

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS DAN PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN  
KAPUR SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN  
SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON  
(Studi Penelitian)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah  
Sumatera Utara*

**DISUSUN OLEH:**

**ZIBRILIAN ADIMAS**

**2007210136**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
2024**

## LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zibrilian Adimas

NPM : 2007210136

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Dan Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Dan Kapur Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Disetujui Untuk Disampaikan

Kepada Panitia Ujian:

Dosen Pembimbing



DR. Josef Hadipramana, S.T., M. Sc.

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zibrilian Adimas

Npm : 2007210136

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Dan Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Dan Kapur Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Agustus 2024

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Josef Hadipramana ST, M.Sc.

Dosen Pembanding I



Ir. Ade Faisal, ST, M.Sc, PhD.

Dosen Pembanding II



Sri Frapanti, ST, MT.

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Ir. Fahrizal Zulkarnain, ST., M.Sc, PhD.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Zibrilian Adimas  
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 05 Mei 2002  
Npm : 2007210136  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang Berjudul:

“Analisis Dan Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Dan Kapur Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton.”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau kesarjaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,

  
Zibrilian Adimas

## ABSTRAK

### ANALISIS DAN PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON (Studi Penelitian)

Zibrilian Adimas  
2007210136

DR. Josef Hadipramana, S.T., M. Sc.

Beton telah mengalami perkembangan dan kemajuan yang sangat pesat karena memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan lainnya. Seiring dengan melambungnya harga semen sebagai bahan utama pembuatan beton, maka biaya pembuatan beton menjadi mahal. Mahalnya biaya pembuatan beton merupakan suatu permasalahan yang perlu dipecahkan guna perkembangan teknologi di bidang konstruksi, khususnya pada biaya pembuatan suatu struktur bangunan. Dengan demikian pada penelitian ini di pilih abu terbang (*fly ash*) dan kapur sebagai bahan pengganti pada sebagian semen dalam campuran beton. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh kekuatan tekan dari pemakaian abu terbang (*fly ash*) dan kapur terhadap campuran beton. *Fly ash* dan kapur dipilih sebagai bahan substitusi sebagian semen karena mengandung silika yang bersifat *pozzolan*. Variasi komposit penambahan *fly ash* adalah 3%, 5% dan 7% dari berat semen sedangkan komposisi kapur pada campuran beton adalah 5% dari berat semen. Rata-rata kekuatan tekan beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari beton normal; beton *fly ash* dan kapur 3% ; beton *fly ash* dan kapur 5% ; beton *fly ash* dan kapur 7% p a d a 7 h a r i berturut-turut adalah 5,61 MPa; 8,42 MPa; 6,73 MPa; 12,91 Mpa. Pada umur 14 hari 9,54 MPa; 11,51 MPa; 10,1 MPa; 13,75 MPa. Pada umur 28 hari 12 MPa; 15,44 MPa; 15,72 MPa; 14,03 MPa. Pengaruh penggunaan abu *fly ash* dan kapur terhadap kuat tekan beton pada hasil penelitian ini tidak terjadi peningkatan kuat tekan sesuai yang direncanakan yaitu sebesar 20 MPa pada umur 28 hari. Maka dapat disimpulkan persentase penambahan *fly ash* sebesar 3%, 5% dan 7% dari berat semen dan persentase kapur sebesar 5% dari berat semen kurang optimal sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton karena tidak mencapai nilai kuat tekan beton ( $f_c'$ ) yang direncanakan sebesar 20 MPa.

Kata kunci: Abu Terbang (*fly ash*), Kapur, Kuat Tekan Beton.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS AND EFFECT OF ADDING FLY ASH AND LIME AS PARTIAL SUBSTITUTIONS FOR CEMENT ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE**

Zibrilian Adimas

2007210136

DR. Josef Hadipramana, S.T., M. Sc.

*Concrete has experienced very rapid development and progress because it has advantages compared to other materials. As the price of cement as the main ingredient for making concrete soars, the cost of making concrete has become expensive. The high cost of making concrete is a problem that needs to be solved in order to develop technology in the construction sector, especially the cost of making a building structure. Thus, in this research, fly ash and lime were chosen as replacement materials for some of the cement in the concrete mixture. The aim is to determine the effect of compressive strength from the use of fly ash and lime on the concrete mixture. Fly ash and lime were chosen as partial cement substitution materials because they contain silica which has pozzolanic properties. In the composite variations, the addition of fly ash is 3%, 5% and 7% of the cement weight, while the lime composition in the concrete mixture is 5% of the cement weight. The average compressive strength of concrete aged 7 days, 14 days and 28 days is normal; fly ash concrete and 3% lime; fly ash concrete and 5% lime; fly ash and lime 7% concrete on 7 consecutive days is 5.61 MPa; 8.42 MPa; 6.73 MPa; 12.91 Mpa. At 14 days old 9.54 MPa; 11.51 MPa; 10.1 MPa; 13.75 MPa. At 28 days old 12 MPa; 15.44 MPa; 15.72 MPa; 14.03 MPa. The effect of using fly ash and lime on the compressive strength of concrete in the results of this research was that there was no increase in compressive strength as planned, namely 20 MPa at 28 days. So it can be concluded that the percentage of added fly ash of 3%, 5% and 7% of the weight of cement and the percentage of lime of 5% of the weight of cement is not appropriate as a partial cement substitution material for the compressive strength of concrete because it does not reach the value of compressive strength of concrete ( $f_c'$ ) which is planned at 20 Mpa.*

*Keywords: Fly Ash, chalk, Concrete Compression Strength.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “Analisis Dan Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Dan Kapur Sebagai Bahan Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Beton” guna memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Banyak rintangan yang penyusun temui dalam penyusunan laporan ini. Akan tetapi, bantuan, dukungan, semangat dan kerjasama dari berbagai pihak, semua rintangan tersebut dapat teratasi. Penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara beserta semua staf dan karyawan.
2. Pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara beserta semua staf dan karyawan.
3. DR. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph. D. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan masukan dan arahan kepada penyusun dalam penyelesaian laporan ini.
4. Dosen Penguji Tugas Akhir atas segala saran yang telah diberikan demi kesempurnaan penelitian ini
5. Semua staf Laboratorium Bahan dan Struktur Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Semua staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Rekan-rekan tim penelitian kuat tekan beton, terima kasih atas kerja samanya.
8. Keluarga tercinta yang selalu memberikan semangat, perhatian dan dukungan penuh.
9. Teman-teman angkatan 2020 terima kasih atas dukungannya.

10. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan tugas akhir hingga selesai.

Penyusun menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih banyak kesalahan. Kritik dan saran yang bersifat membangun selalau penyusun terima. Meskipun demikian, semoga laporan ini mampu menjadi tambahan kekayaan ilmu dan wacana bagi penyusun pada khususnya dan bagi keluarga besar Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara pada umumnya serta pihak lain yang membutuhkan.

Medan, 5 Februari 2024



Zibrilian Adimas

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Beton	6
2.2 Bahan Penyusun Beton dan Hubungan Antar Bahan Penyusunnya	6
2.2.1 Air	7
2.2.2 Semen Portland	9
2.2.3 Agregat	11
2.3 Bahan Tambah Beton	12
2.3.1 <i>Fly Ash</i> (Abu Terbang)	12
2.3.2 Kapur	16
2.4 Kuat Tekan Beton	17
2.5 Penelitian Terdahulu	18

2.5.1 Penelitian Terdahulu Bahan Pengganti <i>Fly Ash</i>	18
2.5.2 Penelitian Terdahulu Bahan Pengganti Kapur	19
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>21</b>
3.1 Metodologi Penelitian	21
3.2 Lokasi Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat	22
3.3.2 Bahan	22
3.4 Variabel Penelitian	23
3.5 Bagan Alir Penelitian	23
3.6 Langkah-langkah Pengujian	25
3.6.1 Pengujian Material pada Agregat Kasar dan Halus	25
3.6.2 Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> )	28
3.6.3 Pengujian Workability ( <i>Slump</i> )	28
3.6.4 Pembuatan Benda Uji Silinder	29
3.6.5 Pengujian Kuat Tekan Beton	29
<b>BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>31</b>
4.1 Pengujian Bahan Agregat Kasar dan Agregat Halus pada Beton	31
4.1.1 Pemeriksaan Agregat Kasar	31
4.1.2 Pemeriksaan Agregat Halus	36
4.2 Komposisi Masing-Masing Komponen Material Pembentuk Beton	40
4.3 Perhitungan <i>Mix Design</i>	47
4.4 Pembuatan Benda Uji	55
4.5 Pengujian <i>Slump</i> Beton	56
4.6 Hasil dan Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton	57
4.6.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Normal	58
4.6.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 3%	59
4.6.3 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 5%	60
4.6.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 7%	61
4.6.5 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton	62
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>63</b>
5.1. Kesimpulan	63
5.2. Saran	63

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Kandungan Bahan-Bahan Kimia Dalam Bahan Baku Semen	9
Tabel 2.2 Proses Hidrasi Dan Jumlah Senyawa Kimia Semen Portland Secara Berurutan	10
Tabel 2.3 Kandungan Mineral dalam <i>fly ash</i>	15
Tabel 2.4 Hasil uji kuat tekan beton rata-rata semen terhadap <i>fly ash</i>	19
Tabel 2.5 Hasil uji kuat tekan beton rata-rata semen terhadap kapur	20
Tabel 3.1 Komposisi Jumlah Semen dengan <i>Fly Ash</i> dan Kapur	21
Tabel 4.1 Data-data dan Hasil Pemeriksaan Dasar	31
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	32
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	32
Tabel 4.4 Batas Gradasi Agregat Kasar	33
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	34
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	35
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	35
Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	37
Tabel 4.9 Daerah Gradasi Agregat Halus	37
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	38
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	38
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	39
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	39
Tabel 4.14 Faktor Pengali Untuk Standar Deviasi	41
Tabel 4.15 Perkiraan Kadar Air Bebas	42
Tabel 4.16 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum	43

Tabel 4.17 Perencanaan Campuran Beton SNI 03-2384-2000	47
Tabel 4.18 Komposisi Campuran Beton	53
Tabel 4.19 Banyak FAK yang dibutuhkan dalam 1 benda Uji Silinder	55
Tabel 4.20 Nilai Slump Test beton campuran FAK dan Beton Normal	56
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal	58
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 3%	59
Tabel 4.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 5%	60
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 7%	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Hubungan FAS dengan $F'c$	7
Gambar 2.2 Grafik Hubungan Antara FAS dengan Permeabilitas	8
Gambar 2.3 Benda Uji Kuat Tekan Beton	18
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Penelitian	24
Gambar 3.2 Skema Pemeriksaan <i>Slump</i> Beton Segar	28
Gambar 3.3 Setting Up Alat Uji Kuat Tekan	30
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar	34
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus	37
Gambar 4.3 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	44
Gambar 4.4 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis	45
Gambar 4.5 Hubungan FAS dan $fc'$	49
Gambar 4.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	51
Gambar 4.7 Hubungan Kandungan Air, BJ Camp. Dan Berat Isi pada Beton	52
Gambar 4.8 Grafik Rata-rata Pengujian <i>Slump</i>	57
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton Normal	58
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton FAK 3%	59
Gambar 4.11 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton FAK 5%	60
Gambar 4.12 Grafik Pengujian Kuat Tekan Beton FAK 7%	61
Gambar 4.13 Grafik Rata-rata Kuat Tekan Beton Normal dan Variasi	62

## DAFTAR NOTASI

A	= Luas Penampang	(cm <sup>2</sup> )
B	= Jumlah Air	(kg/m <sup>3</sup> )
B <sub>jcamp</sub>	= Berat Jenis Agregat Campuran	(gr/cm <sup>3</sup> )
B <sub>jh</sub>	= Berat Jenis Agregat Halus	(gr/cm <sup>3</sup> )
B <sub>jk</sub>	= Berat Jenis Agregat Kasar	(gr/cm <sup>3</sup> )
B <sub>K</sub>	= Berat Contoh Beton Kering Awal	(Kg)
B <sub>O</sub>	= Berat Contoh Beton Kering Akhir	(Kg)
C	= Jumlah Agregat Halus	(kg/m <sup>3</sup> )
C <sub>a</sub>	= Absorsi Agregat Halus	(%)
C <sub>k</sub>	= Kandungan Air Agregat Halus	(%)
D	= Jumlah Agregat Kasar	(kg/m <sup>3</sup> )
D <sub>a</sub>	= Absorsi Agregat Kasar	(%)
D <sub>k</sub>	= Kandungan Air Agregat Kasar	(%)
FM	= Modulus Kehalusan	(%)
f'c	= Kuat Tekan	(Mpa)
K <sub>h</sub>	= Persentasi Berat Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran	(%)
K <sub>k</sub>	= Persentasi Berat Agregat Kasar Terhadap Agregat Campuran	(%)
K.T. Var	= Kuat Tekan Variasi	(MPa)
K.T. Nor	= Kuat Tekan Normal	(MPa)
P	= Beban Tekan	(Kg)
W <sub>h</sub>	= Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Halus	(kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>k</sub>	= Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Kasar	(kg/m <sup>3</sup> )

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi di bidang konstruksi saat ini mengalami kemajuan, penggunaan beton sebagai salah satu pilihan konstruksi bangunan sipil sangat dominan dibandingkan dengan bahan konstruksi lain seperti kayu dan baja. Penggunaan beton sebagai bahan konstruksi ini dikarenakan beton mempunyai beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh bahan lain, diantaranya beton relatif murah karena bahan penyusunnya didapat dari bahan lokal, mudah dalam pengerjaan dan perawatannya, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap api dan korosi (Krisbiyantoro, 2005).

Beton juga memiliki rongga udara yang terperangkap atau dapat juga rongga udara yang sengaja dimasukkan melalui penambahan bahan tambahan. Bahan tambah kimia sering digunakan untuk mempercepat, memperlambat, memperbaiki sifat kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi air pencampur, menambah kekuatan, atau mengubah sifat-sifat lain dari beton yang dihasilkan.

Beberapa bahan bersifat semen seperti abu terbang, *pozzolan* alam, dan serbuk silika dapat digunakan bersama-sama dengan semen untuk menekan harga atau untuk memberikan sifat-sifat tertentu seperti misalnya untuk mengurangi panas hidrasi awal, menambah perkembangan kekuatan akhir, atau menambah daya tahan terhadap reaksi alkali-agregat atau serangan sulfat, menambah kerapatan, dan ketahanan terhadap masuknya larutan-larutan perusak.

Hal ini menyebabkan banyak ide-ide yang dicetuskan para ahli untuk memanfaatkan limbah sebagai bahan pengganti maupun campuran pada pembuatan beton. Beberapa contoh limbah tersebut adalah abu terbang (*fly ash*) abu sekam padi, abu ampas tebu dan lain-lain. Dalam perkembangan teknologi beton sekarang ini, berbagai usaha dilakukan untuk meningkatkan kualitas beton tersebut yaitu dengan menambahkan *fly Ash* pada campuran beton. Tujuan penelitian ini adalah

untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* sebagai bahan tambah beton normal terhadap kuat tekan.

Dalam penelitian ini, digunakan abu terbang sisa pembakaran batubara atau *fly ash* sebagai bahan tambahan yang termasuk dalam jenis limbah. Sumber dari abu terbang (*fly ash*) dapat diperoleh di wilayah Indonesia seperti pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan juga dapat didapatkan pada distributor. Pada pembakaran batubara dalam PLTU, terdapat suatu limbah padat yaitu abu terbang (*fly ash*). Partikel abu yang terbawa oleh gas buang disebut *fly ash*. Hal ini yang menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan, karena limbah padat hasil dari tempat pembakaran batubara dibuang sebagai timbunan. *Fly ash* dikategorikan sebagai limbah bahan beracun dan berbahaya (B3) karena terdapat kandungan oksida logam berat yang mencemari lingkungan.

