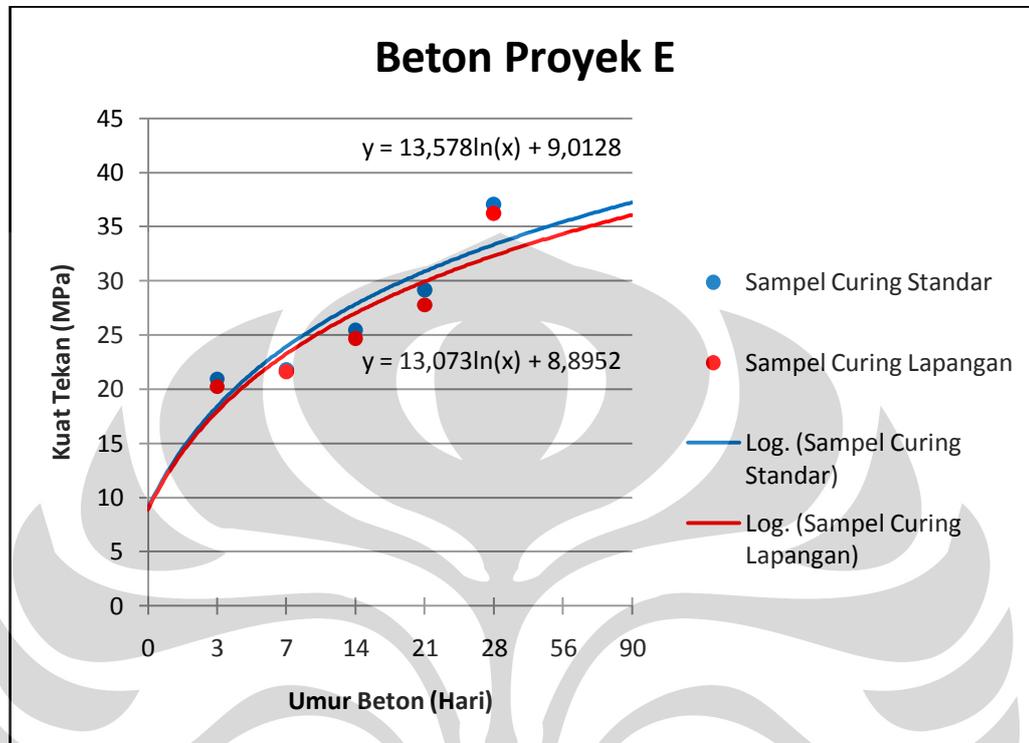
Sama halnya dengan proyek A, B, dan D, beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan pada proyek E mengalami peningkatan kuat tekan beton yang lebih tinggi pada awal umur beton. Namun, ketika beton menuju umur 14 hari beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton yang dirawat dengan cara standar. Hal ini dikarenakan temperatur beton yang dirawat dengan cara yang diterapkan di lapangan berbeda dengan temperatur udara, sehingga menyebabkan beton kehilangan air. Proses kehilangan air pada beton dapat menyebabkan terhambatnya pembentukan kekuatan beton. Selain itu, berdasarkan pada gambar grafik 4.9 diketahui bahwa perbedaan kuat tekan beton yang dirawat dengan cara standar dan kuat tekan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan tidak berbeda jauh. Hal ini dikarenakan beton dengan cetakan silinder diambil dari satu mesin pengaduk (*mixer*) beton yang sama. Nilai kuat tekan beton baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat

sesuai dengan yang diterapkan di lapangan telah mencapai target mutu beton yang ditetapkan di awal. Hal ini terjadi karena adanya penggunaan bahan tambah (*admixtures*) yang dicampurkan ke dalam beton. Penggunaan bahan tambah (*admixtures*) pada proyek ini bertujuan untuk memaksimalkan kekuatan tekan dari beton tersebut saat umur 28 hari.



Gambar 4.9 Grafik Kuat Tekan Beton Silinder Proyek E

Trendline berdasarkan kuat tekan beton pada proyek E dapat dilihat pada gambar grafik 4.10 berikut ini :



Gambar 4.10 *Trendline* Kuat Tekan Beton Pada Proyek E

Pada gambar 4.10 di atas diperoleh persamaan untuk beton yang dirawat dengan cara standar sebesar $y=13,578\ln(x)-9,0128$ dan $y=13,073\ln(x)-8,8952$ untuk beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Dari persamaan tersebut maka diperoleh prediksi kuat tekan beton pada umur 56 dan 90 hari sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 4.11 berikut ini :

Tabel 4.11 Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek E

Prediksi Kuat Tekan Beton Proyek E			
Proses Curing	Umur (Hari)	<i>Trendline</i>	Kuat Tekan (MPa)
Standar	56	$y = 13,578\ln(x) + 9,0128$	63,669
	90	$y = 13,578\ln(x) + 9,0128$	70,111
Lapangan	56	$y = 13,073\ln(x) + 8,8952$	61,519
	90	$y = 13,073\ln(x) + 8,8952$	67,721

4.2.6. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Hasil Bor Inti

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian kuat tekan beton berdasarkan hasil bor inti (*coring*). Pengujian kuat tekan beton hasil *coring* dilakukan ketika beton berumur 28, 56, dan 90 hari. Sampel beton yang digunakan diperoleh dari 3 balok yang *dicoring*. Masing-masing balok *dicoring* sebanyak 3 buah silinder berukuran diameter 6,8 cm dan tinggi 13,6 cm dengan faktor koreksi sebesar 1 dan perbandingan antara tinggi dan diameter sebesar 2. Berikut ini hasil kuat tekan beton berdasarkan *coring* untuk masing-masing proyek :

4.2.6.1. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek A

Tabel 4.12 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Coring Proyek A

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Proyek A			
Proses Curing		Umur Beton (Hari)	
		28	56
Curing Standar	Rata2	29,898	33,434
Curing Lapangan	Rata2	26,974	27,775
Hasil Coring	Rata2	27,235	28,908

Tabel 4.12. diatas menunjukkan bahwa ketika beton berumur 28 hari hingga 56 hari, beton *ready mix* yang menggunakan *fly ash* pada proyek A ini tidak mencapai mutu yang ditentukan di awal yakni sebesar 35 MPa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan saat membuat sampel benda uji, proses pemadatan dengan tongkat pemadat pada setiap lapis tidak dilakukan sesuai standar. Selain itu pada saat pembuatan benda uji, benda uji diletakkan di bawah sinar matahari langsung dimana hal ini akan berpengaruh pada reaksi hidrasi semen yang menyebabkan suhu beton menjadi meningkat dan mempercepat waktu pengaturan (*setting time*) sehingga pada kondisi nyata terjadi penurunan kekuatan beton dari mutu awal. Untuk kuat tekan beton bor inti (hasil *coring*) juga menunjukkan hal yang sama dengan kuat tekan beton silinder yakni tidak mencapai mutu beton yang

ditetapkan di awal, tetapi kuat tekan beton hasil *coring* ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada nilai kuat tekan beton silinder.

4.2.6.2. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek B

Tabel 4.13 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Coring Proyek B

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Proyek B			
Proses Curing		Umur Beton (Hari)	
		28	56
Curing Standar	Rata2	37,726	38,716
Curing Lapangan	Rata2	37,018	38,103
Hasil Coring	Rata2	40,746	42,461

Pada umur 28 hari beton proyek B, baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan, telah menunjukkan nilai yang melebihi mutu yang ditentukan di awal yakni mutu beton K-400 (33 MPa). Hal ini terjadi karena adanya pengaruh dari penambahan bahan tambah (*admixtures*) dan material yang digunakan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, material beton yang digunakan pada proyek B ini adalah beton *screening*, dimana hal ini dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi. Sama halnya dengan mutu beton silinder yang telah mencapai mutu yang ditetapkan di awal, mutu beton hasil *coring* juga telah mencapai mutu beton awal. Bahkan mutu beton hasil *coring* pada proyek ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari nilai kuat tekan beton silinder. Hal ini terjadi karena beton untuk cetakan silinder dan balok berasal dari mesin pengaduk (*mixer*) beton yang berbeda, dimana bahan tambah (*admixtures*) pada beton dengan cetakan balok lebih banyak dibandingkan pada beton cetakan silinder.

4.2.6.3. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek C

Tabel 4.14 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Coring Proyek C

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Proyek C		
Proses Curing		Umur Beton (Hari)
		28
Curing Standar	Rata2	33,387
Curing Lapangan	Rata2	31,595
Hasil Coring	Rata2	32,382

Pada umur 28 hari beton siap pakai (*ready mix*) yang menggunakan *fly ash* pada proyek C ini belum mencapai mutu yang ditentukan di awal yakni sebesar 40 MPa. Hal ini terjadi reaksi pozzolanik *fly ash* pada beton proyek C berjalan lambat. Selain itu juga terjadi karena adanya bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan pada proyek C ini. Sama halnya dengan mutu beton silinder yang belum mencapai mutu yang ditetapkan di awal, mutu beton hasil *coring* juga belum mencapai mutu beton awal. Akan tetapi, sebagaimana hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.14, dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton hasil *coring* mendekati nilai kuat tekan beton silinder. Namun, nilai kuat tekan beton hasil *coring* lebih kecil dari nilai kuat tekan beton silinder yang dirawat dengan cara standar. Hal ini terjadi karena permukaan bidang tekan beton hasil *coring* tidak rata dan tegak lurus terhadap beton hasil *coring*.

