

## TUGAS AKHIR

**“ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON  
TERHADAP PENAMBAHAN *FLY ASH* SEBAGAI  
BAHAN SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON  
GEOPOLIMER RAMAH LINGKUNGAN  
DENGAN METODE TANPA PERENDAMAN”  
(Studi Penelitian)**

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

Disusun Oleh :

**SATRIO WIBOWO**  
**2007210109**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Satrio Wibowo  
NPM : 2007210109  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Dengan Metode Tanpa Perendaman  
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



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkamain, S.T. M.Sc, Ph.D.

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Satrio Wibowo  
NPM : 2007210109  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Dengan Metode Tanpa Perendaman  
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, 29 Agustus 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T. M.Sc, PhD.

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2



Dr. Josef Hadipramana S.T., M.T.



Rizki Efrida, S.T., M.T.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T. M.Sc, PhD.

## SURAT PERNYATAAN TUGAS AKHIR

Saya yang tertandatangan di bawah ini:

Nama : Satrio Wibowo  
Tempat/Tanggal lahir : Doloksanggul, 24 April 2001  
NPM : 2007210109  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya ,bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Dengan Metode Tanpa Perendaman”

Bukan merupakan plagiaris mencuri hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemungkinan hari diduga kuat ada tidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjanaan saya.

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

Medan, 29 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,

  
  
METERAI TEMPEL  
FE2EAJX976897778 Satrio Wibowo

## ABSTRAK

**“ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON  
TERHADAP PENAMBAHAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN  
SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON GEOPOLIMER  
RAMAH LINGKUNGAN DENGAN METODE  
TANPA PERENDAMAN”  
(Studi Penelitian)**

Satrio Wibowo

2007210109

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T. M.Sc, Ph.D.

Salah satu bahan campuran alami yang diteliti yaitu *fly ash* atau abu terbang merupakan material yang berwarna keabu-abuan, memiliki ukuran butir yang halus, dan diperoleh dari hasil residu pembakaran batu bara. Modulus elastisitas merupakan hasil pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu objek ketika diterapkan gaya. Tujuan penelitian ini dilakukan untuk memahami pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton nilai modulus elastisitas (E) beton dengan campuran *fly ash*, perbandingan antara nilai  $E_c$  beton normal dengan beton tambahan dan perbandingan antara penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu. Adapun rata-rata nilai modulus elastisitas pada tiap variasi beton yaitu Beton Normal 20603,6666 MPa, BFA 5% 24789,66667 MPa, BFA 10% 23435 MPa dan BFA 15% 21462 MPa. Dapat disimpulkan bahwa Kadar *fly ash* pada pengujian ini sangat berpengaruh pada nilai modulus elastisitas. Semakin tinggi kadar *fly ash*, maka semakin rendah pula nilai modulus elastisitasnya. Dikarenakan beton dalam pengujian ini tidak direndam, porositas beton meningkat yang dapat menurunkan kekakuan dan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah.

**Kata kunci :** Beton, *Fly ash*, Modulus Elastisitas

## **ABSTRACT**

**"ANALYSIS OF THE VALUE OF THE ELASTIC  
MODULUS OF CONCRETE AGAINST THE ADDITION OF  
FLY ASH AS AN INGREDIENT SUBSTITUTION OF CEMENT ON  
ENVIRONMENTALLY FRIENDLY GEOPOLYMER CONCRETE WITH  
THE METHOD OF NO SOAKING"  
(Research Studies)**

Satrio Wibowo

2007210109

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T. M.Sc, PhD.

*One of the natural mixed materials studied, namely fly ash or fly ash, is a grayish material, has a fine grain size, and is obtained from the results of coal combustion residues. The purpose of this study was to understand the effect of the use of fly ash as a concrete mixture with the value of the modulus of elasticity (E) of concrete with the fly ash mixture, the comparison between the  $E_c$  value of normal concrete and additional concrete and the comparison between the current research and the previous research. The average value of the modulus of elasticity in each concrete variation is Normal Concrete 20603.6666 MPa, BFA 5% 24789.66667 MPa, BFA 10% 23435 MPa and BFA 15% 21462 MPa. It can be concluded that the fly ash level in this test has a great influence on the value of the elastic modulus. The higher the level of fly ash, the lower the modulus of elasticity value. Since the concrete in this test is not immersed, the porosity of the concrete increases which can reduce the stiffness and result in a lower modulus of elasticity value.*

**Keywords :** Concrete, Fly ash, Modulus of Elasticity

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan Insyallah berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad Shallallahu alaihi wasallam yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Dengan Metode Tanpa Perendaman”

