



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONTRIBUSI KAPUR DAN ABU TERBANG PADA CAMPURAN
CEMENT TREATED SUB BASE DITINJAU DARI PERUBAHAN KUAT
TEKAN DAN KEKAKUAN SELAMA MASA PERAWATAN**

SKRIPSI

**MUH. ASRIH B
0806369480**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

127/FT.EKS.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**KONTRIBUSI KAPUR DAN ABU TERBANG PADA CAMPURAN
CEMENT TREATED SUB BASE DITINJAU DARI PERUBAHAN KUAT
TEKAN DAN KEKAKUAN SELAMA MASA PERAWATAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUH. ASRIH B

0806369480

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

127/FT.EKS.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**CONTRIBUTION OF LIME AND FLY ASH ON CEMENT TREATED
SUB BASE IN TERMS OF COMPRESSIVE STRENGTH AND STIFFNESS
CHANGES DURING CURING TIME**

MINITHESIS

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the
Engineer Bachelor Degree**

MUH. ASRIH B

0806369480

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Muh. Asrih B

NPM : 0806369480

Tanda tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2011

SHEET OF ORIGINALITY

**This script is truly my own work,
and all of the source that I quote or referenced
I stated that all is true.**

Name : Muh. Asrih B

NPM : 0806369480

Signature :



Date : June 30, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Muh. Asrih B.

NPM : 0806369480

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Kontribusi Kapur dan Abu Terbang pada Campuran Cement Treated Sub Base Ditinjau dari Perubahan Kuat Tekan dan Kekakuan Selama Masa Perawatan

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

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA (.....)

Penguji I : Ir. Ellen S.W. Tangkudung, M.Sc (.....)

Penguji II : Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

SHEET OF APPROVAL

This final assignment submitted by :

Name : Muh. Asrih B.

NPM : 0806369480

Study Program : Civil Engineering

Title : Contribution of Lime and Fly Ash on Cement Treated Sub
Base in terms of Compressive Strength and Stiffness Changes
during Curing Time

Have succeeded to be submitted in examiner board and accepted as partial fulfillment needed to obtain Bachelor Degree in Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

Examiner Board

Counselor : Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA (.....)

Examiner I : Ir. Ellen S.W. Tangkudung, M.Sc (.....)

Examiner II : Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA (.....)

Approved in : Depok

Date : June 30, 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT atas Rahmat dan Hidayah yang diberikan selama ini kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Harapan untuk dapat menyelesaikan Skripsi ini sebaik-baiknya telah penulis lakukan, namun demikian penulis sebagai manusia biasa menyadari bahwa skripsi yang sederhana ini masih banyak terdapat kekurangan dan masih memerlukan perbaikan secara menyeluruh. Hal ini tidak lain disebabkan oleh keterbatasan ilmu dan kemampuan yang dimiliki oleh penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, karenanya berbagai masukan dan saran yang sifatnya membangun sangatlah diharapkan demi sempurnanya Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses awal hingga selesainya skripsi ini, banyak pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya skripsi ini, karena itu penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada mereka yang secara moril dan maupun materil telah banyak membantu penulis untuk merampungkan skripsi ini hingga selesai, yaitu kepada :

1. Kedua Orang Tua saya, Ayah **Abd. Basir C** dan terutama Ibu saya **St. Syamsiah M, S.Pd** yang telah membesarkan saya dengan penuh kesabaran, memberikan dorongan moril dan tak henti-hentinya mencurahkan keringat untuk masa depan putra putrinya yang lebih baik, juga untuk saudara saudariku **Asriani Basir, S.Sos** dan **Muh. Asdar B** dan keluarga besar saya yang telah memberikan dorongan dan sumbangsi kepada penulis.
2. Bapak **Dr. Ir. Sigit P. Hadiwardoyo, DEA** selaku Pembimbing skripsi dengan penuh kesabaran memberikan bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu **Ir. Ellen S.W. Tangkudung, M.Sc** dan **Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA** selaku penguji dalam seminar maupun skripsi yang telah memberikan banyak saran agar skripsi ini lebih baik lagi.

4. Ibu **Dr. Elly Tjahjono S, DEA** selaku kepala Laboratorium Struktur dan Material dan bapak **Dr. Ir. Widjoyo A Prakoso** selaku kepala Laboratorium Mekanika Tanah yang telah memberikan izin kepada saya untuk melakukan penelitian dan menggunakan alat di laboratorium yang beliau pimpin.
5. Bapak **Yudi Permana**, abah **Hanafie, Supriyadi, Teguh** dan seluruh laboran yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian di laboratorium struktur Material dan Mekanika Tanah
6. **Brinyol Team, Skalaholic, Sikopat PNUP, X10C Sipil 08 UI, Ananda Grup** dan terkhusus untuk sahabatku **Syarifa Hamida** yang telah banyak memberikan dukungan dan doa kepada saya selama ini.

Atas segala jerih payah, bimbingan dan bantuan yang tulus ikhlas diberikan, saya hanya dapat berdoa agar Allah SWT melimpahkan berkah dan rahmatnya kepada semuanya, Amin.

Harapan saya agar skripsi yang sangat sederhana ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Akhir kata saya ucapkan, Semoga Allah SWT senantiasa memberikan perlindungan kepada kita semua sebagai hambanya, Amin.

Depok, 30 Juni 2011

Muh. Asrih B

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

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

Nama : Muh. Asrih B
NPM : 0806369480
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 :

“Kontribusi Kapur dan Abu Terbang pada Campuran Cement Treated Sub Base ditinjau dari Perubahan Kuat Tekan dan Kekakuan Selama Masa Perawatan.”

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 mempublikasikan 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: 30 Juni 2011
Yang menyatakan



(Muh. Asrih B)

ABSTRAK

Nama : Muh. Asrih B
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Kontribusi Kapur dan Abu Terbang pada Campuran Cement Treated Sub Base ditinjau dari Perubahan Kuat Tekan dan Kekakuan Selama Masa Perawatan.

Cement Treated Sub Base (CTSB) adalah material lantai kerja plat beton pada perkerasan kaku. Umumnya campuran ini menggunakan semen sebagai bahan pengikat dari campuran ini. Semakin meningkatnya kebutuhan semen sebagai bahan bangunan lainnya, perlu adanya upaya penghematan penggunaan semen. Dalam penelitian ini dipertimbangkan penggunaan kapur dan abu terbang sebagai bahan tambah pada campuran CTSB.

Proses untuk menentukan kombinasi campuran antara semen, kapur dan abu terbang, uji kekuatan beton dalam penelitian ini meliputi: uji karakteristik agregat, uji kuat tekan mortar, trial mix beton, defleksi serta pertimbangan total harga bahan. Uji kuat tekan dan kekakuan dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi bahan pengikat yang memiliki kekuatan setara dengan menggunakan semen 100% sebagai bahan pengikat CTSB yaitu 40% semen, 30% kapur dan 30% abu terbang. Perubahan pencapaian kekuatan pada usia 7, 14 dan 21 hari tampak lebih lambat dibandingkan dengan 100% semen, tetapi pada usia 28 hari terjadi peningkatan yang mendekati kekuatan semen 100%. Ditinjau dari aspek harga bahan pembentuk, CTSB dengan bahan pengikat kombinasi tersebut lebih murah 17,78%, dan besar defleksi yang ditimbulkan lebih kecil 1,74 cm.

Kata kunci:
CTSB, Kapur, Abu Terbang, Kuat Tekan, Kekakuan

ABSTRACT

Name : Muh. Asrih B
Study Program : Civil Engineering
Title : Contribution of Lime and Fly Ash on Cement Treated Sub Base
in terms of Compressive Strength and Stiffness Changes during
Curing Time

Cement Treated Sub Base (CTSB) is a lean concrete as a foundation under the concrete slab on a rigid pavement. Commonly used cement as a binder of this mixture. The increasing demand for cement as other building materials, should the effort saving use of cement. In this study considered the use of lime and fly ash as an additive in a mixture of CTSB.

The process to determine the combination of a mixture of cement, lime and fly ash, concrete strength test used in this study include: testing the characteristics of aggregates, compressive strength of mortar test, trial mix concrete, deflection and consideration of material prices. Compressive strength and stiffness of the test performed at the age mix of strength 3, 7, 14, 21 and 28 days.

The results showed that the composition of the binder which has a strength equivalent to menggunakan 100% cement as a binder CTSB is 40% cement, 30% lime and 30% fly ash. Changes in attainment of strength at the age of 7, 14 and 21 days seems slower compared with 100% cement, but at the age of 28 days there was an increase of close to 100% strength cement. Judging from the price aspect, CTSB with this combinations are cheaper 17,78%, and the deflection caused a smaller 1,74 cm.

Keywords:

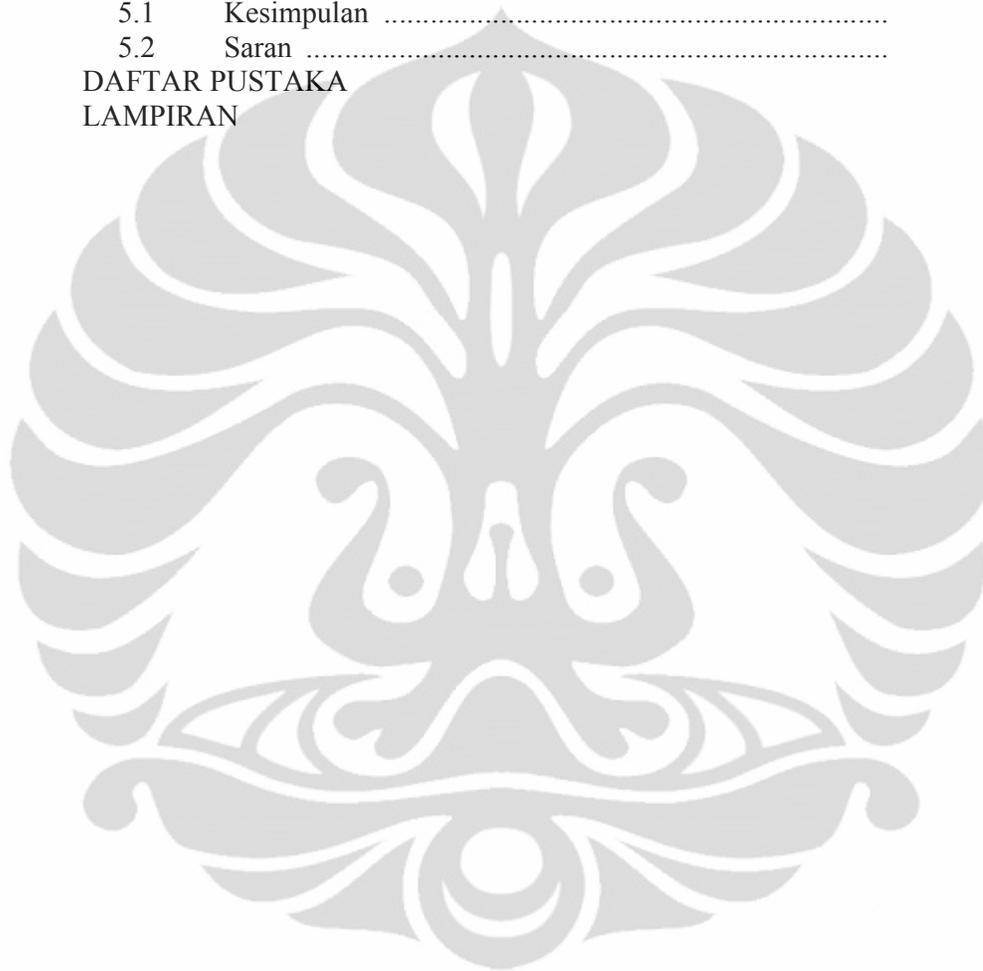
CTSB, Lime, Fly Ash, Compressive Strength, Stiffness.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINIL	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	x
ABSTRAK	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR PERSAMAAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Manfaat Penulisan	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Perkerasan Jalan	4
2.1.1 Konstruksi Perkerasan Lentur (<i>fleksible Pavement</i>)	4
2.1.2 Konstruksi Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>)	5
2.1.3 Konstruksi Perkerasan Komposit (<i>Composite Pavement</i>)	7
2.2 Tanah Dasar	8
2.2.1 Klasifikasi Tanah	9
2.2.2 Kondisi Tanah Dasar	11
2.2.3 Jenis Tanah Dasar	12
2.3 Lapis Pondasi Bawah Perkerasan Kaku (<i>Sub Base</i>)	15
2.4 Kuat Tekan Beton	17
2.5 Kekakuan Beton	18
2.6 GeoGauge	19
2.6.1 Prinsip Kerja GeoGauge	22
2.6.2 Kalibrasi Alata GeoGauge	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Metode Pengumpulan Data	26
3.1.1 Persiapan Material Pengujian	26
3.1.1.1 Semen	26
3.1.1.2 Kapur	27
3.1.1.3 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	28
3.1.1.4 Pasir	29
3.1.1.5 Batu Pecah	29

3.1.2	Pengujian Karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus dan Bahan Pengikat yang Akan Digunakan untuk Campuran Sub Base	29
3.1.2.1	Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus.....	29
3.1.2.2	Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	30
3.1.2.3	Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar	32
3.1.2.4	Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	34
3.1.2.5	Pemeriksaan Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat	36
3.1.3	Pembuatan dan Pengujian Kekuatan Mortar	37
3.1.4	Perhitungan Komposisi Campuran Beton	38
3.1.4.1	Perbandingan Campuran Beton.....	38
3.1.4.2	Prosedur Perhitungan Campuran	39
3.1.4.3	Pengujian Komposisi Campuran dengan Trial Mix	43
3.1.5	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium	45
3.1.6	Pengujian Kuat Tekan Beton	49
3.1.7	Pengujian Kekakuan Beton	50
3.2	Pengolahan Data.....	52
3.2.1	Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus.....	52
3.2.2	Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	52
3.2.3	Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar	52
3.2.4	Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	53
3.2.5	Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Halus dan Kasar.....	53
3.2.6	Kuat Tekan Beton.....	54
3.4	Metode Analisis.....	50
BAB 4	PEMBAHASAN	52
4.1	Hasil Uji Karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus, dan Bahan Pengikat	56
4.1.1	Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus.....	56
4.1.2	Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	56
4.1.3	Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar	57
4.1.4	Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	61
4.1.5	Pemeriksaan Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat	63
4.2	Pengujian Kekuatan Mortar	65
4.3	Perhitungan Komposisi Campuran Beton	67
4.3.1	Perhitungan Komposisi Campuran Beton dengan Pengikat Semen 100% (CTSB).....	67
4.3.2	Perhitungan komposisi campuran beton dengan pengikat komposisi semen, kapur dan <i>Fly ash</i>	69
4.4	Perhitungan Jumlah Kebutuhan Material dan Harga Total Material yang Digunakan dalam 1m ³ Campuran Beton.....	70
4.5	Pengujian Komposisi Campuran dengan Trial Mix	75

4.6	Pengujian Kuat Tekan Beton	77
4.7	Pengujian Kekakuan Beton	83
4.8	Defleksi	85
4.9	Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton CTSB dengan Bahan Pengikat Kombinasi Semen, Kapur, dan Abu Terbang	87
BAB 5	PENUTUP	88
5.1	Kesimpulan	88
5.2	Saran	89
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Rekomendasi Kedalaman Pemotongan	8
Tabel 2.2	Rekomendasi Stabilisasi	9
Tabel 2.3	Spesifikasi CTSB	17
Tabel 3.1	Chemical Properties Portland Composite Cement	27
Tabel 3.2	Chemical Properties Kapur Padam Tunas Putra	28
Tabel 3.3	Chemical Properties Fly Ash PLTU Suralaya	28
Tabel 3.4	Berat Untuk Setiap Gradasi Benda Uji	31
Tabel 3.5	Kapasitas Wadah	36
Tabel 3.6	Nilai slump yang direkomendasikan untuk variasi jenis konstruksi berdasarkan ACI 211.1-91	39
Tabel 3.7	Perkiraan Jumlah Air Pencampur yang Dibutuhkan dan Kandungan Udara Untuk Workabilitas yang Berbeda dan Ukuran Agregat Maksimum Berdasarkan ACI 211.1-91	40
Tabel 3.8	Hubungan antara ratio air-semen dan kuat tekan beton rata-rata, berdasarkan ACI 211.1-91	41
Tabel 3.9	Volume agregat Kasar (CA) per unit beton berdasarkan ACI 211.1-91	42
Tabel 3.10	Perkiraan pertama berat isi beton segar sesuai ACI 211.1-91	42
Tabel 3.11	Daftar Konversi Kuat Tekan Beton	50
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles	56
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus	58
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar	60
Tabel 4.4	Hasil Pengujian dan Perhitungan Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	61
Tabel 4.5	Hasil Pengujian dan Perhitungan Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	62
Tabel 4.6	Hasil Pengujian dan Perhitungan Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus	63
Tabel 4.7	Hasil Pengujian dan Perhitungan Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar	64
Tabel 4.8	Hasil Pengujian dan Perhitungan Kuat Tekan Mortar ...	66
Tabel 4.9	Jumlah Kebutuhan Material dengan Kekuatan Rencana 15 MPa.....	71
Tabel 4.10	Harga Total Material yang Digunakan dalam 1m ³ campuran Beton	72
Tabel 4.11	Tabel Kuat Tekan Trial Mix dengan Kubus 10cm x 10cm x 10cm	76

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Pengikat Semen 100%	79
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Pengikat Semen 40% + Kapur 30% + Fly Ash 30%	80
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kekakuan Beton dengan Pengikat Semen 100%	84
Tabel 4.15 Defleksi	86
Tabel 4.16 Persentase Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton CTSB dengan Bahan Pengikat Kombinasi Semen 40% + kapur 30% + Fly Ash 30%	87



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Lapis Perkerasan Lentur	4
Gambar 2.2	Lapis Perkerasan Kaku	7
Gambar 2.3	Lapis Perkerasan Komposit	7
Gambar 2.4	Mesin Tekan	17
Gambar 2.5	Perkiraan Perkembangan Kekuatan Beton	18
Gambar 2.6	Ilustrasi Nilai Kekakuan	18
Gambar 2.7	GoeGauge H-4140	19
Gambar 2.8	Detail Instrumen GoeGauge	20
Gambar 2.9	Kondisi Pasir Setelah Pengujian GeoGauge.....	20
Gambar 2.10	Alat Verifier Mass	23
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Benda Uji Pemeriksaan Kotoran Organik Agregat Halus	30
Gambar 3.3	Mesin Los Angeles	31
Gambar 3.4	Mesin Penggetar dan Satu Set Searingan	33
Gambar 3.5	Cetakan Kerucut Pasir	34
Gambar 3.6	Wadah Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar	36
Gambar 3.7	Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm	37
Gambar 3.8	Kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm	43
Gambar 3.9	Pengadukan Beton dengan Mesin.....	46
Gambar 3.10	Pengujian Slump	47
Gambar 3.11	Pemadatan Beton	48
Gambar 3.12	Pengujian Kuat Tekan	50
Gambar 3.13	Titik pengujian Kekakuan Beton dengan Geogauge..	51
Gambar 3.14	Pengujian Kekakuan Beton dengan Geogauge.....	51
Gambar 3.15	Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Terhadap Waktu	54
Gambar 3.16	Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Terhadap Waktu	55
Gambar 4.1	Grafik Analisa Saringan Agregat Halus.....	59
Gambar 4.2	Grafik harga total material yang digunakan dalam 1m ³ campuran beton dan Selisih harga dibandingkan dengan campuran semen 100%	74
Gambar 4.3	Grafik Kuat Tekan Beton Trial Mix dengan Komposisi Campuran Variasi pada Umur 3 Hari Konversi Ke 28 Hari	77
Gambar 4.4	Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Beton	81
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Kekakuan dengan Waktu	85

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	<i>Stiffness</i>	19
Persamaan 2.2	F_{dr} (Gaya yang Diberikan oleh GeoGauge)	22
Persamaan 2.3	K_{GR} (Nilai Kekakuan Tanah).....	22
Persamaan 2.4	K_{GR} (Nilai Kekakuan Tanah).....	22
Persamaan 2.5	K_{eff} (Kekakuan Efektif).....	23
Persamaan 3.1	C (Berat Satuan Semen).....	41
Persamaan 3.2	ρ (Berat Isi Beton)C (Berat Satuan Semen).....	43
Persamaan 3.3	S (Massa Agregat Halus-Metode Massa)	43
Persamaan 3.4	S (Massa Agregat Halus-Metode Volume).....	43
Persamaan 3.5	Keausan.....	52
Persamaan 3.6	Berat Benda Uji Tertahan	52
Persamaan 3.7	Persentase Kumulatif	52
Persamaan 3.8	Persentase Individu.....	52
Persamaan 3.9	Modulus Kehalusan Agregat	52
Persamaan 3.10	Berat Jenis Curah Agregat Halus (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	53
Persamaan 3.11	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan Agregat Halus (SSD)	53
Persamaan 3.12	Berat Jenis Semu Agregat Halus (<i>Apparent Specific Gravity</i>).....	53
Persamaan 3.13	Penyerapan Agregat Halus (<i>Absobsi</i>)	53
Persamaan 3.14	Berat Jenis Curah Agregat Kasar (<i>Bulk Specific Gravity</i>).....	53
Persamaan 3.15	Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan Agregat Kasar (SSD)	53
Persamaan 3.16	Berat Jenis Semu Agregat Kasar (<i>Apparent Specific Gravity</i>).....	53
Persamaan 3.17	Penyerapan Agregat Kasar (<i>Absobsi</i>)	53
Persamaan 3.18	Berat Isi Agregat (B)	53
Persamaan 3.19	Rongga Udara.....	53
Persamaan 3.20	Kuat Tekan Beton.....	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan dibuat dengan tujuan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan dalam berlalu lintas. Perkerasan jalan harus memiliki kualitas yang baik, sehingga kendaraan dapat melaju dengan lancar. Selain itu perkerasan harus mempunyai kekuatan dan ketebalan yang cukup untuk memastikan bahwa beban lalu lintas yang melewati permukaan jalan terdistribusikan dengan baik. Hal itu akan memberikan pengaruh terhadap kualitas dan umur ekonomis suatu konstruksi perkerasan jalan.

Konstruksi Perkerasan jalan raya dapat dibedakan berdasarkan bahan pengikatnya yaitu Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), dan Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*). Untuk konstruksi Perkerasan Komposit banyak digunakan untuk landasan pesawat terbang, sedangkan untuk jalan raya banyak digunakan Konstruksi Perkerasan Lentur dan Kaku. Jika dilihat kondisi lapangan, Konstruksi Perkerasan Kaku mempunyai umur ekonomis yang lebih lama dibandingkan Konstruksi Jalan Lentur. Selain itu, keuntungan menggunakan perkerasan kaku yaitu, durabilitas baik dan mampu bertahan pada banjir yang berulang, atau genangan air tanpa terjadi kerusakan yang berarti (*Silvia Sukirman, 2006*)

Di Indonesia, Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) sudah banyak digunakan, terutama untuk jalan tol dan jalan-jalan yang sering dilewati oleh kendaraan berat, atau yang lalu lintasnya cukup padat. Konstruksi Perkerasan kaku ini mempunyai lapisan yang lebih sedikit dari pada perkerasan lentur. Lapis perkerasan kaku terdiri dari tanah dasar, lapis pondasi bawah (CTSB), dan slab beton. Keawetan Slab beton yang berfungsi sebagai penahan beban lalu lintas yang lewat di atas permukaan jalan, ditentukan oleh lapis pondasi bawah yang cukup memadai. Lapis Pondasi Bawah ini berfungsi sebagai lantai kerja Slab Beton, dengan ketebalan biasanya 10 cm. Lapis pondasi bawah yang digunakan selama ini, kebanyakan dari campuran agregat dan semen sebagai bahan

pengikatnya. Namun untuk penggunaan bahan pengikat kapur dan abu terbang belum digunakan di Indonesia.

Untuk itu penulis ingin meneliti konstruksi perkerasan kaku terkhusus untuk Lapis pondasi bawah (CTSB) dengan membandingkan bahan pengikat semen 100% dan komposisi campuran bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*). Adapun judul dari penelitian ini adalah “*Kontribusi Kapur dan Abu Terbang pada Campuran Cement Treated Sub Base ditinjau dari Perubahan Kuat Tekan dan Kekakuan Selama Masa Perawatan*”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang akan ditinjau meliputi :

1. Komposisi campuran agregat dengan bahan pengikat semen 100% dan komposisi semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*) untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan kekakuan sesuai spesifikasi.
2. Nilai kuat tekan dan kekakuan untuk lapisan pondasi bawah (*sub base*) dengan bahan pengikat semen 100% dan komposisi pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan diadakannya penelitian ini yaitu untuk :

1. Menentukan komposisi campuran perkerasan lapis pondasi bawah (*sub base*) dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).
2. Mengamati perubahan nilai kuat tekan dan kekakuan minimum untuk lapis pondasi bawah (*sub base*) dengan bahan pengikat semen 100% dan komposisi bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang selama 28 hari.
3. Membandingkan nilai ekonomis dari komposisi campuran beton dengan pengikat semen 100% dan campuran beton dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).
4. Menentukan persentase keunggulan lapis pondasi bawah perkerasan kaku dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).
5. Membandingkan besarnya defleksi yang terjadi pada umur 28 hari dari komposisi campuran beton dengan pengikat semen 100% dan beton dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).

Universitas Indonesia

1.4. Manfaat Penulisan

Adapun beberapa manfaat yang diharapkan diperoleh dari hasil penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan untuk pekerjaan lapis pondasi bawah (*sub base*) dengan bahan komposisi semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).
2. Dapat memberikan gambaran komposisi proporsional lapis pondasi bawah (*sub base*) dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*) untuk mendukung lapis perkerasan yang ada di atasnya.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian tidak terlalu meluas dan memberikan arah yang terfokus, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya meninjau komposisi campuran dengan bahan pengikat semen, kapur, dan abu terbang (*fly ash*) dengan membandingkan campuran beton dengan semen 100%
2. Penelitian hanya meninjau perubahan nilai Kuat Tekan dan Kekakuan untuk lapis perkerasan berbutir *sub base* dengan bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang (*fly ash*).

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk mendistribusikan beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah, batu belah, batu kali, hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai adalah aspal, semen, tanah/tanah liat.