4.2.6.4. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek D

Tabel 4.15 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Coring Proyek D

Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Proyek D		
Proses Curing		Umur Beton (Hari)
		28
Curing Standar	Rata2	16,316
Curing Lapangan	Rata2	13,864
Hasil Coring	Rata2	18,228

Berdasarkan tabel 4.15 dapat diketahui bahwa benda uji proyek D yang menggunakan *fly ash* baik yang dirawat secara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan pada umur 28 hari belum mencapai mutu beton K-225 (18,675 MPa). Hal ini dikarenakan faktor *water/cement ratio* pada beton proyek D ini cukup besar yakni sebesar 0,66. Berdasarkan teori, semakin besar faktor *water/cement ratio* maka menyebabkan beton yang mempunyai kuat tekan yang rendah. Akan tetapi, beton hasil coring pada proyek D ini menunjukkan nilai yang hampir mendekati mutu beton awal. Hal ini terjadi karena beton cetakan balok diambil dari mesin pengaduk (*mixer*) beton yang berbeda dengan beton cetakan silinder. Selain itu, beton pada cetakan balok memiliki nilai *slump* yang lebih besar dibandingkan dengan beton pada cetakan silinder tetapi dengan mutu yang sama.

4.2.6.5. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Proyek E

Tabel 4.16 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Coring Proyek E

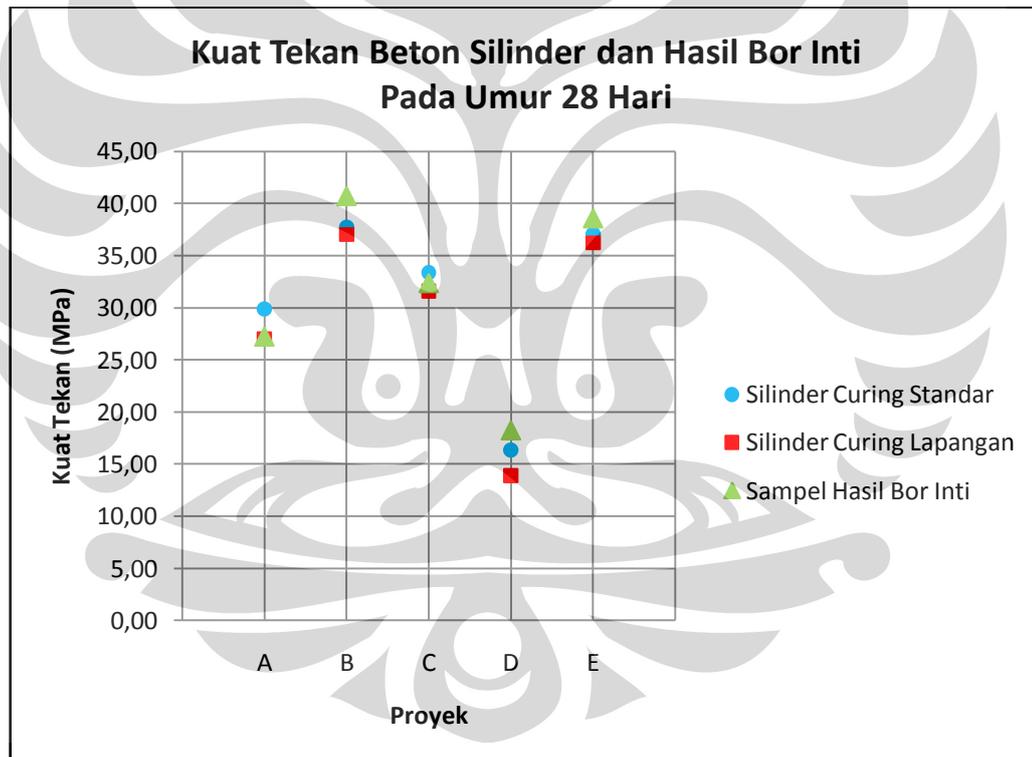
Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Proyek E		
Proses Curing		Umur Beton (Hari)
		28
Curing Standar	Rata2	37,065
Curing Lapangan	Rata2	36,217
Hasil Coring	Rata2	38,601

Nilai kuat tekan beton proyek E baik yang dirawat dengan cara standar dan yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan berdasarkan pada tabel 4.16 menunjukkan nilai yang telah mencapai mutu beton yang ditetapkan di awal yakni sebesar 30 MPa. Sama halnya dengan nilai kuat tekan beton silinder yang telah mencapai mutu awal, nilai kuat tekan beton hasil *coring* juga telah mencapai mutu beton awal bahkan nilai kuat tekan beton hasil *coring* pada proyek E menunjukkan nilai yang lebih besar. Tercapainya nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari dikarenakan adanya bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan pada proyek E. Pada tabel 4.16 juga dapat dilihat mengenai nilai kuat tekan beton

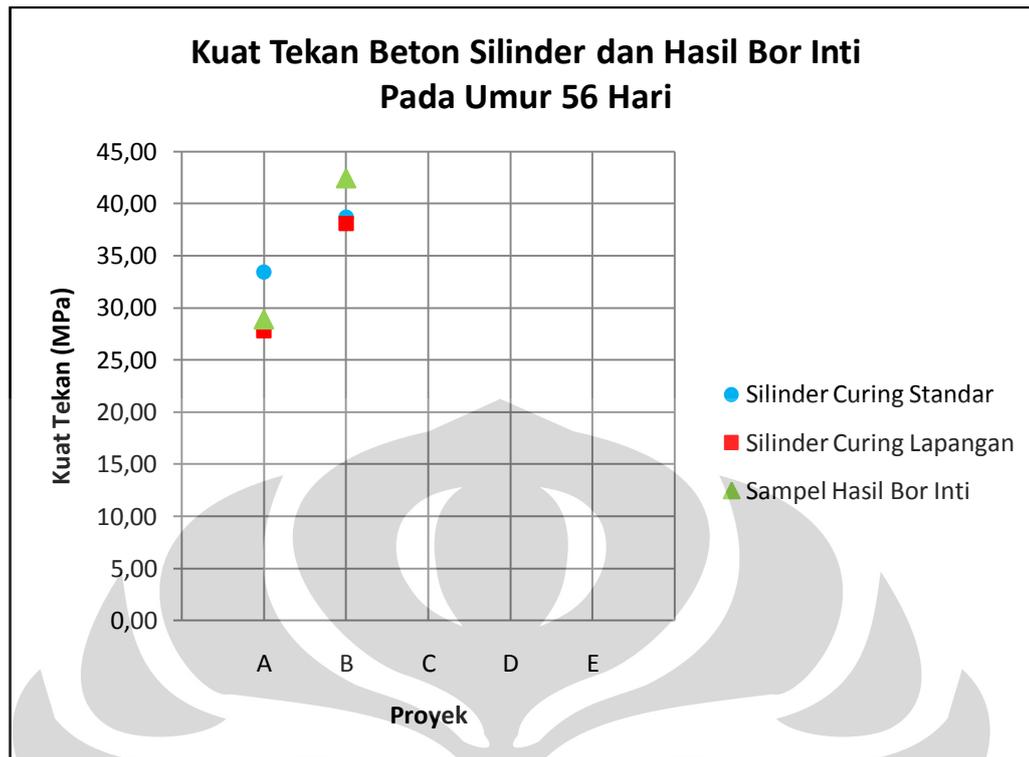
hasil *coring* yang tidak berbeda jauh dengan nilai kuat tekan silinder. Nilai kuat tekan yang tidak berbeda jauh ini salah satunya juga dipengaruhi oleh penusukan cetakan beton pada saat proses pemadatan.

4.2.6.6. Analisis Pengujian Kuat Tekan Beton Berdasarkan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Untuk Seluruh Proyek

Hasil pengujian kuat tekan beton silinder dan hasil *coring* untuk masing-masing proyek yang telah dilakukan sebelumnya akan dianalisis menjadi satu. Analisis ini dilakukan berdasarkan pengujian kuat tekan beton silinder dan hasil *coring* pada umur 28, 56, dan 90 hari seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.11 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Pada Umur 28 Hari