Dan juga sebagai inovasi baru pada penelitian ini, *fly ash* juga akan ditambahkan kapur sebagai campuran beton dengan komposisi dan proporsi tertentu sebagai bahan substitusi sebagian semen. Menurut (Miller, 2005) kapur dapat dijadikan sebagai material pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kapur dihasilkan berdasarkan proses kimia dan mekanis di alam. Lebih dari 80% kapur digunakan di Amerika sebagai unsur konstruksi. Secara kimiawi kapur dibedakan dari unsur-unsur kimianya yaitu: (1) *quicklime, calcium oxide* (CaO); (2) *hydrated lime, calcium hydroxide* [Ca(OH)<sub>2</sub>]; (3) *dolomitic quicklime* (CaO.MgO); dua tipe dari hidrasi *dolomitic*, (4) type N [Ca(OH)<sub>2</sub>.MgO] dan (5) type S Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>; serta (6) pembakaran *dolomite*. Pada penelitian ini terminologi kapur adalah seperti yang tertuang dalam ASTM C-294 (*Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates*) yaitu batu kapur (*limestone*).

Dengan penambahan *fly ash* dan kapur dalam persentase tertentu dari beratnya diharapkan dapat meningkatkan kualitas beton, yaitu dapat menghasilkan kuat tekan dan serapan air yang baik, serta dapat mengurangi dampak negatif limbah *fly ash* terhadap lingkungan.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini penulis memanfaatkan *fly Ash* dan kapur sebagai salah satu bahan yang terpilih sebagai bahan tambahan semen yang diharapkan berguna untuk mendapatkan mutu beton

yang baik. Maka berdasarkan ulasan di atas, melatar belakangi penulis untuk melakukan penelitian yang berjudul: “ANALISIS DAN PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* DAN KAPUR SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN BETON”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka rumusan masalah yang diteliti ialah apakah penambahan *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini ada batasan-batasan permasalahan agar tidak menyimpang dari rumusan masalah di atas untuk membatasi ruang lingkup penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah:

1. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI-7656-2000 (Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal).
2. Kuat tekan beton yang direncanakan ( $f'c$ ) sebesar 20 Mpa.
3. Untuk pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur perendaman air tawar selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

Bahan campuran yang digunakan:

1. Semen yang digunakan adalah semen PCC (*Portland Cement Composit*).
2. Air yang digunakan adalah air yang berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Agregat kasar berupa batu kerikil.
4. Agregat halus berupa pasir alam yang berasal dari Binjai.
5. *Fly ash* dan kapur yang digunakan didapat dari hasil pembelian di toko online.
6. Persentase *fly ash* dan kapur yang digunakan sebanyak 3%, 5%, dan 7% dan kapur hanya 5% dari berat semen dalam campuran beton.
7. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil UMSU.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Pada penelitian ini penambahan *fly ash* dan kapur pada campuran beton bertujuan untuk:

1. Untuk mempelajari apakah penambahan *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen memiliki pengaruh terhadap kuat tekan beton.
2. Untuk mengetahui berapa proporsi optimum dari penggunaan *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen yang tepat apabila *fly ash* dan kapur dapat mempengaruhi kuat tekan beton yang direncanakan.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian mengenai pengaruh penggunaan *fly ash* dan kapur sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton diharapkan bermanfaat bagi:

1. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengurangi limbah *fly ash*.
2. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknologi beton dengan bahan tambahan *fly ash* dan kapur.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini akan diajarkan dalam penulisan yang terbagi menjadi lima bab, agar lebih mudah memahami isinya. Sistematika penulisan ini memuat hal sebagai berikut:

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas secara singkat mengenai teori penelitian sebagai dasar dalam mengkaji permasalahan yang ada, dan metode-metode perhitungan yang digunakan

### BAB III METODE PENELITIAN

Pada bagian ini membahas tentang tahapan penelitian, metode pelaksanaan teknik pengumpulan data, jenis sumber data yang diperlukan, serta teknik analisis data.

### BAB IV HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil yang didapat dari penelitian serta pembahasan analisis perhitungan dan pemecahan dari masalah selama penelitian.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini akan dipaparkan kesimpulan dari hasil pembahasan penelitian yang telah dilaksanakan dan beberapa saran dari penulis

## **BAB 2**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Beton**

Berdasarkan (SNI 2847, 2013) definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'c$ ) pada usia 28 hari.

Menurut (Widodo dan Basith, 2017) beton biasanya digunakan untuk struktur beton bertulang, bagian beton penahan beban, contohnya kolom, balok, dinding yang menahan beban, dan sebagainya. Biasanya kuat tekan beton berkisar antara lain 15-30 MPa. Biasanya agregat ukuran maksimum dan gradasi butir akan mempengaruhi *workabilitas*, *durabilitas*, serta kuat tekan beton.

Agar dapat merancang kuat beton dengan baik, artinya dapat memenuhi kriteria aspek ekonomi (rendah dalam biaya) dan memenuhi aspek teknik (memenuhi kekuatan struktur). Perancangan beton harus memenuhi kriteria perancangan standar yang berlaku. Peraturan dan cara perancangan tersebut antara lain ASTM-C (*American Standard Testing and Material for concrete*) dan SNI.

#### **2.2 Bahan Penyusun Beton dan Hubungan Antar Bahan Penyusunnya**

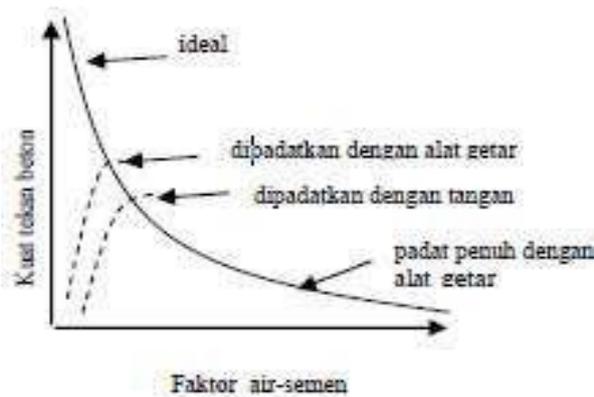
Material yang digunakan pada campuran beton yang dipakai sebagai bahan penyusun utama yaitu semen, agregat kasar, agregat halus, dan air dan apabila diperlukan dapat menambahkan bahan tambahan dengan presentase tertentu. Pada campuran beton ini, digunakan *fly ash* dan kapur sebagai bahan tambahan. Dalam pembuatan campuran beton, material yang digunakan harus mempunyai kualitas yang baik agar dapat memenuhi syarat yang telah ditentukan sehingga menghasilkan beton yang mempunyai kuat tekan yang tinggi. Material yang digunakan antara lain:

### 2.2.1 Air

Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan dan dipadatkan. Untuk bereaksi dengan semen, air yang diperlukan kurang lebih 25% dari berat semen. Penambahan air untuk pelumas tidak boleh terlalu banyak karena kekuatan beton berkurang. Selain itu, menimbulkan *bleeding*. Hasil *bleeding* ini berupa lapisan tipis yang mengurangi lekatan antara lapis-lapis beton. Menurut (SNI 03-6861.1, 2002) persyaratan air pada beton harus memenuhi kriteria berikut yaitu harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.

#### 2.2.1.1 Faktor Air Semen (FAS)

Dalam menentukan jumlah air dalam suatu campuran beton dikenal suatu nilai yang disebut nilai faktor air semen (FAS). FAS adalah rasio total berat air (termasuk air yang terkandung dalam agregat dan pasir) terhadap berat total semen pada campuran beton.

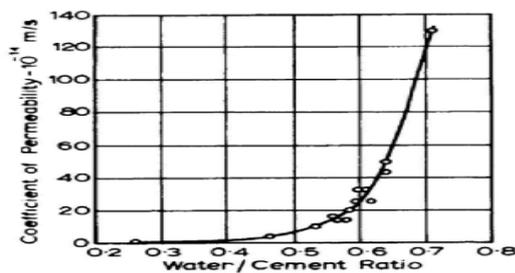


Gambar 2.1: Grafik Hubungan FAS dengan  $F'c$  (Mindess, 2003).

Menurut (Mindess, 2003), bila FAS terlalu rendah, maka adukan beton sulit untuk dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai FAS optimum yang

menghasilkan kuat tekan beton maksimum. Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan beton setelah mengeras. Adanya udara sebanyak 5% dapat mengurangi kuat tekan beton sampai 35% dan pori-pori sebanyak 10% dapat mengurangi kuat tekan beton sampai 60%. Semakin tinggi nilai FAS maka kekuatan beton mengalami penurunan. Akan tetapi semakin rendah nilai FAS maka kekuatan beton tidak selalu mengalami peningkatan sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat. Oleh karena itu, nilai FAS yang optimal akan mampu menghasilkan kekuatan tekan beton yang maksimal. Nilai FAS yang digunakan dalam perancangan campuran beton minimal 0,4 dan maksimal 0,65 (Tjokrodimulyo, 2007).

Pengaruh *fly ash* pada air dapat mengurangi *bleeding*. *Bleeding* adalah naiknya air pada permukaan beton segar. *Fly ash* pada air dapat mengurangi *bleeding* yang dikarenakan kehalusan *fly ash* maka kebutuhan air akan lebih kecil sehingga FAS akan lebih terkontrol dan memperkecil kemungkinan *bleeding*. FAS juga berpengaruh terhadap ketahanan porositas dan permeabilitas. Permeabilitas beton adalah kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton tersebut dapat dilalui air, maka beton tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka beton tersebut dikatakan impermeabel, maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air (Nurchasanah, 2010). Pada Gambar 2.2 merupakan grafik hubungan antara FAS dengan permeabilitas beton, terlihat bahwa peningkatan nilai FAS mengakibatkan nilai permeabilitasnya juga mengalami peningkatan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa FAS mempengaruhi permeabilitas pada beton.



Gambar 2.2: Grafik Hubungan Antara FAS dengan Permeabilitas (Zhao, dkk. 2014)

### 2.2.2 Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker, terutama yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi masa yang kompak atau padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Dalam campuran beton, semen menempati kira-kira 10% dari volume beton. Karena merupakan bahan aktif maka penggunaannya harus dikontrol dengan baik. Di dalam semen terkandung bahan atau senyawa kimia yang mengandung kapur, silikat, alumina dan oksida besi yang semuanya menjadi unsur-unsur pokok. Bahan dasar untuk pembuatan semen portland terdiri atas batu kapur (*limestone*), tanah liat atau lempung (*clay*), pasir silika, pasir besi dan gipsum. Adapun kandungan bahan kimia dalam semen dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Persentase Kandungan bahan-bahan kimia dalam Bahan Baku Semen (Kusuma, 1993).

Bahan baku/Bahan kimia	CaO	SiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Batu Kapur	52,77	1,02	0,92	0,70	1,33
Tanah Liat	9,27	46,99	16,46	6,62	2,44
Pasir Silica	1,41	90,51	3,26	1,65	2,98
Pasir Besi	1,03	12,38	3,49	76,21	0,34

#### 2.2.2.1 Hidrasi Semen

Hidrasi semen adalah suatu reaksi yang terjadi pada semen setelah bercampur dengan air yang kemudian mengeluarkan panas. Adanya pelepasan panas ini membantu mempercepat pengerasan. (Josua Haloho, dkk, 2020). Secara umum hidrasi semen adalah proses terbentuknya padatan keras akibat reaksi kimia antara senyawa *trikalsium silikat* (C<sub>3</sub>S), *dikalsium silikat* (C<sub>2</sub>S), *trikalsium alumant* (C<sub>3</sub>A), *tetrakalsium aluminoferat* (C<sub>4</sub>AF), dan gips dalam semen dengan air (H<sub>2</sub>O). Maka apabila senyawa kimia pada semen CaO (*kalsium oksida*), SiO<sub>2</sub> (*silicon dioksida*), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*aluminium oksida*) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*bijih besi*) bercampur dengan air

murni H<sub>2</sub>O (*hydrogen dioksida*) menghasilkan padatan keras pada semen yang akan memberikan kekuatan pada beton. Proses hidrasi dan jumlah senyawa kimia semen Portland secara berurutan diperlihatkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Proses hidrasi dan jumlah senyawa kimia semen Portland secara berurutan (*Portland Cement Association, 2001*).

Reaktan	Produk
2C <sub>3</sub> S + 6H <sub>2</sub> O	3CaO•2SiO <sub>2</sub> •3H <sub>2</sub> O + 3Ca(OH) <sub>2</sub> ( <i>Kalsium silikat hidrat</i> ) + ( <i>Kalsium hidroksida</i> )
2C <sub>2</sub> S + 4H <sub>2</sub> O	3CaO•2SiO <sub>2</sub> •3H <sub>2</sub> O + Ca(OH) <sub>2</sub>
C <sub>3</sub> A + 12H <sub>2</sub> O + Ca(OH) <sub>2</sub>	3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Ca(OH) <sub>2</sub> •12H <sub>2</sub> O ( <i>Tetrakalsium aluminat hidrat</i> )
C <sub>4</sub> A + 10H <sub>2</sub> O + 2Ca(OH) <sub>2</sub> F	6CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •12H <sub>2</sub> O ( <i>Kalsium aluminoferrat hidrat</i> )
C <sub>3</sub> A + 26H <sub>2</sub> O + 3CaSO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O (Gips)	3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •3CaSO <sub>4</sub> •32H <sub>2</sub> O ( <i>Kalsium trisulfoluminat hidrat atau ettringite</i> )
2C <sub>3</sub> + 4H <sub>2</sub> O + 3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> • A 3CaSO <sub>4</sub> • 32H <sub>2</sub> O	3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •CaSO <sub>4</sub> •12H <sub>2</sub> O ( <i>Kalsium monosulfoluminat hidrat</i> )

Reaksi hidrasi ini dapat menjadi suatu masalah apabila panas yang dihasilkan dari proses hidrasi ini tidak mampu disalurkan dengan baik pada bagian beton sehingga berpotensi menimbulkan keretakan pada beton. Keretakan ini kemudian memicu konstruksi dapat runtuh. Untuk itu dibutuhkan bahan tambah pada campuran beton untuk mengurangi panas maupun untuk dapat menyalurkan panas yang baik pada beton. Bahan tambah untuk mengurangi panas hidrasi tersebut adalah *fly ash* karena *fly ash* dapat mereduksi panas hidrasi yang

ditimbulkan  $C_3A$  (*trikalsium aluminat*) dan  $C_3S$  (*trikalsium silikat*) pada kandungan semen (Adhi Mix RMC, 2020).

### **2.2.3 Agregat**

Agregat merupakan material pasir, krikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik (SNI 03-2847, 2002).

#### **2.2.3.1 Jenis-jenis Agregat**

Secara umum agregat dibedakan atas dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

##### **2.2.3.1.1 Agregat Halus**

Berdasarkan (SNI 03-2847, 2002), agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpur melampaui 5% maka pasir harus di cuci. Dalam (SNI 03-2461, 1991) agregat halus memiliki modulus kehalusan atau *fineness modulus* (FM) yang berada di kisaran antara 1,5 s/d 3,8.

##### **2.2.3.1.2 Agregat Kasar**

Berdasarkan (SNI 03-2847, 2002) agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm. Menurut (Tjokrodiimulyo, 1996) sifat agregat yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Pada agregat dengan permukaan kasar terjadi ikatan yang baik antara pasta semen dengan agregat tersebut. Pada agregat berukuran besar luas permukaannya menjadi lebih sempit sehingga lekatan dengan pasta semen menjadi berkurang. Menurut (SNI 03-2461, 1991) agregat kasar memiliki modulus kehalusan atau *fineness modulus* (FM) yang berada di kisaran antara 6,0 s/d 7,1.

## 2.3 Bahan Tambah Beton

Fungsi dari bahan tambah ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya. *Admixture* atau bahan tambah didefinisikan dalam *Standard Definitions of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates* (ASTM C.125-1995:61) dan dalam *Cement and Concrete Terminology* (ACI SP-19) sebagai material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampur dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung.