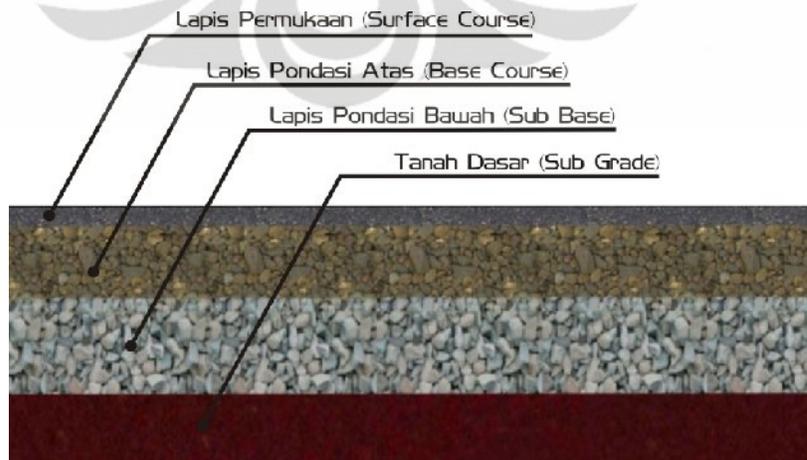
Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu konstruksi perkerasan lentur, konstruksi perkerasan kaku, dan konstruksi perkerasan komposit.

2.1.1 Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*).

Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar yang telah dipadatkan.

Lapisan-lapisan tersebut adalah :

- a. Lapisan Tanah Dasar (*Sub Grade*).
- b. Lapisan Pondasi Bawah (*Sub Base*).
- c. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)
- d. Lapisan permukaan (*Surface Course*)



Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur

2.1.2 Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*).

Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat.

Struktur Perkerasan Jalan kaku (*Rigid Pavement*) disebut juga perkerasan jalan beton semen. Dapat dilaksanakan pada kondisi daya dukung tanah dasar yang kurang baik (kecil, misal berkisar nilai 2 %), atau beban lalu-lintas yang harus dilayani relatif besar, maka dibuat solusi dengan konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) atau disebut juga perkerasan beton semen, karena bahan dasar terbuat dari beton semen.

Struktur perkerasan kaku terdiri atas pelat beton yang diletakkan pada lapis pondasi bawah yang menumpu pada tanah dasar, dengan atau tanpa lapis permukaan di atasnya. Berbeda dengan perkerasan lentur, beban lalu lintas pada perkerasan kaku sepenuhnya dipikul oleh pelat beton. Yang diterima tanah dasar relatif kecil.

Perkerasan beton semen dibedakan kedalam 5 jenis, yaitu:

- a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan = BBTT (*JUCP = Jointed Unreinforced Concrete Pavement*).
- b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan = BBDT (*JRCP = Jointed Reinforced Concrete Pavement*).
- c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan = BMDT (*CRCP = Continous Reinforced Concrete Pavement*).
- d. Perkerasan beton semen pra-tekan (*PRCP = Prestress Reinforced Concrete Pavement*).
- e. Perkerasan beton semen fibre (*FRCP = Fibre Reinforced Concrete Pavement*).

Lapis Perkerasan untuk perkerasan kaku yaitu :

- a. Elemen Tanah Dasar
- b. Elemen Lapis Pondasi Bawah.

Lapis pondasi bawah terdiri dari :

1. Pondasi bawah dengan material berbutir lepas (*Unbound Granular*), dapat berupa sirtu. Harus memenuhi persyaratan SNI 03-6388-2000 dengan

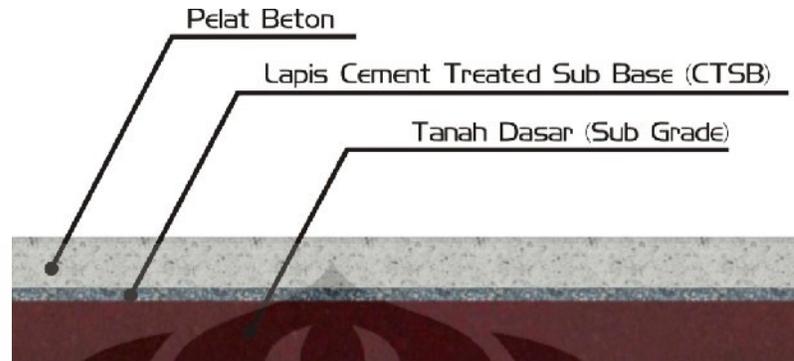
gradasi agregat minimum kelas B. Ketebalan minimum Lapis Pondasi Bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5 % adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah adalah minimum 100 %, sesuai SNI 03-1743-1989.

2. Pondasi Bawah dengan bahan pengikat (=BP) – (bound granular sub-base), dikenal dengan nama CTSB (*Cement Treated Sub Base*). Untuk penjelasan CTSB dapat dilihat di Sub Bab 2.3.
3. Pondasi bawah dengan campuran beton kurus = CBK (*Lean Mix Concrete*). CBK harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 Kg/cm²) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 Kg/cm²) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

c. Elemen Pelat Beton

Pelat beton terbuat dari beton semen mempunyai mutu tinggi, yang dicor setempat diatas pondasi bawah. Elemen pelat beton dibuat dari bahan yang bisa dipergunakan untuk konstruksi beton, seperti semen, agregat dan air.

Antara pelat dengan pondasi bawah tidak ada ikatan (*bounding*), sehingga perlu dipasang *bound breaker* diatas *sub base*. *Bound breaker* ini biasa berupa plastik tipis atau laburan bahan tertentu untuk mencegah *bounding sub base* dengan pelat diatasnya. Hal ini dilakukan untuk *sub-base* tipe *bound granular* (CTSB), namun untuk tipe *unbound* seperti sirtu tidak terlalu diperlukan *bound breaker*, karena tidak terjadi lekatan antara *sub base* dengan pelat. Kecuali ada kekhawatiran *dewatering* campuran beton dari pelat masuk kecelah-celah sirtu. Disamping itu permukaan *sub base* tidak boleh digaruk (*groove* maupun *brush*). Berbeda dengan permukaan pelat yang selalu harus digaruk untuk mendapatkan gesekan permukaan yang cukup besar (*grooving*, berupa alur memanjang atau melintang).



Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Kaku

2.1.3 Konstruksi Perkerasan Komposit (Composite Pavement).

Perkerasan komposit (*Composite Pavement*) yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.



Gambar 2.3 Lapisan Perkerasan Komposit

Dari uraian tentang konstruksi perkerasan jalan diatas, perkerasan juga harus dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, yaitu haruslah memenuhi syarat-syarat :

1. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban/muatan lalu lintas ke tanah dasar.
2. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap kelapisan dibawahnya.
3. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
4. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti. (*Hamirhan Saodang, 2005*)

2.2. Tanah Dasar (*Sub-Grade*)

Tanah dasar adalah tanah asli, atau tanah timbunan biasa, atau pilihan, yang di atasnya akan digunakan untuk susunan lapis perkerasan jalan. Tanah dasar ada beberapa jenis kondisinya, sehingga ada yang langsung dapat digunakan sebagai bagian perkerasan, dan ada yang perlu perbaikan terlebih dahulu. Dalam hal perbaikan tanah dasar, juga ada dua hal penting, yaitu tanah asli yang masih dapat digunakan, dan tanah yang harus dibuang karena keadaannya justru sangat mengganggu. Oleh karena itu, mengetahui kondisi tanah dasar, dan jenis tanah dasar adalah hal yang sangat penting dalam perancangan tebal perkerasan. Dari *Colorado Asphalt Pavement Association (CAPA)* menyebutkan batas kedalaman pemotongan lapisan tanah sebagaimana tertuang pada tabel 2.1, pedoman pemotongan atau pembuangan tanah dasar berdasarkan nilai indeks plastisitas, dan tabel 2.2 menunjukkan beberapa cara perbaikan tanah dasar. (*Pinardi Koestalam dan Sutoyo, 2010*)

Tabel 2.1 Rekomendasi Kedalaman Pemotongan (CAPA, 2000)

Indeks Plastisitas Tanah Dasar	Kedalaman Pemotongan dibawah Elevasi Normal Tanah Dasar
10 – 20	2 ft (0.61 meter)
20 – 30	3 ft (0.91 meter)
30 – 40	4 ft (1.22 meter)
40 – 50	5 ft (1.52 meter)
Lebih dari 50	6 ft (2.13 meter)

Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan, PT. MEDISA PU

Tabel 2.2 Rekomendasi Stabilisasi (CAPA, 2000)

Material Stabilisasi	Rekomendasi yang diperlukan sesuai kebutuhan kondisi lapangan
Kapur	Tanah dasar dimana potensi kembang susut tinggi dengan daya dukung relative rendah
Semen	Tanah dasar yang memiliki indeks plastisitas kurang dari 10
Aspal emulsi	Tanah dasar yang berpasir dan tidak memilki agregat halus lolos saringan 0.075 mm, atau saringan # 200.

Sumber : Perancangan Tebal Perkerasan, PT. MEDISA PU

2.2.1. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam rekayasa jalan adalah sistem *unified* dan sistem AASHTO yang didasarkan dari hasil uji laboratorium

1. Klasifikasi Sistem *Unifield*

Sistem *unifield* dikembangkan oleh casagrande, dimana tanah dibedakan dalam 3 kelompok yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar, yaitu kelompok tanah yang kurang dari 50 % lolos saringan No.200. Secara visual butir-butir tanah berbutir kasar dapat dilihat oleh mata.
- b. Tanah berbutir halus, yaitu kelompok tanah yang sama atau lebih besar dari 50 % lolos saringan No.200. Secara visual butir-butir tanah berbutir halus tidak dapat dilihat oleh mata.
- c. Tanah organik yang dapat dikenal warna, bau, dan sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung didalamnya.

Karakteristik tanah berbutir kasar ditentukan oleh ukuran butir dan gradasinya. Oleh karena itu tanah berbutir kasar dikelompokkan berdasarkan ukuran butir dan bentuk gradasinya.

Karakteristik tanah berbutir halus lebih ditentukan oleh sifat plastisitasnya dari pada ukuran butir, sehingga pengelompokan tanah berbutir halus lebih ditentukan dari sifat plastisitasnya.

2. Klasifikasi Sistem AASHTO

Secara garis besar tanah dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- a. Kelompok tanah berbutir kasar, jika kurang dari atau sama dengan 35 % lolos saringan No.200.
- b. Kelompok tanah berbutir halus, jika lebih dari 35 % lolos saringan No.200.

Kelompok tanah berbutir kasar dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu :

- a. A-1 adalah kelompok tanah bergradasi baik, yang terdiri dari batu pecah, kerikil dan pasir kasar, dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis. Kelompok tanah A-1 ini adalah kelompok tanah yang paling baik dalam menahan beban roda kendaraan, berarti paling baik sebagai lapis tanah dasar.

Berdasarkan ukuran butir yang ada maka tanah kelompok A-1 dibedakan menjadi :

- A-1-a adalah tanah kelompok A-1 yang dominan terdiri dari pecahan batu atau kerikil, ada atau tidak ada material berbutir halus.
 - A-1-b adalah tanah kelompok A-1 yang dominan terdiri dari pasir kasar, ada atau tidak ada material berbutir halus.
- b. A-3 adalah kelompok A-1 yang dominan terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir-butir yang lolos No.200 dan tidak plastis.
 - c. A-2 adalah kelompok tanah berbutir kasar yang tak dapat dikelompokkan ke dalam kelompok A-1 atau kelompok A-3, terdiri dari campuran kerikil atau pasir dengan tanah berbutir halus yang cukup banyak (tetapi kurang dari 35 %). Kelompok tanah A-2 dibedakan atas 4 sub kelompok berdasarkan batas cair dan indeks plastisitas fraksi yang lolos saringan No.40, yaitu A-2-4, A-2-5, A-2-6 dan A-2-7.

Kelompok tanah berbutir halus dikelompokkan menjadi 4 sub kelompok yaitu :

- a. A-4 adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.
- b. A-5 adalah kelompok tanah lanau dengan sifat plastis yang lebih tinggi yang ditunjukkan oleh nilai batas cair yang tinggi.
- c. A-6 adalah kelompok tanah lempung yang mengandung pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volume antara keadaan kering dan basah cukup besar.

Universitas Indonesia

- d. A-7 adalah kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis dari A-6 dan memiliki perubahan volume antara keadaan kering dan basah cukup besar. (*Silvia Sukirman, 2006*)

2.2.2. Kondisi Tanah Dasar

Kondisi tanah dasar sangat tergantung dari letak geografis, pegunungan dataran, dan lembah. Pada umumnya tanah dasar yang berada pada dataran tinggi atau pegunungan, jenis tanah berbatu, padas, dan berpasir. Sehingga kondisi demikian tidak diperlukan adanya perbaikan, bahkan kemungkinan tanah dasar tersebut dapat langsung berfungsi sebagai *base course*. Sedangkan tanah berpasir dan berbutir kasar (kerikil), dengan nilai CBR lebih dari 60%. Dapat langsung berfungsi sebagai *sub base*.

Pada kondisi daerah yang datar, umumnya jenis tanahnya adalah lempung atau lanau. Lempung bersifat reaktif, sehingga perlu perbaikan dengan bahan lain yang dapat menetralkan sifat reaktif. Lempung yang bersifat reaktif, sehingga perlu perbaikan dengan bahan lain yang dapat menetralkan sifat reaktif umumnya memiliki daya kembang susut tinggi (*expansive soil*). Adapun bahan yang dapat menetralkan sifat reaktif lempung adalah kapur. Apabila kondisi lapangan memungkinkan untuk diadakannya timbunan material baru (*selected material*, CBR rata-rata 25%) akan lebih baik lagi, karena timbunan yang tinggi, lebih dari 1,50 meter, sudah dapat menetralkan kekuatan *expansive soil*, dan penyebaran beban kendaraan menjadi relatif kecil.

Pada daerah lembah, rawa-rawa, lokasi pasang surut air laut, dan lokasi sungai, sudah dapat dipastikan tebal humus lebih dari 1,5 meter. Pada kondisi ini, humus harus dikupas, atau didesak (didorong) dengan material pilihan (*selected*), sehingga kedudukan humus akan digantikan oleh material pilihan. Dalam kondisi demikian berarti elevasi tanah keras (tanah baik) berada jauh dari permukaan ± 10 meter bahkan lebih, sehingga diperlukan perbaikan berupa cerucuk (dolken diameter > 12 cm), dengan jarak dan kedalaman tertentu, sesuai kondisi beban yang terjadi, sebagai upaya perbaikan tanah dasar.

Pada umumnya lokasi demikian ini akan terjadi penurunan (*settlement*) dalam waktu yang relatif lama, dengan kedalaman tertentu sehingga elevasi perkerasan harus sudah diantisipasi. Pada pembangunan jalan baru, penurunan

Universitas Indonesia

akan terjadi serentak selebar melintang perkerasan. Sedangkan pada pelebaran jalan, hal ini harus mendapat perhatian khusus agar perbedaan elevasi antara lajur pelebaran dan *existing* dapat terjaga aman dari terjadinya beda tinggi *existing* dan lokasi pelebaran, agar tetap nyaman bagi pengguna jalan. karena dalam 1 sampai 2 tahun awal, akan terjadi penurunan pada lajur pelebaran yang relatif lebih besar. Sebagai gambaran bahwa pada daerah terjadi sampai pada kedalaman 1,20 meter s/d 1,40 meter selama 23 tahun, terutama pada lokasi tambak dan rawa.

Pada daerah datar dan lembah, perencanaan perlu memperhatikan terjadinya *pumping area*, karena hal ini dapat memompakan lumpur, atau lumpur menuju kelapis pondasi, bahkan kelapis permukaan perkerasan beraspal. Apabila tebal timbunan kurang dari 1 meter, direkomendasikan menggunakan bahan pemisah lumpur (lempung) dengan geomembran *non woven*, sehingga kedap lumpur. Dengan demikian, pada saat terjadi *pumping*, lumpur tidak akan terpompa kelapis pondasi permukaan. Salah satu contoh perbaikan tanah dasar pada daerah rawa dan tambak, yang pernah dilakukan adalah dengan cerucuk (*dolken*), sesek dan geomembran sebagai lapis kedap air serta timbunan dengan material pilihan lebih dari 1 meter. (Pinardi Koestalam dan Sutoyo, 2010)

2.2.3. Jenis Tanah Dasar

Beberapa jenis tanah dasar yang sering dijumpai dilapangan, khususnya di Indonesia adalah :

1. Pasir
2. Tanah berbatu
3. Kerikil / pasir-batu
4. Tanah sangat lunak
5. Tanah kembang susut

Pada tanah jenis pasir, kerikil, dan batuan tidak diperlukan perbaikan atau perkuatan, bahkan dapat mengurangi atau meniadakan tebal lapis *sub base*. Namun pada tanah sangat lunak, dan tanah kembang susuttinggi diperlukan perbaikan atau perkuatan tertentu, agar tidak merusak susunan lapis perkerasan di atasnya. Perbaiki tanah dasar dengan bahan kimia bersifat menambah daya dukung, sedangkan perbaikan dengan pemancangan dolken bersifat memperluas

daerah sentuh, sehingga tegangan yang terjadi akan lebih kecil, kerana beban yang ada terbagi oleh daerah sentuh yang lebih kuat.

Data tanah yang menjadi variabel perhitungan tebal perkerasan adalah :

1. CBR (*California Bearing Ratio*)
2. *Modulus Resilien* (MR)
3. Modulus reaksi tanah dasar (k)

Dalam struktur perkerasan beton semen, tanah dasar hanya dipengaruhi tegangan akibat beban lalu lintas dalam jumlah relatif kecil, akan tetapi daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan kaku.

Untuk memperoleh daya dukung dan keseragamannya maka dalam pelaksanaan konstruksi perlu diperhatikan faktor-faktor : kadar air pematatan (harus pada kondisi air optimum), kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan.

Daya dukung tanah dasar pada konstruksi perkerasan beton semen, ditentukan berdasarkan nilai CBR insitu sesuai dengan SNI 03-1731-1989, atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989. dapat juga didasarkan modulus *Subgrade Reaction* (k). Bila dibandingkan fungsi tanah dasar pada perkerasan lentur, secara relatif fungsi tanah dasar pada perkerasan kaku (beton semen), tidak teralu menentukan dalam arti kata bahwa perubahan besarnya daya dukung tanah dasar tidak berpengaruh terlalu besar terhadap ketebalan pelat beton. Dapat disimak pada Road Note 29 (TRLL-UK) dinyatakan bahwa untuk tanah dasar dengan nilai CBR 2 % sampai dengan 15 %, tebal pelat beton dinyatakan sama tebal. (*Pinardi Koestalam dan Sutoyo, 2010*)

2.2.4. Perbaikan Tanah Dasar (Stabilisasi)

Tanah dasar sangat bervariasi jenis dan propertiesnya, sehingga perlu diketahui secara pasti kondisi tersebut, guna mendapatkan variabel perancangan yang tepat dan akurat. Karena tanah dasar adalah sebagai pijakan lapis konstruksi perkerasan, sehingga harus diketahui secara tepat agar dalam menempatkan pondasi benar-benar tidak terjadi kerusakan akibat kinerja tanah dasar tersebut. Menurut teori klarifikasi teknis, bahwa jenis tanah terdiri atas tanah kerikil, pasir lanau dan lempung.

Batu kerikil dan pasir umumnya disebut sebagai tanah berbutir kasar dan kondisi secara teknis memiliki tingkat daya dukung yang relatif bagus, sehingga apabila dilapangan dijumpai jenis tanah tersebut, tidak perlu lagi ada perbaikan tanah dasar, bahkan sangat memungkinkan dapat mengurangi tebal konstruksi perkerasan secara keseluruhan.

Untuk tanah lempung dan lanau termasuk dalam kategori tanah berbutir halus, hanya saja lempung lebih halus yaitu dengan ukuran butir $< 0,002$ mm, sedangkan lanau berkisar $0,002$ mm – $0,06$ mm. Untuk jenis tanah dengan kadar lempung tinggi, memiliki daya dukung yang relatif rendah, sehingga perlu ada perbaikan tanah dasar. Apabila relatif rendah, sehingga perlu ada perbaikan tanah dasar. Apabila tanah dasar mengandung kadar lempung tinggi, dan tidak terendam air, perbaikan tanah dapat dengan menggunakan bahan pengikat seperti semen, dan kapur, bahkan aspal jenis tertentu. Sedangkan untuk tanah yang selalu terendam air, misalnya tanah rawa dan bekas sungai, yang akan dijadikan sebagai badan jalan, sistem perbaikannya dapat menggunakan dolken, sesek dan bahan geosintetis yang berfungsi sebagai pemisah antara tanah lunak dengan tanah timbunan. Pemberian perkuatan serta perbaikan tanah ini dikenal dengan istilah Stabilisasi Tanah. Tujuan dilakukan stabilisasi tanah yaitu untuk :

- Perbaikan mutu tanah yang tidak baik
- Meningkatkan mutu dari tanah yang sebenarnya sudah tergolong baik.

Pada prinsipnya sistem perbaikan tanah dasar ada dua macam, yaitu dengan cara mekanis dan cara kimiawi. Cara mekanis dapat dilakukan dengan pemadatan bila memungkinkan, penimbunan bila ada tuntutan elevasi permukaan karena daerah rawan banjir, dan penanaman dolken bila kedalaman lapis tanah lunak lebih dari 5 meter yang kondisinya selalu terendam air, sedangkan ketinggian elevasi permukaan dibatasi.

Adapun cara kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan kimia atau bahan lainnya yang bersifat menetralkan sifat reaktif lempung organik yang terkandung dalam material tanah dasar. Contoh bahan kimia yang umumnya digunakan sebagai adiktif untuk meningkatkan kinerja tanah dasar adalah semen, kapur dan aspal. Hanya saja proses pencampurannya perlu ada metode atau cara yang benar agar terjadi tingkat keseragaman yang tinggi. Cara ini digunakan

Universitas Indonesia

apabila sangat sulit didapatkan material timbunan, atau untuk jenis konstruksi yang tidak memerlukan tingkat kekuatan yang tinggi.

Belum ada spesifikasi yang mengatur secara jelas tentang bagaimana cara untuk menentukan ketebalan lapis yang akan diberikan bahan-bahan kimia tersebut. Secara teori bahwa penambahan bahan kimia adalah untuk membuat lapisan tanah dasar tersebut tidak reaktif, dan mampu menahan butir halus lapis tanah dasar yang akan terpompa keatas oleh proses *pumping* akibat beban lalu lintas. Sehingga kedalaman diperkirakan adalah 20 cm - 30 cm, dengan porsi kadar bahan pengikat (3-5) %. Sifat bahan tambahan ini adalah mengikat beberapa butir halus lempung untuk bersenyawa menjadi butiran yang lebih besar. Senyawa-senyawa ini saling berdampingan sehingga memiliki daya dukung yang lebih tinggi, dan dapat berfungsi sebagai lapis penyaring terhadap butiran halus lempung yang berada dibawahnya.

- Stabilisasi dengan Cement.
Stabilisasi dengan menggunakan *Portland Cement* (PC) yang ditambahkan ke tanah yang sudah dibuat *pulverized*.
- Stabilisasi dengan kapur (*Lime Stabilization*).
Lime yang digunakan pada stabilisasi tanah adalah *Lime Stone* (CaCO_3), *Dolomite* (MgCO_3), *High Calcium lime* dan *Dolomitic Lime*. *High Calcium Lime* dan *Dolomitic Lime* telah berhasil dipakai untuk stabilisasi pada tanah.
- Stabilisasi dengan abu terbang (*fly ash*)
Keuntungan menggunakan fly ash pada aplikasi *Geotechnical Engineering*, seperti soil improvement untuk konstruksi jalan atau konstruksi *embankment* adalah dari segi ekonomi, lingkungan, selain mengurangi *shrinkage-cracking* problem pada penggunaan semen saja sebagai bahan stabilisasi. (Pinardi Koestalam dan Sutoyo, 2010)

2.3. Lapis Pondasi Bawah Perkerasan Kaku (*Cement Treated Sub Base*)

Pondasi Bawah dengan bahan pengikat (=BP) – (*bound granular sub-base*) atau yang dikenal dengan nama CTSB (*Cement Treated Sub Base*). CTSB merupakan lantai kerja dari slab beton. Material yang dapat digunakan sebagai salah satu dari :

1. Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat sesuai rancangan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Bahan pengikat dapat berupa semen (*cement*), kapur (*lime*), abu terbang (*fly ash*), atau *slag* yang dihaluskan.
2. Campuran beraspal bergradasi rapat (*Dense-Graded Asphalt*).
3. Campuran beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*) yang mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm²).

Element *Cement Treated Sub-Base* (CTSB).

1. Semen
Semen yang digunakan untuk CTSB adalah *Portland cement* biasa, sesuai dengan persyaratan SII. 0013-77 “*Cement Portland*” atau AASHTO M 85 (*Portland Semen Type I*).
2. Agregat
Agregat untuk CTSB, harus bebas dari bongkah tanah lempung, kotoran, unsur organik, atau unsur lain yang merugikan dan harus berkualitas, sedemikian rupa sehingga akan membentuk suatu lapisan CTSB yang kuat dan stabil. Agregat yang digunakan ini disini yaitu batu pecah dan pasir dengan ukuran yang sesuai dengan spesifikasi.
3. Air
Air yang digunakan untuk mencampur, merawat atau pemakaian lain, harus bebas dari minyak, garam asam, alkali, gula, tumbuhan atau bahan lain yang merugikan hasil akhir.
4. Bahan campuran CTSB
Perencanaan campuran harus memberikan perbandingan komposisi agregat, dengan beberapa kadar semen dan kadar air optimum, yang memberikan hasil sesuai dengan mutu beton yang diinginkan. Kekuatan campuran minimum, pada umur 28 hari, tidak kurang dari 75 kg/cm².

Tabel 2.3 Spesifikasi CTSB

Uraian	Persyaratan
Analisa Saringan	% lolos saringan dalam berat ⁽¹⁾
1. Urutan Ayakan:	
1 ½ “	95-100
¾ “	50-100
No. 8	20-60
No. 200	0-15
2. Indeks plastis ⁽²⁾	Max 9
3. Kadar semen ⁽³⁾	± 6 %

Sumber : Spesifikasi Umum Departemen PU 2010

Catatan :

- (1) Analisa ayakan agregat harus dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-1990.
- (2) Dilakukan pada contoh-contoh yang sesuai dengan SNI 03-1975-1990 dan dipakai untuk agregat sebelum pencampurannya dengan bahan pencampur untuk kestabilan.
- (3) Persentase terhadap kering tanah.