Gambar 4.12 Kuat Tekan Beton Silinder dan Hasil Bor Inti Pada Umur 56 Hari

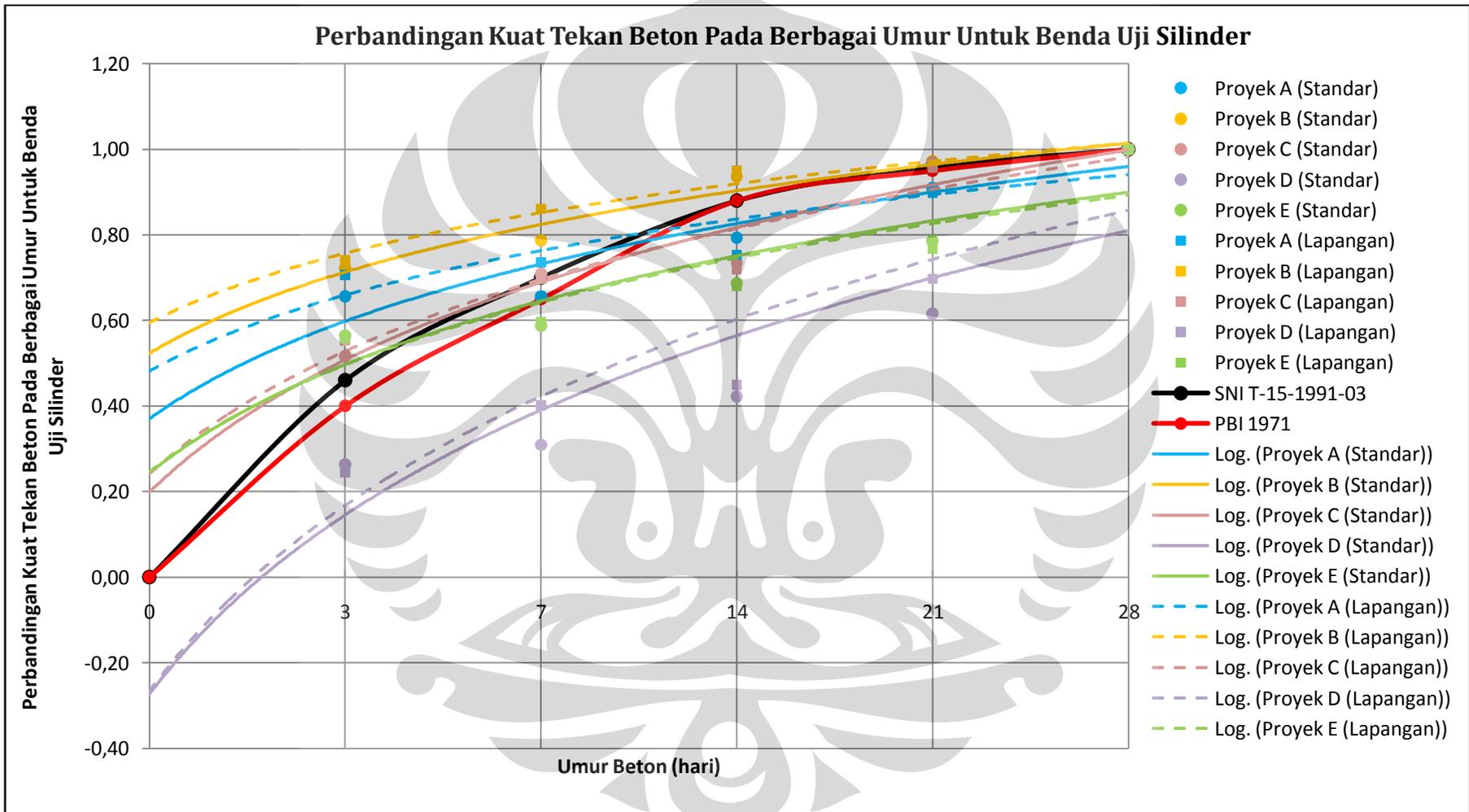
Pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 dapat dilihat bahwa sebaran nilai kuat tekan beton hasil *coring* rata-rata untuk ke lima proyek tersebut tidak berbeda jauh (mendekati) dengan nilai kuat tekan beton silinder, baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Oleh karena itu, berdasarkan pada hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12 maka dapat disimpulkan bahwa sampel hasil *coring* dapat dilakukan dan diterapkan pada kondisi eksisting di lapangan.

4.2.7. Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder

Tabel 4.17 Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder

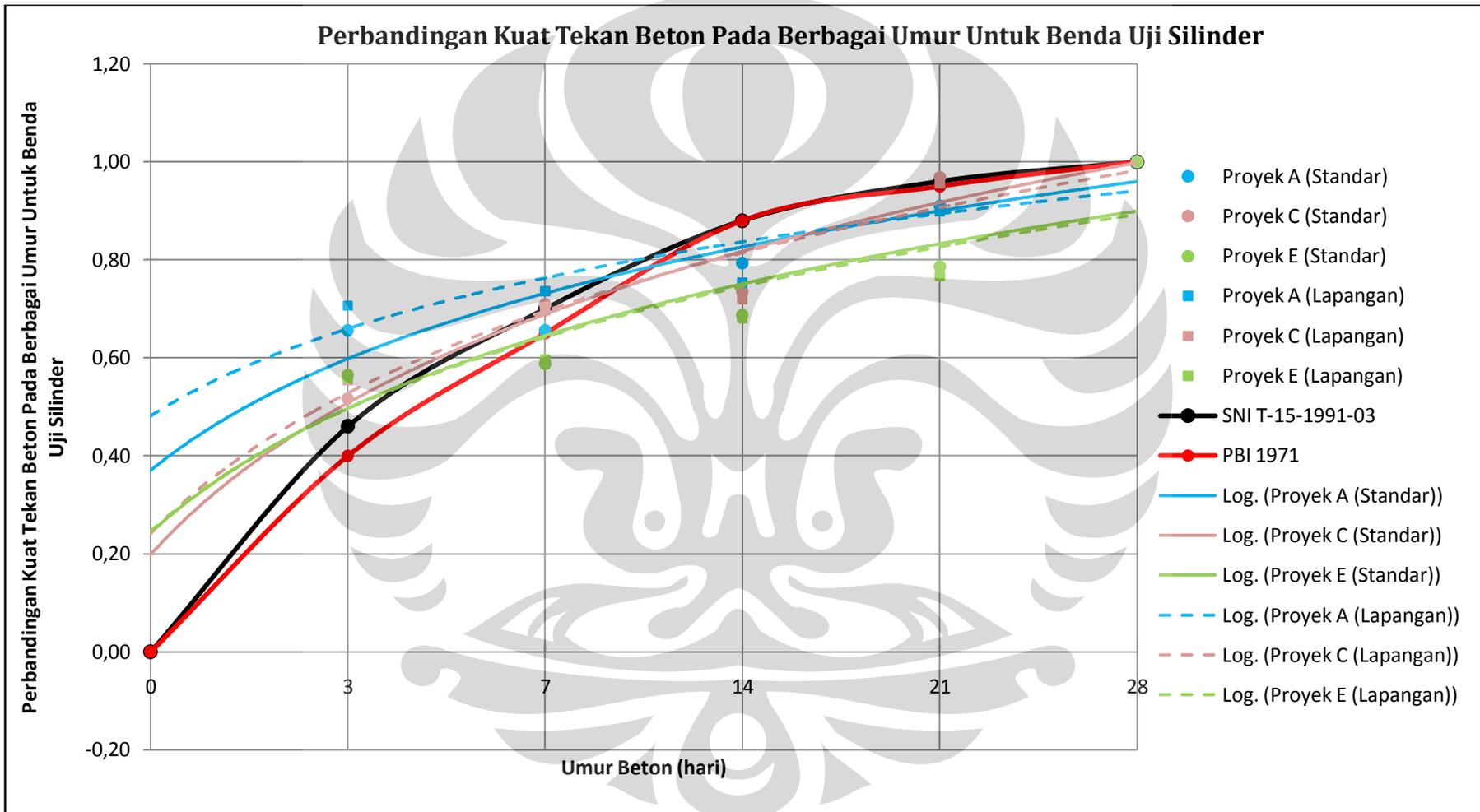
Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder								
Proyek	Proses Curing		Umur Beton (hari)					
			0	3	7	14	21	28
A	Standar	Rata2	0,0000	0,6562	0,6562	0,7934	0,9101	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,7063	0,7360	0,7535	0,8986	1,0000
B	Standar	Rata2	0,0000	0,7225	0,7875	0,9363	0,9725	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,7414	0,8611	0,9503	0,9618	1,0000
C	Standar	Rata2	0,0000	0,5169	0,7090	0,7345	0,9689	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,5537	0,6970	0,7194	0,9567	1,0000
D	Standar	Rata2	0,0000	0,2630	0,3092	0,4220	0,6156	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,2449	0,4014	0,4490	0,6973	1,0000
E	Standar	Rata2	0,0000	0,5649	0,5878	0,6870	0,7863	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,5586	0,5964	0,6810	0,7669	1,0000
SNI	Normal	Rata2	0,0000	0,4600	0,7000	0,8800	0,9600	1,0000
PBI'71	Normal	Rata2	0,0000	0,4000	0,6500	0,8800	0,9500	1,0000

Data-data perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur untuk benda uji silinder seperti yang ditampilkan pada tabel 4.17 di atas akan dibuat kedalam grafik untuk melihat sebaran nilai perbandingan kuat tekan beton pada masing-masing proyek. Kemudian data-data yang ditampilkan dalam bentuk grafik tersebut akan dianalisis dengan membandingkan kuat tekan beton pada berbagai umur yang diperoleh dari proyek dengan kuat tekan beton normal pada berbagai umur berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Dalam grafik tersebut juga akan terlihat sebaran nilai kuat tekan proyek mana yang mendekati kuat tekan beton normal berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Berikut ini merupakan gambar grafik mengenai perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur untuk benda uji silinder :



Gambar 4.13 Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Untuk Benda Uji Silinder