Bahan tambah mineral ini merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. Bahan tambah mineral ini lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah mineral ini cenderung bersifat penyemenan. Beberapa bahan tambah mineral ini adalah *pozzollan*, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*.

### 2.3.1 *Fly Ash* (Abu Terbang)

*Fly ash* merupakan limbah batubara padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada pembangkit tenaga listrik. Abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batubara atau bubuk batubara.

Menurut (Mulyono , 2005) abu terbang (*fly ash*) didefinisikan sebagai butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara. *Fly ash* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu abu terbang kelas F yang normal dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit atau batu bara *bitomius* dan abu terbang kelas C yang dihasilkan dari batu bara jenis lignite atau *subbitumius*. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung kapur (*lime*) lebih dari 10% beratnya. Untuk *fly ash* kelas F dihasilkan dari pembakaran batubara antrasit atau bitumen yang memenuhi persyaratan yang berlaku dan juga *fly ash* kelas ini mempunyai sifat *pozzolan*. *Fly ash* kelas C biasanya dihasilkan dari batubara lignit atau subbituminus yang memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas ini sebagaimana diberikan di sini. *Fly ash* golongan ini selain mempunyai sifat *pozzolan* juga mempunyai sifat semen (ASTM C 618-03, 2003).

Ada empat jenis utama batubara. Keempat jenis tersebut adalah:

1. Antrasit: Batubara dengan peringkat tertinggi. Ini adalah batubara yang keras, rapuh, dan berkilau hitam, sering disebut sebagai batubara keras, mengandung persentase karbon tetap yang tinggi dan persentase bahan mudah menguap yang rendah.
2. Bituminous: Batubara bitumen merupakan batubara peringkat menengah antara subbituminus dan antrasit. Batubara bitumen biasanya memiliki nilai kalor (Btu) yang tinggi dan digunakan dalam pembangkit listrik dan pembuatan baja di Amerika Serikat. Batubara bitumen berbentuk kotak-kotak dan tampak mengkilat serta halus saat pertama kali Anda melihatnya, namun jika dilihat lebih dekat, Anda mungkin melihat lapisannya tipis, berselang-seling, mengkilat, dan kusam.
3. Subbituminous: Batubara subbituminous berwarna hitam dan sebagian besar kusam (tidak mengkilat). Batubara subbituminus memiliki nilai kalor rendah hingga sedang dan terutama digunakan dalam pembangkit listrik.
4. Lignit: Batubara lignit alias batubara coklat merupakan batubara kualitas paling rendah dengan konsentrasi karbon paling sedikit. Lignit memiliki nilai kalor yang rendah dan kadar air yang tinggi dan terutama digunakan dalam pembangkit listrik (U.S. Geological Survey).

Berdasarkan (ASTM C-168, 2003) “*Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*” *fly ash* telah berhasil digunakan dalam beton semen portland sebagai campuran mineral dan baru-baru ini sebagai komponen semen campuran. Sebagai bahan tambahan, *fly ash* berfungsi sebagai pengganti sebagian, atau tambahan semen Portland dan ditambahkan langsung ke beton siap pakai di *batch plant*. ASTM C-618 mendefinisikan dua kelas *fly ash* untuk digunakan dalam beton: 1) Kelas F, biasanya berasal dari pembakaran batubara antrasit atau bitumen, dan 2) Kelas C, biasanya berasal dari pembakaran batubara lignit atau subbituminus. ASTM C-618 juga menjelaskan persyaratan sifat fisik, kimia, dan mekanik untuk kedua kelas abu terbang tersebut. *Fly ash* kelas F bersifat *pozzolan*, dengan sedikit atau tanpa nilai penyemenan saja. *Fly ash* kelas C mempunyai sifat penyemenan sendiri dan sifat *pozzolan*.

Penambahan *fly ash* pada beton juga mengalami hidrasi. Dorongan awal untuk menggunakan abu terbang dalam beton berasal dari fakta bahwa abu terbang yang bereaksi lebih lambat menghasilkan lebih sedikit panas per satuan waktu dibandingkan hidrasi semen Portland yang bereaksi lebih cepat. Dengan demikian, kenaikan suhu pada beton dalam jumlah besar (seperti bendungan) dapat dikurangi secara signifikan jika *fly ash* diganti dengan semen, karena lebih banyak panas yang dapat hilang seiring dengan perkembangannya. Tidak hanya risiko retak termal yang berkurang, namun kekuatan akhir yang lebih besar dicapai pada beton dengan abu terbang karena reaksi *pozzolan*. Abu terbang kelas F umumnya lebih efektif dibandingkan abu terbang kelas C dalam menurunkan panas hidrasi.

*Fly ash* juga dapat mempengaruhi permeabilitas pada semen. Reaksi abu terbang dengan kapur dan alkali yang tersedia menghasilkan senyawa semen tambahan yang berfungsi memblokir saluran pembuangan, mengisi ruang pori-pori dan mengurangi permeabilitas beton yang mengeras. Reaksi *pozzolan* menggunakan kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), yang dapat larut dan menggantikannya dengan kalsium silikat hidrat (CSH) yang tidak larut. Meningkatnya volume butiran halus dan berkurangnya kadar air juga berperan.

*Fly ash* juga memiliki ketahanan terhadap sulfat. Abu terbang kelas F umumnya meningkatkan ketahanan sulfat dari setiap campuran beton yang termasuk di dalamnya. Beberapa abu terbang kelas C dapat meningkatkan ketahanan terhadap sulfat, sementara abu terbang lainnya justru dapat mengurangi ketahanan terhadap sulfat dan mempercepat kerusakan. Abu terbang kelas C harus diuji secara individual sebelum digunakan dalam lingkungan sulfat. Resistensi relatif abu terbang terhadap kerusakan sulfat dilaporkan merupakan fungsi dari rasio kalsium oksida terhadap besi oksida.

Pada reaktivitas alkali-silika, *fly ash* kelas F efektif dalam menghambat atau mereduksi reaksi ekspansif akibat reaksi alkali-silika. Secara teori, reaksi antara partikel sangat kecil dari kaca silika amorf dalam abu terbang dan alkali dalam semen Portland, serta abu terbang, mengikat alkali dalam gel kalsium-alkali-silika nonekspansif, mencegahnya dari bereaksi dengan silika dalam agregat, yang dapat menghasilkan reaksi ekspansif. Namun, karena beberapa abu terbang (termasuk

beberapa abu terbang kelas C) mungkin memiliki sejumlah besar alkali terlarut, maka perlu dilakukan pengujian bahan yang digunakan di lapangan untuk memastikan bahwa pemuaiannya akibat reaktivitas alkali-silika dikurangi ke tingkat yang aman. *Fly ash*, khususnya kelas C kandungan silikanya lebih tinggi sehingga dapat bereaksi dengan basa (Federal Highway Administration, 2016).

Pada penelitian ini, jenis *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* kelas C yang dihasilkan dari batubara jenis lignite atau *subbitumius*. Sumber batubara yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PLTU yang menggunakan batubara jenis lignite, yang dimana jenis batubara lignit ini memiliki nilai kalor yang rendah dan kadar air yang tinggi dan terutama digunakan dalam pembangkit listrik. Batubara lignit memiliki warna coklat yang merupakan batubara dengan konsentrasi karbon paling sedikit. Abu terbang kelas C kemungkinan mengandung kapur (*lime*) lebih dari 10% beratnya dan memiliki sifat *pozzolan*. *Fly ash* kelas C juga dapat melakukan penyemenan sendiri, sehingga dapat membantu semen mengalami pemadatan yang maksimal.

### 2.3.1.1 Kandungan Mineral dalam *Fly Ash*

Kandungan kimia yang dibutuhkan dalam *fly ash* tercantum dalam Tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3: Kandungan Mineral dalam *Fly Ash*. (Mulyono , 2005).

Senyawa kimia	Jenis F	Jenis C
<i>Oksida silika</i> ( $\text{SiO}_2$ ) + <i>oksida alumina</i> ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + <i>Oksida besi</i> ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), minimum %	70.0	50.0
<i>Trioksida sulfur</i> ( $\text{SO}_3$ ), maksimum %	5.0	5.0
Kadar air, maksimum %	3.0	3.0
Kehilangan panas, maksimum %	6.0	6.0

### 2.3.1.2 Sifat *Pozzolan* pada *Fly Ash*

Sifat *pozzolan* abu terbang adalah kemampuan abu terbang yang memiliki bentuk sangat halus untuk berhidrasi dengan semen sehingga menjadi suatu bentuk massa padat. Massa padat ini terbentuk karena adanya proses hidrasi antara

kandungan *kalsium oksida* (CaO), *silikon oksida* (SiO<sub>2</sub>), dan *aluminium oksida* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dalam abu terbang dengan CH yang kemudian menghasilkan CH, CSH, dan *ettringite* tambahan (Papadakis, 1999). Sifat *pozzolanik* abu terbang ini dipengaruhi oleh beberapa hal seperti sifat kimia dan fisik abu terbang, *water-cement ratio*, kuantitas abu terbang, dan suhu perawatan. (Narmluk dan Nawa, 2014).

Menurut (Lincoln, 2017) abu batubara merupakan limbah dari proses pembakaran batubara pada pembangkit tenaga uap. Abu batubara bersifat *pozzolan*, yakni bahan yang mengandung senyawa silika dan aluminium. Pada dasarnya, abu batubara tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun karena ukurannya yang halus dan adanya air, oksida silika yang terkandung dalam abu batubara akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen, sehingga akan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Kehalusan merupakan ciri fisik utama abu terbang yang berhubungan dengan aktivitas *pozzolan*.

### 2.3.2 Kapur

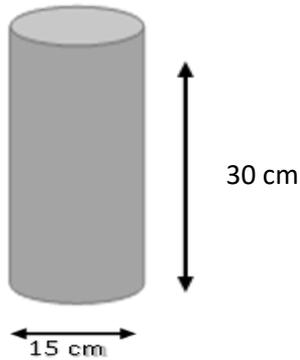
Kapur merupakan salah satu komponen bahan bangunan yang berfungsi sebagai perekat. Kemampuan yang dimiliki kapur ini dapat dimanfaatkan untuk menambah campuran beton yang sebelumnya hanya menggunakan semen, pasir dan batu pecah. Penggunaan semen dalam pekerjaan beton dirasa sangat memerlukan biaya yang cukup besar. Untuk itu diupayakan penambahan bahan campuran beton, agar pengeluaran biaya dapat ditekan seminimal mungkin dengan tidak mengurangi kekuatan beton yang telah disyaratkan. Dan juga sebagai inovasi baru pada penelitian ini, *fly ash* juga akan ditambahkan kapur sebagai campuran beton dengan komposisi dan proporsi tertentu sebagai bahan substitusi sebagian semen. Menurut (Miller, 2005) kapur dapat dijadikan sebagai material pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Kapur dihasilkan berdasarkan proses kimia dan mekanis di alam. Lebih dari 80% kapur digunakan di Amerika sebagai unsur konstruksi. Secara kimiawi kapur dibedakan dari unsur-unsur kimianya yaitu: (1) *quicklime*, *calcium oxide* (CaO); (2) *hydrated lime*, *calcium hydroxide* [Ca(OH)<sub>2</sub>]; (3) *dolomitic quicklime* (CaO.MgO); dua tipe dari hidrasi *dolomitic*, (4) type N

[Ca(OH)<sub>2</sub> .MgO] dan (5) type S Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>; serta (6) pembakaran *dolomite*. Pada penelitian ini terminologi kapur adalah seperti yang tertuang dalam ASTM C-294 (*Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates*) yaitu batu kapur (*limestone*).

## 2.4 Kuat Tekan Beton

Dalam (SNI 03-1974, 1990) mendefinisikan kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang diinginkan, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan ialah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 dalam umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Banyak sifat-sifat beton yang dapat diperbaiki dengan penambahan serat, diantaranya adalah meningkatnya daktilitas, ketahanan impact, kuat tarik dan kuat lentur, ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap susut, ketahanan abrasi, ketahanan terhadap pecahan (*fragmentation*), dan ketahanan terhadap pengelupasan.

Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibanding dengan sifat-sifat lain. Kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas dan dinyatakan dengan Mpa. Kuat tekan beton ( $f'c$ ) dilakukan dengan melakukan uji silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Selama periode 7 hari, 14 hari dan 28 hari silinder beton ini biasanya ditempatkan dalam sebuah ruangan dengan temperatur tetap dan kelembapan 100%. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pengujian kuat tekan berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3: Benda Uji Kuat Tekan Beton.

Nilai kuat tekan beton dapat ditentukan dengan persamaan :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:  $f'c$  = Kuat tekan beton ( MPa );  
A = luas penampang benda uji ( mm<sup>2</sup> );  
P = beban tekan ( kN/kg/cm<sup>2</sup> ).

## 2.5 Penelitian Terdahulu

Pada subbab ini akan dijelaskan tentang penelitian terdahulu dengan bahan tambah *fly ash* dan kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton.

### 2.5.1 Penelitian Terdahulu Bahan Pengganti *Fly Ash*

Berdasarkan jurnal penelitian oleh (Mira Setiawati, 2018) yang berjudul “*Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton” pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada benda uji yang berumur 3, 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan adanya perbedaan variasi penggantian sebagian semen terhadap *fly ash*. Sedangkan hasil uji kuat tekan beton rata-rata dengan variasi penggantian sebagian

semen terhadap *fly ash* sebesar 5%, 7%, 10% dan 12,5% dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4: Hasil Uji Kuat Tekan Beton Rata-Rata Dengan Berbagai Variasi Penggantian Sebagian Semen Terhadap *Fly Ash*.

% <i>Fly Ash</i>	$F_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
	3 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
0%	144,32	189,18	260,86	316,33
5%	148,93	201,00	275,96	320,72
7,5%	205,67	213,49	285,05	347,58
10%	215,84	236,57	302,45	377,30
12,5%	231,04	234,93	332,86	404,73

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus sebanyak 96 benda uji dimana untuk setiap variasi sebanyak 12 benda uji. Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 12,5% *fly ash*, yaitu 404,03 Kg/cm<sup>2</sup> (39,62 MPa) pada umur 28 hari. Pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan *fly ash* 12,5%, sebesar 231,04 Kg/cm<sup>2</sup> (22,65 MPa). Dapat disimpulkan bahwa pada awal umur beton, penggunaan *fly ash* mempengaruhi kekuatan beton. Persentase penggunaan *fly ash* 12,5% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum.

### 2.5.2 Penelitian Terdahulu Bahan Pengganti Kapur

Berdasarkan jurnal penelitian oleh (Tri Mulyono, 2018) yang berjudul “Kapur Sebagai Bahan Tambah Untuk Beton Normal” pelaksanaan pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada benda uji yang berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dengan adanya perbedaan variasi penggantian sebagian semen terhadap kapur. Sedangkan hasil uji kuat tekan beton rata-rata dengan variasi penggantian sebagian semen terhadap kapur sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2.5: Hasil Uji Kuat Tekan Beton Rata-Rata Dengan Berbagai Variasi Penggantian Sebagian Semen Terhadap Kapur.

<i>F<sub>c</sub>'</i> (MPa)	
% Kapur	28 Hari
0%	20,34
10%	21,86
20%	22,33
30%	21,24
40%	15,18
50%	14,92
60%	14,56
70%	12,22

Dari penelitian ini diperoleh bahwa nilai kuat tekan tertinggi pada penggunaan 20% kapur, yaitu 22,33 MPa pada umur 28 hari. Penambahan kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen memiliki nilai kuat tekan yang sedikit tinggi terhadap beton normal yang dimana kuat tekan beton normal tanpa kapur memperoleh nilai kuat tekan sebesar 20,34 MPa. Dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan kapur mempengaruhi kekuatan beton. Persentase penggunaan kapur sebesar 20% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Medan Area. Benda uji yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah beton normal dan beton dengan variasi *fly ash* 0%, 3%, 5% dan 7% dan kapur hanya 5% dari berat semen dalam campuran beton dengan umur perendaman dalam air biasa sebanyak 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Dalam perencanaan awal, mutu beton yang digunakan adalah 20 Mpa. Benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel 3.1: Komposisi Perbandingan Jumlah Semen dengan *Fly Ash* dan Kapur.