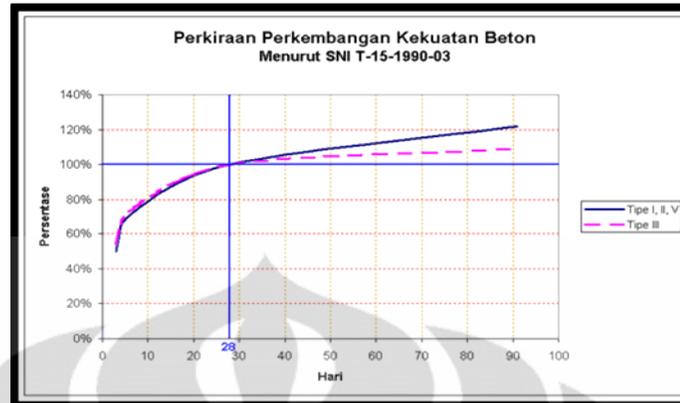
2.4. Kuat Tekan Beton

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. Dengan kata lain, nilai kuat tekan adalah nilai kekuatan maksimum yang dapat diterima oleh beton. Nilai kuat tekan didapat dengan melakukan pengujian kuat tekan beton dengan mesin tekan (*crushing machine*) seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Mesin Tekan

Menurut SNI T-151990-03, Perkiraan persentase kekuatan beton akan mencapai 100% pada umur 28 hari (gambar 2.5)



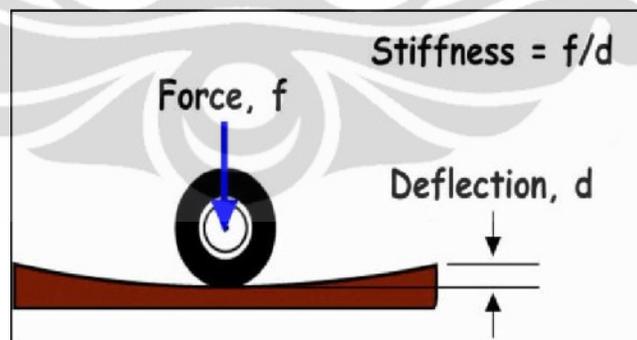
Gambar 2.5 Perkiraan Perkembangan Kekuatan Beton

Sumber : SNI T-15-1990-03

2.5. Kekakuan Beton

Nilai kekakuan beton dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada permukaan beton dengan besarnya defleksi pada permukaan beton. Kekakuan beton menggambarkan besarnya defleksi yang terjadi akibat gaya yang diberikan terhadap beton. Gaya disini dapat ditimbulkan oleh kendaraan yang lewat diatas jalan tersebut.

Nilai kekakuan beton didapatkan dengan memberikan gaya sebesar F pada permukaan beton. Sebagai akibat pemberian gaya " F ", beton akan mengalami defleksi sebesar " d ".



Gambar 2.6 Ilustrasi Nilai Kekakuan

sumber : GeoGauge User Guide

Dengan melakukan perbandingan antara F dan d maka nilai kekakuan tanah dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Stiffness} = \frac{F}{d} \quad (\text{Pers. 2.1})$$

Dimana:

- Stiffness = nilai kekakuan beton (N/m)
- F = gaya pada permukaan beton (N)
- d = defleksi yang terjadi (m)

Nilai kekakuan pada beton lebih besar jika dibandingkan dengan aspal, karena mempunyai derajat elastisitas yang tinggi.

2.6. GeoGauge

GeoGauge merupakan alat yang diproduksi oleh Humboldt Mfg.Co. USA. yang digunakan untuk menentukan nilai kekakuan dan modulus dari tanah dan agregat. GeoGauge model H-4140 mempunyai berat 10 kg dan berdiameter 280 mm (11") dengan tinggi 255 mm (10") tanpa gagang. GeoGauge dapat bekerja pada temperatur sekitar 0°C – 38°C.

GeoGauge mampu mengukur nilai kekakuan tanah pada jarak 220 – 310 mm (9 – 12 in) dari permukaan material yang akan di uji.

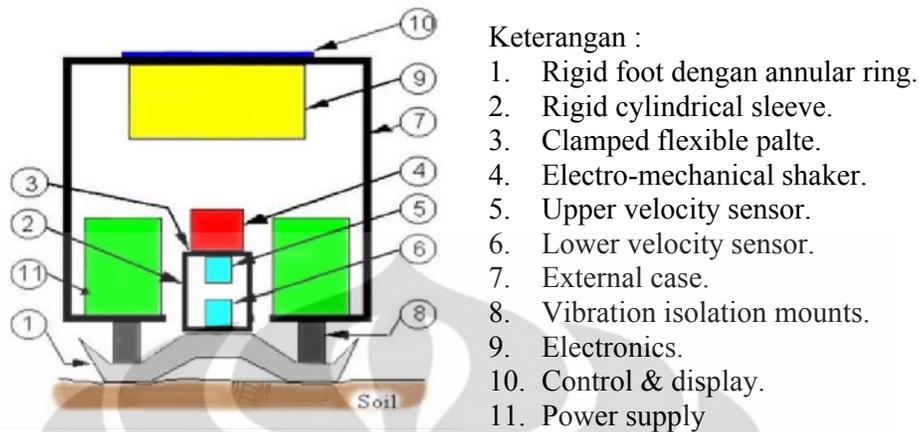


Gambar 2.7 GoeGauge H-4140

sumber : GeoGauge User Guide

GeoGauge memiliki memori yang mampu menyimpan data hingga 100 pengukuran. Geogauge memiliki 2 baterai sebagai sumber tenaga yang mampu melakukan pengukuran hingga 1500 pengukuran.

Universitas Indonesia



Gambar 2.8 Detail Instrumen GeoGauge

Sumber : GeoGauge User Guide

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian GeoGauge adalah : GeoGauge harus memiliki kontak yang sempurna dengan permukaan benda uji (permukaan benda uji harus benar-benar rata). Salah satu kelemahan GeoGauge adalah tidak mampu bekerja dengan akurat bila permukaan benda uji terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal ini maka di atas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan GeoGauge. Fungsi pasir tersebut selain sebagai dudukan GeoGauge juga sebagai alat ukur apakah GeoGauge melakukan pengukuran dengan akurat atau tidak. Bila pada permukaan pasir yang telah dilakukan pengujian GeoGauge terbentuk lingkaran penuh, maka GeoGauge telah melakukan pengukuran dengan akurat seperti gambar 2.9.



Gambar 2.9 Kondisi Pasir Setelah Pengujian GeoGauge

Sumber : GeoGauge User Guide

Berikut adalah beberapa keuntungan dan kelemahan menggunakan GeoGauge H-4140.

Keuntungan:

1. Dimensi dan berat GeoGauge yang tidak terlalu besar menyebabkan alat ini mudah dibawa ke dalam lokasi proyek.
2. Prosedur penggunaan alat ini simpel dan tidak rumit.
3. Geogauge hanya membutuhkan waktu selama 75 detik untuk melakukan pengukuran terhadap nilai kekakuan dan modulus tanah.
4. GeoGauge menimbulkan defleksi pada permukaan tanah sebesar $< 1,27 \times 10^{-6}$ m, sehingga penggunaan GeoGauge tidak menimbulkan kerusakan pada permukaan tanah yang di uji.
5. GeoGauge tidak terpengaruh oleh suara dan getaran yang ditimbulkan pada pekerjaan konstruksi.
6. GeoGauge dilengkapi memori yang dapat menyimpan data yang memungkinkan dapat dilakukan pengujian sebanyak 100 kali dalam satu hari.
7. Data hasil pengukuran dapat ditransfer dari GeoGauge kekomputer untuk analisis lebih lanjut.
8. GeoGauge dilengkapi dengan Verifer Mass yang digunakan untuk mengkalibrasi GeoGauge sehingga keakuratan data hasil pengujian dapat dijaga dengan baik.

Kelemahan:

1. GeoGauge hanya mampu mengukur nilai kekakuan suatu material hingga 70 MN/m. Bila dilakukan pengukuran terhadap material yang nilai kekakuannya diatas 70 MN/m maka hasilnya tidak akurat.
2. GeoGauge tidak dapat melakukan pengukuran terhadap material yang permukannya terlalu padat atau keras. Untuk mengatasi hal tersebut maka diatas permukaan benda uji diletakkan pasir yang kondisinya tidak terlalu basah sebagai dudukan GeoGauge.

2.6.1. Prinsip Kerja GeoGauge

Prinsip kerja dari GeoGauge adalah alat ini memberikan gaya sebesar F pada permukaan tanah dengan melakukan getaran sebanyak 7400 kali. Lalu nilai kekakuan material dan modulus material dan agregat di ukur dari impedansi dari getaran GeoGauge pada permukaan material. Gaya yang diberikan oleh GeoGauge dan ditransfer ke permukaan material dapat diperhitungkan sebagai berikut:

$$F_{dr} = K_{flex} (X_2 - X_1) + \omega^2 m_{int} X_1 \quad (Pers. 2.2)$$

dimana:

- F_{dr} = gaya yang diberikan oleh GeoGauge (N)
- K_{flex} = nilai kekakuan dari *flexible plate* (MN/m)
- X_1 = displacement pada bagian *rigid foot* dari GeoGauge (m)
- X_2 = displacement yang terjadi pada *flexible plate* (m)
- ω = $2\pi f$, dimana f adalah frekuensi (Hz)
- m_{int} = berat dari komponen dalam, (kg)

Pada frekuensi saat pengoperasian (antara 100 – 196 Hz), nilai kekakuan material dapat ditentukan dari impedansi yang terjadi, yaitu:

$$K_{gr} = \frac{F_{dr}}{X_1} \quad (Pers. 2.3)$$

dimana:

- K_{gr} = nilai kekakuan material
- F_{dr} = gaya yang diberikan GeoGauge (N)
- X_1 = displacement pada bagian rigid foot dari GeoGauge (m)

Sehingga nilai kekakuan material dapat ditentukan sebagai berikut :

$$K_{GR} = K_{eff} \frac{\sum_1^n \left(\frac{(X_2 - X_1)}{X_1} \right)}{n} \mid \frac{\sum_1^n \omega^2 m_{int}}{n} = K_{eff} \frac{\sum_1^n \left(\frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \right)}{n} \mid \frac{\sum_1^n \omega^2 m_{int}}{n} \quad (Pers. 2.4)$$

dimana :

- n = banyaknya frekuensi yang digunakan
- V_1 = kecepatan pada *rigid annular foot* (m/s)
- V_{12} = kecepatan pada *flexible plate* (m/s)

2.6.2. Kalibrasi Alat GeoGauge

Untuk menjaga keakuratan data hasil pengukuran maka setidaknya setiap sebelum melakukan pengujian atau setidaknya setiap 12 bulan GeoGauge harus dikalibrasi.



Gambar 2.10 Alat Verifier Mass
Sumber : GeoGauge User Guide

Untuk melakukan kalibrasi pada GeoGauge digunakan alat yang dinamakan Verifier Mass (gambar 2.10). Verifier Mass memiliki berat 10 kg sehingga cukup ringan untuk dibawa ke lokasi proyek. Cara untuk mengkalibrasi GeoGauge yaitu dengan meletakkan Geogauge diatas Verifier Mass lalu lakukan sebanyak 5 kali pengukuran. Nilai *stiffness* yang didapat harus berada diantara - 8.6 sampai - 9.8 MN/m. Jika hasilnya di luar kisaran nilai tersebut maka sebaiknya GeoGauge tidak digunakan sebab kemungkinan terjadi kerusakan pada GeoGauge dan hasil pengukurannya tidak akurat.

Prinsip kalibrasi :

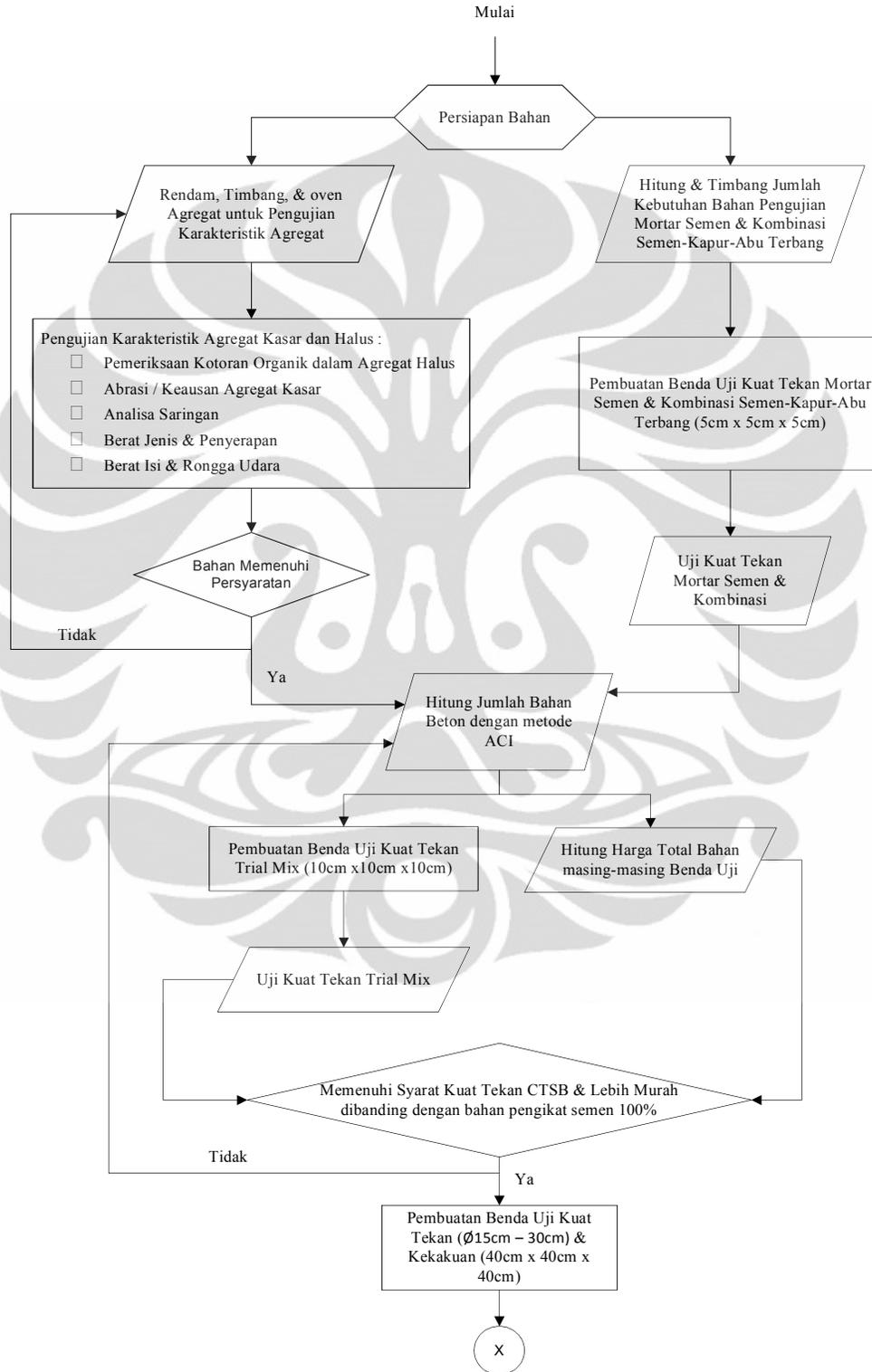
$$K_{eff} = \frac{\sum_1^n \omega^2}{n}$$

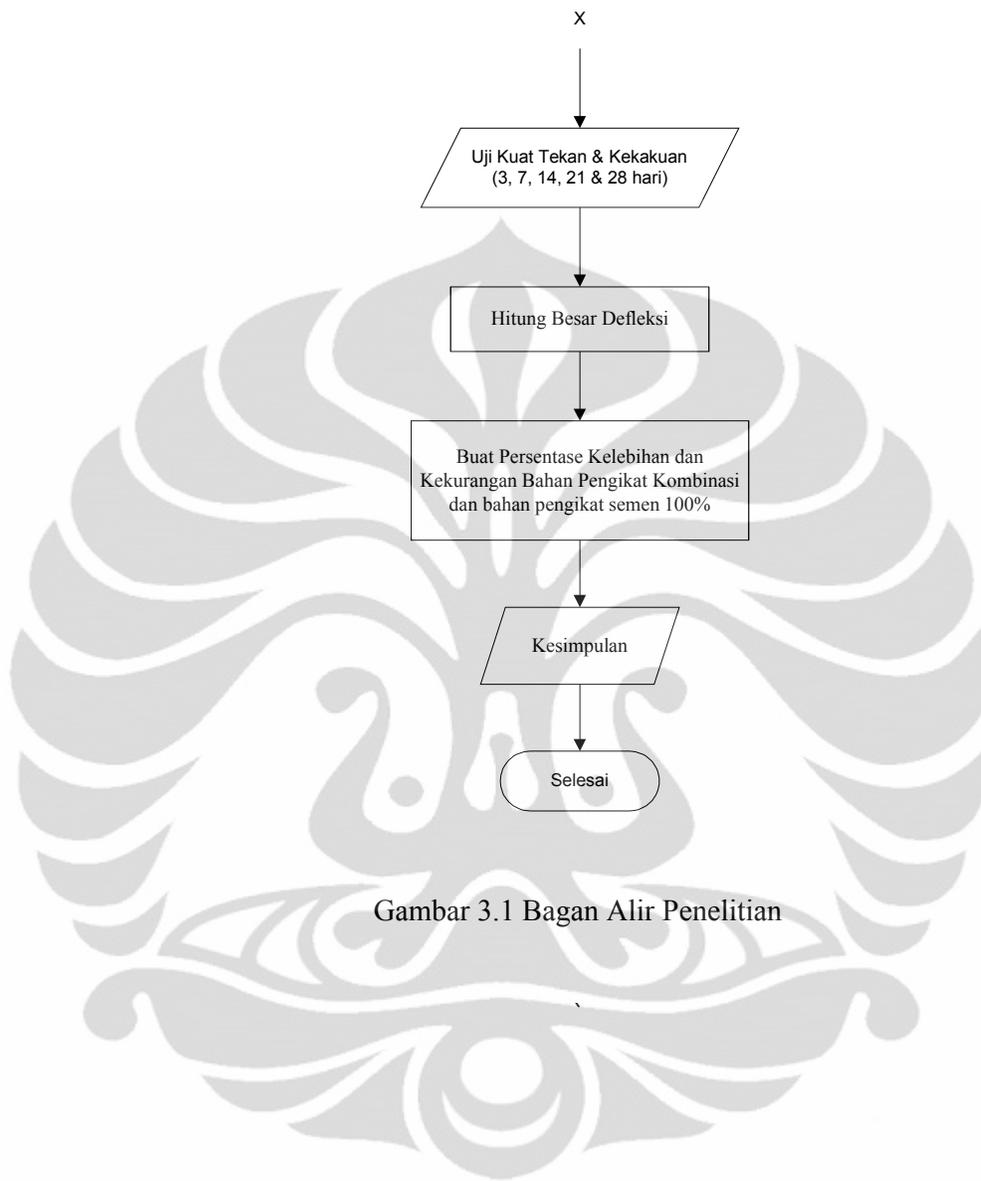
(Pers. 2.5)

dimana :

- K_{eff} = kekakuan efektif (MN/m)
- n = banyaknya frekuensi yang diggunakan
- M = berat (kg)
- ω = $2\pi f$, dimana f adalah frekuensi (Hz)

BAB 3 METODE PENELITIAN





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.1. Metode Pengumpulan Data

Pengujian kuat tekan beton dan kekakuan dilakukan untuk melihat perubahan kuat tekan dan kekakuan beton mulai umur 3 hari hingga umur 28 hari dengan beberapa tahap kegiatan.

3.1.1. Persiapan Material Pengujian.

Persiapan Material Pengujian CTSB dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok dan Pengujian *Chemical Properties* bahan pengikat di Laboratorium Material Science FMIPA UI Salemba, Jakarta. Material yang digunakan sebagai bahan komposisi campuran dalam penelitian ini adalah material yang persediaannya masih banyak tersedia dalam yang dapat digunakan dalam produksi yang besar. Material yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah *Portland Composite Cement* Tiga Roda, Kapur Padam (CaOH_2), Abu Terbang (*Fly Ash*), Pasir, dan Batu Pecah.

3.1.1.1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland* Tiga Roda Tipe *Portland Composite Cement* (PCC) yang diproduksi PT. Indocement. Semen Tiga Roda Tipe PCC adalah *Portland Cement* yang baru diproduksi oleh PT. Indocement sebagai pengganti *Portland Cement* Type I. *Portland Cement* tipe PCC ini mudah didapatkan karena banyak dijumpai/tersedia di pasaran/di Toko-toko bahan bangunan di Indonesia khususnya di wilayah Jakarta dan Jawa Barat. Semen Tipe PCC ini dikemas dengan karung kertas dengan berat 50 kg/zak.

Semen Tipe PCC ini telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Berdasarkan hasil tes laboratorium yang telah dilakukan oleh PT. Indocement di bawah pengawasan KAN tersebut diperoleh *Chemical Properties* Semen Tiga Roda Tipe PCC seperti yang tertera pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Chemical Properties Portland Composite Cement

Chemical Properties		Hasil Test
1. Silicon dioxide	SiO ₂	23,32 %
2. Aluminium dioxide	Al ₂ O ₃	6,40 %
3. Ferric Oxide	Fe ₂ O ₃	3,06 %
4. Calcium Oxide	CaO	56,28 %
5. Magnesium Oxide	MgO	3,14 %
6. Sulfur Trioxide	SO ₃	1,70 %
7. Water-Soluble Alkalies		0,25 %
8. Ignition Loss	LOI	4,41 %
9. Insoluble Residue	IR	8,60 %
10. Freelite	FCaO	0,81 %
11. Tricalcium Aluminate	C ₂ A	7,32 %
12. Tricalcium Aluminate	3 CaO.Al ₂ O ₃	7,90 %
13. Chromium 6+	Cr 6+	1,41 ppm

Sumber : Cement Test Certificate Indocement

3.1.1.2. Kapur

Kapur yang digunakan dalam komposisi campuran penelitian ini adalah Kapur Tunas Putra tipe Kapur Padam (CaOH₂) yang diproduksi oleh home industri CV. Bukit Al-Hijr Padalarang, Bandung Barat, Jawa Barat. Kapur tipe ini dikemas dalam Karung Serat Plastik dengan berat 25 kg/karung.

Berdasarkan hasil tes material dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) yang dilakukan di Laboratorium Material Science FMIPA UI Salemba diperoleh *Chemical Properties* dari kapur padam yang digunakan dalam penelitian tertera dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 Chemical Properties Kapur Padam Tunas Putra

Chemical Properties		Hasil Test
1. Aluminium dioxide	Al ₂ O ₃	0,44 %
2. Silicon dioxide	SiO ₂	1,39 %
3. Chlorine Heptaoxide	Cl ₂ O ₇	3,61 %
4. Calcium Oxide	CaO	94,19 %
5. Ferric Oxide	Fe ₂ O ₃	0,37 %

Sumber : Test XRF Laboratorium Material Science FMIPA UI

3.1.1.3. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu Terbang (*Fly Ash*) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari sisa pembakaran batu bara di PLTU Suralaya Tangerang, Banten. Di Malang dan Surabaya Jawa Timur *Fly ash* sudah diproduksi dalam kemasan untuk digunakan dalam jumlah yang banyak.

Berdasarkan hasil tes material dengan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) yang dilakukan di Laboratorium Material Science FMIPA UI Salemba diperoleh *Chemical Properties* dari *Fly Ash* yang digunakan untuk penelitian tertera dalam tabel 3.3.

Tabel 3.3 Chemical Properties Fly Ash PLTU Suralaya

Chemical Properties		Hasil Test
1. Magnesium Oxide	MgO	2,18 %
2. Aluminium dioxide	Al ₂ O ₃	20,80 %
3. Silicon dioxide	SiO ₂	46,22 %
4. Sulfur	S	0,24 %
5. Kalium Oxide	K ₂ O	0,77 %
6. Calcium Oxide	CaO	5,95 %
7. Titanium dioxide	TiO ₂	2,05 %
8. Mangan dioxide	MnO ₂	0,73 %
9. Ferric Oxide	Fe ₂ O ₃	20,83 %
10. Stronsium Oxide	SrO	0,22 %

Sumber : Test XRF Laboratorium Material Science FMIPA UI

3.1.1.4. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir sungai yang diambil dari Cimangkok Sukabumi, Jawa Barat.

3.1.1.5. Batu Pecah

Batu Pecah yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang dibeli di toko material.

3.1.2. Pengujian Karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus dan Bahan Pengikat yang Akan Digunakan untuk Campuran Sub Base

Pengujian karakteristik agregat ini terdiri dari pemeriksaan kotoran organik dalam agregat halus, pengujian abrasi/keausan agregat kasar, analisa saringan, berat jenis dan penyerapan agregat dan pengujian berat isi.

3.1.2.1 Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus

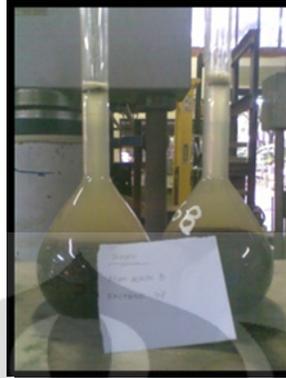
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan adanya bahan organik dalam pasir alam yang akan digunakan sebagai bahan campuran mortar atau beton. Kotoran organik adalah bahan-bahan organik yang terdapat didalam pasir dan menimbulkan efek merugikan terhadap mutu mortar beton. Pasir yang akan diuji yaitu sebanyak 115 ml (kira-kira $\frac{1}{3}$ isi botol).

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu :

1. Botol gelas tidak berwarna mempunyai tutup dari karet, gabus atau lainnya yang tidak larut dalam larutan NaOH, dengan isi sekitar 350 ml.
2. Standar warna (*organic plate*)
3. Larutan NaOH.