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.13 merupakan grafik mengenai perbandingan kuat tekan beton pada berbagai umur untuk benda uji silinder yang diperoleh dari 5 proyek. Pada grafik tersebut juga terdapat hasil perbandingan kuat tekan beton normal pada berbagai umur yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Grafik berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971 itu akan dijadikan sebagai standar untuk menganalisis nilai kuat tekan beton pada 5 proyek. Berdasarkan pada gambar 4.13 dapat diketahui bahwa *trendline* perbandingan kuat tekan beton pada proyek B dan D baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan menunjukkan hasil yang berbeda jauh dengan *trendline* perbandingan kuat tekan beton normal yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. *Trendline* perbandingan kuat tekan beton pada proyek B menunjukkan hasil *trendline* yang berada jauh di atas *trendline* perbandingan kuat tekan beton normal. Begitu pula dengan hasil *trendline* perbandingan kuat tekan beton pada proyek D dimana pada gambar 4.13 menunjukkan hasil *trendline* proyek D berada jauh di bawah *trendline* perbandingan kuat tekan beton normal. Hal ini bisa terjadi karena pengaruh penggunaan bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan pada proyek B dan D. Selain itu, pada beton proyek B juga menggunakan material berupa beton *screening* yang dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi sehingga *trendline* proyek B berada di atas *trendline* yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Sedangkan untuk *trendline* proyek D yang berada jauh di bawah *trendline* yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971 bisa terjadi karena dipengaruhi oleh faktor *water/cement ratio* yang cukup besar yakni sebesar 0,66. Oleh karena itu, *trendline* perbandingan kuat tekan beton yang digunakan untuk analisis hanya diambil dari 3 proyek saja, yakni *trendline* perbandingan kuat tekan beton pada proyek A, C, dan E. *Trendline* perbandingan kuat tekan beton pada proyek A, C, dan E seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13 menunjukkan hasil dan bentuk *trendline* yang mendekati *trendline* perbandingan kuat tekan beton yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Berikut ini merupakan *trendline* perbandingan kuat tekan beton pada 3 proyek yang akan digunakan sebagai analisis :



Gambar 4.14 Perbandingan Kuat Tekan Beton Pada Berbagai Umur Yang Digunakan Untuk Analisis

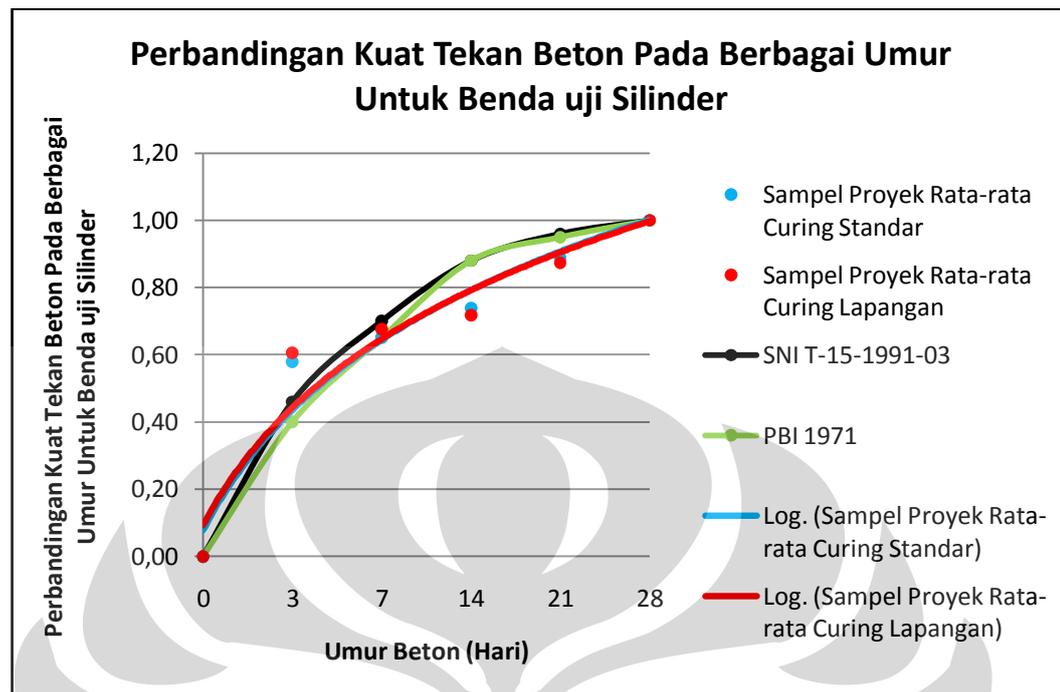
Dengan melihat grafik perbandingan kuat tekan beton untuk 3 proyek seperti yang ditampilkan pada gambar 4.14 maka dapat diketahui bahwa *trendline* kuat tekan beton untuk proyek A, C, dan E menunjukkan hasil yang mendekati *trendline* kuat tekan beton yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Pada gambar 4.14 juga terlihat bahwa pada umur 3 hari, sebaran nilai kuat tekan untuk proyek A, C, dan E berada diatas *trendline* kuat tekan beton berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Hal ini menunjukkan bahwa dalam campuran beton pada proyek A, C, dan E menggunakan bahan tambah (*admixture*s) yang memicu kekuatan tekan di umur awal guna memaksimalkan kekuatan tekan dari beton itu sendiri.

4.2.8. Analisis Mengenai Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Yang Diperoleh Dari Proyek Dengan Teori (SNI T-15-1991-03 & PBI 1971)

Setelah melakukan analisis untuk masing-masing proyek seperti yang dijelaskan sebelumnya, maka akan dilakukan analisis kuat tekan beton rata-rata untuk 3 proyek yakni proyek A, C, dan E. Berikut ini merupakan tabel dan gambar grafik rata-rata mengenai perbandingan kuat tekan beton pada proyek A, C, dan E :

Tabel 4.18 Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Untuk 3 Proyek (Proyek A, C, dan E)

Proyek	Proses Curing		Umur Beton (hari)					
			0	3	7	14	21	28
A	Standar	Rata2	0,0000	0,6562	0,6562	0,7934	0,9101	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,7063	0,7360	0,7535	0,8986	1,0000
C	Standar	Rata2	0,0000	0,5169	0,7090	0,7345	0,9689	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,5537	0,6970	0,7194	0,9567	1,0000
E	Standar	Rata2	0,0000	0,5649	0,5878	0,6870	0,7863	1,0000
	Lapangan	Rata2	0,0000	0,5586	0,5964	0,6810	0,7669	1,0000
Rata-rata	Standar	Rata2	0,0000	0,5793	0,6510	0,7383	0,8884	1,0000
	Lapangan		0,0000	0,6062	0,6765	0,7180	0,8741	1,0000
SNI	Normal	Rata2	0,0000	0,4600	0,7000	0,8800	0,9600	1,0000
PBI'71	Normal	Rata2	0,0000	0,4000	0,6500	0,8800	0,9500	1,0000



Gambar 4.15 Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata Untuk 3 Proyek (Proyek A, C, dan E)

Berdasarkan gambar 4.15 yang menunjukkan hasil perbandingan kuat tekan beton rata-rata yang dilakukan dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* akan menghasilkan nilai perbandingan kuat tekan beton yang mendekati nilai perbandingan kuat tekan beton yang digunakan dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa ketika berumur 3 hari *trendline* kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash*, baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan *trendline* kuat tekan beton normal (berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971). Hal ini terjadi karena pada campuran beton digunakan zat pemicu kekuatan beton di umur awal. Namun, ketika beton berumur 7 hingga 21 hari *trendline* kuat tekan beton *fly ash* menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan *trendline* kuat tekan beton normal (berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971). Hal ini bisa terjadi dikarenakan reaksi pozzolanik *fly ash* pada campuran beton berjalan lambat. Ketika berumur 28 hari, kekuatan beton yang menggunakan *fly ash* menunjukkan hasil yang mendekati bahkan sama dengan kekuatan beton normal. Hal ini terlihat pada

gambar 4.15 dimana pada umur 28 hari titik perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* berada di dekat atau tepat sama dengan titik perbandingan kuat tekan beton normal. Berdasarkan gambar 4.15 juga dapat diprediksi bahwa *trendline* kuat tekan beton *fly ash* pada usia yang lebih tua cenderung memiliki kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal.

Selain itu, setelah beton berumur 14 hari perbandingan kuat tekan beton *fly ash* yang dirawat dengan cara standar menunjukkan nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton *fly ash* yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Hal ini dikarenakan perawatan beton cara standar dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam bak perendam. Proses perendaman benda uji dalam bak perendam ini bertujuan untuk menghindari waktu *setting* (pengerasan) beton yang terlalu cepat. Selain itu, *fly ash* pada beton yang dirawat dengan cara dengan cara direndam dalam bak perendam akan memberikan sifat hidrolis dan air yang digunakan sebagai perawatan beton *fly ash* dapat mereduksi panas yang dihasilkan akibat reaksi hidrasi antara semen dan air, sehingga dapat menghasilkan kekuatan beton yang tinggi. Sedangkan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan akan mengalami perbedaan temperatur beton dengan temperatur udara, sehingga menyebabkan beton kehilangan air. Proses kehilangan air pada beton inilah yang dapat menyebabkan terhambatnya pembentukan kekuatan beton dan beton akan mengalami susut yang dapat mengakibatkan beton mengalami retak (*crack*). Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat disimpulkan bahwa metode perawatan beton merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton.