NO	Komposisi Perbandingan <i>Fly Ash</i> dan Kapur dari Berat Semen	Umur Beton dan Jumlah Benda Uji		
		7 hari	14 hari	28 hari
1	Beton Normal Segar	2	2	2
2	3% <i>Fly Ash</i> – 5% Kapur (FA K 3%)	2	2	2
3	5% <i>Fly Ash</i> – 5% Kapur (FA K 5%)	2	2	2
4	7% <i>Fly Ash</i> & 5% Kapur (FA K 7%)	2	2	2
Total Benda Uji		24 Benda Uji		

### 3.2 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini dimulai dari studi pustaka, persiapan bahan, pengujian bahan, pembuatan benda uji, dan perawatan benda uji, serta pengujian kuat tekan di lakukan di Labolatorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

### **3.3 Alat dan Bahan**

Dalam pembuatan beton silinder ini menggunakan beberapa alat-alat yang tersedia di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan juga menggunakan bahan dan peralatan yang sudah di siapkan sebelumnya agar terlaksananya proses pembuatan beton.

#### **3.3.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Oven;
2. Timbangan;
3. Piknometer;
4. Satu set ayakan/saringan;
5. Alat *Capping* Silinder Beton;
6. Cetakan Beton Silinder dengan ukuran (15 x 30 cm);
7. Kerucut *Abrams*;
8. Plat *Capping* dan Alat Pelurusnya;
9. Cetok;
10. Penggaris;
11. Kuas;
12. CTM (*Compression Testing Machine*);
13. Bak air, untuk tempat perendaman beton.

#### **3.3.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen

Semen berfungsi sebagai bahan pengikat pada adukan beton. Pada penelitian ini digunakan PCC (*Portland Cement Composit*) merk Semen Padang sebanyak 40 kg/zak.

2. Air

Air yang digunakan berasal dari laboratorium teknik sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

### 3. Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan merupakan pasir yang berasal dari Kota Binjai, Sumatera Utara.

### 4. Agregat Kasar (Batu Kerikil)

Agregat kasar dengan ukuran butir maksimum 19 mm diambil dari batuan, sebelum dilaksanakan pembuatan beton dilakukan analisa saringan, kadar air, berat satuan agregat, berat jenis, dan penyerapan air.

### 5. Bahan Tambahan (*Fly ash*) dan Kapur

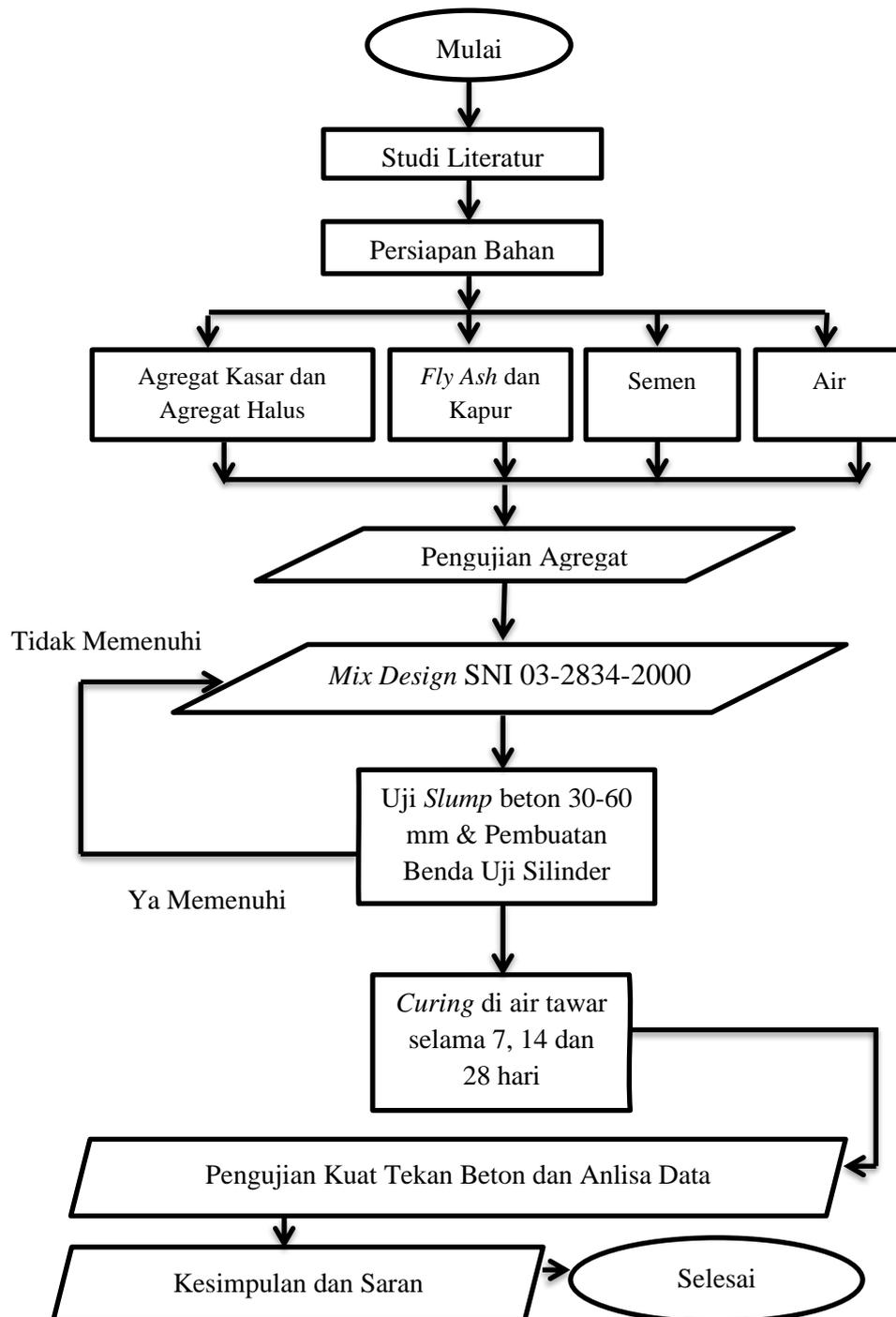
*Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* kelas C dan kapur, yang didapat dari pembelian di toko online.

## 3.4 Variabel Penelitian

Variabel adalah atribut dari sekelompok objek yang mempunyai variasi antara satu objek dengan objek lainnya. Adapun variabel dalam penelitian ini adalah menghitung kuat tekan beton normal dengan beton variasi dengan jumlah *fly Ash* sebanyak 0%, 3%, 5% dan 7% serta kapur hanya 5% saja, dalam umur perawatan sebanyak 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

## 3.5 Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian ini disajikan dalam bentuk bagan alir (*flow chart*) yang mana bagan alir ini sebagai pedoman penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Bagan alir tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: *Flow chart* penelitian.

### 3.6 Langkah-langkah Pengujian

Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian beton yang telah memenuhi syarat-syarat pada materialnya. Langkah-langkah pengujian material ini berdasarkan SNI 03-2384 (2000) Tentang Tata Cara Rencana Pembuatan Beton Normal.

#### 3.6.1 Pengujian Material pada Agregat Kasar dan Halus

Pada subbab ini ada beberapa pengujian pada material bahan khususnya untuk agregat kasar seperti batu kerikil, batu split dan lain-lain dan pengujian agregat halus seperti pasir.

##### 3.6.1.1 Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus

Analisa saringan adalah suatu index yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. Untuk satu set ayakan agregat halus memiliki ukuran: no. 4 (4.75 mm); no. 8 (2.36 mm); no. 16 (1,18 mm); no. 30 (0.60 mm); no. 50 (0.30 mm) & no. 100 (0.15 mm). Umumnya Agregat Halus mempunyai MHB (Modulus Halus Butir) 1,5 - 3,8 (ASTM C-136 dibagi menjadi: Halus = 2,2-2,6; Medium 2,6-2,9; Kasar = 2,9-3,2). Untuk satu set ayakan agregat kasar memiliki ukuran: 38,1 (1.5 inch); 19,0 (3/4 inch); 9,52 (3/8 inch); no. 4 (4.75 mm); no. 8 (2.36 mm); no. 16 (1,18 mm); no. 30 (0.60 mm); no. 50 (0.30 mm) & no. 100 (0.15 mm). Umumnya Agregat Kasar mempunyai nilai MHB 5-8 (ASTM C136: 5,5-7,5) untuk campuran nilai MHB sekitar 5,0 - 7,0

$$\bullet \text{ Persamaan: MHB AG Kasar} = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Berat Tertahan}}{100\%} \quad (3.1)$$

$$\bullet \text{ Persamaan: MHB AG Halus} = \frac{\text{Jumlah \% Kumulatif Berat Tertahan}}{100\%} \quad (3.2)$$

##### 3.6.1.2 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Dan Halus

Pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat.

- Persamaan Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar:

$$1) S_d = \frac{A}{B-C} \quad (3.3)$$

$$2) S_s = \frac{B}{B-C} \quad (3.4)$$

$$3) S_a = \frac{A}{A-C} \quad (3.5)$$

$$4) S_w = \left[ \frac{A}{A-C} \right] \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gram);

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram);

C = Berat benda uji dalam air (gram);

S<sub>d</sub> = Berat jenis curah kondisi kering 23°C;

S<sub>s</sub> = Berat Jenis curah kondisi SSD;

S<sub>a</sub> = Berat jenis semu, suhu 23°C;

S<sub>w</sub> = Persentase Penyerapan Air.

- Persamaan Pengujian Berat Jenis Agregat Halus:

$$1) S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.7)$$

$$2) S_s = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.8)$$

$$3) S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (3.9)$$

$$4) S_w = \left[ \frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan:

A = berat benda uji kering oven (gram);

B = Berat piknometer yang berisi air (gram);

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram);

S = Berat benda uji kondisi SSD;

S<sub>d</sub> = Berat jenis curah kondisi kering.

### 3.6.1.3 Pengujian Berat Isi dan Rongga Agregat Kasar dan Halus

Metode pengujian ini mencakup penentuan kepadatan massal agregat dalam kondisi dipadatkan atau longgar dan dihitung kekosongan antara partikel (rongga)

dalam agregat kasar, halus atau campuran keduanya. Tujuannya ialah untuk menentukan berat isi agregat kasar dan halus.

- Persamaan untuk berat isi:  $M = \frac{(G-T)}{V}$  (3.11)

- Persamaan untuk rongga udara:  $Rongga\ udara = \frac{[(S \times W) - M]}{(S \times W)} \times 100\%$  (3.12)

Keterangan:

M = Berat isi agregat kering oven (kg/m<sup>3</sup>);

G = Berat agregat dan penakar (kg);

S = Berat Jenis Agregat dalam kondisi kering;

W = Kerapatan Air = 998 (kg/m<sup>3</sup>);

T = Berat penakar (kg); dan

V = Volume penakar (m<sup>3</sup>).

#### 3.6.1.4 Pengujian Kadar Air Agregat Kasar Dan Halus

Menentukan kadar air agregat dengan cara pengeringan. Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat agregat dalam keadaan kering. Nilai kadar air ini digunakan untuk koreksi takaran air untuk adukan beton yang disesuaikan dengan kondisi agregat lapangan.

- Persamaan:  $Kadar\ Air = \frac{berat\ SSD - berat\ kering\ oven}{berat\ kering\ oven} \times 100\%$  (3.13)

#### 3.6.1.5 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar Dan Halus

Menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat. Kandungan lumpur < 5% merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton.

- Persamaan:  $L = \frac{(A-C)}{A} \times 100\%$  (3.14)

Keterangan: :

L = Persentase lumpur dalam agregat (%);

A = Berat agregat sebelum dicuci (kg);

C = Berat agregat setelah dicuci dan kering oven (kg).

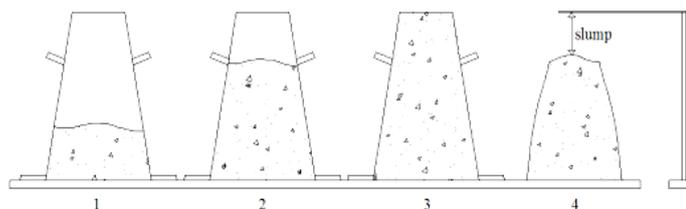
### 3.6.2 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton merupakan suatu proses teoritis untuk menentukan jumlah masing-masing bahan yang diperlukan dalam suatu campuran beton, hal ini dilakukan agar proporsi dapat memenuhi syarat. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan *mix design* yang berdasarkan (SNI 03-2834-2000).

### 3.6.3 Pengujian Workability (*Slump*)

Pengujian *Slump* bertujuan untuk menguji tingkat viskositas atau kekentalan adonan beton segar agar hasil akhirnya bisa mencapai nilai kuat tekan seperti yang diinginkan. Pengujian workabilitas menggunakan kerucut *Abrams*, langkah-langkah pengujian dengan kerucut *Abrams* adalah sebagai berikut:

1. Campuran beton tersebut sesegera mungkin dimasukkan ke dalam kerucut secara bertahap sebanyak 3 lapis.
2. Meratakan adukan pada bidang atas kerucut *Abrams* dan didiamkan selama 30 detik.
3. Mengangkat kerucut *Abrams* secara perlahan dengan arah vertikal keatas, diusahakan jangan sampai terjadi singgungan terhadap campuran beton.
4. Kemudian dilakukan pengukuran ketinggian penurunan dihitung terhadap bagian atas kerucut *Abrams*. Dilakukan tiga kali pengukuran dengan mistar pengukur atau meteran, kemudian hasilnya dirata-rata.
5. Nilai rata-rata menunjukkan nilai *slump* dari campuran beton.



Gambar 3.2: Skema pemeriksaan nilai *Slump* beton segar.

Penjelasan pada skema pemeriksaan nilai *slump* beton segar

1. Lapis 1 : 25 tumbukan campuran adukan beton pada 1/3 dari tinggi kerucut.
2. Lapis 2 : 25 tumbukan campuran adukan beton pada 2/3 dari tinggi kerucut.
3. Lapis 3 : 25 tumbukan campuran adukan beton rata atas permukaan kerucut.
4. Pengukuran nilai *slump* beton segar.

#### **3.6.4 Pembuatan Benda Uji Silinder**

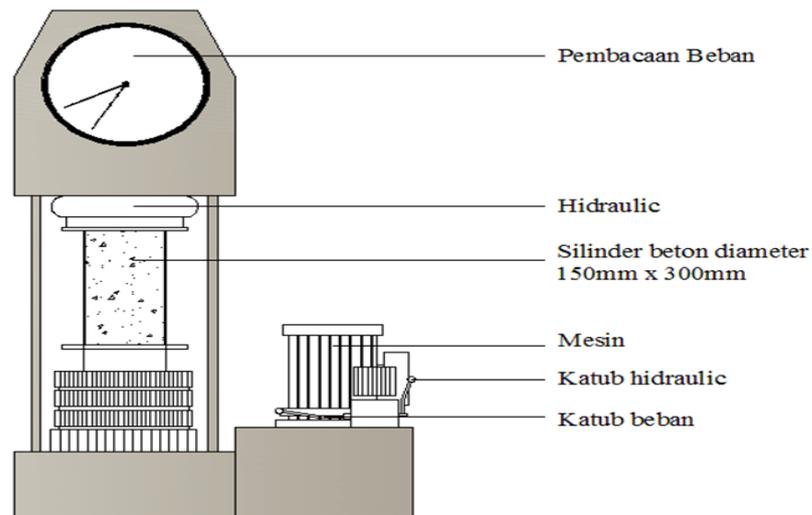
Dalam pembuatan adukan beton, setiap penuangan beton harus dilakukan pengujian *workabilitas* dengan menggunakan Kerucut *Abrams* dan diperiksa apakah memenuhi persyaratan nilai *slump* yang diisyaratkan atau tidak. Adapun cara pembuatan benda uji silinder adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan cetakan silinder yang telah dilapisi dengan oli.
2. Setelah itu beton segar dimasukkan pada cetakan silinder.
3. Pengisian campuran beton segar pada silinder dilakukan sebanyak 3 lapis sama, tiap lapis dilakukan model pemadatan menggunakan tongkat penusuk. Masing-masing lapis ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk.
4. Kemudian diketuk-ketuk dengan palu karet pada bagian luar cetakan dengan tujuan untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara yang ada dalam cetakan dan meratakan bagian samping dengan cetok , agar rata dan padat.
5. Setelah penuh, meratakan dan memadatkan bagian atas cetakan dengan cetok, dengan jalan agak ditekan kebawah.
6. Memberi label pada cetakan untuk mengetahui spesifikasi benda uji.
7. Mendiamkan cetakan berisi beton segar selama satu hari setelah 24 jam, mengeluarkan beton dari cetakan dan melakukan perawatan beton (*curing*) sebelum dilakukan pengujian.