Berikut langkah untuk pemeriksaan kotoran organik dalam agregat halus :

1. Masukkan benda uji ke dalam botol.
2. Tambahkan larutan NaOH 3%. Setelah dikocok isinya harus mencapai kira-kira $\frac{2}{3}$ isi botol.
3. Tutuplah botol, lalu kocok lagi kuat-kuat dan biarkan selama 24 jam.
4. Setelah 24 jam bandingkan warna cairan yang terlihat diatas benda uji dengan warna standar no.3



Gambar 3.2 Benda Uji Pemeriksaan Kotoran Organik Agregat Halus

3.1.2.2 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus awet saringan No.12 terhadap berat semula, dalam persen. Untuk pengujian ini, dibutuhkan agregat kasar dengan berat sesuai gradasi benda uji pada tabel 3.4 lalu bersihkan benda uji dan keringkan dalam oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu :

1. Mesin Los Angeles (gambar 3.3) ; mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm (26") panjang dalam 50 cm (20"). Silinder tertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar. Silinder berlubang untuk memasukkan benda uji. Penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder bilah baja melintang penuh setinggi 8,9 cm (3,56").
2. Saringan No.12 dan saringan-saringan lainnya seperti tercantum dalam Tabel 3.4.
3. Timbangan dengan ketelitian 5 gram.
4. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1,84") dan berat masing-masing antara 390 gram sampai 445 gram.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.

Tabel 3.4. Berat Untuk Setiap Gradasi Benda Uji

Ukuran Saringan		Berat dengan Gradasi Benda Uji (gram)						
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A	B	C	D	E	F	G
76,2	63,5	-	-	-	-	2500	-	-
63,5	50,8	-	-	-	-	2500	-	-
50,8	38,1	-	-	-	-	5000	5000	-
38,1	25,4	1250	-	-	-	-	5000	5000
25,4	19,05	1250	-	-	-	-	-	5000
19,05	12,7	1250	2500	-	-	-	-	-
12,7	9,51	1250	2500	-	-	-	-	-
9,51	6,35	-	-	2500	-	-	-	-
6,35	4,75	-	-	2500	-	-	-	-
4,75	2,36	-	-	-	5000	-	-	-
Jumlah Bola		12	11	8	6	12	12	12
Berat bola		5000± 25	4584± 25	3330± 25	2500± 25	5000± 25	5000± 25	5000± 25

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI



Gambar 3.3 Mesin Los Angeles

Prosedur untuk pemeriksaan keausan agregat dengan mesin Los Angeles yaitu:

1. Benda uji dan bola-bola baja dimasukkan kedalam mesin Los Angeles.
2. Putar mesin dengan kapasitas 30 sampai 33 rpm, 500 putaran untuk gradasi A, B, C dan D; 1000 putaran untuk gradasi E, F dan G.

3. Setelah selesai pemutaran, benda uji dikeluarkan dari mesin kemudian saring dengan saringan No.12. Butiran yang tertahan datanya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap

3.1.2.3 Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan. Bahan yang digunakan untuk percobaan ini diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat sebanyak

1. Agregat halus :

- Ukuran maksimum No.14; berat minimum 500 gram
- Ukuran maksimum No.8; berat minimum 100 gram

2. Agregat kasar :

- Ukuran maksimum 3,5"; berat minimum 35 kg.
- Ukuran maksimum 3"; berat minimum 30 kg.
- Ukuran maksimum 2,5"; berat minimum 25 kg.
- Ukuran maksimum 2"; berat minimum 20 kg.
- Ukuran maksimum 1,5"; berat minimum 15 kg.
- Ukuran maksimum 1"; berat minimum 10 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{3}{4}$ "; berat minimum 5 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{1}{2}$ "; berat minimum 2,5 kg.
- Ukuran maksimum $\frac{1}{4}$ "; berat minimum 1 kg.

Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan No.4 selanjutnya agregat halus dan kasar disediakan sebanyak jumlah seperti tercantum diatas.

Benda uji disiapkan sesuai dengan prosedur, kecuali apabila butiran yang melalui saringan No.200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu :

1. Timbangan dan Neraca dengan kepekaan 0,2 % dari berat benda uji.
2. Satu set saringan : 76,2 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 37,5 mm (1½"); 25 mm (1"); 19,1 mm (¾"); 12,5 (½"); 9,5 mm (¼"); No.4; No.8; No.16; No.30; No.50; No.100; No.200 (standar ASTM).
3. Oven, yang dilengkapi dengan pengukur suhu untuk memanasi sampai $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
4. Alat pemisah contoh (*sample splitter*).
5. Mesin penggetar saringan.
6. Talam.
7. Kuas, sikat kuningan, sendok dan alat-alat lainnya.



Gambar 3.4 Mesin Penggetar dan Satu Set Saringan

Prosedur pelaksanaan pengujian analisa saringan yaitu sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan didalam oven dengan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran paling besar ditempatkan paling atas. Saringan digetarkan dengan mesin penggetar selama 15 menit.

3.1.2.4 Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

A. Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton. Untuk melakukan pengujian ini dibutuhkan 1000 gram (2 x 500 gram) agregat halus, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu:

1. Neraca Timbangan dengan kepekaan 0,1 gram dan kapasitas maksimum 1 kg.
2. Piknometer kapasitas 500 gram
3. Cetakan kerucut pasir
4. Tongkat pemadat (*tamper*) dari logam untuk cetakan kerucut pasir
5. Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu (110 ± 5)°C



Gambar 3.5 Cetakan Kerucut Pasir

Prosedur untuk pengujian ini sebagai berikut:

1. Agregat halus dibuat jenuh air dengan cara merendam selama 1 hari, kemudian dikeringkan (kering udara) sampai didapat keadaan kering merata. Agregat halus disebut kering merata jika telah dapat tercurah (*free flowing condition*).
2. benda uji dimasukkan dalam metal sand cone mold. Kemudian benda uji dipadatkan dengan tongkat pemadat sampai 25 kali tumbukan. Kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) diperoleh jika ketika cetakan diangkat, agregat halus runtuh atau longsor.
3. 500 gram agregat halus dalam kondisi SSD dimasukkan kedalam piknometer, kemudian ditambahkan air sampai 90 % kapasitas piknometer.

4. Gelembung-gelembung udara dihilangkan dengan cara menggoyang-goyangkan piknometer.
5. Benda uji direndam dalam air dengan temperatur air $(73,4\pm 3)^{\circ}\text{F}$ selama paling sedikit 1 hari. Kemudian berat piknometer, benda uji dan air ditimbang.
6. Benda uji dipisahkan dari piknometer dan dikeringkan pada temperatur $(212 - 230)^{\circ}\text{F}$ selama 1 hari.
7. Tentukan berat piknometer berisi sesuai kapasitas kalibrasi pada temperatur $(73,4\pm 3)^{\circ}\text{F}$ dengan ketelitian 0,1 gram.

B. Agregat Kasar

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan agregat halus menurut ASTM C 128, guna menentukan volume agregat dalam beton. Untuk melakukan pengujian ini di butuhkan 10000 gram (2 x 5000 gram) agregat kasar dalam kondisi SSD, diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat. Bahan benda uji lewat saringan No.4 dibuang.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu:

1. Neraca Timbangan dengan kepekaan 0,5 gram dan kapasitas maksimum 5 kg.
2. Besi dengan panjang 8 inci dan tinggi 2,5 inci.
3. Alat penggantung keranjang.
4. Oven, dengan ukuran yang mencukupi dan dapat mempertahankan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
5. Handuk/Kain.

Prosedur untuk pengujian ini sebagai berikut:

1. Benda uji direndam 24 jam.
2. Benda uji dilap dengan handuk, sampai air permukaannya habis, tetapi harus masih tampak lembab (Kondisi SSD), lalu ditimbang.
3. Benda uji dimasukkan ke keranjang dan direndam kembali dalam air. Temperatur air $(73,4\pm 3)^{\circ}\text{F}$ dan ditimbang. Sebelum ditimbang, container diisi air benda uji, lalu digoyang-goyangkan dalam air untuk melepaskan udara yang terperangkap.
4. Benda uji dikeringkan dalam oven pada temperatur $(212 - 230)^{\circ}\text{F}$. Didinginkan, kemudian ditimbang.

3.1.2.5 Pemeriksaan Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi dan rongga udara dalam agregat halus, kasar atau campuran. Berat isi adalah perbandingan berat dengan isi. Untuk bahan pengujian masukkan contoh agregat kedalam talam sekurang-kurangnya sebanyak kapasitas wadah sesuai tabel 3.5, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.

Tabel 3.5. Kapasitas Wadah

Kapasitas (liter)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Tebal Wadah Minimum (mm)		Ukuran Butiran Maksimum (mm)
			Dasar	Sisi	
2,832	152,4 \pm 2,5	154,9 \pm 2,5	5,08	2,54	12,7
9,435	203,2 \pm 2,5	292,1 \pm 2,5	5,08	2,54	25,4
14,158	254,0 \pm 2,5	279,4 \pm 2,5	5,08	3,00	38,1
28,316	355,6 \pm 2,5	284,4 \pm 2,5	5,08	3,00	101,6

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu :

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat contoh.
2. Talam kapasitas cukup besar untuk mengerikangkan contoh agregat.
3. Tongkat pemadat diameter 15 mm, panjang 60 cm dengan ujung bulat sebaiknya terbuat dari baja tahan karat.
4. Mistar perata (*straight edge*).
5. Wadah baja yang cukup kaku berbentuk silinder dengan alat pemegang, seperti gambar 3.6



Gambar 3.6 Wadah Pengujian berat isi dan rongga udara agregat kasar

Universitas Indonesia

Prosedur pelaksanaan pengujian Berat isi padat agregat dengan butir maksimum 38,1 mm (1½”) dengan cara penusukan yaitu :

1. Timbang dan cacat berat wadah (W_1).
2. Isilah wadah dengan benda uji dalam tiga lapis yang sama tebal. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Pada pemadatan tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan.
3. Ratakan permukaan benda uji dengan menggunakan mistar perata.
4. Timbang dan catatlah berat wadah serta berat benda uji (W_2)
5. Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).

3.1.3. Pembuatan dan Pengujian Kekuatan Mortar

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui dan membandingkan besar kekuatan mortal semen dan mortal bahan pengikat kombinasi. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menentukan kekuatan rencana beton dengan bahan pengikat kombinasi. Untuk melakukan pengujian ini diperlukan bahan pengikat Semen, Kapur, dan Abu Terbang (*Fly Ash*).

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji yaitu:

1. Cetakan kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm (gambar 3.7)
2. Tongkat pemadat kecil.
3. Mesin Pengaduk Mortar
4. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh
5. Peralatan tambahan: ember, sekop, sendok, perata dan talam.



Gambar 3.7 Kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm

Prosedur pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

1. Persiapan cetakan.
Oleskan oli atau gemuk pada dinding dalam cetakan, agar memudahkan saat cetakan dibuka.

2. Pengadukan (dengan mesin)

Masukkan bahan pengikat satu persatu lalu jalankan mesin pengaduk, masukkan air pencampur, aduklah mortar hingga merata. Sebaiknya air pencampur dimasukkan sedikit untuk mengetahui kekentalan mortal tersebut.

3. Isilah cetakan dengan adukan mortar sedikit demi sedikit sambil di padatkan dengan cara menusuk-nusuk, Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup.

Ratakan permukaan mortar dan tutuplah segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.

4. Setelah benda uji dikeluarkan, diamkan benda uji hingga 3 hari lalu lakukan pengetesan kuat tekan.

3.1.4. Perhitungan Komposisi Campuran Beton

3.1.4.1 Perbandingan Campuran Beton

A. Konsep Perhitungan Campuran

Perbandingan campuran bahan-bahan beton harus dipilih untuk mendapatkan beton yang paling ekonomis, sehingga dengan menggunakan bahan-bahan yang tersedia menghasilkan beton yang mempunyai *workability*, *durability* dan *strength* yang diinginkan.

Tes-tes laboratorium adalah dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara komponen-komponen material beton seperti agregat, semen, air dan *admixture* sehingga didapatkan kombinasi yang optimum, akan tetapi perbandingan yang terakhir harus ditentukan dengan cara coba-coba dan disesuaikan dengan keadaan dilapangan.

B. Metode Perhitungan Campuran

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

3.1.4.2 Prosedur Perhitungan Campuran

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

1. Uji terhadap material beton, untuk memeriksa apakah material tersebut memenuhi syarat spesifikasi atau tidak.
2. Pemilihan Nilai Slump

Nilai Slump pada umumnya diberikan untuk pekerjaan struktur tertentu, namun bila tidak diberikan, maka nilai slump dapat diambil dari tabel 3.6.

Tabel. 3.6. Nilai slump yang direkomendasikan untuk variasi jenis konstruksi berdasarkan ACI 211.1-91

Type of Construction	Range of Slump*	
	mm	in
Reinforced foundation walls and footing	20 – 80	1 – 3
Plain footing, caissons and substructure walls	20 – 80	1 – 3
Beams and reinforced walls	20 – 100	1 – 4
Building Coulums	20 – 100	1 – 4
Pavements and Slabs	20 – 80	1 – 3
Mass concrete	20 - 80	1 – 2

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

*) Batas atas slump dapat dinaikkan sebesar 20 mm (1 in) untuk pemadatan dengan tangan

3. Menentukan ukuran butiran maksimum agregat kasar

Ukuran agregat maksimum harus dipilih dengan batasan sebagai berikut:

- a. Ukuran maksimum tidak boleh lebih dari $1/5$ dimensi minimum elemen struktur, $1/3$ tebal plat, atau $3/4$ ruang bebas antar tulangan. Batasan ini memberikan nilai agregat maksimum sebesar 1,5 in (40 mm), kecuali untuk produksi massal.
 - b. Perkembangan saat ini menyarankan, untuk nilai w/c ratio yang sama, maka pengurangan ukuran maksimum agregat akan meningkatkan kekuatan betonnya.
4. Estimasi jumlah air pencampur dan kandungan udara.

Estimasi jumlah air pencampur (W) dapat dihitung berdasarkan tabel 3.7

Tabel 3.7 Perkiraan Jumlah Air Pencampur yang Dibutuhkan dan Kandungan Udara Untuk Workabilitas yang Berbeda dan Ukuran Agregat Maksimum Berdasarkan ACI 211.1-91

Workability or Air Content	Water Content, kg/m ³ (lb/yd ³) of Concrete for Indicated Maximum Aggregate Size							
	10 mm (3/8 in)	12,5 mm (1/2 in)	20 mm (3/4 in)	25 mm (1 in)	40 mm (1½ in)	50 mm (2 in)	70 mm (3 in)	150 mm (6 in)
Non-air entrained concrete								
Slump								
30-50 mm (1-2 in)	205 (350)	200 (335)	185 (315)	180 (300)	160(275)	155 (260)	145 (220)	125 (190)
80-100 mm (3-4 in)	225 (385)	215 (365)	200 (340)	195 (325)	175 (300)	170 (285)	160 (245)	140 (210)
150-180 mm (6-7 in)	240 (410)	230 (385)	210 (360)	205 (340)	185 (315)	180 (300)	170 (270)	-
Approximate entrapped air content (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air entrained concrete								
Slump								
30-50 mm (1-2 in)	180 (305)	175 (295)	165 (280)	160 (270)	145 (250)	140 (240)	135 (205)	120 (180)
80-100 mm (3-4 in)	200 (340)	190 (325)	180 (305)	175 (295)	160 (275)	155 (265)	150 (255)	135 (200)
150-180 mm (6-7 in)	215 (365)	205 (345)	190 (325)	185 (310)	170 (290)	165 (280)	160 (260)	-
Recommended average total air content (%)								
Mild exposure	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Moderate exposure	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Extreme exposure	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

Universitas Indonesia

5. Water-Cemen Ratio

Rasio air semen ditentukan oleh kekuatan serta ketahanan yang diinginkan.

1. Kekuatan. Estimasi nilai ratio air-semen dapat ditentukan berdasarkan kekuatannya melalui tabel 3.8
2. Ketahanan. Jika terdapat kondisi lingkungan yang cukup ekstrim, seperti beku, terkena air langsung, atau sulfat, maka nilai ratio air-semen harus dilakukan penyesuaian lagi

Tabel 3.8. Hubungan antara ratio air-semen dan kuat tekan beton rata-rata, berdasarkan ACI 211.1-91

Average Compressive Strength at 28 Days		Effective Water / Cement Ratio (by Mass)	
MPa	psi	Non-air entrained concrete	Air-entrained concrete
-	7000	0,33	-
45	-	0,38	-
-	6000	0,41	-
40	-	0,43	-
35	5000	0,48	0,40
30	-	0,55	0,46
-	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
-	3000	0,68	0,59
20	-	0,70	0,61
15	-	0,80	0,71
-	2000	0,82	0,74

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

6. Menghitung jumlah semen (C) yang diperlukan.

Berat satuan semen (C) dapat dihitung dari berat satuan air (W) dan water-cement ratio (W/C)

$$C = \frac{W}{W/C} \quad (\text{Pers. 3.1})$$

7. Estimasi jumlah Agregat Kasar (CA) yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 3.9

Tabel. 3.9. Volume agregat Kasar (CA) per unit beton berdasarkan ACI 211.1-91

Maximum Size of Aggregate		Dry Bulk Volume of Rodded Coarse Aggregate per Unit Volume of Concrete for Modulus of Sand of:			
mm	in	2,40	2,60	2,80	3,00
10	3/8	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	½	0,59	0,57	0,55	0,53
20	¾	0,66	0,64	0,62	0,60
25	1	0,71	0,69	0,67	0,65
40	1 ½	0,75	0,73	0,71	0,69
50	2	0,78	0,76	0,74	0,72
70	3	0,82	0,80	0,78	0,76
150	6	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

8. Menentukan estimasi jumlah agregat halus.

Estimasi kandungan agregat halus, dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu:

- a. Metode massa
- b. Metode volume

Metode massa mengestimasi berat isi beton yang akan dibuat dari tabel 3.10

Tabel 3.10. Perkiraan pertama berat isi beton segar sesuai ACI 211.1-91

Maximum Size of Aggregate		First Estimate of Density (Unit Weight) of Fresh Concrete As Given by ACI 211.1-91			
mm	in	Non-air-entrained		Air-entrained	
		kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/yd ³
10	3/8	2285	3840	2190	3690
12,5	½	2315	3890	2235	3760
20	¾	2355	3960	2280	3840
25	1	2375	4010	2315	3900
40	1 ½	2420	4070	2355	3960
50	2	2445	4120	2375	4000
70	3	2465	4160	2400	4040
150	6	2505	4230	2435	4120

Sumber : Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton DTS UI

Atau dapat dihitung dengan persamaan 3.2:

$$\rho \text{ (dalam kg/m}^3\text{)} = 10\gamma_a(100 - A) + C \left(1 - \frac{\gamma_a}{\gamma}\right) - W(\gamma_a - 1) \quad (\text{Pers. 3.2})$$

Maka massa agregat halus per unit volume beton adalah

$$S = \rho - (W + C + CA) \quad (\text{Pers. 3.3})$$

Atau dengan metode volume, estimasi massa agregat halus per unit volume beton didapat lebih akurat:

$$S = \gamma_s \left(1000 - \left(W + \frac{C}{\gamma} + \frac{CA}{\gamma_{CA}} + 10A\right)\right) \quad (\text{Pers. 3.4})$$

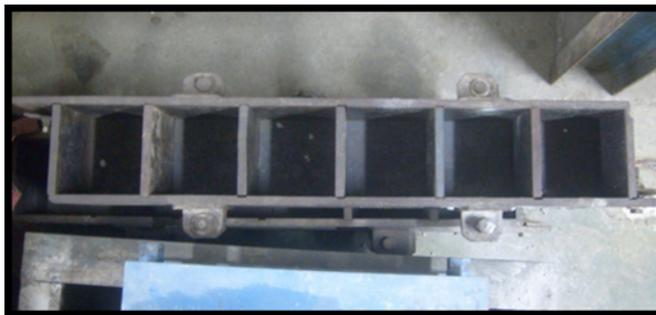
9. Penyesuaian jumlah agregat dilakukan terhadap kandungan kelembaban permukaan agregat.

3.1.4.3 Pengujian Komposisi Campuran dengan Trial Mix

Percobaan ini dimaksudkan untuk menentukan komposisi campuran dengan bahan pengikat kombinasi yang akan dipakai sebagai pembanding dari campuran beton dengan semen. Material dasar pembentuk beton trial mix ini sesuai dengan perhitungan komposisi campuran.

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji yaitu:

1. Cetakan kubus berukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dibuatkan dari baja tahan karat.
3. Bak pengaduk beton kedap air atau mesin pengaduk.
4. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh
5. Peralatan tambahan: ember, sekop, sendok, perata dan talam.
6. Satu set alat pemeriksaan slump



Gambar 3.8 Kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm

Prosedur pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji.
 - a. Persiapan cetakan.

Oleskan oli atau gemuk pada dinding dalam cetakan, agar memudahkan saat cetakan dibuka.
 - b. Pengadukan (manual)

Masukkan agregat kasar dan halus ditambah air pencampur sebanyak 30% sampai 40% kedalam bak pengaduk. Aduk agregat hingga merata dan masukkan semen dan air pencampur, aduk beton hingga merata. Sebaiknya air pencampur dimasukkan sedikit demi sedikit sambil melakukan test slump.
 - c. Uji slump
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan slump beton. Slump merupakan ukuran kekentalan / plastisitas dan kohesif dari beton segar. Apabila slump yang didapatkan tidak sesuai dengan yang dikehendaki, tambahkan air sedikit demi sedikit hingga mencapai slump yang diinginkan.
 - d. Isilah cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap 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 tidak boleh masuk kedalam kedalam lapis dibawahnya. Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup.

Ratakan permukaan beton dan tutuplah segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.
2. Perawatan benda uji
 - a. Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan, rendamlah benda uji dalam bak perendaman berisi air yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan (*curing*), selama waktu yang dikehendaki.
 - b. Biarkan beton direndam dalam bak perawatan sampai satu hari sebelum waktu pengesanan.

3.1.5. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium

Percobaan ini melingkupi prosedur untuk pembuatan dan perawatan benda uji beton dalam laboratorium dibawah pengawasan yang akurat terhadap material dan kondisi uji menggunakan beton yang dapat dipadatkan dengan pemadatan atau penggetaran. Material dasar pembentuk beton sesuai dengan perhitungan komposisi campuran.

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji yaitu:

1. Cetakan silinder, diameter 15 cm -tinggi 30 cm untuk benda uji kuat tekan dan Kubus 40 cm x 40 cm x 40 cm untuk benda uji kekakuan.
2. Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dibuatkan dari baja tahan karat.
3. Bak pengaduk beton kedap air atau mesin pengaduk.
4. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh
5. Peralatan tambahan: ember, sekop, sendok, perata dan talam.
6. Satu set alat pemeriksaan slump

Prosedur pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji.
 - a. Persiapan cetakan.

Oleskan oli atau gemuk pada dinding dalam cetakan, agar memudahkan saat cetakan dibuka.
 - b. Pengadukan (dengan mesin)

Masukkan agregat kasar dan air pencampur sebanyak 30% sampai 40% kedalam pengaduk. Jalankan mesin pengaduk, masukkan agregat halus, semen dan air pencampur, aduklah beton hingga merata. Sebaiknya air pencampur dimasukkan sedikit demi sedikit sambil melakukan test slump.



Gambar 3.9 Pengadukan Beton dengan Mesin

c. Uji Slump

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan slump beton. Slump merupakan ukuran kekentalan / plastisitas dan kohesif dari beton segar. Untuk menguji slump dibutuhkan contoh beton segar sebanyak-banyaknya sama dengan isi cetakan

Peralatan yang digunakan untuk test slump ini yaitu:

- (1) Cetakan berupa kerucut terpancung dengan diameter bagian bawah 20 cm, bagian atas 10 cm dan tinggi 30 cm. bagian bawah dan atas cetakan terbuka.
- (2) Tongkat pemadat dengan diameter 16 mm, panjang 60 cm, ujung dibulatkan dan sebaiknya dibuatkan dari baja tahan karat.
- (3) Pelat logam dengan permukaan yang kokoh rata dan kedap air.
- (4) Sendok cekung.
- (5) Mistar ukur.

Prosedur untuk menguji slump yaitu:

- (1) Cetakan dan pelat dibasahi dengan kain basah.
- (2) Letakkan cetakan diatas pelat.
- (3) Isilah cetakan sampai penuh dengan beton muda dalam 3 lapis, tiap lapis berisi kira-kira 1/3 isi cetakan. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat sebanyak 25 tusukan secara merata. Pada saat pemadatan, tongkat harus tepat masuk sampai lapisan bagian bawah tiap-tiap lapisan. Pada lapisan pertama penusukan bagian tepi, tongkat dimiringkan sesuai kemiringan cetakan.

Universitas Indonesia

- (4) Segera setelah selesai pemadatan, ratakan permukaan benda uji dengan tongkat; tunggu selama setengah menit dan dalam jangka waktu ini semua benda uji yang jatuh disekitar cetakan harus disingkirkan.
- (5) Kemudian cetakan diangkat perlahan-lahan tegak lurus keatas.
- (6) Baliklah cetakan dan letakkan perlahan-lahan disamping benda uji.
- (7) Ukurlah tinggi slump yang terjadi dengan menentukan perbedaan tinggi cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji.
- (8) Besar slump = tinggi cetakan – tinggi rata-rata benda uji.
- (9) Apabila slump yang didapatkan tidak sesuai dengan yang dikehendaki, tambahkan air sedikit demi sedikit hingga mencapai slump yang diinginkan.



Gambar 3.10 Pengujian Slump

- d. Isilah cetakan dengan adukan beton dalam 3 lapis, tiap-tiap 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 tidak boleh masuk kira-kira 25,4 mm kedalam kedalam lapis dibawahnya. Setelah selesai melakukan pemadatan, ketuklah sisi cetakan perlahan-lahan sampai rongga bekas tusukan tertutup.

Ratakan permukaan beton dan tutuplah segera dengan bahan yang kedap air serta tahan karat. Kemudian biarkan beton dalam cetakan selama 24 jam, bukalah cetakan dan keluarkan benda uji.