BAB 5

PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian dan saran terhadap hal-hal yang terkait dengan uji kuat tekan beton siap pakai yang menggunakan *fly ash* berdasarkan benda uji proyek dan hasil bor inti (*coring*) yang dapat dijadikan sebagai anjuran bagi penelitian selanjutnya.

5.1.KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian mengenai uji kuat tekan beton ready mix yang menggunakan *fly ash* berdasarkan benda uji proyek dan hasil bor inti (*coring*) yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini, hanya proyek B dan E yang kuat tekannya telah mencapai kuat tekan rencana pada umur 28 hari. Hal ini dikarenakan pada proyek B dan E menggunakan bahan tambah (*admixture*) berupa *admixture* untuk mempersingkat masa perawatan dan memaksimalkan kekuatan tekan dari beton tersebut.
2. Dalam penelitian ini diketahui bahwa kekuatan beton yang menggunakan *fly ash* menunjukkan hasil yang mendekati kekuatan beton normal yang terdapat dalam SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971.
3. Kuat tekan beton dipengaruhi beberapa faktor antara lain adalah proses pemadatan dan pembuatan benda uji, material dan bahan tambah (*admixtures*) yang digunakan, *water/cement ratio* dari campuran beton, suhu dan metode perawatan yang dilakukan.
4. Beton *fly ash* yang dirawat dengan cara standar menunjukkan hasil yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan. Hal ini dikarenakan proses perendaman benda uji dapat menghindari waktu *setting* (pengerasan) beton yang terlalu cepat dan air yang digunakan sebagai perawatan beton *fly ash* dapat mereduksi panas yang dihasilkan akibat reaksi hidrasi antara semen dan air.

5. Terhambatnya pembentukan kekuatan tekan pada beton yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan terjadi karena beton tersebut mengalami perbedaan temperatur dengan temperatur udara sehingga mengakibatkan beton kehilangan air.
6. Ketika berumur 3 hari *trendline* kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash*, baik yang dirawat dengan cara standar maupun yang dirawat sesuai dengan yang diterapkan di lapangan menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan *trendline* kuat tekan beton normal (berdasarkan SNI T-15-1991-03 dan PBI 1971). Hal ini terjadi karena pada campuran beton digunakan zat pemicu kekuatan beton di umur awal.
7. *Trendline* kuat tekan beton *fly ash* pada usia yang lebih tua cenderung memiliki kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal.
8. Nilai kuat tekan beton hasil bor inti (*coring*) tidak berbeda jauh (mendekati) dengan nilai kuat tekan beton silinder sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel hasil bor inti (*coring*) dapat dilakukan dan diterapkan pada kondisi eksisting di lapangan.

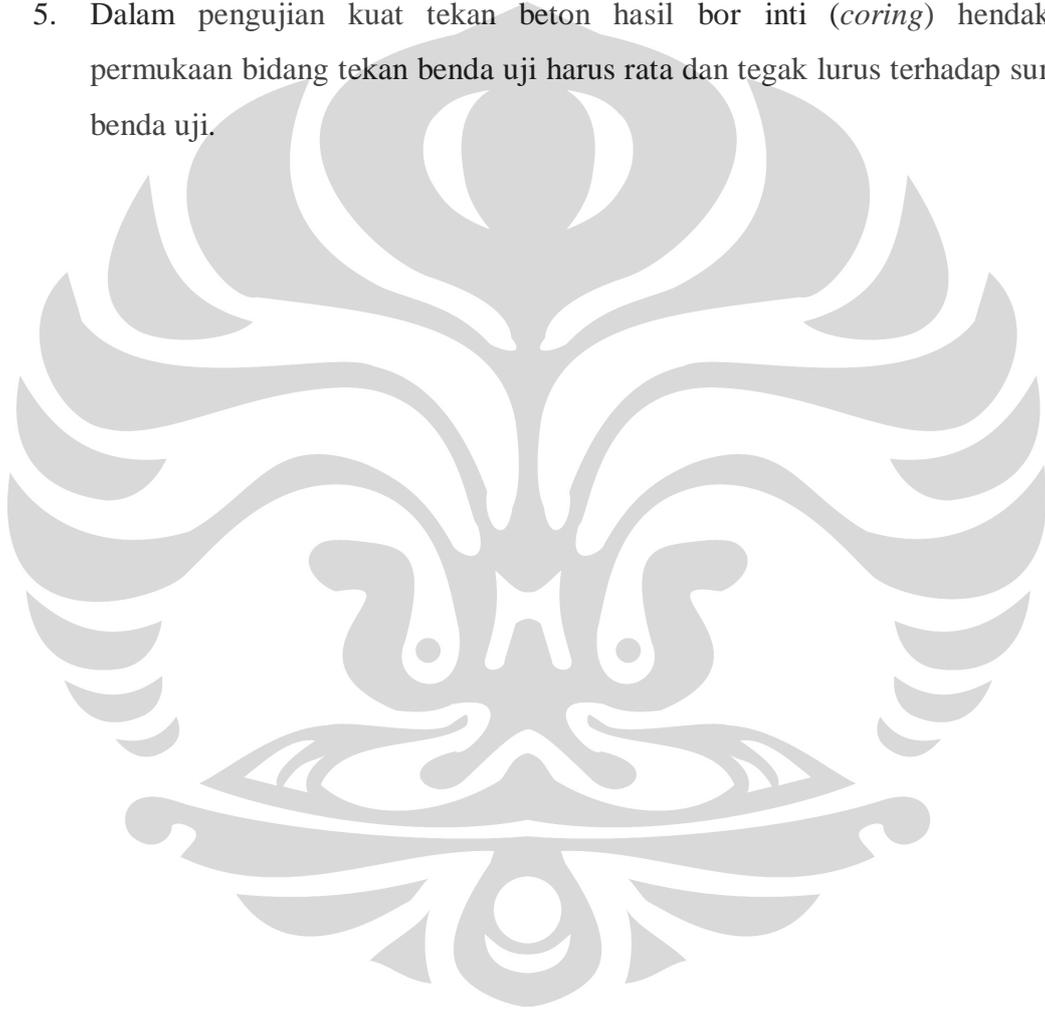
5.2.SARAN

Dari uraian diatas dengan merujuk pada hasil dan analisis penelitian ternyata masih banyak kekurangan pada penelitian ini, maka untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi diperlukan saran-saran yang bersifat membangun seperti berikut ini :

1. Sampel benda uji yang digunakan hendaknya berjumlah lebih dari 3 buah untuk setiap pengujian agar data hasil pengujian lebih akurat dan teliti.
2. Hendaknya pembuatan benda uji dilakukan pada malam hari agar proses penguapan air lebih lambat dan suhu yang terjadi lebih stabil bila dibandingkan suhu pada siang hari.
3. Agar diperoleh sampel yang baik maka perlu diperhatikan pada saat pembuatan dan pemadatan benda uji. Hendaknya dalam proses pemadatan

benda uji dilakukan dengan cara mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis. Setiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata. Kemudian ketuklah sisi cetakan dengan palu karet secara perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup.

4. Pemakaian *fly ash* dan bahan tambah (*admixtures*) dalam campuran beton di lapangan harus diketahui dengan teliti, karena pemakaian *fly ash* dan bahan tambah (*admixtures*) akan berpengaruh pada kuat tekan beton.
5. Dalam pengujian kuat tekan beton hasil bor inti (*coring*) hendaknya permukaan bidang tekan benda uji harus rata dan tegak lurus terhadap sumbu benda uji.



DAFTAR REFERENSI

- American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards*.
- Andoyo. 2006. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Mortar*. Semarang.
- Arif, Moch. 2006. *Pengujian Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Roster Dengan Bahan Ikat Abu Layang dan Semen Portland*. Semarang.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton (SNI Edisi 1990)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Tata Cara Pembuatan Beton Normal (SK-SNI Edisi 1990)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 1991. *Metode Pengambilan Benda Uji Beton Inti (SNI Edisi 1991)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian atau Pozolan Alam Sebagai Mineral Pencampur Dalam Beton Semen Portland (SNI Edisi 2002)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Pelaksanaan Pengambilan dan Pengujian Kuat Tekan Beton Inti (SNI Edisi 2002)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton (SNI Edisi 2002)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Tata Cara Pengambilan Contoh Uji Beton Segar (SNI Edisi 2008)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Calvin, & Andi Sanjaya. 2006. *Komposisi Alkaline Aktivator dan Fly Ash untuk Beton Geopolimer Mutu Tinggi*.

<http://digilib.petra.ac.id>

Departemen ESDM dan Badan Litbang ESDM. 2003. *Pemanfaatan Abu Terbang PLTU Suralaya Untuk Castable Refractory*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara.

<http://www.tekmira.esdm.go.id/aset/pozolan/index/asp>

Gunawan, David A., & Handoko, David A. 2005. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Pada Beton Ditinjau Dari Segi Shrinkage*.

Handayani, Meilinda Siswati. 2007. *Pemodelan Perkembangan Panas Hidrasi Pada Mass Concrete Program ANSYS*.

<http://digilib.petra.ac.id>

Headwaters Resources of America. 2005. *Fly Ash for Concrete*.