#### **3.6.5 Pengujian Kuat Tekan Beton dengan *Compression Machine Test***

*Compression Machine Test* adalah mesin uji yang digunakan untuk mengukur sample dari beton, yang mana hasil dari pengujian tersebut menjadi data acuan dari kualitas material yang digunakan untuk pembangunan. Langkah-langkah pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

1. Silinder beton diangkat dari rendaman, kemudian dianginkan atau dilap hingga kering permukaan.
2. Menimbang dan mencatat berat sampel beton silinder.
3. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan belerang cair yang sudah dipanaskan.
4. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat (*Compression Testing Machine*).
5. Meletakkan sampel beton ke dalam alat penguji, lalu menghidupkan mesin dan secara perlahan alat menekan sampel beton.
6. Mencatat hasil kuat tekan beton untuk tiap sampelnya.



Gambar 3.3: Setting up alat uji kuat tekan.

## BAB 4

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Bahan Agregat Kasar dan Agregat Halus pada Beton

Dalam hal ini metode penelitian mix design berdasarkan SNI 03-2384-2000.. Setelah melakukan pengujian dasar maka nilai-nilai dari Tabel 4.1 dibawah ini, dapat digunakan untuk perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

Tabel 4.1: Data-data Hasil Pemeriksaan Dasar.

No	Data Tes Dasar	Nilai
1	Berat Jenis Agregat Kasar	2,704 gr/cm <sup>3</sup>
2	Berat Jenis Agregat Halus	2,815 gr/cm <sup>3</sup>
3	Kadar Lumpur Agregat Kasar	1,375 %
4	Kadar Lumpur Agregat Halus	3,975 %
5	Berat Isi Agregat Kasar	1,5 gr/cm <sup>3</sup>
6	Berat Isi Agregat Halus	1,17 gr/cm <sup>3</sup>
7	FM Agregat Kasar	7,28%
8	FM Agregat Halus	3,82%
9	Kadar Air Agregat Kasar	0,52 %
10	Kadar Air Agregat Halus	2,56 %
11	Penyerapan Agregat Kasar	0,805 %
12	Penyerapan Agregat Halus	1,16 %
13	Nilai Slump Rencana	30-60 mm
14	Ukuran Agregat Maksimum	40 mm

##### 4.1.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

###### 4.1.1.1 Berat Jenis & Penyerapan Agregat Kasar

Pada Tabel terlampir 3 macam berat jenis, yakni berat jenis contoh semu, berat jenis. Dari percobaan ini di dapat nilai rata – rata BJ contoh kering 2,645 gr, BJ kering permukaan (SSD) 2,665 gr dan BJ Semu (Sa) 2,704 gr sehingga

rerata nilai penyerapan yang di dapat pada percobaan ini sebesar 0,805%. Berat jenis agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu.

Tabel 4.2 : Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

Agregat Kasar Lolos Saringan No. 3/8	I	II	Rerata
Berat SSD kering permukaan jenuh A (gr)	2730	2630	2680
Berat SSD oven 110°C s/d konstan C (gr)	2708	2609	2658,5
Berat contoh jenuh B (gr)	1708	1643	1675,5
Berat jenis contoh kering $C/A(A-B)$ (gr)	2,65	2,64	2,645
Berat jenis contoh SSD $A/(A-B)$ (gr)	2,67	2,66	2,665
Berat jenis contoh semu $C/(C-B)$ (gr)	2,708	2,70	2,704
Penyerapan $((A-C)/C) \times 100\%$ (%)	0,81%	0,80%	0,805%

#### 4.1.1.2 Analisa Gradasi Agregat Kasar

Berdasarkan acuan SNI 03-1968-1990 tentang analisa saringan agregat kasar. Dari hasil penelitian ini di dapat nilai analisa gradasi agregat kasar yang tertera pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3: Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar.

Ukuran Saringan	Retained Fraction				Cumulative (%)	
	I (gr)	II (gr)	Berat (gr)	%	Tertahan	Lolos
38,1 (1,5in)	71	82	153	3,82	3,82	96,18
19.0 (3/4in)	791	811	1602	40,05	43,87	56,13
9,52 (3/8in)	748	736	1484	37,10	80,97	19,03
4.75 (No. 4)	390	371	761	19,03	100	0
2.36 (No. 8)	0	0	0	0	100	0
1.18 (No. 16)	0	0	0	0	100	0

Tabel 4.3: Lanjutan.

Ukuran Saringan	Retained Fraction				Cumulative (%)	
	I (gr)	II (gr)	Berat (gr)	%	Tertahan	Lolos
0.60 (No. 30)	0	0	0	0	100	0
0.30 (No. 50)	0	0	0	0	100	0
0.15 (No. 100)	0	0	0	0	100	0
Pan						
Total	2000	2000	4000			
FM (MODULUS KEHALUSAN)					7,28	

Berdasarkan Tabel 4.3 ,maka diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

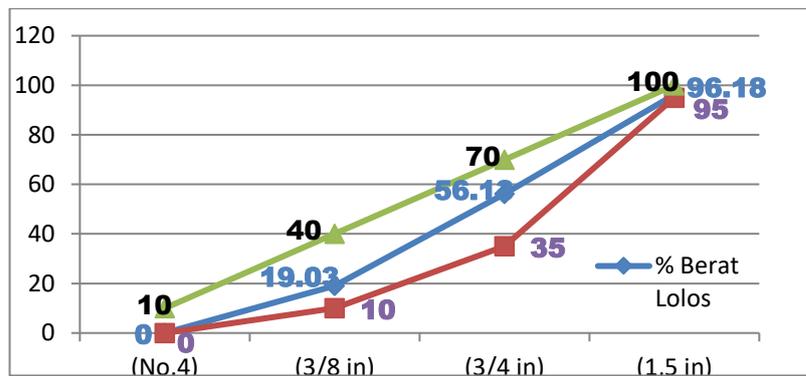
$$\begin{aligned}
 FM \text{ (Finess Modulus)} &= \frac{\text{Jumlah umulatif tertahan\%}}{100} & (4.1) \\
 &= \frac{728.66}{100} \\
 &= 7,28
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian analisa saringan selain untuk menentukan nilai modulus halus butir juga digunakan untuk mengetahui gradasi agregat kasar. Daerah gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 : Batas Gradasi Agregat Kasar.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%) Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95-100	100	-
19	37-70	95-100	100
9,6	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 4.4 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan ukuran butir maksimum 40 mm, tetapi dalam analisa saringan agrgeat kasar ini diperoleh gradasi sela karena terdapat fraksi ukuran 20 mm dan 10 mm yang tidak terpenuhi. Apabila salah satu fraksi ukuran yang tidak terpenuhi maka akan mengakibatkan volume pori (ruang kosong) pada beton menjadi lebih banyak. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Grafik Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar.

#### 4.1.1.3 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Rata-rata nilai kadar lumpur pada kedua sampel adalah sebesar 1,375%. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar yang mengacu pada SNI 4142:1996.

Tabel 4.5: Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar.

Agregat Halus lolos saringan No. 4 mm	I	II	Rerata
Berat contoh kering A (gr)	1300	1400	1350
Berat kering setelah dicuci B (gr)	1281	1382	1331,5
Berat lolos saringan No. 200 setelah dicuci C (gr)	19	18	18,5
Agr. kasar lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	1,46	1,29	1,375

#### 4.1.1.4 Berat Isi Agregat Kasar

Dari pengujian diperoleh berat isi agregat kasar pada penelitian diperoleh rata-rata berat isi dengan nilai 1,5 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini masih dalam batas yang diizinkan pada beton normal yang berkisar 1,5-1,8 gr/cm<sup>3</sup>, sehingga berat pada agregat kasar yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

Tabel 4.6: Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.

No.	Course Aggregate Passing No. 50.8	Lepas	Rojok	Goyang
1	Berat contoh & wadah W2 (gr)	29086	29481	30461
2	Berat wadah W1 (gr)	6500	6500	6500
3	Berat contoh W3 (gr)	22586	22981	23961
4	Volume wadah V (cm <sup>3</sup> )	15465,21	15465,21	15465,21
5	Berat isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1,46	1,49	1,55
Average		1,5		

#### 4.1.1.5 Kadar Air Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar air agregat kasar mengacu pada SNI 03-4804-1998 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang berat isi agregat halus Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.

Fine Aggregate Passing No. 9,5 mm	I	II
Berat contoh SSD & Berat Wadah (W1)	2045	2025
Berat contoh kering Oven & Wadah (W2)	2037	2017
Berat contoh kering oven (W2 - W3)	1562	1542
Berat wadah (W3)	475	
Berat air (W1-W2)	8	8
Kadar Air (W1- W2) / (W2-W3) x 100%	0,512%	0,519%
Average	0,516%	

## 4.1.2 Pemeriksaan Agregat Halus

### 4.1.2.1 Analisa Gradasi Agregat Halus

Pengujian analisa saringan mengacu pada SNI 03-1968-1990. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8: Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan	Retained Fraction				Cumulative (%)	
	I (gr)	II (gr)	Berat (gr)	%	Tertahan	Lolos
9.50 (No. 3/8)	0	0	0	0	0	
4.75 (No. 4)	20	25	45	2,25	2,25	97,75
2.36 (No. 8)	15	14	29	1,45	3,70	96,30
1.18 (No. 16)	217	227	444	22,20	25,90	74,10
0.60 (No. 30)	310	414	724	36,20	62,10	37,90
0.30 (No. 50)	353	235	588	29,40	91,50	8,50
0.15 (No. 100)	57	60	117	5,85	97,35	2,65
Pan	28	25	53	2,65	100	0
Total	1000	1000	2000	100	382,80	317,2
FM (MODULUS KEHALUSAN)					3,82	

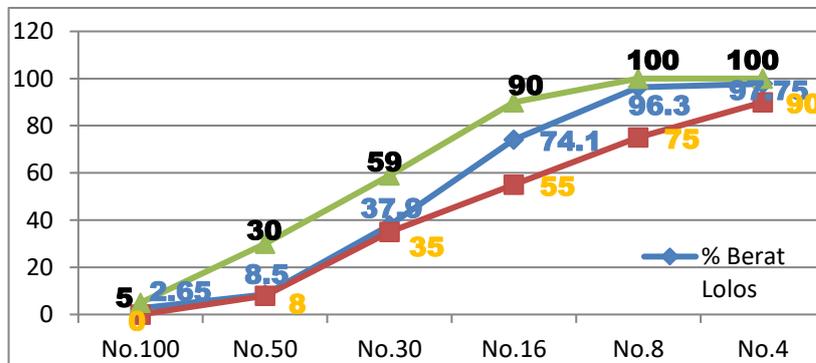
Berdasarkan Tabel 4.8, maka diperoleh nilai modulus halus butir (MHB) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FM (Finess Modulus) &= \frac{\Sigma \% \text{Berat kumulatif tertahan}}{100} && (4.2) \\ &= \frac{382,80}{100} \\ &= 3,82 \end{aligned}$$

Tabel 4.9: Daerah Gradasi Agregat Halus.

Nomor Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen bahan butiran yang lolos saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
8	2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
16	1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
30	0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
50	0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
100	0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan Tabel 4.9 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi daerah II dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah II dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus.

#### 4.1.2.2 Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

Dari percobaan ini di dapat nilai rata – rata BJ kering (Sd) 2,725 gr, BJ jenuh kering permukaan (Ssd) 2,76 gr dan BJ Semu (Sa) 2,815 gr sehingga rerata nilai penyerapan yang di dapat pada percobaan ini sebesar 1,16%. Berat jenis

agregat terpenuhi apabila nilai Berat Jenis Contoh Kering < Berat Jenis SSD < Berat Jenis Contoh Semu.

Tabel 4.10: Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus.

Agregat Halus Lolos Saringan No. 4	I	II	Rerata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh B (gr)	480	480	480
Berat contoh SSD oven 110°C sampai konstan E (gr)	473	476	474,5
Berat piknometer penuh air D (gr)	662	670	666
Berat jenis contoh kering $C/A(A-B)$ (gr)	2,65	2,64	2,645
Berat jenis contoh kering $E/(B+D-C)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,75	2,70	2,725
Berat jenis contoh SSD $B/(B+D-C)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,79	2,73	2,76
Berat jenis contoh semu $E/(E+D-C)$ (gr/cm <sup>3</sup> )	2,86	2,77	2,815
Penyerapan $(B- E)/E \times 100\%$ (%)	1,48%	0,84%	1,16%

#### 4.1.2.3 Berat Isi Agregat Halus

Didapat Berat Isi rata-rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,17 gr/cm<sup>3</sup>, nilai ini masih dalam batas yang diijinkan pada beton normal yaitu minimal 1,5 – 1,8 gr/cm<sup>3</sup>, sehingga berat pada agregat halus telah memenuhi syarat.

Tabel 4.11: Hasil pengujian berat isi.

No.	Course Aggregate Passing No. 50.8	Lepas	Rojok	Goyang
1	Berat contoh & wadah W2 (gr)	23823	24200	25981
2	Berat wadah W1 (gr)	6500	6500	6500
3	Berat contoh W3 (gr)	17323	17700	19481
4	Volume wadah V (cm <sup>3</sup> )	15465,21	15465,21	15465,21
5	Berat isi (gr/cm <sup>3</sup> )	1,12	1,14	1,26
Average		1,17		

#### 4.1.2.4 Kadar Lumpur Agregat Halus

Hasil pemeriksaan hasil uji Kadar Lumpur didapat persentase kadar lumpur rata-rata 3,975%. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimal 5% (SK SNI S – 04 – 1989 – F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

Tabel 4.12: Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.

Agregat Halus lolos saringan No. 4 mm	I	II	Rerata
Berat contoh kering A (gr)	600	650	625
Berat kering setelah dicuci B (gr)	580	620	600
Berat lolos saringan No. 200 setelah dicuci C (gr)	20	30	25
lolos saringan No.200 setelah dicuci (%)	3,33	4,62	3,975

#### 4.1.2.5 Kadar Air Agregat Halus

Dari pengujian kadar air agregat kasar pada percobaan ini dengan percobaan 2 sample dimana nilai kadar air pada sample 1 sebesar 3,64 % dan sample 2 sebesar 1,48% sehingga di dapat nilai rata – rata sebesar 2,56%.

Tabel 4.13: Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus.