Gambar 3.11 Pemadatan Beton

2. Perawatan benda uji
 - a. Setelah benda uji di keluarkan dari cetakan, rendamlah benda uji dalam bak perendaman berisi air yang telah memenuhi persyaratan untuk perawatan (*curing*), selama waktu yang dikehendaki.
 - b. Biarkan beton direndam dalam bak perawatan sampai satu hari sebelum waktu pengetesan.

3.1.6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kekuatan tekan beton berbentuk silinder dan kubus yang dibuat dan dirawat (*cured*) di laboratorium. Kekuatan tekan beton adalah beban per satuan luas yang menyebabkan beton hancur. Benda uji yang di uji adalah benda uji yang telah di *curing*.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini yaitu:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,3% dari berat contoh.
2. Satu set alas pelapis (*capping*)
3. Mesin tekan, kapasitas sesuai kebutuhan.

Prosedur untuk melakukan pengujian ini yaitu:

- a. Persiapan pengujian.
 1. Keluarkan benda uji yang akan ditentukan kekuatan tekannya dari bak perendaman 1 hari sebelum waktu uji yang ditentukan, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
 2. Pada hari benda uji akan dites, timbang berat benda uji tersebut.
 3. Lapislah (*capping*) permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang dengan cara lelehkan mortar belerang didalam pot peleleh (*melting pot*) sampai suhu kira-kira 130°C. Tuangkan belerang cair kedalam cetakan pelapis (*capping plate*) yang dinding dalamnya telah dilapisi tipis dengan gemuk. Kemudian letakkan benda uji tegak lurus pada cetakan pelapis sampai mortar belerang cair menjadi keras. Dengan cara yang sama lakukan pada permukaan lainnya.
 4. Diamkan selama ± 1 jam sampai lapisan belerang mengering. Benda uji siap untuk dites.

b. Pengujian tekan beton.

1. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentries.
2. Jalankan mesin, tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik.
3. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
4. Benda uji berbentuk kubus tidak perlu dilapisi.
5. Bila tidak ada ketentuan lain konversi kuat tekan beton dari bentuk silinder ke bentuk kubus, maka gunakan angka perbandingan kuat tekan seperti pada tabel 3.11

Tabel 3.11 Daftar Konversi Nilai Kuat Tekan Beton

Bentuk Benda Uji	Perbandingan
Kubus 15cm x 15cm x 15cm	1,0
Kubus 20cm x 20cm x 20cm	0,95
Silinder Ø15cm x 30cm	0,83

Sumber : SNI 03-1974-1990



Gambar 3.12 Pengujian Kuat Tekan

3.1.7. Pengujian Kekakuan Beton

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kekakuan beton yang dibuat dan dirawat (*cured*) di laboratorium. Kekakuan beton adalah besar gaya yang diberikan per kedalaman yang menyebabkan terjadinya defleksi pada beton

tersebut. Alat yang digunakan untuk mengetahui kuat tekan ini yaitu dengan GeoGauge yang diproduksi oleh Humboldt Mfg.Co.

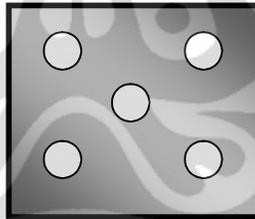
Prosedur untuk melakukan pengujian ini yaitu:

a. Persiapan alat

Sebelum melakukan pengetesan, alat dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan Verifier Mass. Kalibrasi ini hanya dilakukan sekali saja. Alat GeoGauge harus memenuhi standar kalibrasi yaitu 8,8 – 9,8 MN/m

b. Pengujian nilai kekakuan

1. Letakkan GeoGauge pada permukaan benda uji yang telah diratakan.
2. Tekan tombol “ON” pada GeoGauge.
3. Lalu tekan tombol “MEAS”.
4. Geogauge akan membaca nilai kekakuan beton sekitar 1 menit dan nilai tersebut akan muncul di kotak “stiffness”.
5. Matikan GeoGauge dengan tombol “OFF”
6. Lakukan pengujian di beberapa titik diatas permukaan benda uji seperti pada gambar 3.12



Gambar 3.13 Titik Pengujian Kekakuan Beton dengan Geogauge



Gambar 3.14 Pengujian Kekakuan Beton dengan GeoGauge

3.2. Pengolahan Data

Untuk menghitung komposisi jumlah agregat dan bahan pengikat yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji diperlukan data-data pengujian karakteristik agregat yang digunakan. Berikut ini adalah formula yang digunakan untuk mengolah data hasil pengujian.

3.2.1. Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus

Amati kotoran organik; lebih muda, sama atau lebih gelap dari warna standar No.3 . Jika warna larutan benda uji lebih gelap dari warna larutan standar, maka kemungkinan mengandung bahan organik yang tidak di izinkan untuk campuran mortar atau beton.

3.2.2. Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \quad (\text{Pers. 3.5})$$

Keterangan :

- a = Berat benda uji semula (gram).
- b = Berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram).

3.2.3. Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

Hitung persentase berat benda uji yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

Berat Benda Uji Tertahan (gr)

$$= (\text{Berat Saringan} + \text{Benda Uji}) - \text{Berat Saringan} \quad (\text{Pers. 3.6})$$

Persentase Kumulatif (%)

$$= \frac{\text{Berat benda uji tertahan disaringan} + \text{sebelumnya}}{\text{jumlah berat benda uji tertahan}} \times 100\%$$

(Pers. 3.7)

Persentase Individu (%)

$$= \frac{\text{Berat benda uji tertahan disaringan}}{\text{jumlah berat benda uji tertahan}} \times 100\%$$

(Pers. 3.8)

Modulus Kehalusan agregat

$$= \frac{\Sigma \% \text{ kumulatif yang tertahan diatas saringan No.200}}{100}$$

(Pers. 3.9)

Universitas Indonesia

3.2.4. Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

A. Agregat Halus

$$\text{Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{A}{B + 500 - C} \quad (\text{Pers. 3.10})$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - C} \quad (\text{Pers. 3.11})$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{A}{B + A - C} \quad (\text{Pers. 3.12})$$

$$\text{Penyerapan (Absorpsi)} = \frac{500 - A}{A} \times 100 \% \quad (\text{Pers. 3.13})$$

Keterangan :

A = Berat (gram) dari benda uji *oven dry*

B = Berat (gram) dari piknometer berisi air

C = Berat (gram) dari piknometer dengan benda uji dan air sesuai kapasitas kalibrasi.

B. Agregat Kasar

$$\text{Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{A}{B - C} \quad (\text{Pers. 3.14})$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)} = \frac{B}{B - C} \quad (\text{Pers. 3.15})$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{A}{A - C} \quad (\text{Pers. 3.16})$$

$$\text{Penyerapan (Absorpsi)} = \frac{B - A}{A} \times 100 \% \quad (\text{Pers. 3.17})$$

Keterangan :

A = Berat (gram) dari benda uji *oven dry*

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

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

3.2.5. Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat Halus dan Kasar

$$\text{Berat isi agregat (B)} = \frac{W_s}{V} \text{ kg/dm}^3 \quad (\text{Pers. 3.18})$$

$$\text{Rongga udara} = \frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\% \quad (\text{Pers. 3.19})$$

Keterangan :

V = Isi Wadah (dm^3)

A = *bulk specific gravity* agregat (kg/dm^3)

B = Berat isi agregat (kg/dm^3), dipadatkan dari percobaan analisa

Berat jenis dan penyerapan dari agregat halus/kasar

W = Berat isi air (kg/dm^3)

w_3 = Berat benda uji (kg/dm^3)

3.2.6. Kuat Tekan Beton

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (\text{Pers. 3.20})$$

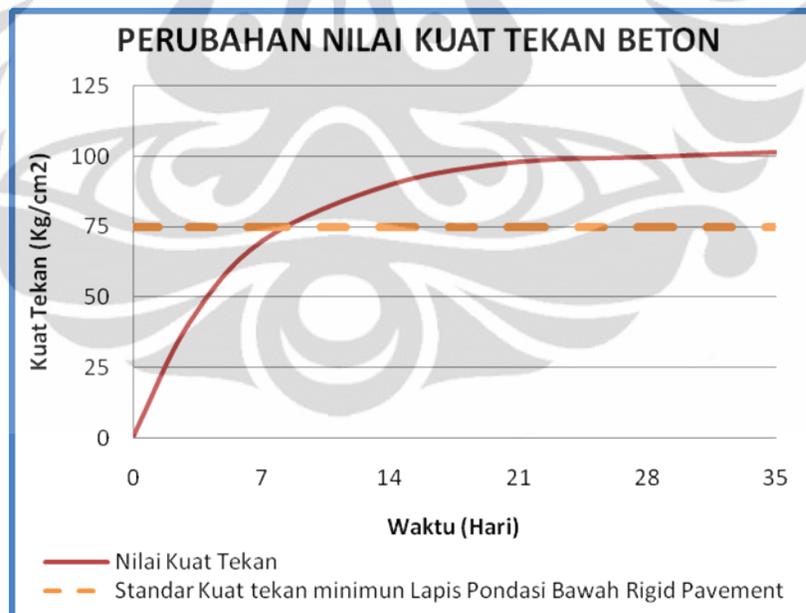
Keterangan :

P = Beban maksimum (kg)

A = Luas penampang benda uji (cm^2)

3.3. Metode Analisis

Data-data hasil pengujian karakteristik agregat digunakan untuk menghitung kebutuhan agregat untuk pembuatan benda uji. Setelah pembuatan benda uji, dilakukan pengujian kuat tekan dan kekakuan beton. Hasil dari pengujian kuat tekan dan kekakuan tersebut di plot ke dalam grafik hubungan antara waktu pengujian dan hasil kuat tekan yang diperoleh (gambar 3.15), begitu juga untuk pengujian kekakuan (gambar 3.16).



Gambar 3.15 Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Terhadap Waktu



Gambar 3.16 Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Terhadap Waktu

Dari grafik tersebut akan terbentuk perubahan kuat tekan dan kekakuan pada 3, 7, 14, 21 dan 28 hari dengan bahan pengikat semen dan komposisi semen+kapur+fly ash. Grafik tersebut menggambarkan apakah kelayakan komposisi campuran bahan pengikat semen+kapur+fly ash dijadikan untuk dasar dari slab beton pada perkerasan *rigid pavement* sesuai dengan syarat SNI yaitu 75 kg/cm² pada umur 28 hari.

BAB 4 PEMBAHASAN

4.1. Hasil Uji Karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus dan Bahan Pengikat.

4.1.1. Pemeriksaan Kotoran Organik dalam Agregat Halus

Hasil pengamatan larutan benda uji yang telah dilarutkan didalam botol dengan larutan NaOH selama 24 jam dilaboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil UI, dapat dilihat warna larutan sama dengan warna standar No.3. Ini berarti kandungan bahan organik dalam agregat halus diizinkan untuk digunakan sebagai bahan campuran beton.

4.1.2. Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

Agregat yang digunakan disini adalah agregat dengan Gradasi B. Sesuai dengan tabel 3.1. Hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles disajikan dalam tabel 4.1. Berat benda uji sesudah adalah berat benda uji yang telah dimasukkan dalam mesin Los Angeles lalu disaring dengan saringan No.12 sambil dicuci lalu di oven selama 24 jam.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Ukuran Saringan		Berat (gram)	
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	Sebelum (a)	Sesudah (b)
19,0	12,7	2500	-
12,7	9,5	2500	-
-	No.12	-	2867
Jumlah Berat		5000	2867

Maka nilai Keausan agregat yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan persamaan 3.5 adalah 42,66%

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% = \frac{5000-2867}{5000} \times 100\% = 42,66\%$$

4.1.3. Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar

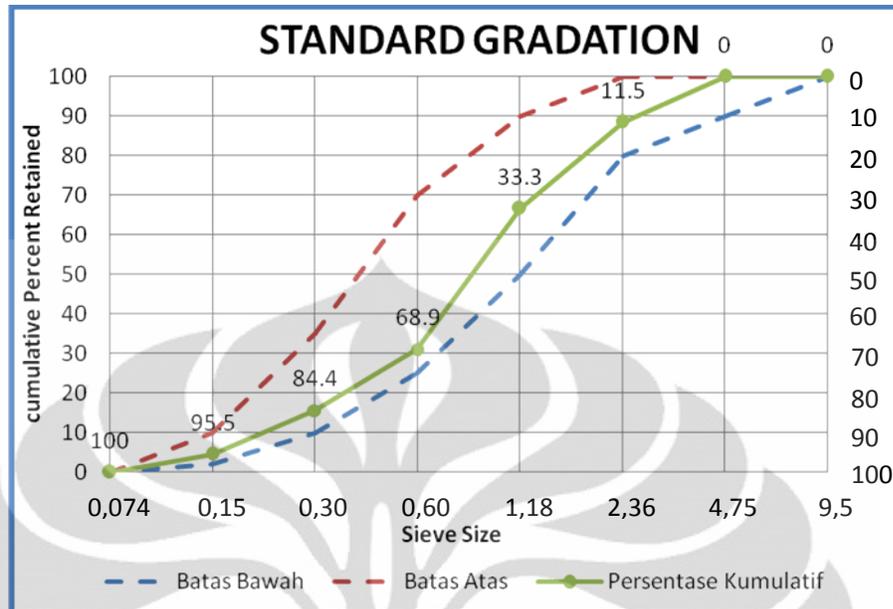
A. Agregat Halus

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus, diperoleh persentase kumulatif pada saringan No. 4 = 0 %, No.8 = 11,5%, No.16 = 21,3%, No.30 = 35,6 %, No.50 = 15,5%, No.100 = 11,1% dan PAN = 4,5%. Untuk hasil lengkapnya disajikan dalam tabel 4.2 dan gambar 4.1.



Tabel 4.2 Hasil Pengujian Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus.

Ukuran Saringan (mm)	Contoh 1			Contoh 2			Rata-rata	
	Berat (gram)	Persentase kumulatif (%)	Persentase individu (%)	Berat (gram)	Persentase Kumulatif (%)	Persentase individu (%)	Persentase kumulatif (%)	Persentase induvidu (%)
No.4 (4,75)	0	0	0	0	0	0	0	0
No.8 (2,36)	58	11,6	11,6	57	11,4	11,4	11,5	11,5
No.16 (1,18)	106	32,8	21,2	112	33,8	22,4	21,3	33,3
No.30 (0,60)	172	67,2	34,4	184	70,6	36,8	35,6	68,9
No.50 (0,30)	77	82,6	15,4	78	86,2	15,6	15,5	84,4
No.100 (0,15)	61	94,8	12,2	50	96,2	10	11,1	97
PAN	26	100	5,2	19	100	4,5	4,5	100
TOTAL	500			500				



Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus

Modulus kehalusan agregat halus

$$\frac{\sum \% \text{ kumulatif yang tertahan diatas saringan No.200}}{100} = \frac{11,5 + 33,3 + 68,9 + 84,4 + 97}{100} = 2,951$$

B. Agregat Kasar

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar, diperoleh persentase kumulatif pada saringan 1" = 0 %, ¾" = 33,56%, ½" = 79,39%, ¼" = 89,91%, No.4 = 100%, No.8 = 0% dan PAN = 0%. Untuk hasil lengkapnya disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar.

Ukuran Saringan (mm)	Contoh 1			Contoh 2			Rata-rata	
	Berat (gram)	Persentase kumulatif (%)	Persentase individu (%)	Berat (gram)	Persentase Kumulatif (%)	Persentase individu (%)	Persentase kumulatif (%)	Persentase induvidu (%)
1" (25)	0	0	0	0	0	0	0	0
¾" (19,1)	1699	33,98	33,98	1657	33,14	33,14	33,56	33,56
½" (12,5)	2296	79,90	45,92	2287	78,88	45,74	79,39	45,83
¼" (9,5)	514	90,18	10,28	538	89,64	10,76	89,91	10,52
No.4	491	100	9,82	518	100	10,36	100	10,09
No.8	0	0	0	0	0	0	0	0
PAN	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	5000			5000				

4.1.4. Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

A. Agregat Halus

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus yang telah dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, diperoleh berat jenis curah sebesar 2,345, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,45, berat jenis semu sebesar 2,63 dan penyerapan sebesar 4,6%. Selengkapnya disajikan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian dan Perhitungan Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Percobaan	
	1	2
Berat benda uji kering oven (A) [gram]	477	479
Berat piknometer + air (B) [gram]	667	668
Berat piknometer + air + benda uji sesuai kapasitas kalibrasi (C) [gram]	963	964
Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>) $\frac{A}{B + 500 - C}$	2,34	2,35
Rata - rata	2,345	
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $\frac{500}{B + 500 - C}$	2,45	2,45
Rata - rata	2,45	
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>) $\frac{A}{B + A - C}$	2,64	2,62
Rata - rata	2,63	
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) [%] $\frac{500 - A}{A} \times 100\%$	4,82	4,39
Rata - rata	4,61	

B. Agregat Kasar

Dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang telah dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, diperoleh berat jenis curah sebesar 2,465, berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,547, berat jenis semu sebesar 2,685 dan penyerapan sebesar 3,325%. Selengkapnya disajikan dalam tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian dan Perhitungan Analisa Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Percobaan	
	1	2
Berat benda uji kering oven (A) [gram]	4841	4837
Berat benda uji pada kondisi SSD (B) [gram]	5000	5000
Berat benda uji pada kondisi jenuh (C) [gram]	3041	3032
Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>) $\frac{A}{B - C}$	2,471	2,458
Rata - rata	2,465	
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) $\frac{B}{B - C}$	2,552	2,541
Rata - rata	2,547	
Berat jenis semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>) $\frac{A}{A - C}$	2,689	2,680
Rata - rata	2,685	
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) [%] $\frac{B - A}{A} \times 100\%$	3,28	3,37
Rata - rata	3,325	

4.1.5. Pemeriksaan Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat

A. Agregat Halus

Dari pengujian berat isi dan rongga udara agregat halus yang telah dilakukan di laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, diperoleh berat isi sebesar 1,568 Kg/dm³ dan rongga udara 30,13%. Selengkapnya disajikan dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian dan Perhitungan Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Halus

Uraian		Percobaan	
		1	2
Berat wadah	(a) [kg]	1,055	
Berat wadah + air	(b) [kg]	3,055	
Berat wadah + benda uji	(c) [kg]	4,179	4,203
Berat benda uji	(w ₃) [kg/dm ³]	3,124	3,148
c - a			
Volume wadah	(V) [kg/dm ³]	2,000	
b - a			
Berat isi (<i>Dry Bulk Density</i>)	(B) [kg/dm ³]	1,562	1,574
$\frac{W_3}{V} \text{ kg/dm}^3$			
Rata - rata	[kg/dm ³]	1,568	
Berat Jenis Curah Agregat Halus	(A)	2,345	
Berat isi Air	(W) [kg/dm ³]	1	
Rongga Udara	[%]	30,13	
$\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$			

B. Agregat Kasar

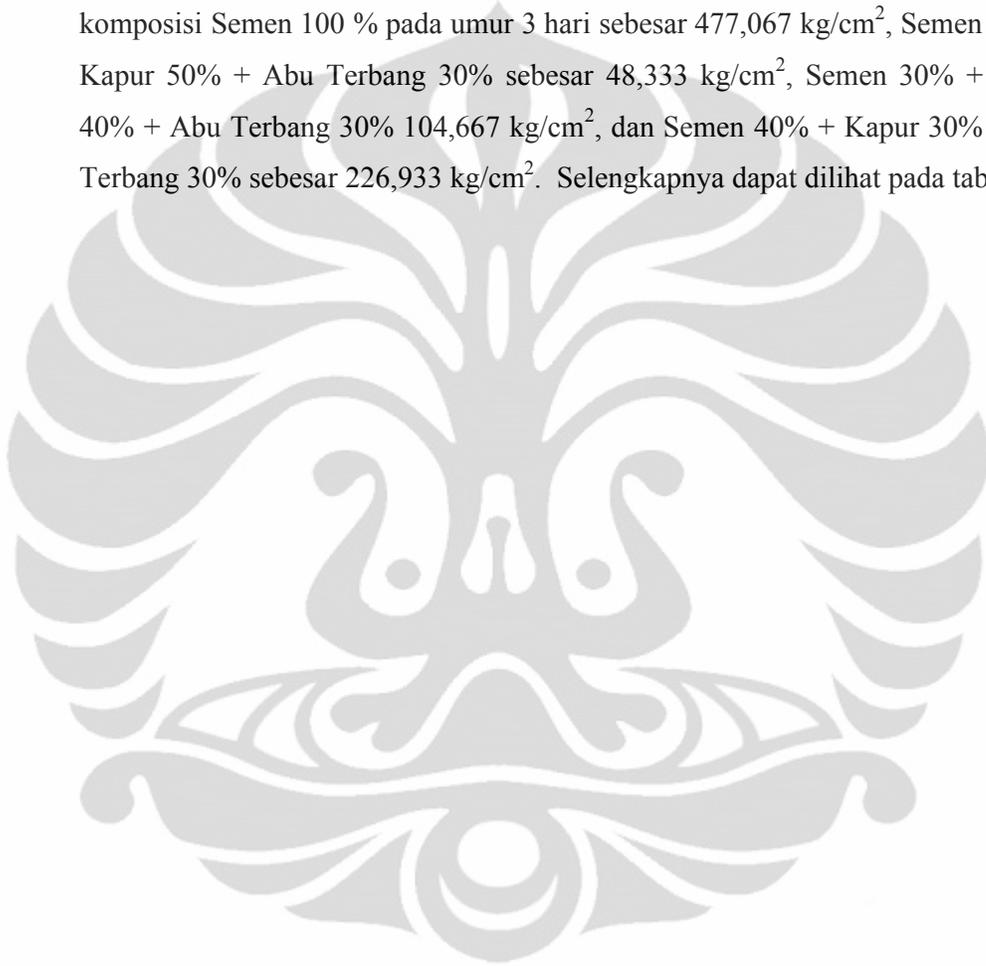
Dari pengujian berat isi dan rongga udara agregat kasar yang telah dilakukan di laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia, diperoleh berat isi sebesar 1,501 Kg/dm³ dan rongga udara 39,11%. Selengkapnya disajikan dalam tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian dan Perhitungan Berat Isi dan Rongga Udara Agregat Kasar

Uraian	Percobaan	
	1	2
Berat wadah (a) [kg]	5,089	
Berat wadah + air (b) [kg]	14,361	
Berat wadah + benda uji (c) [kg]	19,009	
Berat benda uji (w ₃) [kg/dm ³] c - a	13,920	13,918
Volume wadah (V) [kg/dm ³] b - a	9,272	
Berat isi agregat kasar (B) [kg/dm ³] $\frac{w_3}{V} \text{ kg/dm}^3$	1,501	1,501
Rata – rata [kg/dm ³]	1,501	
Berat Jenis Curah Agregat Halus (A)	2,465	
Berat isi Air (W) [kg/dm ³]	1	
Rongga Udara [%] $\frac{(A \times W) - B}{(A \times W)} \times 100\%$	39,11	

4.2. Pengujian Kekuatan Mortar

Mortal yang diuji adalah mortar dengan komposisi Semen 100 %, Semen 20% + Kapur 50% + Abu Terbang 30%, Semen 30% + Kapur 40% + Abu Terbang 30%, dan Semen 40% + Kapur 30% + Abu Terbang 30%. Dari hasil pengujian mortal yang telah dilakukan, diperoleh kuat tekan mortar dengan komposisi Semen 100 % pada umur 3 hari sebesar 477,067 kg/cm², Semen 20% + Kapur 50% + Abu Terbang 30% sebesar 48,333 kg/cm², Semen 30% + Kapur 40% + Abu Terbang 30% 104,667 kg/cm², dan Semen 40% + Kapur 30% + Abu Terbang 30% sebesar 226,933 kg/cm². Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.8.



Tabel 4.8 Hasil Pengujian dan Perhitungan Kuat Tekan Mortar

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Berat (gr)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)
	Dicor	Ditest						
1	28-Mar-2011	31-Mar -2011	3	C=100%	Kubus 5 x 5 x 5 25	255	12000	480,000
				C=100%	Kubus 5 x 5 x 5 25	249	11880	475,200
				C=100%	Kubus 5 x 5 x 5 25	251	11900	476,000
	Rata - rata							
2	28-Mar-2011	31-Mar -2011	3	C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	190	1250	50,000
				C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	194	1125	45,000
				C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	184	1250	50,000
	Rata - rata							
3	28-Mar-2011	31-Mar -2011	3	C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	200	2675	107,000
				C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	200	2675	107,000
				C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	208	2500	100,000
	Rata - rata							
4.	28-Mar-2011	31-Mar -2011	3	C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	215	5675	227,000
				C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	217	5670	226,800
				C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 5 x 5 x 5 25	216	5675	227,000
	Rata - rata							

4.3. Perhitungan Komposisi Campuran Beton

Perhitungan komposisi campuran beton pada penelitian ini menggunakan metode ACI (*American Concrete Institute*) 211.1-91. Perhitungan ini didasarkan dari data hasil uji pendahuluan atau uji karakteristik agregat dan hasil uji kuat tekan mortar yang telah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian ini, perhitungan dibagi menjadi dua kuat tekan rencana yang melebihi nilai kuat tekan yang disyaratkan untuk lapis pondasi bawah (*sub base*) perkerasan kaku.

4.3.1. Perhitungan Komposisi Campuran Beton dengan Pengikat Semen 100% (CTSB)

Data Perhitungan:

Kekuatan yang diinginkan	= 10 MPa
Slump	= 150 mm
Ukuran agregat maks	= 25 mm
Modulus kehalusan pasir	= 2,951
Berat jenis agregat SSD (γ_a)	
Agregat halus	= 2,45
Agregat kasar	= 2,547
Berat jenis beton (γ)	= 3,15
Bulk density agregat kasar	= 1,501 kg/dm ³ = 1501 kg/m ³

Perhitungan :

1. Semen *Portland Cement Composite* (PCC) tanpa air entertainment
2. Berdasarkan tabel 3.7, jumlah air pencampur untuk beton non-air entertainment (W) dengan slump 150 mm, dan ukuran agregat maksimum 25 mm, sebesar 205 kg/m³ dan perkiraan kandungan udara yang tertahan (A) sebesar 1,5%.
3. Dari tabel 3.8 diperoleh estimasi nilai ratio-semen (w/c) dengan kekuatan yang diinginkan 10 MPa = 0.82
4. Maka jumlah semen yang dibutuhkan (C) sesuai dengan persamaan 3.1 adalah

$$\frac{W}{W/C} = \frac{205}{0,82} = 250 \text{ kg/m}^3$$

5. Dari tabel 3.9 dengan ukuran agregat maksimum 25 mm, dan nilai modulus kehalusan pasir 2,951 maka berat volume (*dry bulk volume*) agregat kasar sebesar 0,655. Sehingga jumlah agregat kasar yang dibutuhkan sebesar $0,655 \times 1501 = 983,2 \text{ kg/m}^3$.