Dalam pembuatan laporan ini penulis memperoleh bantuan dari banyak pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus dan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T. M.Sc, PhD. selaku Dosen Pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah membimbing, mengarahkan dan memberi masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Josef Hadipramana S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji 1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji 2 dan Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr. Ade Faisal Selaku Wakil Dekan I, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Jajaran Bapak/Ibu Selaku Dosen Program Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak dan Ibu Pegawai Staf Biro Administrasi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Ayahanda dan ibunda tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik, dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
9. Kepada seluruh rekan-rekan kelas C1 pagi dan rekan-rekan stambuk 2020 Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil yang telah menemani serta menjadi pendukung dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Serta seluruh pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 29 Agustus 2024

Penulis

Satrio Wibowo

2007210109

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Beton	6
2.3 Beton Geopolimer	7
2.4 Agregat	7
2.4.1 Agregati Halus	8
2.4.2 Agregat Kasar	10
2.5 Abu Batu Bara ( <i>fly ash</i> )	13
2.6 Kuat Tekan	15
2.6 Modulus Elastisitas Beton (E)	15
2.7 Penelitian Terdahulu	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Diagram Aliri Penelitian	24

3.3	Lokasii dani Waktui Penelitian	26
3.4	Sumber Data dan Pengambilan Data	26
3.4.1	Data Primer	26
3.4.2	Data Sekunder	26
3.5	Alat dan Bahan	26
3.5.1	Bahan	27
3.5.2	Peralatan	27
3.6	Persiapan Bahan Tambah	29
3.7	Tahapan Pengujian	29
3.7.1	Pengujian Bahan Dasar Beton	29
3.7.2	Pengujian Analisa Saringan	31
3.7.3	Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat (Berat Jenis)	32
3.7.4	Pengujian Berat Isi	35
3.7.5	Pengujian Kadar air	35
3.7.6	Pengujian Kadar Lumpur	35
3.7.7	Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> )	36
3.7.8	Pengujian <i>Slump Test</i>	45
3.7.9	Pembuatan Benda Uji	47
3.7.10	Perawatan Benda Uji	49
3.7.11	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	49
BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Umum	51
4.1	Hasil Pengujian Bahan Dasar	51
4.1.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	51
4.1.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	56
4.1.3	Tipe <i>Fly ash</i>	60
4.2	Mix Design	60
4.3	Kebutuhan Bahan	65
4.4	Pembuatan Benda Uji	66
4.5	<i>Slump test</i>	68
4.6	Pemantauan Beton	69
4.7	Pengujian Kuat Tekan	70

4.8 Pengujian Modulus Elastisitas	71
4.8.1 Analisa Regangan dan Tegangan	71
4.8.2 Analisa Modulus Elastisitas	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79
DOKUMENTASI	83
LAMPIRAN	88
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	92

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batas gradasi agregat halus	9
Tabel 2.2	Batas gradasi agregat kasar	12
Tabel 2.3	Penelitian terdahulu	20
Tabel 3.1	Peralatan Pembuatan Benda Uji	28
Tabel 3.2	Komposisi Campuran Benda Uji Dan Kode Benda Uji.	30
Tabel 3.3	Nilai <i>slump</i> yang dianjurkan untuk konstruksi	38
Tabel 3.4	Anggapan jumlah air pencampur dan kadar udara yang diperlukan untuk berbagai slump serta ukuran nominal agregat batu pecah terbesar	39
Tabel. 3.5	Hubungan antara kekuatan beton dan perbandingan air-semen (W/C) atau air-bahan bersifat semen (W/(C+P))	41
Tabel 3.6	Hubungan rasio air-semen atau air-bahan dan kekuatan beton	42
Tabel 3.7	Volume agregat kasar per satuan volume beton	43
Tabel 3.8	Perkiraan awal berat beton segar	44
Tabel 3.9	Benda uji dan campuran pembuatan beton	49
Tabel 4.1	Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	54
Tabel 4.2	Perhitungan Agregat Halus	54
Tabel 4.3	Analisa Gradasi Agregat Halus	55
Tabel 4.4	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	56
Tabel 4.5	Pengujian Berat Isi Agregat Halus	56
Tabel 4.6	Pengujian Kadar Air Agregat Halus	57
Tabel 4.7	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	58
Tabel 4.8	Analisa Gradasi Agregat Kasar	59
Tabel 4.9	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	60
Tabel 4.10	Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	60
Tabel 4.11	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	61
Tabel 4.12	Tabel Data Mix Design	62
Tabel 4.13	Tabel Rasio Air	63
Tabel 4.14	Tabel Rasio Air Semen	63
Tabel 4.15	Tabel Berat Kering Agregat Kasar	64