Fine Agregate Passing No. 9,5 mm	Sample I	Sample II
Berat contoh SSD & Berat Wadah (W1)	1045	1025
Berat contoh kering Oven & Wadah (W2)	1025	1017
Berat contoh kering oven (W2 - W3)	550	542
Berat wadah (W3)	475	
Berat air (W1-W2)	20	8
Kadar Air $(W1 - W2) / (W2 - W3) \times 100\%$	3,64%	1,48%
Rata-rata	2,56%	

## 4.2 Komposisi Masing-Masing Komponen Material Pembentuk Beton

Hal ini menentukan persentase atau komposisi masing-masing komponen material pembentuk beton untuk memperoleh suatu campuran beton yang memenuhi kekuatan dan keawetan yang direncanakan serta memiliki kelecakan yang sesuai dengan mempermudah proses pengerjaan. Perencanaan campuran adukan beton menurut SNI 03- 2834-2000 sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan  $f_c'$  pada umur tertentu.
2. Menghitung deviasi standar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

Dengan :

S = Deviasi standar

$x_i$  = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

$\bar{x}$  = Kuat tekan beton rata-rata menurut rumus

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Penjelasan dari rumus Deviasi Standar:

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji.) dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut :

1. Mewakili bahan - bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
2. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan  $f'_c$  yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai  $f_{cr}$  yang ditentukan.
3. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
4. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil uji yang memenuhi deviasi standar, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang

dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari tabel 4.14.

- Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f_c'$ ) pada umur tertentu. Penghitungan nilai deviasi standar (S). Faktor pengali untuk standar deviasi dengan hasil uji  $< 30$  dapat dilihat pada tabel 4.14. Pada tabel ini kita dapat langsung mengambil nilai standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang akan dicetak.

Tabel 4.14: Faktor pengali untuk standar deviasi berdasarkan jumlah benda uji yang tersedia dibawah 30. (SNI 03-2834, 2000).

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	$Fc' + 12 \text{ MPa}$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

- Kuat tekan yang diisyaratkan = 20 Mpa.
- Deviasi standar diketahui dari besarnya jumlah (volume) pembebasan yang akan dibuat dalam hal ini di anggap untuk pembuatan (1.000-3.000) m<sup>3</sup> beton sehingga nilai S= 7 Mpa.
- Nilai tambah dihitung menurut rumus:

$$M = 1,03 \times sr ; \quad (4.4)$$

Dengan

M adalah nilai tambah

1,03 = faktor pengali deviasi standar untuk jumlah benda uji  $< 25$  sampel

S r adalah deviasi standar rencana.

- Nilai tambah (M) =  $1,03 \times Sr = \text{Mpa}$ .
- Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

$$\begin{aligned} F_{cr}' &= f_c + M Sr \\ &= \text{Mpa} \end{aligned} \quad (4.5)$$

- Penetapan jenis semen yang digunakan adalah semen Portland tipe I.
- Jenis agregat kasar dan jenis agregat halus ditetapkan berupa agregat alami

(batu kerikil, pasir dan semen alami).

8. Penetapan nilai faktor air semen bebas: Nilai faktor air semen bebas dapat diambil dari Gambar 4.3 berikut yang menjelaskan tentang hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton silinder, (SNI 03-2834-2000).
9. Faktor air semen maksimum.
10. Penetapan nilai slump ditentukan, berupa 30 - 60 mm.
11. Penetapan besar butir agregat maksimum pada beton ditetapkan 40 mm.
12. Jumlah kadar air bebas ditentukan berdasarkan Tabel 4.16 yang dibuat untuk agregat gabungan alami atau yang berupa batu pecah sebagai berikut :

Tabel 4.15: Perkiraan kadar air bebas ( $\text{Kg/m}^3$ ) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton (SNI 03-2834, 2000).

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak di pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak di pecah	137	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak di pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

13. Agregat campuran (tak pecah dan dipecah), dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\bullet \quad \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (4.6)$$

Dimana:

$W_h$  = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

$W_k$  = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

14. Berat semen yang diperlukan per  $\text{m}^3$  beton dihitung dengan menggunakan persamaan:.

$$\bullet \quad W_{s_{mn}} = 1/F_{as} * W \text{ air} \quad (4.7)$$

Dimana:

Fas = Faktor air per meter kubik beton

15. Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah mengandung sulfat dapat di lihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 : Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus (SNI 03-2834, 2000).

Lokasi	Semen Min./m <sup>3</sup>	FAS Max.
Beton di dalam ruang bangunan: Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan: Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk kedalam tanah: Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55
Beton yang kontinyu berhubungan: Air tawar		Lihat Tabel 4.18
Air laut		Lihat Tabel 4.19

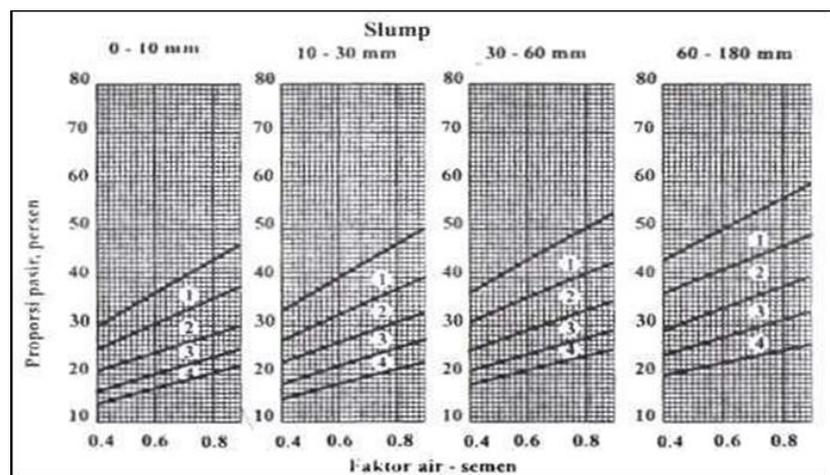
16. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan jika jumlah semen berubah

karena lebih kecil dari jumlah semen minimum yang ditetapkan (atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan), maka faktor air semen harus diperhitungkan kembali.

17. Penetapan jenis agregat halus agregat halus diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yang digunakan yaitu pasir agak halus Tabel 4.9.

Penetapan jenis agregat kasar menurut Tabel 4.4.

18. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran. Proporsi berat agregat halus ditetapkan dengan cara menghubungkan kuat tekan rencana dengan faktor air semen menurut slump yang digunakan secara tegak lurus berpotongan yang dapat dilihat pada Jika ukuran butir maksimum sebesar 40 mm dapat dilihat pada Gambar 4.3 untuk mencari proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran.



Gambar 4.3: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm (SNI 03-2834, 2000).

19. Berat jenis agregat campuran.

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\bullet \quad b_{j \text{ camp}} = k_h/100 \times b_{jh} + k_k/100 \times b_{jk} \quad (4.8)$$

Dimana :

$B_{j \text{ camp}}$  = berat jenis agregat campuran

$B_{jh}$  = berat jenis agregat halus

$B_{jk}$  = berat jenis agregat kasar

$K_h$  = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran.

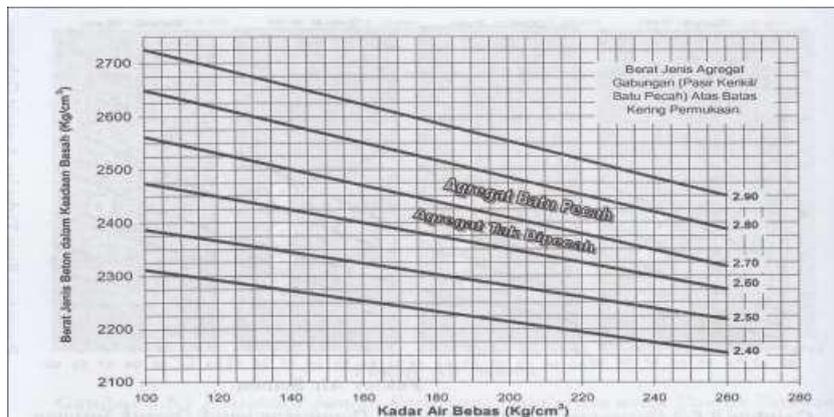
$K_k$  = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran.

20. Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium, namun jika belum ada maka dapat diambil sebesar

$B_j = 2,60$  untuk agregat tak pecah atau alami

$B_j = 2,70$  untuk agregat pecah

Perkiraan berat isi beton diperoleh dari nilai kadar air bebas dalam grafik dan nilai berat jenis dalam grafik Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton (SNI 03-2834, 2000).

21. Dihitung kebutuhan berat agregat campuran

Kebutuhan berat agregat campuran dihitung dengan persamaan:

$$\bullet \quad W_{agr,camp} = W_{btn} - W_{air} - W_{smn} \quad (4.9)$$

Dengan :

$W_{agr,camp}$  = Kebutuhan berat agregat campuran per meter kubik beton

$W_{btn}$  = Berat beton per meter kubik beton (kg)

$W_{air}$  = Berat air per meter kubik beton (kg)

$W_{smn}$  = Berat semen per meter kubik beton (kg)

22. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (18) dan (21).

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan menggunakan persamaan:

- $W_{agr,h} = k_h \times W_{agr,camp}$  (4.10)

Dengan:

$k_h$  = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran

$W_{agr,camp}$  = kebutuhan berat agregat campuran per meter kubik beton (kg)

23. Hitung berat agregat kasar yang diperlukan, berdasarkan hasil langkah (18) dan (22).

Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan persamaan:

- $W_{agr,k} = k_k \times W_{agr,camp}$  (4.11)

Dengan :

$k_k$  = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran

$W_{agr,camp}$  = kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg).

24. Proporsi campuran, kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m<sup>3</sup> adukan. Koreksi proporsi campuran menurut perhitungan. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari dan harus dihitung menurut rumus sebagai berikut :

- $Air = B (C_k - C_a) \times c / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100$  (4.12)

- $Agregat Halus = C + (C_k - C_a) \times C / 100$  (4.13)

- $Agregat Kasar = D + (D_k - D_a) \times D / 100$  (4.14)

Dengan :

B adalah jumlah air (kg/m<sup>3</sup>).

C adalah agregat halus (kg/m<sup>3</sup>).

D adalah jumlah agregat kasar (kg/m<sup>3</sup>).

$C_n$  adalah absorbsi air pada agregat halus (%).

$D_a$  adalah absorpsi agregat kasar (%).

$C_k$  adalah kandungan air dalam agregat halus (%).

$D_k$  adalah kandungan air dalam agregat kasar (%).

### 4.3 Perhitungan *Mix Design*

Perencanaan campuran beton pada tahap ini, dilakukan pembuatan *mix design* yang berdasarkan (SNI 03-2834-2000).

Tabel 4.17: Perencanaan Campuran Beton SNI 03-2834-2000.

PERENCANAAN CAMPURAN BETON			
SNI 03-2834-2000			
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan	Nilai
1	Kuat Tekan Yang Disyaratkan (Benda Uji Silinder)	Ditetapkan	20 MPa pada 28 hari
2	Deviasi Standar		7 Mpa
3	Nilai Tambah (Margin)	-	$1,03 \times 7 = 7,21$ Mpa
4	Kekuatan Rata-Rata Yang Ditargetkan	1 + 3	27,21 MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Tipe I Portland
6	Jenis Agregat: - Kasar	Ditetapkan	Batu kerikil
	- Halus	Ditetapkan	Pasir alami
7	Faktor Air-Semen Bebas	Tabel	0,4
8	Faktor Air-Semen Maksimum	Ditetapkan	0,60
9	Slump	Ditetapkan	30-60 mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	Ditetapkan	40 mm
11	Kadar Air Bebas	Tabel 4.16	$170 \text{ kg/m}^3$
12	Jumlah Semen	11/7	$425 \text{ kg/m}^3$
13	Jumlah Semen Maksimum	Ditetapkan	$425 \text{ kg/m}^3$
14	Jumlah Semen Minimum	Ditetapkan	$275 \text{ kg/m}^3$
15	FAS Yang Disesuaikan	Disesuaikan	0,4
16	Susunan Besar Butir Agregat Halus	Gambar 4.1	Daerah gradasi zona 2

Tabel 4.17: Lanjutan.

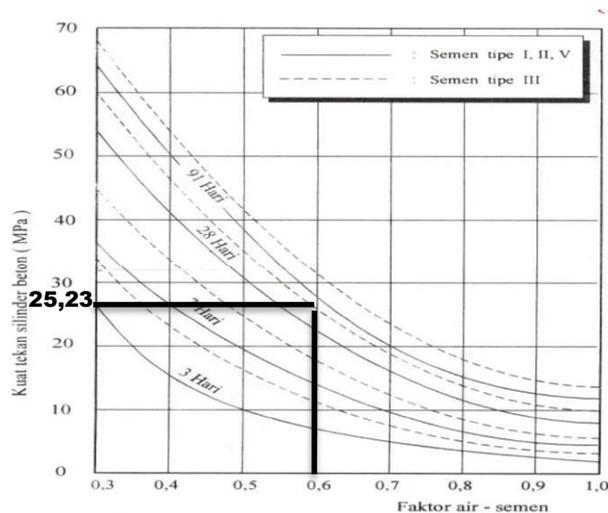
PERENCANAAN CAMPURAN BETON					
SNI 03-2834-2000					
No.	Uraian	Tabel/Gambar Perhitungan		Nilai	
17	Susunan Agregat Kasar Atau Gabungan	Gambar 4.2		Gradasi maksimum 40 mm	
18	Persen Agregat Halus	Item 20		35 %	
19	Berat Jenis Relatif, Agregat(Kering Permukaan)	Item 20		2,70	
20	Berat Isi Beton	Gambar 4.7		2425 kg/m <sup>3</sup>	
21	Kadar Agregat Gabungan	20 - ( 12 + 11)		1830 kg/m <sup>3</sup>	
22	Kadar Agregat Halus	18 x 21		640,5 kg/m <sup>3</sup>	
23	Kadar Agregat Kasar	21-22		1189,5 kg/m <sup>3</sup>	
24	Proporsi Campuran			Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
		Semen (kg)	Air (kg)	Halus	Kasar
	- Tiap m <sup>3</sup>	425	170	640,5	118,5
	- Tiap Campuran Uji m <sup>3</sup>	425	165,75	649,47	1186,05
	- Tiap Campuran Uji 0,0053 m <sup>3</sup> (1 Silinder )	2,25	0,88	3,44	6,28
25	Koreksi Proporsi Campuran				
	- Tiap m <sup>3</sup>	425	170	640,5	118,5
	- Tiap Campuran Uji m <sup>3</sup>	425	165,75	649,47	1186,05
	- Tiap Campuran Uji 0,0053 m <sup>3</sup> (1 Silinder )	1	0,39	1,53	2,80

Penjelasan dari Tabel 4.20 Perencanaan Campuran Beton SNI 03-2834-2000.

1. Kuat tekan rencana ( $f'c$ ) = 20 MPa pada umur rencana 28 hari.
2. Deviasi standar nilai yang diambil sebesar 7 MPa.
3. Nilai tambah margin (M) adalah 7,21 MPa.
4. Kekuatan rata-rata yang ditargetkan

$$\begin{aligned} f_{cr}' &= f'c + M \text{ Sr} && (4.15) \\ &= 20 + 7,21 \text{ Mpa} \\ &= 27,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

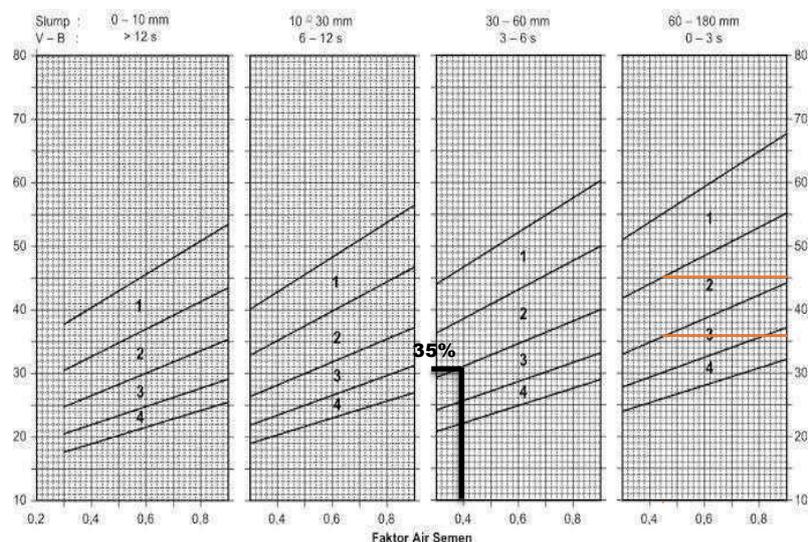
5. Semen yang digunakan seharusnya semen Portland tipe I (ditetapkan).
6. Agregat yang digunakan berupa agregat halus pasir alami dan agregat kasar batu kerikil.
7. Faktor air semen (FAS), berdasarkan perhitungan pada gambar 4.5 tentang grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen dengan perkiraan kekuatan tekan beton rata-rata 25,23 MPa, semen yang digunakan semen Portland tipe I, beton dilakukan pengujian pada umur rencana 7,14 dan 28 hari, benda uji silinder dan agregat kasar berupa batu pecah maka digunakan nilai FAS yang disesuaikan sebesar 0,4 maksimal sebesar 0,60.