<http://www.flyash.com/flyashconcrete>

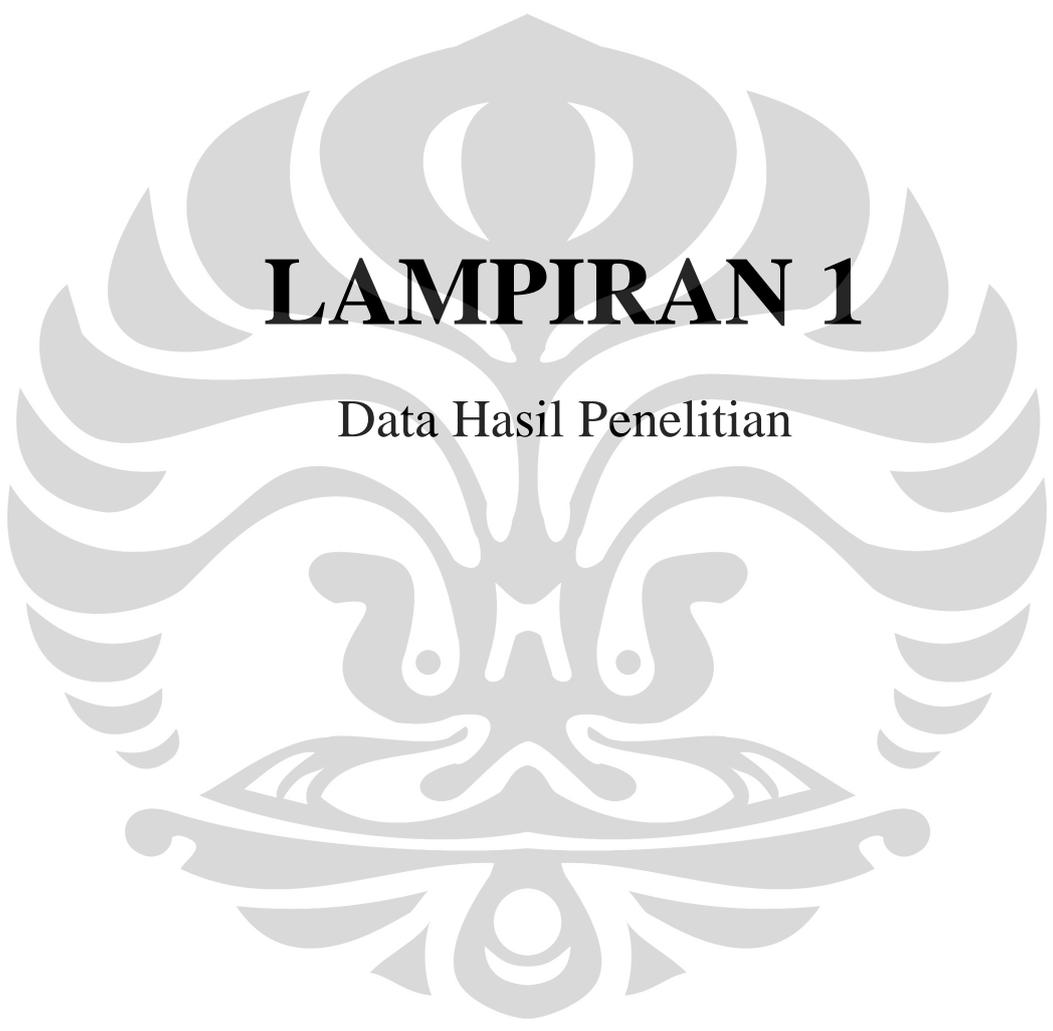
Hernando, Fandhi. 2009. *Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Superplasticizer dan Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Fly Ash*. Yogyakarta.

Kirby, R. S., dan Laurson, P. G. 1932. *The Early Years of Modern Civil Engineering* (hal 273-275). New Haven: Yale University Press.

Kosnatha, Sandy & Utomo, Johannes Prasetyo. 2007. *Komposisi dan Karakteristik Beton Geopolimer dengan Menggunakan Fly Ash Tipe C & F*.

<http://digilib.petra.ac.id>

- Laboratorium Struktur dan Material. 2009. *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton*. Universitas Indonesia.
- Mardiah, Selly Aprianna, dan Ucik Nurhayati. 2009. *Studi Kasus Proyek Pembangunan "Kemang Village Residence and Mall"*. Jakarta.
- Merrit, Frederick S., & Ricketts, Jonathan T. 1994. *Building Design and Construction Handbook* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Nawy, Dr. Edward G. 1990. *Suatu Pendekatan Dasar Beton Bertulang* (Ir. Bambang Suryoatmono, Penerjemah.). Bandung: PT Eresco.
- Nawy, Dr. Edward G. 1997. *Concrete Construction Engineering Handbook* (2nd ed.). New Jersey: CRC Press.
- Nawy, Dr. Edward G. 2000. *Fundamentals of High-Performance Concrete* (2nd ed.). Canada: John Wiley & Sons.
- Neville, A. M. 1977. *Properties of Concrete*. London: Pitman Publishing Limited.
- Prakoso, Joko. 2006. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan dan Serapan Air Pada Bata Beton Bertulang*. Semarang.
- Sengupta, DR. Amlan K., & Menon, Prof. Devdas. *Concrete Structures: Shrinkage*. Indian Institute of Technology Madras.
- Setyawan, Rudy & Wiratmoko, Toto. 2007. *Durabilitas Beton Fly Ash yang Diaktivasi dengan Larutan Alkali*.
- Straub, H. 1964. *A History of Civil Engineering* (Translated from the German *Die Geschichte der Bauingenieurkunst*, Verlag Birkhauser, Basel, 1949, hal. 205-215). Cambridge: The M.I.T. Press.



LAMPIRAN 1

Data Hasil Penelitian

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek A

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampel	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
1	24-04-2010	27-04-2010	3	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,63	260000	14,713	B
2	24-04-2010	27-04-2010			2	Silinder	17671,459		12,53	340000	19,240	B
3	24-04-2010	27-04-2010			3	Silinder	17671,459		12,55	440000	24,899	C
4	24-04-2010	27-04-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,67	375000	21,221	C
5	24-04-2010	27-04-2010			2	Silinder	17671,459		12,68	275000	15,562	C
6	24-04-2010	27-04-2010			3	Silinder	17671,459		12,64	360000	20,372	C
7	24-04-2010	01-05-2010	7	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,60	285000	16,128	B
8	24-04-2010	01-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,58	390000	22,069	B
9	24-04-2010	01-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,89	365000	20,655	C
10	24-04-2010	01-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,78	345000	19,523	C
11	24-04-2010	01-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,34	457500	25,889	B
12	24-04-2010	01-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,29	250000	14,147	B
13	24-04-2010	08-05-2010	14	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,51	340000	19,240	B
14	24-04-2010	08-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,90	565000	31,972	C
15	24-04-2010	08-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,70	352500	19,947	C
16	24-04-2010	08-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,56	372500	21,079	B
17	24-04-2010	08-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,46	395000	22,352	B
18	24-04-2010	08-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,07	310000	17,542	C
19	24-04-2010	15-05-2010	21	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,87	455000	25,748	B
20	24-04-2010	15-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,86	512500	29,002	B
21	24-04-2010	15-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,62	475000	26,880	C
22	24-04-2010	15-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,47	500000	28,294	B
23	24-04-2010	15-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,56	400000	22,635	B
24	24-04-2010	15-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,36	385000	21,787	B
25	24-04-2010	22-05-2010	28	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,59	470000	26,597	C
26	24-04-2010	22-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,93	585000	33,104	B
27	24-04-2010	22-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,62	530000	29,992	B
28	24-04-2010	22-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,42	497500	28,153	B
29	24-04-2010	22-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,19	480000	27,162	B
30	24-04-2010	22-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,44	452500	25,606	C

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek A

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
31	24-04-2010	19-06-2010	56	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,85	510000	28,860	C
32	24-04-2010	19-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,76	712500	40,319	B
33	24-04-2010	19-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,57	550000	31,124	B
34	24-04-2010	19-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,55	507500	28,719	B
35	24-04-2010	19-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,54	502500	28,436	C
36	24-04-2010	19-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,37	462500	26,172	B

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Coring Proyek A

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	
	Dicor	Ditest			Bentuk	Luas (mm)				D=68mm	D=150 mm
1	24-04-2010	22-05-2010	28	1	Silinder	3631,681	12 ± 2	1,205	97500	26,847	25,091
2	24-04-2010	22-05-2010		2	Silinder	3631,681		1,208	105000	28,912	27,021
3	24-04-2010	22-05-2010		3	Silinder	3631,681		1,204	115000	31,666	29,594
4	24-04-2010	19-06-2010	56	1	Silinder	3631,681	12 ± 2	1,228	105000	28,912	27,021
5	24-04-2010	19-06-2010		2	Silinder	3631,681		1,231	105500	29,050	27,149
6	24-04-2010	19-06-2010		3	Silinder	3631,681		1,183	126500	34,832	32,554