6. Dengan metode volume (persamaan 3.4) maka didapat massa agregat halus per unit volume beton (S) sebesar

$$S = 2,45 \left(1000 - \left(205 + \frac{250}{3,15} + \frac{983,2}{2,45} + (10 \times 1,5) \right) \right)$$

$$S = 721,2 \text{ kg/m}^3$$

7. Estimasi jumlah material yang diperlukan per 1 m^3 beton adalah :

Semen = 250 kg

Agregat Halus = 721,2 kg

Agregat Kasar = 983,2 kg

Air Pencampur = 205 kg

8. Volume beton segar yang dibutuhkan untuk pengecoran dengan benda uji silinder $\varnothing 15 \times 30 \text{ cm}$ dan kubus $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ adalah $0,208 \text{ m}^3 \sim 0,21 \text{ m}^3$, maka estimasi jumlah material yang diperlukan adalah :

Semen = $250 \text{ kg} \times 0,21 = 52,500 \text{ kg}$

Agregat Halus = $721,2 \text{ kg} \times 0,21 = 151,442 \text{ kg}$

Agregat Kasar = $983,2 \text{ kg} \times 0,21 = 206,463 \text{ kg}$

Air Pencampur = $205 \text{ kg} \times 0,21 = 43,050 \text{ kg}$

9. Estimasi jumlah material yang diperlukan untuk sekali pengecoran kapasitas mesin pengaduk 45 liter ($0,045 \text{ m}^3$) adalah :

Semen = $250 \text{ kg} \times 0,045 = 11,250 \text{ kg}$

Agregat Halus = $721,2 \text{ kg} \times 0,045 = 32,452 \text{ kg}$

Agregat Kasar = $983,2 \text{ kg} \times 0,045 = 44,242 \text{ kg}$

Air Pencampur = $205 \text{ kg} \times 0,045 = 9,225 \text{ kg}$

4.3.2. Perhitungan komposisi campuran beton dengan pengikat komposisi semen, kapur dan *Fly ash*

Data Perhitungan:

Kekuatan yang diinginkan	= 15 MPa (didasarkan dengan hasil kuat tekan mortar yang telah dilakukan sebelumnya)
Slump	= 30 mm
Ukuran agregat maks	= 25 mm
Modulus kehalusan pasir	= 2,951
Berat jenis agregat SSD (γ_a)	
Agregat halus	= 2,45
Agregat kasar	= 2,547
Berat jenis beton (γ)	= 3,15
Bulk density agregat kasar	= 1,501 kg/dm ³ = 1501 kg/m ³

Perhitungan :

1. Semen Portland tipe I / PCC tanpa air entertainment
2. Berdasarkan tabel 3.7, jumlah air pencampur untuk beton non-air entertainment (W) dengan slump 30 mm, dan ukuran agregat maksimum 25 mm, sebesar 180 kg/m³ dan perkiraan kandungan udara yang tertahan (A) sebesar 1,5%.
3. Dari tabel 3.8 diperoleh estimasi nilai ratio-semen (w/c) = 0.80
4. Maka jumlah semen yang dibutuhkan (C) sesuai dengan persamaan 3.1 adalah

$$\frac{W}{W/C} = \frac{100}{0,8} = 225 \text{ kg/m}^3$$
5. Dari tabel 3.9 dengan ukuran agregat maksimum 25 mm, dan nilai modulus kehalusan pasir 2,951 maka berat volume (*dry bulk volume*) agregat kasar sebesar 0,655. Sehingga jumlah agregat kasar yang dibutuhkan sebesar 0,655 x 1501 = 983,2 kg/m³.
6. Dengan metode volume (persamaan 3.4) maka didapat massa agregat halus per unit volume beton (S) sebesar :

$$S = 2,45 \left(1000 - \left(180 + \frac{225}{3,15} + \frac{983,2}{2,45} + 10 \times 1,5 \right) \right)$$

$$S = 801,8 \text{ kg/m}^3$$

7. Estimasi jumlah material yang diperlukan per 1 m³ beton adalah :

Bahan Pengikat = 225 kg

Agregat Halus = 801,8 kg

Agregat Kasar = 983,2 kg

Air Pencampur = 180 kg

8. Volume beton segar yang dibutuhkan untuk pengecoran dengan benda uji silinder Ø15 x 30 cm dan kubus 40 cm x 40 cm x 40 cm adalah 0,208 m³ ~ 0,21 m³, maka estimasi jumlah material yang diperlukan adalah :

Bahan Pengikat = 225 kg x 0,21 = 47,250 kg

Agregat Halus = 801,8 kg x 0,21 = 168,387 kg

Agregat Kasar = 983,2 kg x 0,21 = 206,463 kg

Air Pencampur = 180 kg x 0,21 = 37,800 kg

9. Estimasi jumlah material yang diperlukan untuk sekali pengecoran kapasitas mesin pengaduk 45 liter (0,045 m³) adalah :

Bahan Pengikat = 225 kg x 0,045 = 10,125 kg

Agregat Halus = 801,8 kg x 0,045 = 36,083 kg

Agregat Kasar = 983,2 kg x 0,045 = 44,242 kg

Air Pencampur = 180 kg x 0,045 = 8,100 kg

4.4. Perhitungan Jumlah Kebutuhan Material dan Harga Total Material yang Digunakan dalam 1m³ Campuran Beton

Sebelum melakukan pengujian komposisi campuran dengan trial mix, maka terlebih dahulu yang harus dilakukan yaitu menghitung jumlah kebutuhan material yang dibutuhkan dengan menggunakan kubus 10 cm x 10cm x 10 cm sebanyak 3 buah. Jumlah kebutuhan material yang dibutuhkan untuk trial mix dengan beberapa komposisi disajikan dalam tabel 4.9.

Total harga material dengan bahan pengikat semen 100% (*sample 1*) sebesar Rp. 672.092,- sedangkan total harga material dengan bahan pengikat semen 20% + kapur 50% + abu terbang 30% (*Sample 2*) sebesar Rp. 521.124,-, dengan semen 30% + kapur 40% + abu terbang 30% (*Sample 3*) sebesar Rp.

536.874,- dan dengan semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% (*Sample 4*) sebesar Rp. 552.624,-.

Selisih harga antara campuran beton sample 2 dan sample 1 yaitu sebesar Rp.150.969,-, antara sample 3 dan sample 1 sebesar Rp. 135.219,- dan antara sample 4 dan sample 1 sebesar Rp.119.469,-. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.2.

Tabel 4.9 Jumlah Kebutuhan Material dengan Kekuatan Rencana 15 MPa

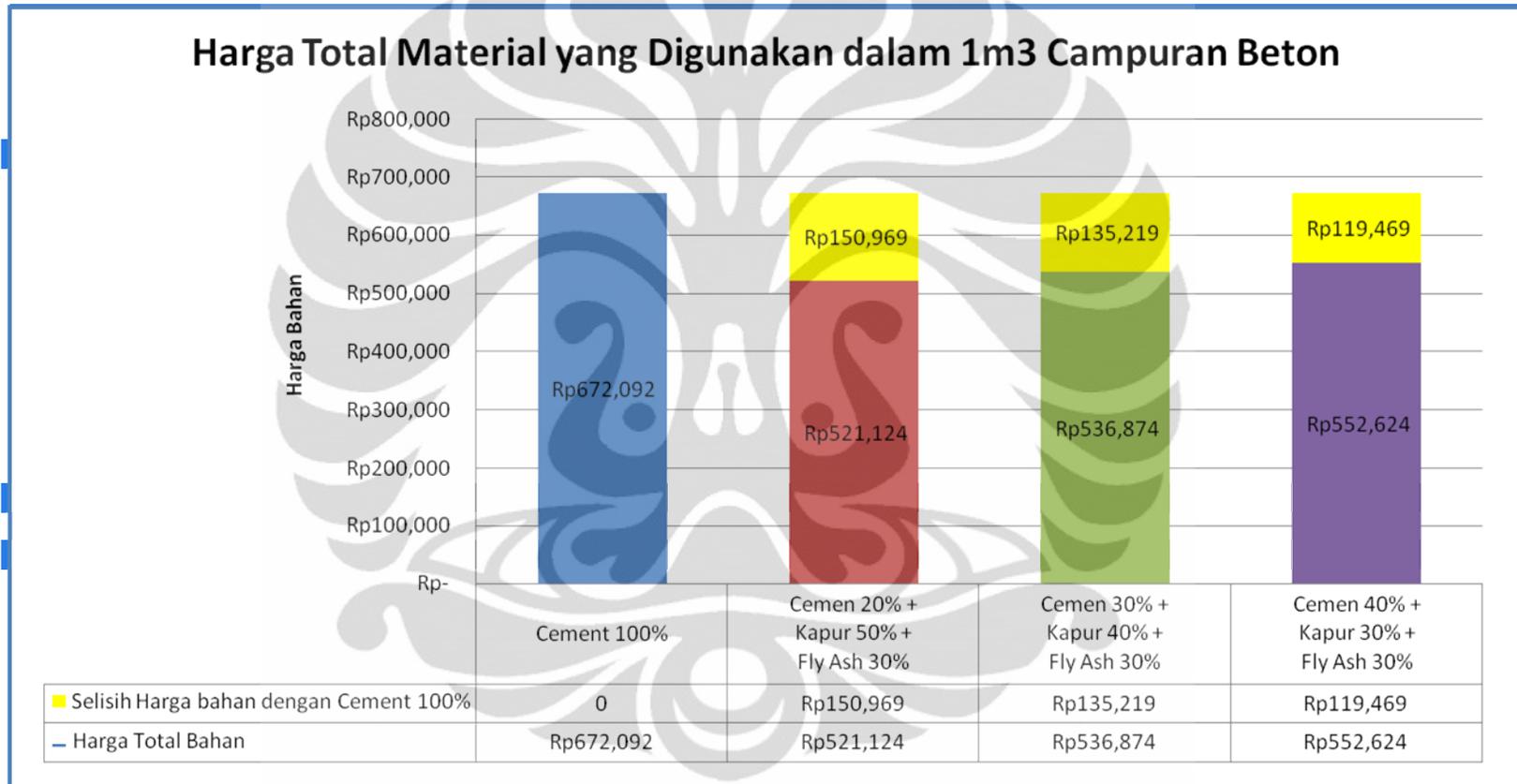
Uraian	Kebutuhan Material			
	Per m ³ (kg)	Kubus 10x10x10		
Jumlah		1 buah	3 buah	6 buah
Volume (m ³)		0,00150	0,00525	0,00975
Bahan Pengikat	225,000	0,338	1,181	2,194
C20%+K50%+F30%				
Semen 20%	45,000	0,068	0,236	0,439
Kapur 50%	112,500	0,169	0,591	1,097
Fly Ash 30%	67,500	0,101	0,354	0,658
C30%+K40%+F30%				
Semen 30%	67,500	0,101	0,354	0,658
Kapur 40%	112,500	0,135	0,473	0,878
Fly Ash 30%	67,500	0,101	0,354	0,658
C40%+K30%+F30%				
Semen 40%	90,000	0,135	0,473	0,878
Kapur 30%	67,500	0,101	0,354	0,658
Fly Ash 30%	67,500	0,101	0,354	0,658
Agregat Halus	801,845	1,203	4,210	7,818
Agregat Kasar	983,155	1,475	5,162	9,586
Air	180,000		0,700	

Tabel 4.10 Harga Total Material yang Digunakan dalam 1m³ Campuran Beton

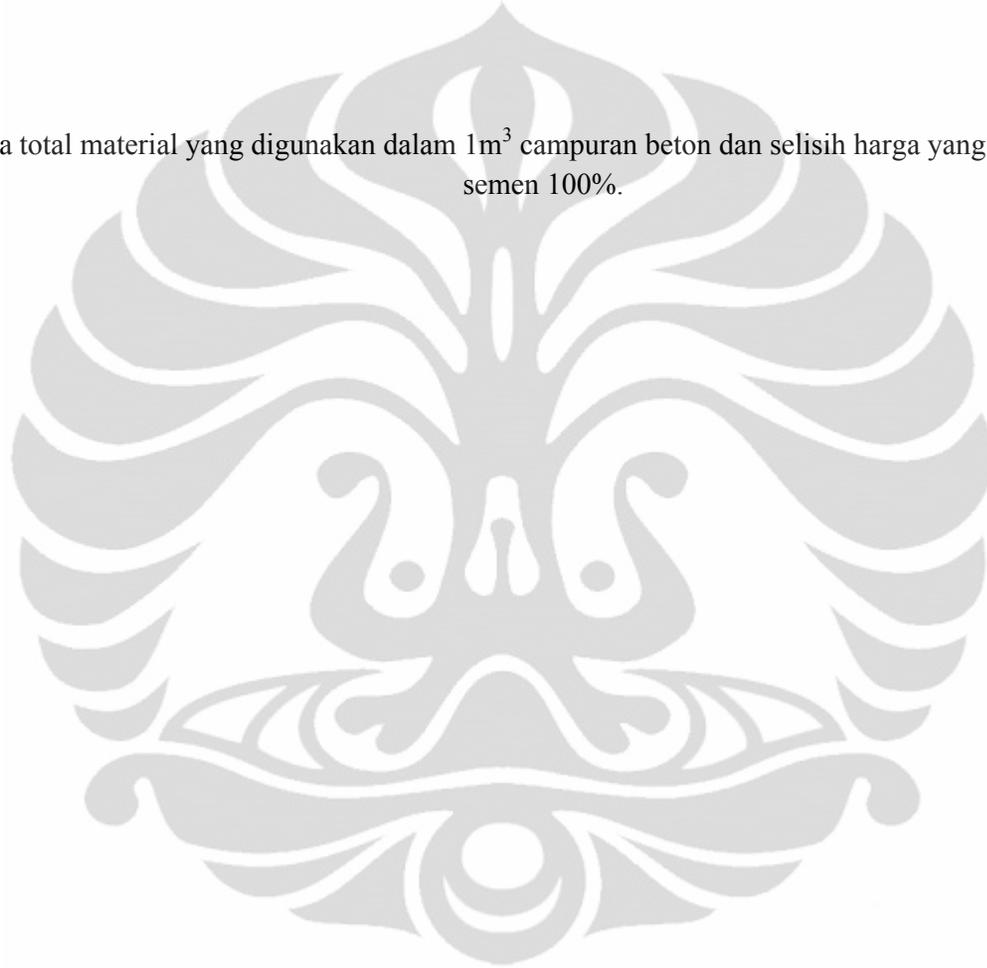
No.	Bahan	Persentase (%)	Harga		Jumlah Kebutuhan material / m ³ (kg)	Harga / m ³ (Rp)	Selisih Harga dengan sample 1 /m ³
			satuan	/kg			
1	Bahan Pengikat				250,0	Rp 275.000	Rp.-
	Semen	100	Rp 55.000 /50kg	Rp 1.100	250,0	Rp 275.000	
	Agregat Halus		Rp 250.000 /m ³	Rp 250	801,8	Rp 200.461	
	Agregat Kasar		Rp 200.000 /m ³	Rp 200	983,2	Rp 196.631	
	Total					Rp 672.092	
2	Bahan Pengikat				225,0	Rp 124.031	Rp. 150.969,-
	a. Semen	20	Rp 55.000 /50kg	Rp 1.100	45,0	Rp 49.500	
	b. Kapur Padam	50	Rp 400.000 /1000kg	Rp 400	112,5	Rp 45.000	
	c. Fly Ash (Abu Terbang)	30	Rp 17.500 /40kg	Rp 438	67,5	Rp 29.531	
	Agregat Halus		Rp 250.000 /m ³	Rp 250	801,8	Rp 200.461	
	Agregat Kasar		Rp 200.000 /m ³	Rp 200	983,2	Rp 196.631	
	Total					Rp 521.124	

No.	Bahan	Persentase (%)	Harga		Jumlah Kebutuhan material / m ³ (kg)	Harga / m ³ (Rp)	Selisih Harga dengan sample 1 /m ³
			satuan	/kg			
3	Bahan Pengikat				225,0	Rp 139.781	Rp. 135.219,-
	a. Semen	30	Rp 55.000 /50kg	Rp 1.100	67,5	Rp 74.250	
	b. Kapur Padam	40	Rp 400.000 /1000kg	Rp 400	90,0	Rp 36.000	
	c. Fly Ash (Abu Terbang)	30	Rp 17.500 /40kg	Rp 438	67,5	Rp 29.531	
	Agregat Halus		Rp 250.000 /m ³	Rp 250	801,8	Rp 200.461	
	Agregat Kasar		Rp 200.000 /m ³	Rp 200	983,2	Rp 196.631	
	Total						
4	Bahan Pengikat				225,0	Rp 155.531	Rp. 119.469,-
	a. Semen	40	Rp 55.000 /50kg	Rp 1.100	90,0	Rp 99.000	
	b. Kapur Padam	30	Rp 400.000 /1000kg	Rp 400	67,5	Rp 27.000	
	c. Fly Ash (Abu Terbang)	30	Rp 17.500 /40kg	Rp 438	67,5	Rp 29.531	
	Agregat Halus		Rp 250.000 /m ³	Rp 250	801,8	Rp 200.461	
	Agregat Kasar		Rp 200.000 /m ³	Rp 200	983,2	Rp 196.631	
	Total						

Catatan : Semua harga material yang digunakan adalah harga tahun 2011 wilayah Jabodetabek, kecuali kapur padam wilayah padalarang dan fly ash wilayah Malang

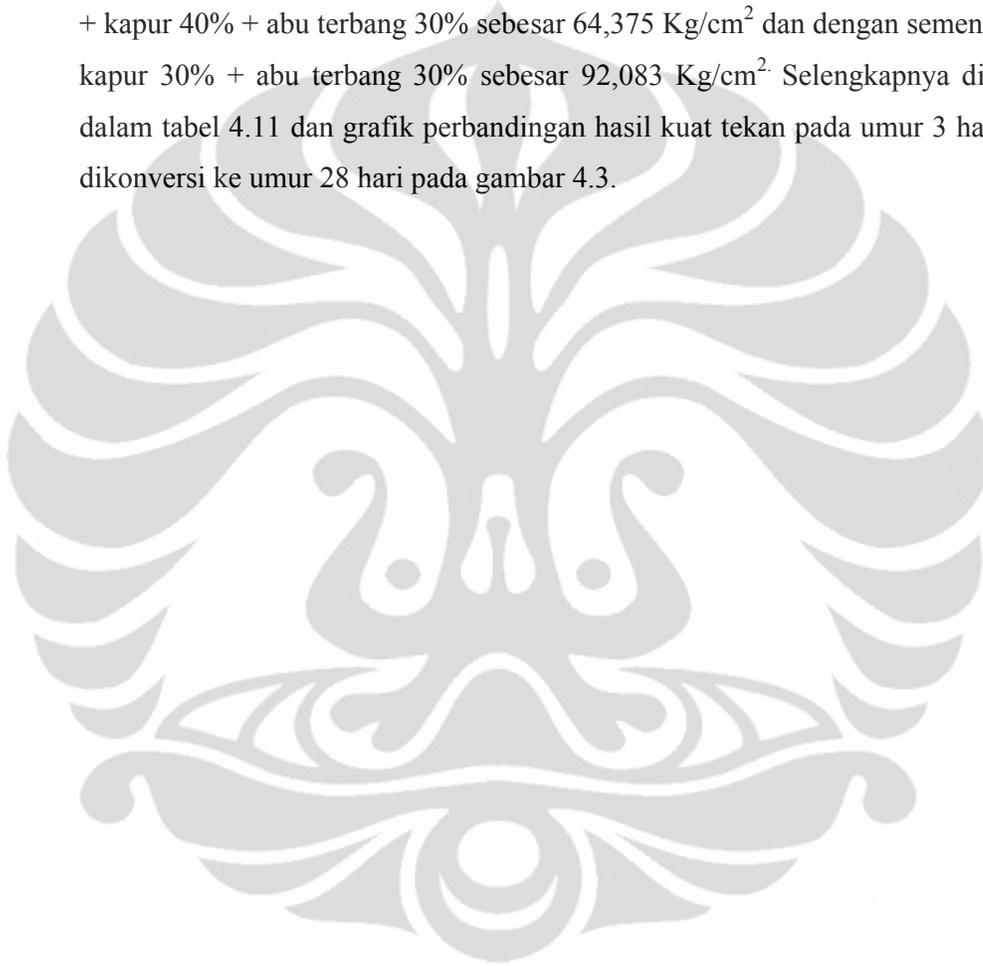


Gambar 4.2 Grafik harga total material yang digunakan dalam 1m^3 campuran beton dan selisih harga yang dibandingkan dengan campuran semen 100%.



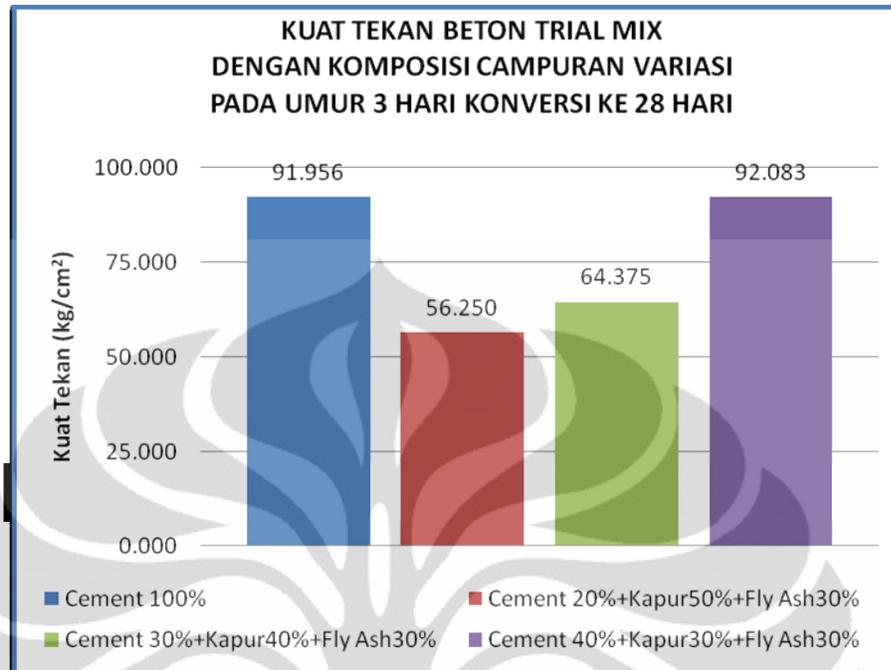
4.5. Pengujian Komposisi Campuran Trial Mix

Setelah melakukan pengecoran dan curing selama 2 hari, maka didapat nilai kuat tekan kubus 10 cm x 10 cm x 10 cm pada umur 3 hari yang dikonversi ke 28 hari yaitu untuk campuran beton dengan komposisi bahan pengikat semen 20% + kapur 50% + abu terbang 30% sebesar 56,250 Kg/cm², dengan semen 30% + kapur 40% + abu terbang 30% sebesar 64,375 Kg/cm² dan dengan semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% sebesar 92,083 Kg/cm². Selengkapnya disajikan dalam tabel 4.11 dan grafik perbandingan hasil kuat tekan pada umur 3 hari yang dikonversi ke umur 28 hari pada gambar 4.3.



Tabel 4.11 Kuat Tekan Trial Mix dengan Kubus 10cm x 10cm x 10cm

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Berat (gr)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi	
	Dicor	Ditest							28 hari (Kg/cm ²)	
1	4-Mar-2011	7-Mar-2011	3	C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2047	2.375	23,750	: 0,4	59,375
				C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2055	2.125	21,250		53,125
				C=20%, K=50%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2030	1.750	17,500		43,750
	Rata - rata								20,833	56,250
2	4-Mar-2011	7-Mar-2011	3	C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2038	2.375	23,750	: 0,4	59,375
				C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2049	2.675	26,750		66,875
				C=30%, K=40%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2063	2.675	26,750		66,875
	Rata - rata								25,750	64,375
3	4-Mar-2011	7-Mar-2011	3	C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2172	3.675	36,750	: 0,4	91,875
				C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2129	3.500	35,000		87,500
				C=40%, K=30%, F=30%	Kubus 10 x 10 x 10 100	2121	3,875	38,750		96,875
	Rata - rata								36,833	92,083



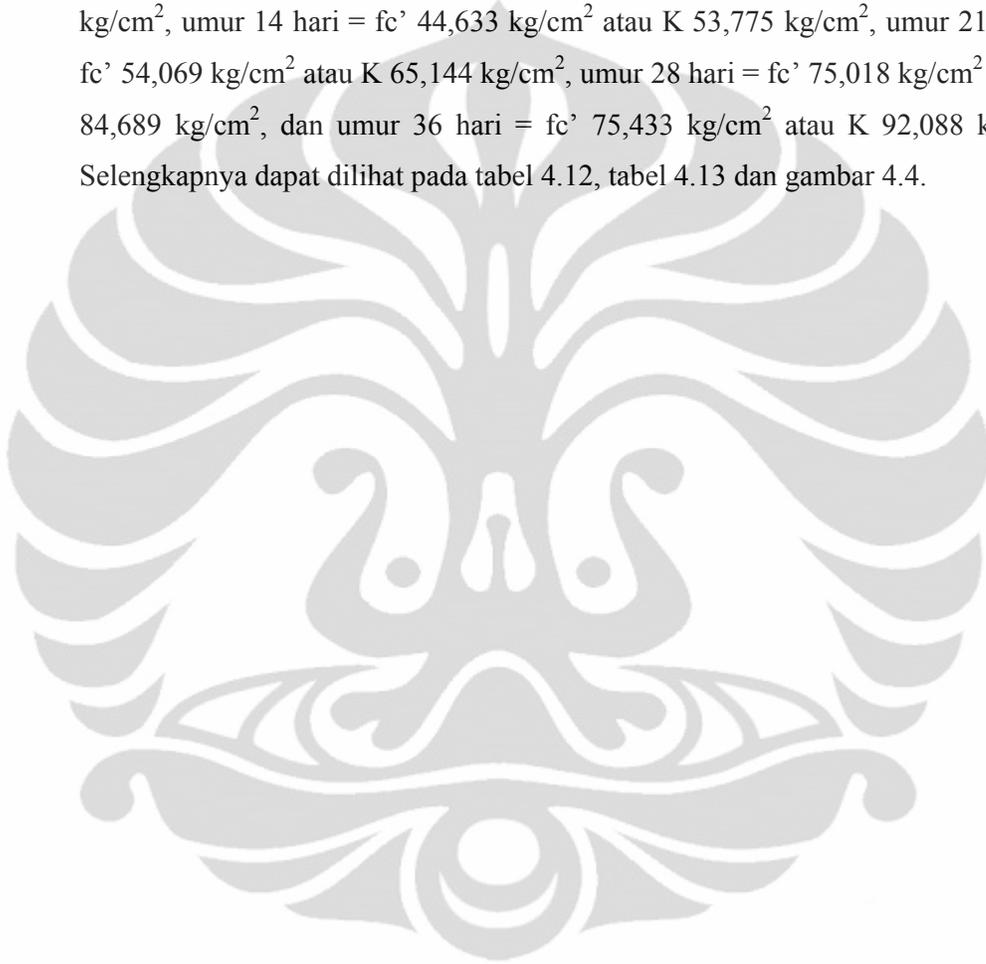
Gambar 4.3 Grafik Kuat Tekan Beton Trial Mix dengan Komposisi Campuran Variasi pada Umur 3 Hari Konversi Ke 28 Hari

Dengan mengacu pada hasil kuat tekan trial mix saat umur 3 hari yang dikonversi ke umur 28 hari seperti pada tabel 4.11 dan gambar 4.3, maka dipilih komposisi campuran semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% untuk selanjutnya digunakan sebagai bahan penelitian lapis pondasi bawah (*sub base*) perkerasan kaku karena komposisi tersebut yang paling mendekati hasil kuat tekan dengan bahan pengikat semen 100%. Pemilihan komposisi campuran semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% juga didasari oleh selisih harga total material yang digunakan dalam 1m³ campuran beton dengan komposisi bahan pengikat semen 100%.