Gambar 4.5: Hubungan FAS dan kuat tekan beton silinder 15 x 30 cm.

8. FAS adalah angka perbandingan antara berat air bebas (kadar air bebas) dan berat semen dalam beton, yang dimana berat air bebas adalah  $170 \text{ kg/cm}^3 : 425 \text{ kg/cm}^3 = 0,4$ . Maka FAS yang disesuaikan adalah 0,4 sebagaimana telah di formulasikan pada butir ke-13.
9. Faktor air semen maksimum, berdasarkan tabel 4.17 mengenai persyaratan factor air maksimum karena beton berada dilokasi terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka faktor air semen yang disesuaikan sebesar 0,4 dan faktor air semen maksimum ditetapkan sebesar 0,60.
10. Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan *slump* rencana sebesar 30-60 mm.
11. Ukuran maksimum yang digunakan sebesar 40 mm.
12. Kadar air bebas agregat campuran, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm dan nilai slump yang ditentukan adalah 30-60 mm sehingga dari tabel 16 diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (Wh) adalah 160 sedangkan untuk agregat kasar (Wk) adalah 190 sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan sebagai berikut.
13. Kadar air bebas
 
$$\begin{aligned} & 2/3 \text{ Agr. Halus} + 1/3 \text{ Agr. Kasar} && (4.16) \\ & = 2/3 \times 160 + 1/3 \times 190 \\ & = 170 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
14. Kadar semen dapat dihitung dengan cara nilai kadar air bebas dibagi faktor air semen, maka jumlah semen yang digunakan sebagai berikut.
 
$$\begin{aligned} \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar Air bebas}}{\text{Faktor Air Semen}} && (4.17) \\ \text{Kadar semen} &= \frac{170}{0,4} \\ &= 425 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$
15. Kadar semen maksimum sebesar  $425 \text{ kg/m}^3$
16. Kadar semen minimum untuk beton yang direncanakan didalam ruangan dan terlindung dari hujan serta terik matahari langsung mempunyai kadar semen minimum per- $\text{m}^3$  sebesar 275 kg.
17. Faktor air semen yang disesuaikan berdasarkan gambar 4.5 yaitu sebesar 0,4.

18. Susunan butir agregat halus berdasarkan Gambar 4.2 yaitu batas gradasi pasir daerah II.
19. Susunan butir agregat kasar berdasarkan Gambar 4.1 yaitu batas gradasi kerikil ukuran maksimum 40 mm.
20. Persentase agregat halus, dengan mengacu pada slump 30-60 mm, faktor air semen yang disesuaikan 0,4 dan ukuran butir maksimum 40 mm serta agregat halus berada pada gradasi 2 maka persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada gambar 4.6. Sehingga diperoleh persentase halus batas bawah sebesar 35%.



Gambar 4.6: Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm pada FAS 0,4 (SNI 03-2834-2000).

21. Menghitung berat jenis relatif agregat (kering permukaan) SSD

$$\% \text{ Agregat Halus} = 35\%$$

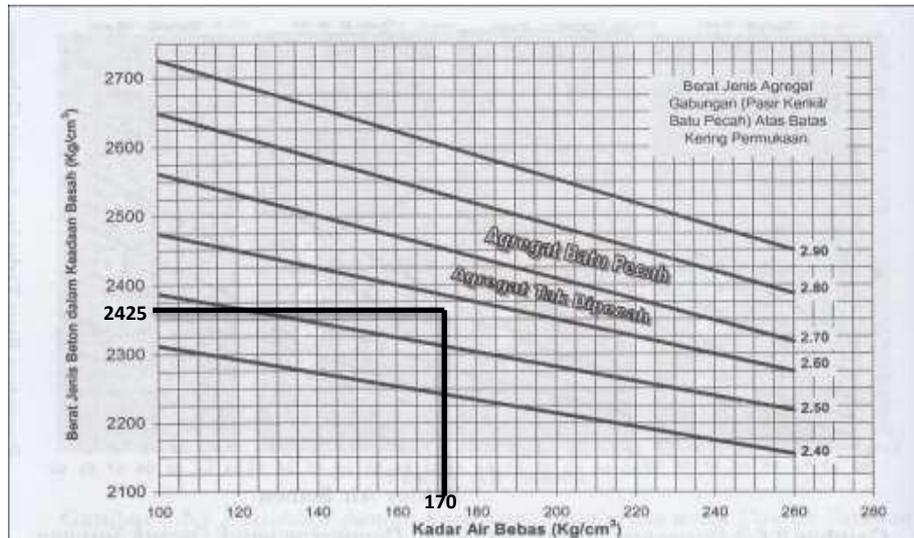
$$\% \text{ Agregat Kasar} = 65\%$$

$$\text{Berat Jenis Relatif} = (\text{AH} \times \text{BJAH}) + (\text{AK} \times \text{BJAK}) \quad (4.18)$$

$$= (0,35 \times 2,76) + (0,65 \times 2,677)$$

$$= 2,70 \text{ kg/m}^3$$

22. Berat isi beton diperoleh dari gambar 4.7 dengan nilai kadar air bebas yang digunakan sebesar 170 dan berat jenis gabungan sebesar 2,70 maka diperoleh nilai berat isi beton sebesar  $2425 \text{ kg/m}^3$ .



Gambar 4.7: Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton pada FAS 0,4 (SNI 03-2834-2000).

23. Kadar agregat gabungan diperoleh sebagai berikut.

- Kadar agregat gabungan = Berat isi beton – (kadar semen + kadar air bebas)  
 $= 2425 - (425 + 170) = 1830 \text{ kg/m}^3$  (4.19)

- Kadar agregat halus diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \% \text{AH} \times \text{Kadar agregat gabungan} & (4.20) \\ &= 0,35 \times 1830 \\ &= 640,5 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

- Kadar agregat kasar diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} & (4.21) \\ &= 1830 - 640,5 \\ &= 1189,3 \text{ kg/m}^3. \end{aligned}$$

24. Proporsi Campuran kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per  $\text{m}^3$  adukan.

- Semen =  $425 : 425 = 1$

- Air = 170 : 425 = 0,40
- Pasir = 640,5:425 = 1,51
- Kerikil = 1189,5 : 425 = 2,80

25. Koreksi proporsi campuran apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari.

Tabel 4.18: Komposisi campuran beton.

Variasi Campuran	FAK
I	3 %
II	5 %
III	6 %

Dalam penelitian ini pembuatan sampel memiliki masing-masing 3 variasi yang akan di cetak. Adapun jumlah yang digunakan untuk membuat mix dalam rencana adukan beton sebanyak 1 m<sup>3</sup> adalah sebagai berikut :

- Jumlah air (B) = 170 kg/ m<sup>3</sup>
- Jumlah agregat halus (C) = 640,5 kg/m<sup>3</sup>
- Jumlah agregat kasar (D) = 1189,5kg/m<sup>3</sup>
- Penyerapan agregat halus (Ca) = 1,16 %
- Penyerapan agregat kasar (Da) = 0,81%
- Kadar air agregat halus (Ck) = 2,56 %
- Kadar air agregat kasar (Dk) = 0,52 %

a. Air

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{c}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} & (4.22) \\
 &= 170 - (2,56 - 1,16) \times \frac{640,5}{100} - (0,52 - 0,81) \times \frac{1189,5}{100} \\
 &= 165,75 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

b. Agregat Halus

$$\text{Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times \frac{c}{100} \quad (4.23)$$

$$= 640,5 + (2,56 - 1,16) \times \frac{640,5}{100}$$

$$= 649,47 \text{ kg/m}^3$$

c. Agregat Kasar

$$\text{Agregat Kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (4.24)$$

$$= 1189,5 + (0,52 - 0,81) \times \frac{1189,5}{100}$$

$$= 1186,05 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan hasil *mix design* beton normal mutu sedang maka kebutuhan bahan untuk 1 m<sup>3</sup> sebagai berikut :

- Semen = 425 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat halus = 649,47 kg/m<sup>3</sup>
- Agregat kasar = 1186,05 kg/m<sup>3</sup>
- Air = 165,75 kg/m<sup>3</sup>

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut:

Tinggi Silinder = 15 cm

Diameter Silinder = 30 cm

Maka, volume silinder yaitu :

$$\text{Volume 1 benda uji} = \pi r^2 t \quad (4.25)$$

$$= \frac{22}{7} \times \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 \times 0,30$$

$$= 0,0053 \text{ m}^3$$

Maka :

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$= \text{Banyak semen} \times \text{Volume 1 benda uji} \quad (4.26)$$

$$= 425 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 2,25 \text{ kg}$$

- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$= \text{Banyak pasir} \times \text{volume 1 benda uji} \quad (4.27)$$

$$= 649,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 3,44 \text{ kg}$$

- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji (4.28)
 
$$= \text{Banyak batu pecah} \times \text{Volume 1 benda uji}$$

$$= 1186,05 \times 0,0053$$

$$= 6,28 \text{ kg}$$

- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji (4.29)
 
$$= \text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji}$$

$$= 165,75 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 0,88 \text{ kg}$$

Proporsi campuran untuk 1 benda uji dengan volume 0,0053 m<sup>3</sup> dalam satuan kg yaitu:

Semen : Pasir : Batu pecah : Air  
 2,25 : 3,44 : 6,28 : 0,88

Adapun penggunaan bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan FAK sebesar 3%, 5%, dan 7% dari berat pengganti semen keseluruhan. Berat masing-masing variasi diuraikan sebagai berikut:

Tabel 4.19: Banyak FAK yang dibutuhkan dalam 1 benda uji silinder.

Persentase FAK (%)	Fly Ash & Kapur (FAK)	
	Fly Ash (gr)	Kapur (gr)
3 %	67,5	112,5
5%	112,5	112,5
7%	157,5	112,5

#### 4.4 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini menggunakan silinder sebagai benda uji dengan ukuran sisi 15 cm x 30 cm. Pembuatan benda uji ini dilakukan sebanyak 24 sampel. Pada pembuatan benda uji beton, semua pengujian bahan harus dipastikan telah memenuhi syarat-syarat yang sudah ditetapkan. Berikut ini disajikan beberapa tahapan yang dilakukan dalam pembuatan benda uji:

a) Mix Beton

Beton diaduk dengan menggunakan mesin pengaduk (mixer). Untuk

penggunaan air dibagi 3 bagian. Pertama tuang air ke dalam mixer 1/3 bagian, kemudian agregat kasar, lalu agregat halus, masukkan 1/3 air lagi, setelah itu masukkan semen, terakhir masukkan 1/3 air ke dalamnya.

b) Pencetakan

Sebelum beton dimasukkan kedalam cetakan terlebih dahulu dilakukan pengukuran kelecakan (*slump test*). Lepaskan cetakan setelah  $\pm 24$  jam dan jangan lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

c) Perawatan beton

Perawatan beton bertujuan untuk membuat beton selalu lembab. Kelembapan membuat proses hidrasi berjalan dengan baik dengan cara perendaman benda uji selama 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dalam bak air.

#### 4.5 Pengujian *Slump* Beton

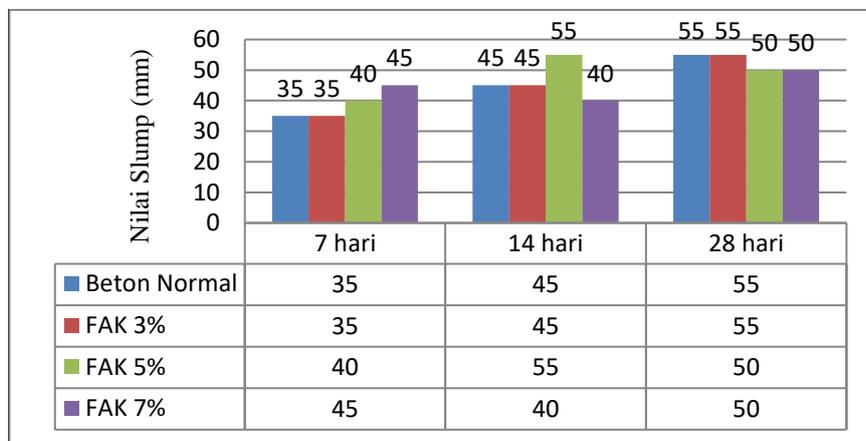
Menurut SNI 03-2834-2000, nilai *slump* beton untuk campuran basah harus memenuhi syarat 25 mm–125 mm. Nilai *slump* adalah tinggi adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. *Slump* merupakan pedoman untuk mengetahui tingkat kelecakan adukan beton. Berikut ini disajikan nilai rata-rata nilai *slump* beton normal dan beton variasi pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20: Nilai *slump Test* beton campuran variasi dan beton normal.

No	Variasi	<i>Slump tes (mm)</i>		
		7 hari	14 hari	28 hari
1	BN	35	45	55
2	3% FAK	35	45	55
3	5% FAK	40	55	50
4	7% FAK	45	40	50

Menurut SNI.T-28-1991-03, waktu pengadukan minimal untuk campuran beton yang volumenya lebih kecil atau sama dengan 1 m' adalah 1,5 menit, dan ditambahkan selama 0.5 menit untuk penambahan 1 m° beton serta pengadukan

ditambahkan selama 1,5 menit setelah semua bahan tercampur. Waktu pengadukan ini akan berpengaruh pada mutu beton. Jika terlalu sebentar pencampuran bahan kurang merata, sehingga pengikatan antara bahan-bahan beton akan berkurang. Sebaliknya, pengadukan yang terlalu lama akan mengakibatkan: (1) Naiknya suhu beton, (2) Keausan pada agregat sehingga agregat pecah, (3) Terjadinya kehilangan air sehingga penambahan air diperlukan, (4) Bertambahnya nilai *slump* dan (5) Menurunnya kekuatan beton. Berikut ini akan disajikan grafik rata-rata nilai *slump* beton normal dan beton variasi pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.8: Grafik Rata-rata Pengujian *Slump* Beton.

#### 4.6 Hasil dan Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton

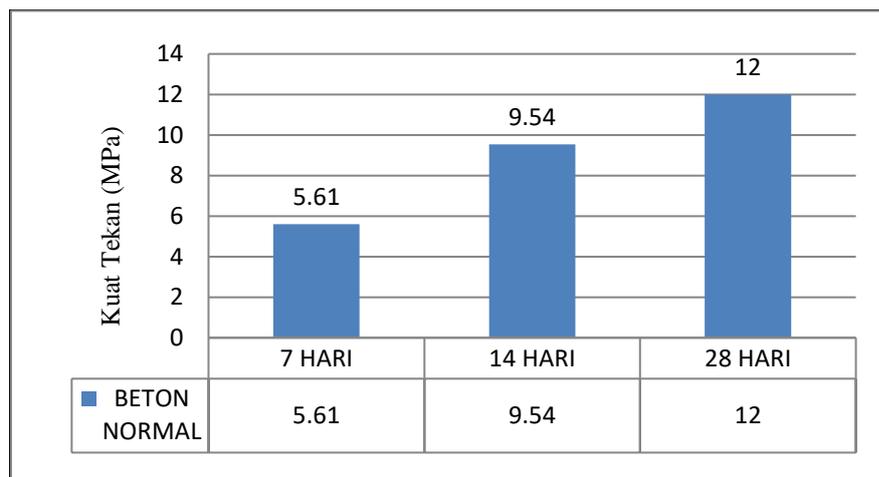
Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan metode sesuai dengan SNI 03-2491-2002. Benda uji yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada subbab ini diperoleh masing-masing nilai kuat tekan beton normal dan beton variasi setiap 7 hari, 14 hari dan 28 hari.