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek B

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
1	30-04-2010	03-05-2010	3	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,27	465000	26,314	C
2	30-04-2010	03-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,32	525000	29,709	C
3	30-04-2010	03-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,42	455000	25,748	C
4	30-04-2010	03-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,18	447500	25,323	C
5	30-04-2010	03-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,27	467500	26,455	C
6	30-04-2010	03-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,10	540000	30,558	B
7	30-04-2010	07-05-2010	7	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,55	560000	31,690	C
8	30-04-2010	07-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,53	540000	30,558	C
9	30-04-2010	07-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,46	475000	26,880	C
10	30-04-2010	07-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,74	535000	30,275	C
11	30-04-2010	07-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,21	560000	31,690	C
12	30-04-2010	07-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,24	595000	33,670	C
13	30-04-2010	14-05-2010	14	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,31	605000	34,236	C
14	30-04-2010	14-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,53	610000	34,519	C
15	30-04-2010	14-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,53	657500	37,207	B
16	30-04-2010	14-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,33	550000	31,124	B
17	30-04-2010	14-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,72	652500	36,924	B
18	30-04-2010	14-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,17	662500	37,490	B
19	30-04-2010	21-05-2010	21	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,49	625000	35,368	B
20	30-04-2010	21-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,23	650000	36,782	B
21	30-04-2010	21-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,62	670000	37,914	B
22	30-04-2010	21-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,33	560000	31,690	B
23	30-04-2010	21-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,18	655000	37,065	C
24	30-04-2010	21-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,66	672500	38,056	C
25	30-04-2010	28-05-2010	28	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,41	632500	35,792	C
26	30-04-2010	28-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,47	695000	39,329	B
27	30-04-2010	28-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,56	672500	38,056	C
28	30-04-2010	28-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,02	587500	33,246	B
29	30-04-2010	28-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,21	697500	39,470	B
30	30-04-2010	28-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,09	677500	38,339	B

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek B

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
31	30-04-2010	25-06-2010	56	Standar	1	Silinder	17671,459	6 ± 2	12,44	662500	37,490	B
32	30-04-2010	25-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,40	697500	39,470	C
33	30-04-2010	25-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,16	692500	39,187	B
34	30-04-2010	25-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,95	635000	35,934	B
35	30-04-2010	25-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,11	700000	39,612	C
36	30-04-2010	25-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,07	685000	38,763	B

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Coring Proyek B

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	
	Dicor	Ditest			Bentuk	Luas (mm)				D=68mm	D=150 mm
1	30-04-2010	28-05-2010	28	1	Silinder	3631,681	6 ± 2	1,173	170000	46,810	43,748
2	30-04-2010	28-05-2010		2	Silinder	3631,681		1,133	147500	40,615	37,958
3	30-04-2010	28-05-2010		3	Silinder	3631,681		1,151	157500	43,368	40,531
4	30-04-2010	25-06-2010	56	1	Silinder	3631,681	6 ± 2	1,162	175000	48,187	45,035
5	30-04-2010	25-06-2010		2	Silinder	3631,681		1,142	157500	43,368	40,531
6	30-04-2010	25-06-2010		3	Silinder	3631,681		1,162	162500	44,745	41,818

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek C

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
1	13-05-2010	16-05-2010	3	Standar	1	Silinder	17671,459	13 ± 2	12,14	275000	15,562	B
2	13-05-2010	16-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,32	315000	17,825	B
3	13-05-2010	16-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,31	325000	18,391	B
4	13-05-2010	16-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,71	285000	16,128	B
5	13-05-2010	16-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,57	317500	17,967	C
6	13-05-2010	16-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,45	325000	18,391	B
7	13-05-2010	20-05-2010	7	Standar	1	Silinder	17671,459	13 ± 2	12,73	387500	21,928	B
8	13-05-2010	20-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,62	420000	23,767	C
9	13-05-2010	20-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,51	447500	25,323	B
10	13-05-2010	20-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,48	350000	19,806	C
11	13-05-2010	20-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,21	370000	20,938	B
12	13-05-2010	20-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,63	447500	25,323	C
13	13-05-2010	27-05-2010	14	Standar	1	Silinder	17671,459	13 ± 2	12,87	395000	22,352	B
14	13-05-2010	27-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,48	430000	24,333	C
15	13-05-2010	27-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,41	475000	26,880	B
16	13-05-2010	27-05-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,50	370000	20,938	B
17	13-05-2010	27-05-2010			2	Silinder	17671,459		12,39	377500	21,362	B
18	13-05-2010	27-05-2010			3	Silinder	17671,459		12,60	457500	25,889	B
19	13-05-2010	03-06-2010	21	Standar	1	Silinder	17671,459	13 ± 2	12,15	545000	30,841	B
20	13-05-2010	03-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,44	587500	33,246	B
21	13-05-2010	03-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,49	582500	32,963	B
22	13-05-2010	03-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,13	465000	26,314	B
23	13-05-2010	03-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,95	622500	35,226	B
24	13-05-2010	03-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,11	515000	29,143	B
25	13-05-2010	10-06-2010	28	Standar	1	Silinder	17671,459	13 ± 2	12,42	560000	31,690	B
26	13-05-2010	10-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,16	592500	33,529	B
27	13-05-2010	10-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,13	617500	34,943	C
28	13-05-2010	10-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,41	470000	26,597	B
29	13-05-2010	10-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,00	625000	35,368	C
30	13-05-2010	10-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,34	580000	32,821	B

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek D

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
1	29-05-2010	01-06-2010	3	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,26	97500	5,517	B
2	29-05-2010	01-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,39	65000	3,678	B
3	29-05-2010	01-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,26	65000	3,678	B
4	29-05-2010	01-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,92	65000	3,678	B
5	29-05-2010	01-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,98	60000	3,395	B
6	29-05-2010	01-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,18	55000	3,112	B
7	29-05-2010	05-06-2010	7	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,18	107500	6,083	C
8	29-05-2010	05-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,07	82500	4,669	C
9	29-05-2010	05-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,18	77500	4,386	C
10	29-05-2010	05-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,69	112500	6,366	C
11	29-05-2010	05-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,64	90000	5,093	B
12	29-05-2010	05-06-2010			3	Silinder	17671,459		11,69	92500	5,234	C
13	29-05-2010	12-06-2010	14	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,30	122500	6,932	C
14	29-05-2010	12-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,16	132500	7,498	C
15	29-05-2010	12-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,30	110000	6,225	C
16	29-05-2010	12-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,56	120000	6,791	B
17	29-05-2010	12-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,80	100000	5,659	B
18	29-05-2010	12-06-2010			3	Silinder	17671,459		11,75	110000	6,225	B
19	29-05-2010	19-06-2010	21	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,06	167500	9,479	C
20	29-05-2010	19-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,96	190000	10,752	C
21	29-05-2010	19-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,15	175000	9,903	C
22	29-05-2010	19-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		11,79	192500	10,893	B
23	29-05-2010	19-06-2010			2	Silinder	17671,459		11,52	152500	8,630	B
24	29-05-2010	19-06-2010			3	Silinder	17671,459		11,46	167500	9,479	B
25	29-05-2010	26-06-2010	28	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,22	282500	15,986	C
26	29-05-2010	26-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,26	257500	14,572	C
27	29-05-2010	26-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,25	325000	18,391	C
28	29-05-2010	26-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,37	240000	13,581	C
29	29-05-2010	26-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,46	252500	14,289	B
30	29-05-2010	26-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,49	242500	13,723	C

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Proyek E

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Proses Curing	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	Keterangan
	Dicor	Ditest				Bentuk	Luas (mm)					
1	06-06-2010	09-06-2010	3	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,29	355000	20,089	B
2	06-06-2010	09-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,31	332500	18,816	B
3	06-06-2010	09-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,32	422500	23,909	B
4	06-06-2010	09-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,22	290000	16,411	C
5	06-06-2010	09-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,28	400000	22,635	C
6	06-06-2010	09-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,31	382500	21,645	C
7	06-06-2010	13-06-2010	7	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,15	357500	20,230	C
8	06-06-2010	13-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,12	372500	21,079	C
9	06-06-2010	13-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,22	425000	24,050	C
10	06-06-2010	13-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,24	305000	17,259	B
11	06-06-2010	13-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,11	415000	23,484	C
12	06-06-2010	13-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,27	425000	24,050	C
13	06-06-2010	20-07-2010	14	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,50	375000	21,221	B
14	06-06-2010	20-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,47	485000	27,445	C
15	06-06-2010	20-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,39	490000	27,728	C
16	06-06-2010	20-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,02	375000	21,221	B
17	06-06-2010	20-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,19	430000	24,333	B
18	06-06-2010	20-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,53	502500	28,436	C
19	06-06-2010	27-06-2010	21	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,34	422500	23,909	B
20	06-06-2010	27-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,11	487500	27,587	C
21	06-06-2010	27-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,48	635000	35,934	B
22	06-06-2010	27-06-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,09	442500	25,040	B
23	06-06-2010	27-06-2010			2	Silinder	17671,459		12,20	467500	26,455	C
24	06-06-2010	27-06-2010			3	Silinder	17671,459		12,38	562500	31,831	B
25	06-06-2010	04-07-2010	28	Standar	1	Silinder	17671,459	12 ± 2	12,50	630000	35,651	C
26	06-06-2010	04-07-2010			2	Silinder	17671,459		12,37	642500	36,358	C
27	06-06-2010	04-07-2010			3	Silinder	17671,459		12,45	692500	39,187	C
28	06-06-2010	04-07-2010		Lapangan	1	Silinder	17671,459		12,54	605000	34,236	C
29	06-06-2010	04-07-2010			2	Silinder	17671,459		12,48	645000	36,500	C
30	06-06-2010	04-07-2010			3	Silinder	17671,459		12,45	670000	37,914	B