4.6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah beton dicetak dengan silinder Ø15 x 30cm dan dilakukan perendaman (*curing*) di bak rendam Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil UI dilakukan pengetesan kuat tekan beton dengan mesin tekan yang telah dikalibrasi. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan bahan pengikat semen 100 % yaitu pada umur 3 hari = $f_c' = 36,801 \text{ kg/cm}^2$ atau $K = 44,339 \text{ kg/cm}^2$, umur 7 hari = $f_c' = 58,504 \text{ kg/cm}^2$ atau $K = 70,487 \text{ kg/cm}^2$, umur 14 hari = f_c'

81,151 kg/cm² atau K 97,773 kg/cm², umur 21 hari = fc' 81,623 kg/cm² atau K 98,341 kg/cm², dan umur 28 hari = fc' 84,926 kg/cm² atau K 102,320 kg/cm². Sedangkan hasil pengujian kuat tekan untuk bahan pengikat komposisi campuran semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% yaitu pada umur 3 hari = fc' 18,589 kg/cm² atau K 22,397 kg/cm², umur 7 hari = fc' 28,403 kg/cm² atau K 34,220 kg/cm², umur 14 hari = fc' 44,633 kg/cm² atau K 53,775 kg/cm², umur 21 hari = fc' 54,069 kg/cm² atau K 65,144 kg/cm², umur 28 hari = fc' 75,018 kg/cm² atau K 84,689 kg/cm², dan umur 36 hari = fc' 75,433 kg/cm² atau K 92,088 kg/cm². Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.12, tabel 4.13 dan gambar 4.4.



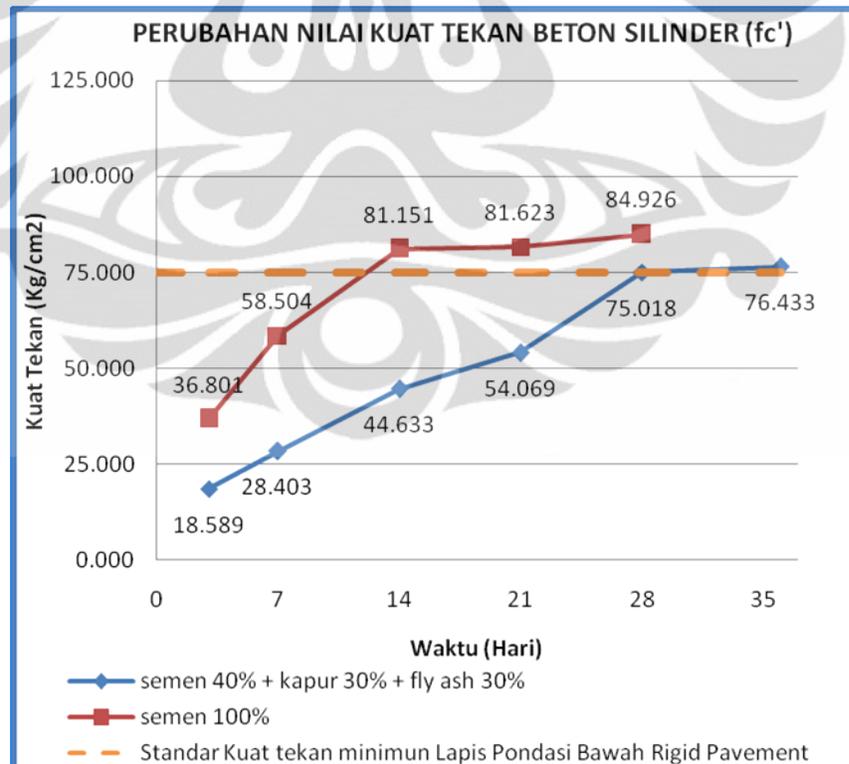
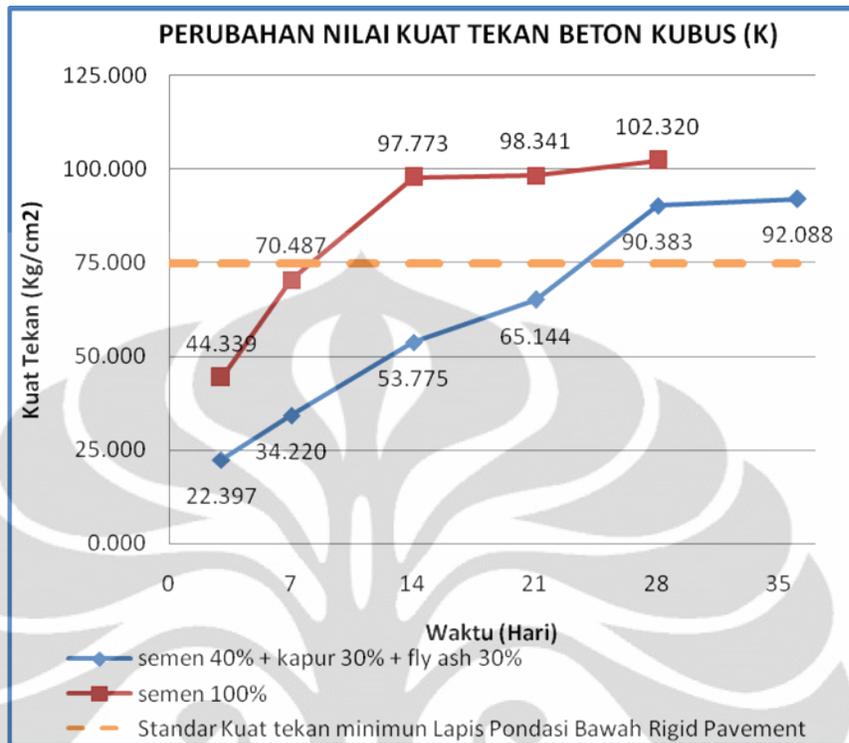
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Pengikat Semen 100%

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (gr)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi kuat tekan kubus (0.83)
	Dicor	Ditest								
1	14-Feb-11	17-Feb-11	3	Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63	15	11761	7.500	42,463	51,160
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11660	6.500	36,801	44,339
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11721	6.500	36,801	44,339
	Rata - rata									36,801
2	14-Feb-11	21-Feb-11	7	Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63	15	11365	10.500	59,448	71,624
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11402	10.500	59,448	71,624
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11419	10.000	56,617	68,213
	Rata - rata									58,504
3	14-Feb-11	28-Feb-11	14	Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63	15	11780	14.000	79,264	95,499
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11727	14.500	82,095	98,909
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11887	14.500	82,095	98,909
	Rata - rata									81,151
4	14-Feb-11	7-Mar-11	21	Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63	15	11769	14.750	83,510	100,615
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11263	15.000	84,926	102,320
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11618	13.500	76,433	92,088
	Rata - rata									81,623
5	14-Feb-11	14-Mar-11	28	Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63	15	11993	17.500	99,080	119,373
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11637	15.000	84,926	102,320
				Cement (100%)	Silinder Ø 15 -30 176,63		11790	15.000	84,926	102,320
	Rata - rata									84,926

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Bahan Pengikat Semen 40% + Kapur 30% + Abu Terbang 30%

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (gr)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi kuat tekan kubus (0.83)
	Dicor	Ditest								
1	12-Apr-11	15-Apr-11	3	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.645	3.250	18,401	22,169
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.671	3.500	19,816	23,875
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.831	3.100	17,551	21,146
	Rata - rata									18,589
2	12-Apr-11	19-Apr-11	7	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.743	5.550	31,423	37,858
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.604	4.750	26,893	32,401
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.715	4.750	26,893	32,401
	Rata - rata									28,403
3	12-Apr-11	26-Apr-11	14	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.675	7.950	45,011	54,230
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		12.240	7.750	43,878	52,865
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.750	7.950	45,011	54,230
	Rata - rata									44,633
4	12-Apr-11	3-May-11	21	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.853	9.850	55,768	67,190
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.699	7.200	40,764	49,114
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.743	9.250	52,371	63,097
	Rata - rata									54,069
5	12-Apr-11	10-May-11	28	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.844	13.750	77,849	93,793
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.919	12.750	72,187	86,972
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.713	10.750	60,863	73,329
	Rata - rata									75,018

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (gr)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi kuat tekan kubus (0.83)
	Dicor	Ditest								
6	12-Apr- 11	18-May- 11	36	C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63	2	11.962	13.500	76,433	92,088
				C40%+K30%+F30%	Silinder Ø 15 -30 176,63		11.879	13.500	76,433	92,088
				Rata - rata						76,433



Gambar 4.4 Grafik Perubahan Nilai Kuat Tekan Beton

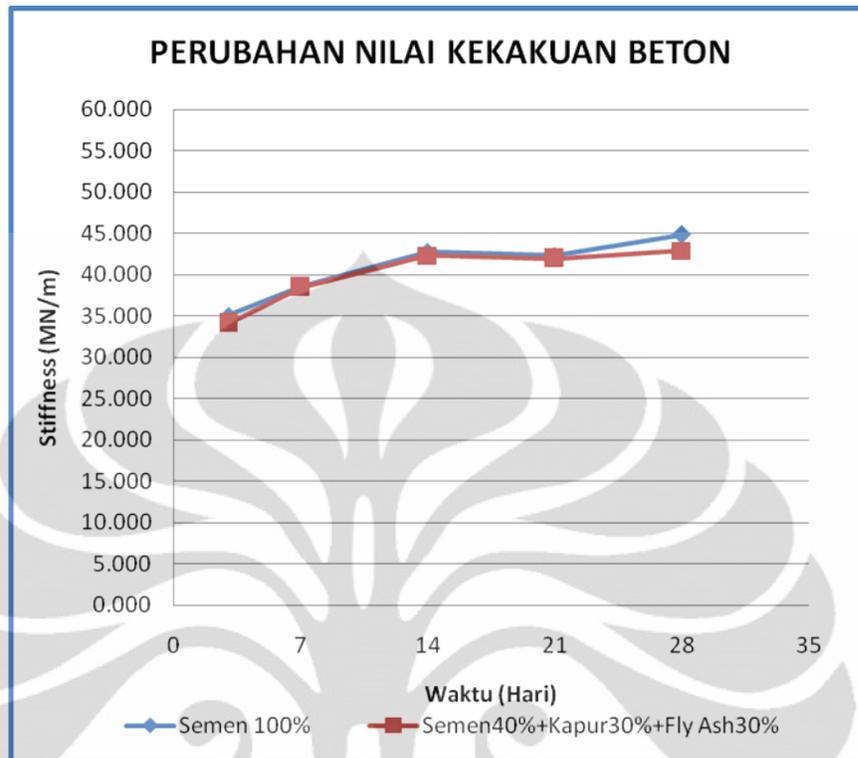
Dari tabel 4.13 dan gambar 4.4 diatas dapat dilihat kuat tekan untuk komposisi campuran beton dengan bahan pengikat semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk lapis pondasi bawah perkerasan kaku yaitu 75 kg/m^2 pada umur 28 hari.

4.7. Pengujian Kekakuan Beton

Waktu pengujian kekakuan beton dilakukan bersamaan dengan waktu (hari) pengujian kuat tekan beton. Pungujian kekakuan ini menggunakan alat GeoGauge. Hasil pengujian kekakuan beton dengan komposisi bahan pengikat semen 100% pada umur 3 hari = 35,11 MN/m, umur 7 hari = 38,55 MN/m, umur 14 hari = 42,73 MN/m, umur 21 hari = 42,33 MN/m, dan pada umur 28 hari 44,90 MN/m. Sedangkan untuk beton dengan komposisi bahan pengikat semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% pada umur 3 hari = 34,15 MN/m, umur 7 hari = 38,53 MN/m, umur 14 hari = 42,31 MN/m, umur 21 hari = 41,95 MN/m, dan pada umur 28 hari 42,94 MN/m. Data lengkapnya disajikan dalam tabel 4.15 dan gambar 4.5.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Kekakuan Beton dengan Pengikat Semen 100% dan Semen 40% + Kapur 30% + Fly Ash 30%

No	Umur (hari)	Semen 100%			Semen 40% + Kapur 30% + Fly Ash 30%		
		Tanggal		Stiffness (MN/m)	Tanggal		Stiffness (MN/m)
		Dicor	Ditest		Dicor	Ditest	
1	3	14-Feb-11	17-Feb-11	55,57	12-Apr-11	15-Apr-11	30,85
				32,37			30,54
				33,61			39,07
				49,50			38,32
				39,34			31,99
				Rata - rata			35,11
2	7	14-Feb-11	21-Feb-11	38,66	12-Apr-11	19-Apr-11	37,13
				38,41			38,15
				40,89			38,61
				37,26			39,80
				37,54			38,94
				Rata - rata			38,55
3	14	14-Feb-11	28-Feb-11	38,74	12-Apr-11	26-Apr-11	44,72
				44,58			41,44
				45,76			44,66
				41,10			53,06
				43,48			38,43
				Rata - rata			42,73
4	21	14-Feb-11	7-Feb-11	41,94	12-Apr-11	3-May-11	41,49
				38,88			43,77
				41,39			37,00
				42,26			44,67
				47,16			42,81
				Rata - rata			42,33
5	28	14-Feb-11	14-Feb-11	50,69	12-Apr-11	10-May-11	44,80
				38,17			41,80
				41,71			47,74
				51,82			41,40
				42,09			38,95
				Rata - rata			44,90



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kekakuan dengan Waktu

Dari tabel dan grafik kekakuan (*stiffness*) diatas, dapat dilihat bahwa perubahan nilai kekakuan beton dengan bahan pengikat semen40%+kapur30%+fly ash30% mendekati nilai kekakuan beton dengan bahan pengikat semen 100%. Perbedaan perubahan rata-rata kekakuan kedua *sample* selama 28 hari yaitu :

$$= \frac{(35,11 - 34,15) + (38,55 - 38,53) + (42,73 - 42,31) + (42,33 - 41,95) + (44,90 - 42,94)}{5}$$

$$= 0,75 \text{ MN/m}$$

Dari hasil tersebut menunjukkan antara beton dengan bahan pengikat semen 100% dan bahan pengikat komposisi semen 40% + kapur 30% + abu terbang 30% terdapat perbedaannya sangat kecil.

4.8. Defleksi

Besar defleksi yang ditimbulkan berdasarkan hasil pengujian kuat tekan dan kekakuan dapat dihitung dengan persamaan 2.2, dimana *Force* (gaya) diwakili oleh hasil pengujian kuat tekan dan *stiffness* oleh hasil pengujian kekakuan. Besar hasil perhitungan defleksi dapat dilihat dalam tabel 4.15.

Tabel 4.15 Defleksi

Umur	Kuat Tekan				Kekakuan				Defleksi			
	Semen 100%		Semen40% + kapur30% + fly ash30%		Semen 100%		Semen40% + kapur30% + fly ash30%		Semen 100%		Semen40% + kapur30% + fly ash30%	
	(Kg/cm ²)	(Kg/m ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/m ²)	(MN/m)	(kg/m)	(MN/m)	(kg/m)	(m)	(cm)	(m)	(cm)
3	44,339	443387,137	22,397	223967,349	35,107	3510666,667	34,154	3415400,000	0,126	12,630	0,066	6,558
7	70,487	704871,858	34,220	342203,918	38,552	3855200,000	38,526	3852600,000	0,183	18,284	0,089	8,882
14	97,773	977725,481	53,775	537749,014	42,732	4273200,000	42,313	4231250,000	0,229	22,880	0,127	12,709
21	98,341	983409,931	65,144	651438,024	42,326	4232600,000	41,948	4194800,000	0,232	23,234	0,155	15,530
28	102,320	1023201,085	90,383	903827,625	44,896	4489600,000	42,938	4293800,000	0,228	22,790	0,210	21,050

4.9. Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton CTSB dengan Bahan Pengikat Kombinasi Semen, Kapur dan Abu Terbang

Kelebihan dan kekurangan penggunaan beton CTSB dengan bahan pengikat komposisi semen, kapur dan abu terbang dapat dilihat pada tabel 4.16 dimana dari segi Harga Total Material lebih murah 17,78% dari semen 100%, dan dari segi defleksi yang ditimbulkan lebih kecil 7,64% dari semen 100%. Sedangkan kekurangan dari penggunaan beton CTSB yaitu dari segi kuat tekan dimana nilai kuat tekan yang didapat lebih kecil 11,67% dari beton CTSB dengan pengikat semen 100% .

Tabel 4.16 Persentase Kelebihan dan Kekurangan Penggunaan Beton CTSB dengan Bahan Pengikat Kombinasi Semen 40% + kapur 30% + Fly Ash 30%

No.	Uraiaan	Semen100%	Semen40% + Kapur30% + Fly Ash30%
Kelebihan			
1	Harga (Rp)	640.235	552.624
	Selisih (Rp)	119.469	
	Persentase (%)	17,78%	
2	Defleksi (cm)	22,79	21,05
	Selisih (cm)	1,74	
	Persentase (%)	7,64%	
Kekurangan			
1	Kuat Tekan (Kg/cm ²)	102,320	90,383
	Selisih (Kg/cm ²)	11,937	
	Persentase (%)	11,67%	

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

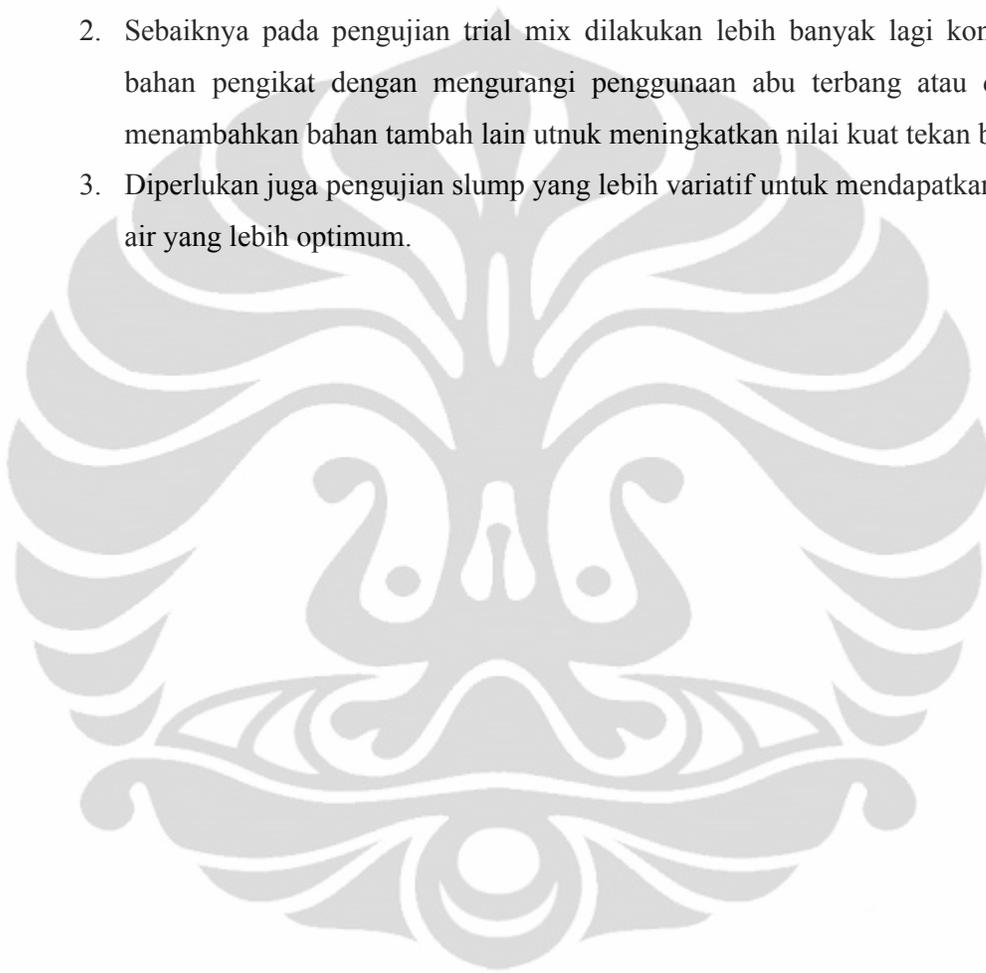
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dari hasil uji trial mix dan perhitungan harga bahan yang digunakan dalam 1 m³ beton maka komposisi campuran CTSB dengan kombinasi bahan pengikat semen, kapur dan abu terbang yang paling proporsional adalah 40% semen, 30% kapur dan 30% abu terbang dimana total harga yang digunakan lebih murah Rp. 119.469,- dari harga total material yang digunakan untuk CTSB dengan bahan pengikat semen 100%.
2. Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, nilai kuat tekan CTSB dengan kombinasi bahan pengikat 40 % semen, 30% Kapur dan 30% abu terbang melebihi standar minimum kuat tekan CTSB yaitu $f_c' = 75,018 \text{ kg/cm}^2$ atau $K = 90,383 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan nilai kekakuan yang diperoleh sebesar 42,94 MN/m.
3. Hasil perbandingan nilai kuat tekan dan kekakuan beton pada umur 28 hari, diperoleh besarnya nilai defleksi pada CTSB dengan kombinasi bahan pengikat 40% semen, 30% kapur dan 30% abu terbang yaitu 21,05 cm atau lebih kecil 1,74 cm dari defleksi CTSB dengan bahan pengikat semen 100%.
4. Kelebihan dari CTSB dengan komposisi bahan pengikat 40% semen, 30% kapur, dan 30% abu terbang yaitu dari segi ekonomis, harga yang digunakan lebih murah 17,78% dari CTSB dengan bahan pengikat semen 100%, dan dari segi defleksi yang ditimbulkan lebih kecil 7,64% dari CTSB dengan bahan pengikat semen 100%. Sedangkan kekurangan dari CTSB dengan komposisi bahan pengikat 40% semen, 30% kapur, dan 30% abu terbang yaitu dari segi nilai kuat tekan dimana nilai kuat tekan yang didapat lebih kecil 11,67% dari beton CTSB dengan pengikat semen 100% .

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan antara lain:

1. Untuk lebih mendapatkan komposisi campuran yang lebih akurat, sebaiknya pada pengujian trial mix menggunakan cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Sebaiknya pada pengujian trial mix dilakukan lebih banyak lagi komposisi bahan pengikat dengan mengurangi penggunaan abu terbang atau dengan menambahkan bahan tambah lain untuk meningkatkan nilai kuat tekan beton.
3. Diperlukan juga pengujian slump yang lebih variatif untuk mendapatkan kadar air yang lebih optimum.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (1991). *SNI T-15-1990-03 Tata cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Author
- Badan Standarisasi Nasional. (1991). *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Author
- Departemen Pekerjaan Umum. (2010). *Spesifikasi Umum 2010*. Bandung, Jawa Barat: Author
- Hamboldt Mfg.Co. (2002). *GeoGauge User Guide*. Illinois, USA: Author
- Indocement Heidelberg Cement Group. (2011). *Cement Test Sertificate*. Bogor, Jawa Barat: Author
- Koestalam, P., & Sutoyo. (2010). *Perencanaan Tebal Perkerasan Jenis Lentur (Flexible Pavement) dan Jenis Kaku (Rigid Pavement)*. Jakarta: PT. Mediatama Saptakarya.
- Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. (2011). *Pedoman Praktikum Pemeriksaan Bahan Beton dan Mutu Beton*. Depok, Jawa Barat: Author
- Saodang, H. (2005). *Konstruksi Jalan Raya Buku 2 Perencanaan Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2006). *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.