#### 4.6.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Normal

Hasil kuat tekan beton normal dapat dilihat pada Tabel 4.21. Dari 6 masing-masing benda uji beton normal yang diuji kuat tekannya beton Normal mengalami kenaikan yang normal di setiap 7, 14 dan 28 hari karena beton normal tersebut tidak memiliki bahan tambah. Reaksi *pozzolan* dan bahan semen mungkin belum sepenuhnya dioptimalkan, yang mengakibatkan peningkatan kekuatan yang kurang optimal dalam campuran beton, yang menyebabkan nilai kuat tekan dibawah target. Kondisi pengeringan yang tidak memadai dapat menghambat perkembangan kekuatan yang lengkap dalam campuran beton, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebagai berikut.

Tabel 4.21: Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal.

Hari	P = Beban Tekan (kg)	$A = 176,625 \text{ cm}^2$ $f'_c = (P/A) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	Fc (MPa)
BETON NORMAL			
7	10109,70	57,23	5,61
14	17186,49	97,30	9,54
28	21735,86	123,06	12



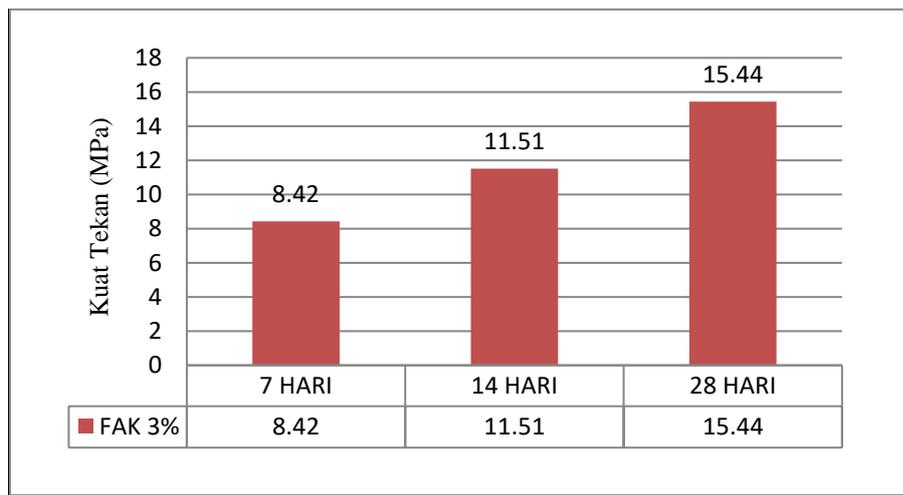
Gambar 4.9: Grafik Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton Normal.

#### 4.6.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 3%

Hasil kuat tekan beton variasi FAK 3% dapat dilihat pada Tabel 4.22. Dari 6 masing-masing benda uji beton FAK 3% yang diuji kuat tekannya untuk kombinasi beton variasi FAK 3% mengalami kenaikan terhadap beton normal karena beton variasi memiliki bahan tambah yang bersifat silika dan bersifat *pozzolan* sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari terhadap beton normal, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebagai berikut.

Tabel 4.22: Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 3%.

Hari	P = Beban Tekan (kg)	$A = 176,625 \text{ cm}^2$ $f'_c = (P/A) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	Fc (MPa)
FAK 3%			
7	15164,55	85,85	8,42
14	20724,89	117,33	11,51
28	27801,68	157,40	15,44



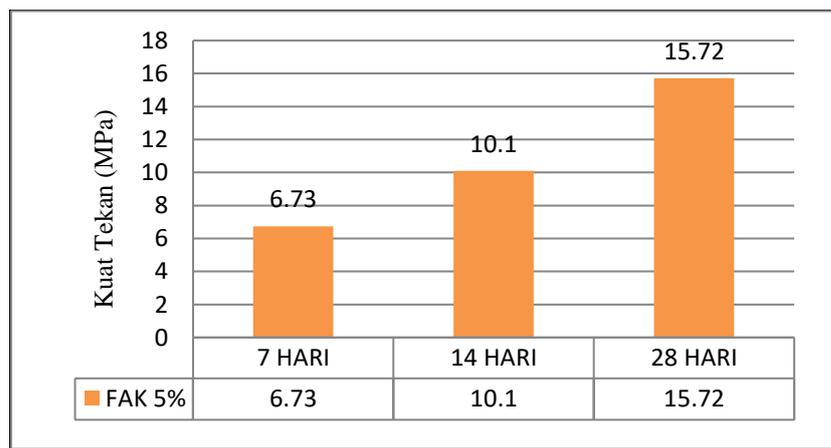
Gambar 4.10: Grafik Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton Variasi FAK 3%.

### 4.6.3 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 5%

Hasil kuat tekan beton variasi FAK 5% dapat dilihat pada Tabel 4.23. Dari 6 masing-masing benda uji beton FAK 5% yang diuji kuat tekannya Untuk kombinasi beton variasi FAK 5% mengalami kenaikan terhadap beton normal karena beton variasi memiliki bahan tambah yang bersifat silika dan bersifat *pozzolan* sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari terhadap beton normal, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebagai berikut.

Tabel 4.23: Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 5%.

Hari	P = Beban Tekan (kg)	$A = 176,625 \text{ cm}^2$ $f'_c = (P/A) \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	Fc (MPa)
FAK 5%			
7	12131,64	68,68	6,73
14	18197,46	103,02	10,10
28	28307,16	160,26	15,72



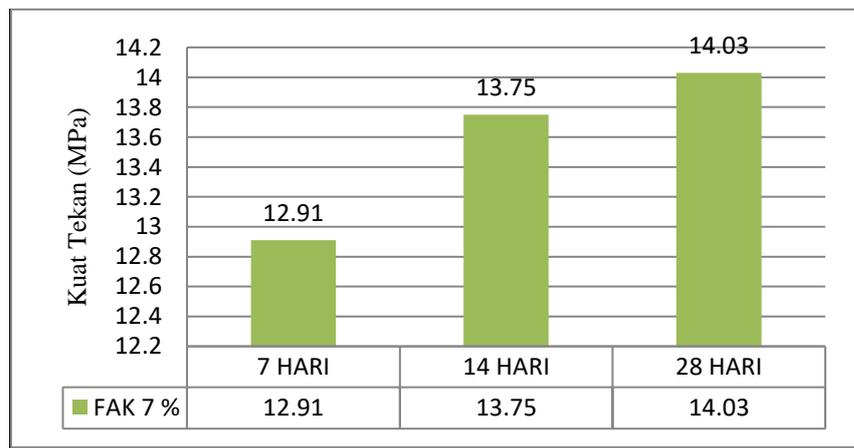
Gambar 4.11: Grafik Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton Variasi FAK 5%.

#### 4.6.4 Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 7%

Hasil kuat tekan beton variasi FAK 7% dapat dilihat pada Tabel 4.29. Dari 6 masing-masing benda uji beton variasi FAK 7% yang diuji kuat tekannya. Untuk kombinasi beton variasi FAK 7% mengalami kenaikan terhadap beton normal karena beton variasi memiliki bahan tambah yang bersifat silika dan bersifat *pozzolan* sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan beton pada umur 7, 14 dan 28 hari terhadap beton normal, maka diperoleh nilai kuat tekan beton rata-rata sebagai berikut.

Tabel 4.24: Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Variasi FAK 7%.

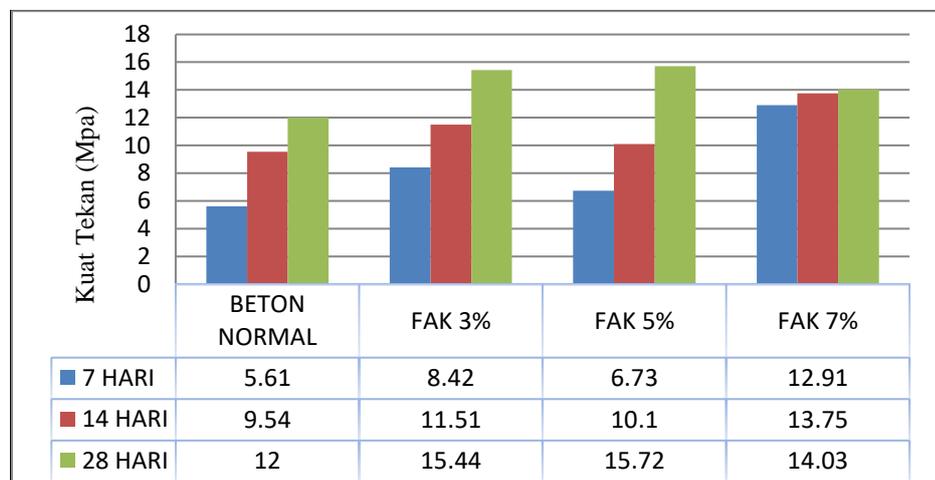
Hari	P = Beban Tekan (kg)	A = 176,625 cm <sup>2</sup> $f'_c = (P/A)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Fc (MPa)
FAK 7%			
7	23252,31	131,64	12,91
14	24768,77	140,23	13,75
28	25274,25	143,09	14,03



Gambar 4.12: Grafik Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Beton Variasi FAK 7%.

#### 4.6.5 Perbandingan Nilai Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Variasi

Hasil dari rata-rata pengujian kuat tekan beton normal dan beton variasi memiliki nilai yang berbeda. Maka dari hasil nilai kuat tekan beton normal dan variasi dapat disimpulkan, pada hari ke 7 nilai kuat tekan beton tertinggi dihasilkan oleh variasi beton FAK 7% sebesar 12,91 MPa, pada hari ke 14 dihasilkan oleh beton variasi FAK 7% sebesar 13,75 MPa dan pada hari ke 28 dihasilkan oleh beton variasi FAK 5% sebesar 15,72 MPa. Berikut ini akan disajikan grafik perbandingan rata-rata pengujian kuat tekan beton pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13: Grafik Rata-rata Pengujian Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Variasi.

Berdasarkan dari grafik diatas, antara beton normal dengan beton variasi memiliki perbedaan nilai kuat tekan yang cukup jauh. Berdasarkan kuat tekan yang direncanakan di awal, kuat tekan rencana yang ditargetkan adalah 20 MPa pada umur 28 hari. Namun berdasarkan hasil kuat tekan diatas diperoleh nilai tertinggi hanya sampai pada nilai kuat tekan 15,72 MPa pada umur 28 hari variasi beton FAK 5%.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kuat tekan beton pada hasil penelitian pembuatan beton normal, beton variasi FAK 3%, FAK 5% dan FAK 7% dengan mutu beton  $f'c$  20 MPa yang memakai metode SNI 03-2384-2000, dapat disimpulkan:

1. Dengan adanya bahan tambahan *fly ash* dan kapur belum memberikan pengaruh sesuai yang direncanakan terhadap kuat tekan beton. Semua benda uji memenuhi syarat yang sudah ditentukan pada campuran *mix design* yaitu 30-60 mm. Sehingga nilai kuat tekan yang belum memenuhi syarat yang direncanakan tidak ada pengaruhnya
2. Berdasarkan data pengujian kuat tekan beton yang diperoleh, variasi kuat tekan maksimum terjadi pada beton normal di umur 28 hari sebesar 12 MPa dan pada beton variasi FAK 5% pada hari ke 28 sebesar 15,72 Mpa. Hasil dari pengujian kuat tekan beton diatas tidak memenuhi syarat kuat tekan beton yang direncanakan sebesar 20 MPa.

#### **5.2. Saran**

1. Dalam pembuatan beton mutu tinggi persentase campuran beton yang menggunakan *fly ash* harus benar-benar diperhatikan terutama dalam perencanaan *mix design* baik untuk beton normal maupun beton campuran.
2. Penelitian tugas akhir ini bisa dijadikan literatur tambahan atau sebagai bahan evaluasi bagi penelitian tugas akhir selanjutnya, dengan harapan pada hasil evaluasi penelitian tugas akhir tersebut nantinya akan lebih baik dari penelitian sebelumnya

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI SP-19. *Cement and Concrete Terminology*.
- Adhi MIX RMC. 2020. *Pengaruh Penambahan Fly Ash pada Beton*. Adhi Mix RMC Indonesia: Jakarta Selatan.
- Alfiandinata. 2020. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton*. Jurnal Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram: Mataram.
- ASTM C 125-1995:61. *Standard Definition of Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*.
- ASTM C 168-03. *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*.
- Federal Highway Administration. 2016. *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*.
- Josef Hadipramana, dkk. 2021. *Memahami Teknologi Beton dengan Praktikum*. UMSU PRESS: Medan.
- Krisbiyantoro. 2005. *Tinjauan Permeabilitas dan Shrinkage Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Mineral Metakaolin dan Superplasticizer*. UNS Repository.
- Kusuma. 1993. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Erlangga: Jakarta.
- Lincolen. 2017. *Pengaruh Abu Terbang Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton Beragregat Halus Bottom Ash*. Digilib Unila.
- Miller dan M. Michael. 1997. *Lime*. The U.S Bureau Of Mines : United States Of America.
- Mira Setiawati. 2018. *Fly Ash sebagai Bahan Tambah Beton Normal*. Jurnal Sipil Statik.
- Mulyono Tri. 2005. *Kapur sebagai Bahan Tambah untuk Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.

- Narmluk T. dan Nawa. T. 2014. *Effect of Curing Temperature on Pozzolanic Reaction of Fly Ash in Blended Cement Paste*. International Journal of Chemical Engineering and Applications.
- Papadakis V.G.1999. *Effect of Fly Ash on Portland Cement*. Open Journal of Civil Engineering: United States of America.
- Portland Cement Association.2001. *Hydration, setting and hardening of portland cement*. Lea's Chemistry of cement and Concrete.
- SNI 03-1971-1990. 1990. *Metode Pengujian Kadar Air Agregat*. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 27(5), 6889.
- SNI 03-1972-1990. 1990. *Metode Pengujian Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional, 1(ICS 91.100.30), 1–12.
- SNI, 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–265.
- SNI ASTM C 136. 2012. *Analisa saringan agregat*. Standar Nasional Indonesia
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.
- Widodo, A., Basith M.A. 2010. *Analisis Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Serat Rooving pada Beton Non Pasir*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan, 19 (2), 115-120.
- Zhao, dkk. 2014. *Penetrasi Air dan Klorida Terlarut dalam Air ke Dalam Beton dibawah Tekanan Hidrolik*. RekaRecana: Jurnal Teknik Sipil.

# LAMPIRAN

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN  
BERLANGSUNG DI LABORATORIUM BETON  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Gambar L1: Material Bahan Tambah *Fly Ash*



Gambar L2: Proses Pengujian Material Bahan



Gambar L3: Pengujian *Slump*



Gambar L4: Proses Pengantaran Benda Uji ke Laboratorium Teknik Sipil UMA



Gambar L5: Proses Penimbangan Benda Uji



Gambar L6: Proses Pengujian Kuat Tekan Beton



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Zibrilian Adimas  
Tempat Tanggal Lahir : Medan, 05 Mei 2002  
Alamat : Jl. Multatuli Link. IV No. 37  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
No.HP/Telp : 0823-8472-6321  
Nama Orang Tua  
Ayah : Sofiyah Iskandar  
Ibu : Yuliana Syafnita

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2007210136  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jalan Kapten Muchtar Basri BA No.3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama Dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	TK	TK Bustanul Athfal	2008
2	SD	SD Muhammadiyah 10	2014
3	SMP	SMP Al-Ulum Medan	2017
4	SMA	SMA Negeri 8 Medan	2020
5	Melanjutkan Kuliah Di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 Sampai Selesai		