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Coring Proyek C

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	
	Dicor	Ditest			Bentuk	Luas (mm)				D=68mm	D=150 mm
1	13-05-2010	10-06-2010	28	1	Silinder	3631,681	13 ± 2	1,138	135000	37,173	34,741
2	13-05-2010	10-06-2010		2	Silinder	3631,681		1,175	127500	35,108	32,811
3	13-05-2010	10-06-2010		3	Silinder	3631,681		1,180	115000	31,666	29,594

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Coring Proyek D

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	
	Dicor	Ditest			Bentuk	Luas (mm)				D=68mm	D=150 mm
1	29-05-2010	26-06-2010	28	1	Silinder	3631,681	12 ± 2	1,161	67500	18,586	17,370
2	29-05-2010	26-06-2010		2	Silinder	3631,681		1,155	67500	18,586	17,370
3	29-05-2010	26-06-2010		3	Silinder	3631,681		1,176	77500	21,340	19,944

Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Hasil Coring Proyek E

No.	Tanggal		Umur (Hari)	Kode Sampe	Data Sampel		Slump (mm)	Berat (Kg)	Beban (N)	Tegangan (MPa)	
	Dicor	Ditest			Bentuk	Luas (mm)				D=68mm	D=150 mm
1	06-06-2010	04-07-2010	28	1	Silinder	3631,681	12 ± 2	1,204	165000	45,434	42,461
2	06-06-2010	04-07-2010		2	Silinder	3631,681		1,147	135000	37,173	34,741
3	06-06-2010	04-07-2010		3	Silinder	3631,681		1,192	55000	15,145	14,154



LAMPIRAN 2

Foto-foto Penelitian

Foto-foto Penelitian

1. Peralatan



a. Cetakan Silinder (Diameter=15cm, Tinggi=30cm)



b. Cetakan Balok (15 cm x 15 cm x 60 cm)



c. Palu Karet dan Alat Pemas



d. Alat Perata Benda Uji

2. Pelaksanaan *Mix Design*



a. Batching Plant

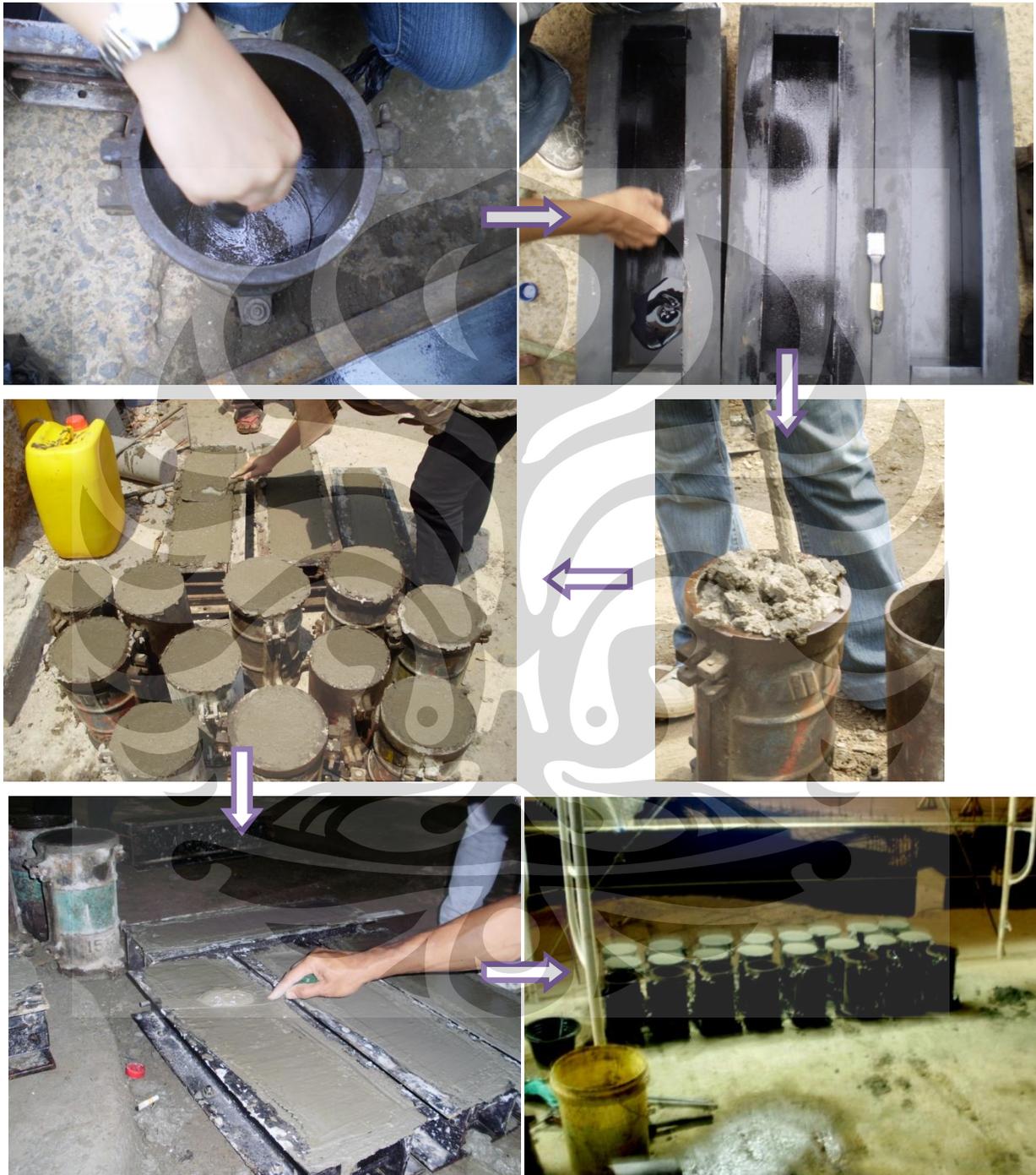


b. Mixer

3. Pemeriksaan Slump



4. Pembuatan Sampel Benda Uji



5. Perawatan Benda Uji

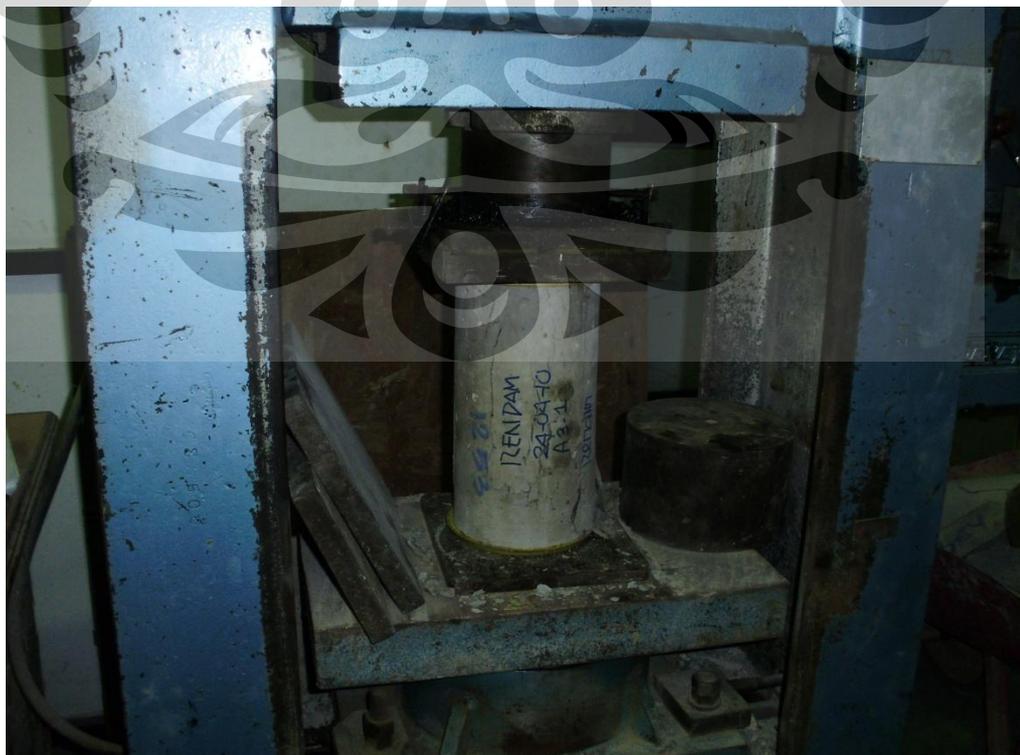


a. Cara Standar (Direndam Dalam Bak Perendam)



b. Cara Lapangan (Ditutup Karung Goni)

6. Pengujian Kuat Tekan Sampel Benda Uji



7. Pengambilan dan Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Hasil *Coring*



8. Pola Keruntuhan Benda Uji



a. Tipe Kehancuran Kolumnar (Tipe C)



b. Tipe Kehancuran Kerucut dan Belah (Tipe B)