LAMPIRAN 1
DATA PENGUJIAN

Universitas Indonesia



LABORATORIUM : KONSTRUKSI BETON & BAJA

SIEVE ANALYSIS OF FINE AGGREGATE

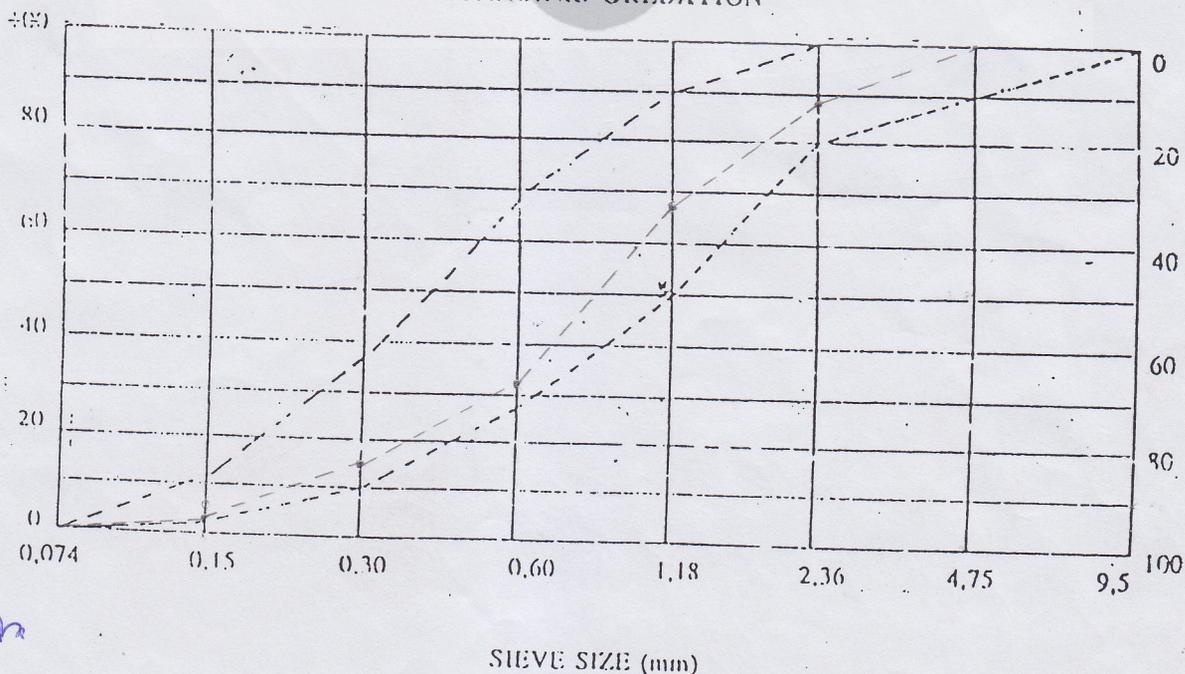
No: / C/LBSAFTUI/SAF/

SAMPLE : _____ DATE TESTED : 21 Januari 2011
 SIZE : _____ TESTED BY : _____
 SOURCE : _____ CHECKED BY : _____
 REQUESTED BY : _____ APPROVED BY : _____

SIEVE SIZE (mm)	SAMPLE No. 1			SAMPLE No. 2			AVERAGE	
	WEIGHT RET Δ GRAMS	CUM % RET	IND % RET	WEIGHT RET GRAMS	CUM % RET	IND % RET	IND %	CUM %
9.5	0	0	0	0	0	0	0	0
4.75	0	0	0	0	0	0	0	0
2.36	58	11,6	11,6	57	11,4	11,4	11,5	11,5
1,18	106	32,8	21,2	112	33,8	22,4	21,3	33,3
0,60	172	67,2	24,4	184	70,6	36,8	35,6	68,9
0,30	77	82,6	15,4	78	86,2	15,6	15,5	84,4
0,15	61	94,8	12,2	50	96,2	10	11,1	97
0,074	0	0	0	0	0	0	0	0
PAN	26	100	5,2	19	100	3,8	4,5	100
TOT.M.	500			500				

Jumlah 100

STANDARD GREDATION



CUMULATIVE PERCENT RETAINED

Kon
As



LABORATORIUM BAHAN

Departemen Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.18) - 727 0028 (Fax)

TEST FOR SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION-TEST OF FINE AGGREGATE

No. : /H/LBS/FTUI/SGF/ /200
 Sample :
 Size :
 Source :
 Requested by :
 Project :
 Address :

Date Tested : 21 - 25 Januari '11
 Tested by :
 Checked by :

A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air	(gram)	477	479
B) Weight of Pycnometer Filled with Water	(gram)	667	668
C) Weight of Pycnometer with Specimen and Water to Calibration Mark	(gram)	963	964
Bulk Specific Gravity	$= \frac{A}{B + 500 - C}$	2,34	2,35
Average of Above		2,345	
Bulk Specific Gravity (Saturated-Surface-Dry Basis)	$= \frac{500}{B + 500 - C}$	2,45	2,45
Average of Above		2,45	
Apparent Specific Gravity	$= \frac{A}{B + A - C}$	2,64	2,62
Average of Above		2,63	
Absorption (%)	$= \frac{500 - A}{A} \times 100\%$	4,82 %	4,39 %
Average of Above	(%)	4,61	

Jakarta, 200
 Head of Laboratory,

Dr.- Ing Henki W. Ashadi



LABORATORIUM BAHAN

Departemen Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4378 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

TEST OF SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE

No. : /C/LBS/FTUI/SGCN/2005.

Sample :

Size :

Source :

Requested by :

Project :

Address :

Date Tested : 19 Januari 2010

Tested by :

Checked by :

A) Weight of Oven-Dry Specimen in Air	(gram)	4841	4837
B) Weight of SSD Specimen in Air	(gram)	5000	5000
C) Weight of Saturated Specimen in Water	(gram)	3041	3032
Bulk Specific Gravity	$= \frac{A}{B - C}$	2,471	2,458
Average of Above		2,465	
Ssd Specific Gravity	$= \frac{B}{B - C}$	2,552	2,541
Average of Above		2,547	
Apparent Specific Gravity	$= \frac{A}{A - C}$	2,689	2,680
Average of Above		2,685	
Absorption (%)	$= \frac{B - A}{A} \times 100\%$	3,28	3,37
Average of Above	(%)	3,325	

Jakarta,
Head of Laboratory,

Dr.- Ing Henki W. Ashadi



LABORATORIUM BAHAN

Departemen Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.18) - 727 0028 (Fax)

TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOLDS IN AGGREGATE

Sample :
 Size :
 Source :
 Requested by :
 Project :
 Address :

Date Tested : 21 Januari 2011
 Tested by :
 Checked by :

Ag. halus

		COMPACT	
a) Weight of Measure	(kg)	1055	
b) Weight Of Measure + Water	(kg)	3055	3055
c) Weight of Measure and Sample	(kg)	4179	4203
d) Weight of Sample	(kg)	3124	3148
e) Volume Of measure	(kg/liter)	2000	2000
f) Unit Weight Of Aggregate	(kg/liter)	1,562	1,574
B) Average of Above	(kg/liter)	1,568	
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate		2,345	
W) Unit Weight of Water	(kg/liter)	1	1
Void	(%)	30,13	30,13
Average		30,13	
d) = c) - a) f) = $\frac{d}{e}$ e) = b) - a)		$\text{Void (\%)} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$	

Jakarta, _____
 Head of Laboratory,

Dr.- Ing Henki W. Ashadi



LABORATORIUM BAHAN

Departemen Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.18) - 727 0028 (Fax)

TEST FOR UNIT WEIGHT AND VOLDS IN AGGREGATE

Sample :
 Size :
 Source :
 Requested by :
 Project :
 Address :

Date Tested : 19 Januari 2011
 Tested by :
 Checked by :

Ag. kasar

		COMPACT	
a) Weight of Measure	(kg)	5089	
b) Weight Of Measure + Water	(kg)	14361	14361
c) Weight of Measure and Sample	(kg)	19009	19007
d) Weight of Sample	(kg)	13920	13918
e) Volume Of measure	(kg/liter)	9272	9272
f) Unit Weight Of Aggregate	(kg/liter)	1,501	1,501
B) Average of Above	(kg/liter)	1,501	
A) Bulk Specific Gravity of Aggregate		2,465	
W) Unit Weight of Water	(kg/liter)	1	1
Void	(%)	39,11	39,11
Average		39,11	
d)		$(A \times W) - B$	
d) = c) - a)	f) = $\frac{d}{e}$	Void (%) = $\frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100\%$	
e) = b) - a)			

Jakarta, _____
 Head of Laboratory,

Dr.- Ing Henki W. Ashadi

HASIL UJI KUAT TEKAN MORTAR

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (Kg)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi 28 hari	Keterangan
	Dicor	Ditests									
1.	28/3/2011	31/3/2011	3	C 100%	Kubus 5x5x5 (25)		255	12.000	480.		
				C 70%	Kubus 5x5x5 (25)		249	11.880	475,2		
				C 100%	Kubus 5x5x5 (25)		251	11.950	476		
Rata - rata											
2.	28/3/2011	31/3/2011	3	C 20%, K 10%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		190	1.250	50		
				C 20%, K 30%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		194	1.125	45		
				C 20%, K 50%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		184	1.250	50		
Rata - rata											
3.	28/3/2011	31/3/2011	3	C 30%, K 40%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		200	2.675	107,00		
				C 30%, K 40%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		200	2.675	107,00		
				C 30%, K 40%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		208	2.500	100,000		
Rata - rata											
4.	28/3/2011	31/3/2011	3	C 30%, K 30%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		215	5.675	227,00		
				C 30%, K 30%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		217	5.670	226,8		
				C 30%, K 30%, F 30%	Kubus 5x5x5 (25)		216	5.675	227,0		
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											

fuy
2

HASIL UJI KUAT TEKAN TRIAL MIX

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (Kg)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi 28 hari	Keterangan
	Dicor	Ditest									
1.	4/3/2011	7/3/2011	3	C20%, K40%, F30%	K 10 x 10 x 10 (100)		2047	2375	23,75	59,375	0,4
							2055	2125	21,25	53,125	
							2030	1750	17,50	43,75	
Rata - rata											
2.	4/3/2011	7/3/2011	3	C30%, K40%, F30%	K 10 x 10 x 10 (100)		2049	2375	23,75	59,375	
							2063	2675	26,75	66,88	
Rata - rata											
3.	4/3/2011	7/3/2011	3	K40%, K30%, F30%	K 10 x 10 x 10 (100)		2172	3675	36,75	91,075	
							2129	3500	35,00	87,5	
							2121	3875	38,75	96,075	
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											
Rata - rata											

HASIL UJI KUAT TEKAN BETON MIX DESIGN SEMEN + KAPUR + ABU TERBANG

No	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk & Luas Penampang (cm ²)	Slump (cm)	Berat (Kg)	Beban (Kg)	Tegangan (Kg/cm ²)	Konversi 28 hari	Keterangan
	Dicor	Ditest									
1.	12-4-11	15-4-11	3	C-K-F	silinder (176,63)	3	11645	3250	18,40	41,32	0,9 B
							11671	3500	19,63	41,61	B
							11813	3100	17,55	41,56	
Rata - rata											
2.	12-4-11	19-4-11	7	C-K-F	silinder (176,63)	3	11743	5550	31,42	41,65	B
							11604	4750	26,89	41,89	
							11715	4750	26,89	41,89	
Rata - rata											
3.	12-4-11	26-4-11	14	C-K-F	silinder (176,63)	3	11675	7950	45,01	45,12	
							12240	7750	43,86		
							11750	7950	45,01		
Rata - rata											
4.	12-4-11	3-5-11	21	C-K-F	silinder (176,63)	3	11853	9850	55,77		
							11629	7200	40,76		
							11743	9250	52,37		
Rata - rata											
5.	12-4-11	10-5-11	28	C-K-F	silinder (176,63)	3	11844	13750	77,85		
							11919	12750	72,18		
							11713	10750	60,86		
Rata - rata											
6.	12-4-11	10-5-11	36	C-K-F	silinder (176,63)	3	11962	13500	76,43		
							11879	13500	76,43		
Rata - rata											

HASIL Uji KEKAKUAN BETON SEMEN - KAPUR - ABU TERBANG

No	Tanggal		Umur (hari)	Stiffness (MN/m)		No	Tanggal		Umur (hari)	Stiffness (MN/m)	
	Dicor	Ditest		1	2		Dicor	Ditest		1	2
1.	12/4/2011	15/4/2011	3	30,85		5	12/4/2011	10/5/2011	28	44,80	
				30,54						41,80	
				39,07						47,74	
				38,32						41,40	
				31,99						38,95	
Rata - rata				34,15		Rata - rata				42,94	
2.	12/4/2011	19/4/2011	7	37,13		Rata - rata					
				38,15		Rata - rata					
				38,61		Rata - rata					
				39,80		Rata - rata					
				38,94		Rata - rata					
Rata - rata				38,53		Rata - rata					
3.	12/4/2011	26/4/2011	14	44,72		Rata - rata					
				41,44		Rata - rata					
				44,66		Rata - rata					
				53,06		Rata - rata					
				38,43		Rata - rata					
Rata - rata				42,31		Rata - rata					
4.	12/4/2011	3/5/2011	21	41,49		Rata - rata					
				43,77		Rata - rata					
				37,00		Rata - rata					
				44,67		Rata - rata					
				42,81		Rata - rata					
Rata - rata				41,95		Rata - rata					

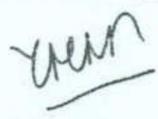
Quality Assurance and Research Division Laboratory
 Jl. Mayor Oking Jayaatmaja, Citeureup,
 Bogor 16810, West Java - Indonesia
 Tel. (+62 21) 86899903 Fax. (+62 21) 86899807



INDOCEMENT
 HEIDELBERGCEMENT Group

No. : 03KAN/QARD/PCC/III/2011

Date : March 18, 2011

CEMENT TEST CERTIFICATE Portland Composite Cement					
			Testing Method	SNI 15-7064-2004 Specifications	Test Result
Physical Properties :					
1	Air Content	%		12 max.	8.8
2	Blaine	m ² /kg		280 min.	421
3	Autoclave				
	- Autoclave expansion	%		0.80 max.	0.066
	- Shrinkage	%		0.20 max.	
4	Compressive Strength				
	- 3 Days	kg/cm ²	SNI-15-2049-2004	125 min.	224
	- 7 Days	kg/cm ²		200 min.	291
	- 28 Days	kg/cm ²		250 min.	Curing
5	Time of Setting, Vicat Test,				
	- Initial Set	minutes		45 min.	130
	- Final Set	minutes		375 max.	348
6	False set	%		50 min.	71
Chemical Properties :					
1	Silicon dioxide	SiO ₂	%	XRF	23.32
2	Aluminium dioxide	Al ₂ O ₃	%	XRF	6.40
3	Ferric oxide	Fe ₂ O ₃	%	XRF	3.06
4	Calcium oxide	CaO	%	XRF	56.28
5	Magnesium oxide	MgO	%	XRF	3.14
6	Sulfur trioxide	SO ₃	%	XRF	4.0 max.
7	Water-soluble Alkalies *	Water-soluble	%	ASTM C 114	0.25
8	Ignition Loss	LOI	%	SNI 15-2049-2004	4.41
9	Insoluble Residue	IR	%	SNI 15-2049-2004	8.60
10	Freelime	FCaO	%	ASTM STP 985	0.81
11	Tricalcium Aluminate	C ₃ A	%	CALCULATION	7.32
12	Tricalcium Aluminate*	3 CaO.Al ₂ O ₃	%	XRD	7.90
13	Chromium 6+ *	Cr 6+	ppm	UV-VIS	1.41
Remarks :					
Period : February 01-28, 2011					
28 Days Compressive Strength, Certificate No : 02KAN/QARD/PCC/III/2011 : 386 kg/cm ²					
Certified by,					
 Vera Indrawati QARD Manager					

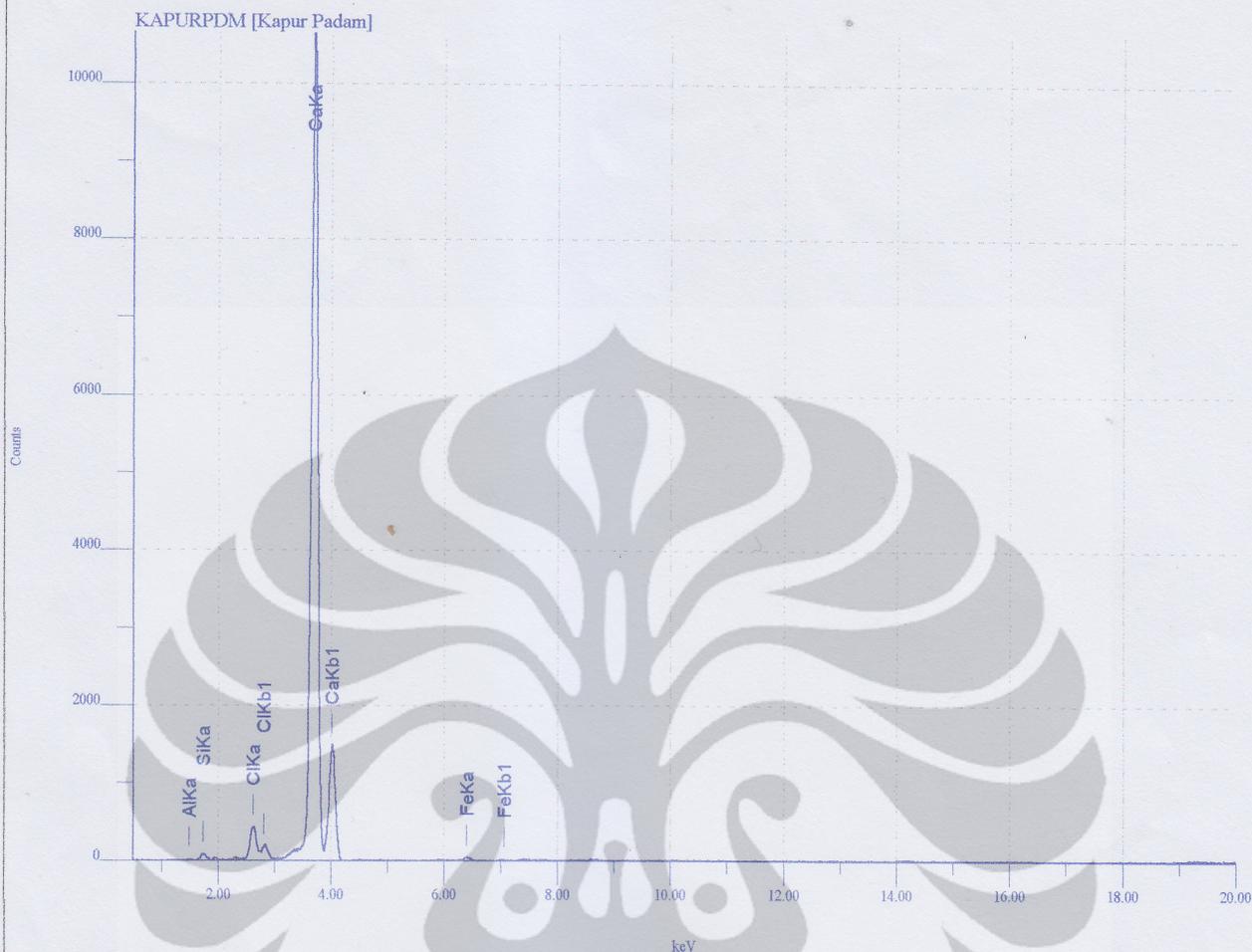


(31 - 02) 24032011.

This Laboratory is accredited by National Accreditation Body of Indonesia, KAN conforming SNI 19-17025-2000 with registration no. LP-287-IDN. Prohibited to copy/duplicate and/or publish part of this report without permission from Quality Assurance and Research Division Laboratory, PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk.

* unaccredited

1/1



File Name : D:\USER\JUNI11\KAPURPDM.SPC Acq. Time: 2011/ 6/ 8 15:12:30

Sample Name: Kapur Padam

Memo : Muh Asrih

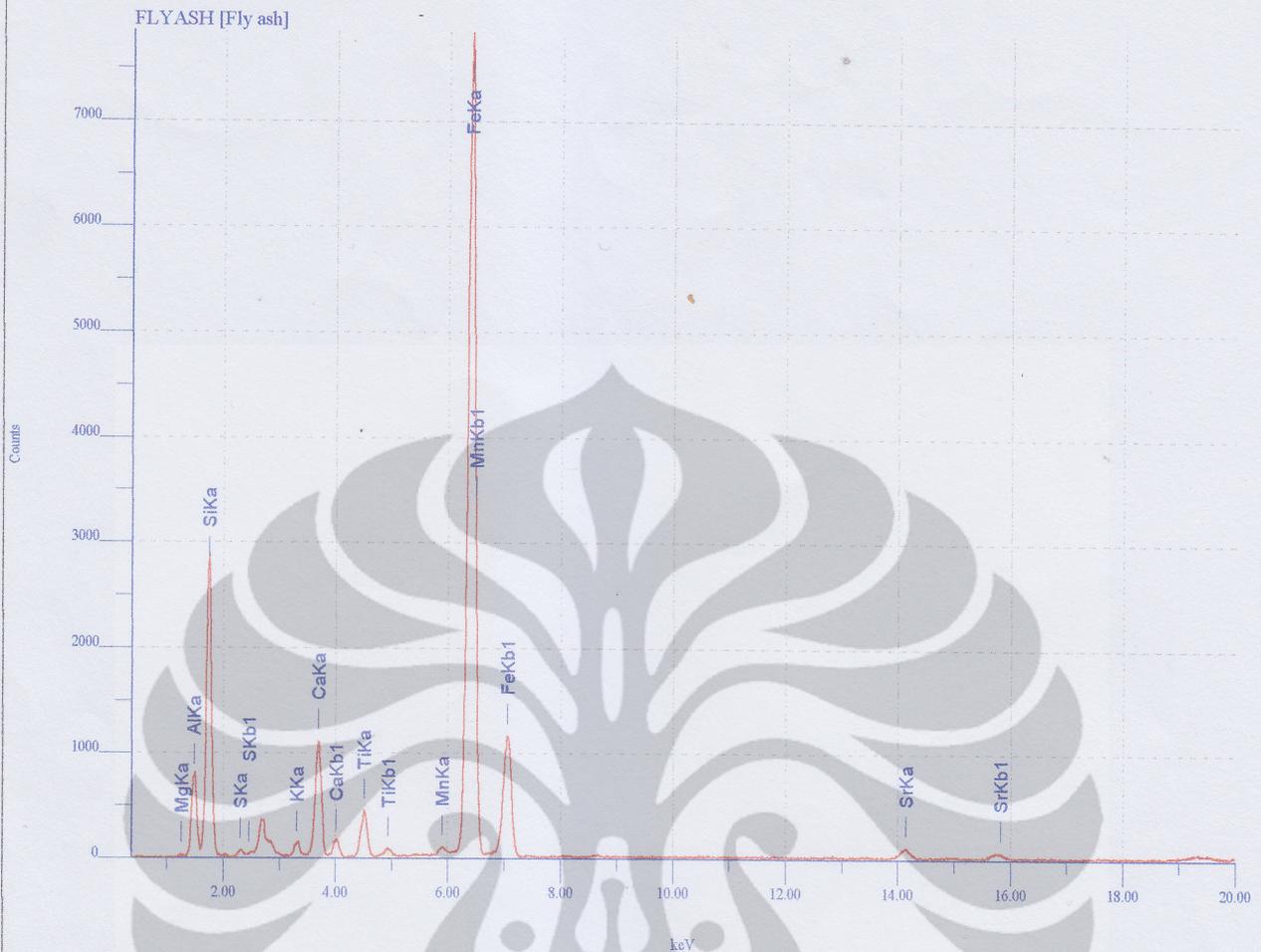
Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.022mA Live time: 150.00sec Pass:Vac

Quantitative Analysis Condition

Quantitative Analysis Method: Reference SUS1.SAN Stainless

Analysis Element: Al,Si,Cl,Ca,Fe

Num	Atom/Chem.Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	Al ₂ O ₃	0.4400	0.2496	0.0022001	125	1.4174
2	SiO ₂	1.3858	1.3340	0.0126867	886	0.6691
3	Cl ₂ O ₇	3.6149	1.1431	0.0603971	5267	0.3469
4	CaO	94.1895	97.1395	1.5712180	156553	0.3347
5	Fe ₂ O ₃	0.3697	0.1339	0.0027229	682	0.4025



File Name : D:\USER\JUNII\FLYASH.SPC Acq. Time: 2011/6/8 15:7:24
 Sample Name: Fly ash
 Memo : Muh Asrih
 Acq. Cond. : Voltage: 30.0kV Current: 0.030mA Live time: 150.00sec Pass:Vac
 Quantitative Analysis Condition
 Quantitative Analysis Method: Reference SUS1.SAN Stainless

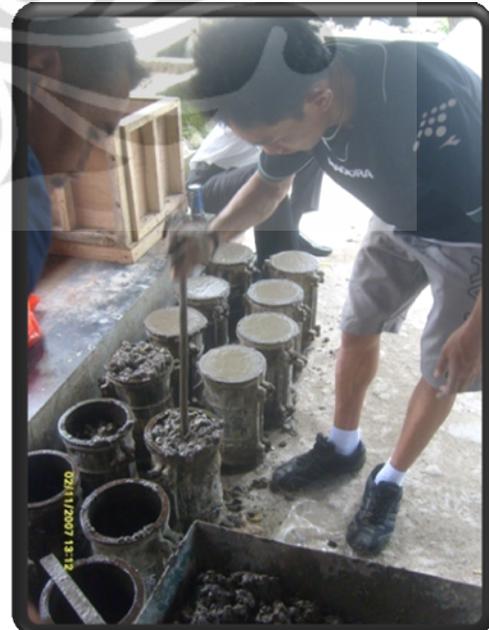
Analysis Element: Mg,Al,Si,S,K,Ca,Ti,Mn,Fe,Sr

Num	Atom/Chem.Formula	wt(%)	at/mole(%)	K-ratio	Integral Int.	Standard dev.
1	12 MgO	2.1845	4.1185	0.0216138	312	2.4743
2	13 Al2O3	20.8040	15.5065	0.1085017	8235	0.9338
3	14 SiO2	46.2223	58.4647	0.3441634	32057	0.5718
4	16 S	0.2379	0.5638	0.0034116	825	0.1263
5	19 K2O	0.7687	0.6201	0.0170254	1619	0.2228
6	20 CaO	5.9481	8.0608	0.1194239	15866	0.1891
7	22 TiO2	2.0529	1.9527	0.0287477	6595	0.1731
8	25 MnO2	0.7318	0.6397	0.0129190	3899	0.1207
9	26 Fe2O3	20.8348	9.9154	0.4072651	136054	0.1031
10	38 SrO	0.2151	0.1577	0.0112418	2509	0.1193



LAMPIRAN 2
DOKUMENTASI

Universitas Indonesia



Universitas Indonesia



Universitas Indonesia