Tabel 4.16	Tabel Berat Beton Segar	65
Tabel 4.17	Tabel Perbandingan Berat	66
Tabel 4.18	Total bahan yang dibutuhkan untuk membuat 3 benda uji.	68
Tabel 4.19	Kebutuhan Bahan Tiap Variasai Campuran	68
Tabel 4.20	Nilai slump test pada tiap pengujian modulus elastisitas.	70
Tabel 4.21	Hasil Pengujian Kuat Tekan	71
Tabel 4.22	Perhitungan regangan pada BFA 15% 1.	73
Tabel 4.23	Perhitungan Tegangan pada BFA 15% 1.	73
Tabel 4.24	Kurva linear dan hasil yang didapat dari BFA 15% 1.	75
Tabel 4.25	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	75
Tabel 4.26	Nilai Modulus Elastisitas Penelitian ini dengan penelitian terdahulu	77

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daerah Gradasi Pasir Sedang	10
Gambar 2.2	Batas gradasi agregat kasar	12
Gambar 2.3	Perbedaan Reaksi Hidrasi dan Reaksi Pozzolanik	16
Gambar 2.4	Reaksi Kimia Senyawa Semen dengan Air dan Hasil Reaksi Hidrasi	16
Gambar 2.5	Macam-macam Bentuk Modulus Elastisitas	17
Gambar 3.1	Diagram Penelitian	25
Gambar 3.2	Sampel <i>Fly ash</i>	31
Gambar 3.3	Bentuk benda uji silinder 30 cm x 15 cm.	48
Gambar 4.1	Grafik nilai slump test	71
Gambar 4.2	Kondisi beton saat mencapai 28 hari	71
Gambar 4.2	Grafik hubungan tegangan-regangan	74
Gambar 4.3	Grafik Hubungan antara pengaruh kadar <i>fly ash</i> dengan nilai modulus elastisitas	76
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu	78
Gambar 4.5	Grafik Persen Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu	78

## DAFTAR NOTASI

$P$	: beban yang diberikan (N)	N
$A$	: luas tampang melintang ( $mm^2$ )	$mm^2$
$\Delta l$	: Penurunan arah longitudinal atau perubahan panjang akibat beban P	mm
$l$	: Tinggi beton relatif ( jarak antara dua <i>strain gauge</i> )	mm
$E_c$	: Modulus elastisitas chord	MPa
$S_1$	: tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005.	MPa
$S_2$	: tegangan sebesar 0,4. $f'_c$	MPa
$\epsilon_2$	: Regangan longitudinal akibat tegangan $S_2$	
$A$	: Berat benda uji kering oven	gr
$B$	: Berat benda pikrometer berisi air	gr
$C$	: Berat benda pikrometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	gr
$S$	: Berat benda Uji kondisi jenuh kering permukaan	gr
$W_1$	: Berat sample SSD + berat wadah	gr
$W_2$	: Berat sample kering oven + berat wadah ( $W_2$ )	gr
$W_3$	: Berat wadah ( $W_3$ )	gr
$U$	: Berat beton segar	$kg/m^3$
$G_a$	: Berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan kasar, kering permukaanjenuh (SSD adalah <i>saturated surface dry</i> )	
$G_c$	: Berat jenis semen (umumnya = 3,15)	
$w$	: Syarat banyaknya air pencampur	$kg/m^3$
$c$	: Syarat banyaknya semen	$kg/m^3$
$w_c$	: Berat volume beton normal atau berat volume ekuivalen beton ringan	$kg/m^3$

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peningkatan dalam bidang teknologi konstruksi semakin meningkat dan diperhitungkan akan langsung melonjak di masa depan. Di Indonesia, pemerintah sedang aktif dalam membangun infrastruktur di berbagai tempat yang memerlukan teknologi mutakhir, terutama dalam bidang konstruksi gedung. Manfaat teknologi konstruksi dapat diperoleh dalam proses pembangunan di beragam wilayah, baik di perkotaan maupun di pedesaan. Teknologi dalam bidang konstruksi dipergunakan sebagai pendukung fasilitas dan infrastruktur. Konstruksi sendiri merujuk pada susunan fisik atau struktur dari suatu bangunan, seperti jembatan, rumah, jalan, dan sejenisnya. Dalam situasi ini, Mahasiswa diharapkan untuk mengambil peran yang aktif dalam memajukan negara karena dalam membangun masa depan negara kita membutuhkan peranan penting dari mereka, terutama bagi Mahasiswa/i dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Fakultas Teknik Sipil.

Dalam membangun suatu bangunan, tentu dibutuhkan beberapa tenaga kerja, tenaga ahli, bahan material, alat dan lain-lain. Beton adalah bahan konstruksi yang paling biasa digunakan untuk membangun gedung, jembatan, jalan, dan bangunan lainnya. Beton adalah kombinasi homogen yang dibuat dengan mencampur air, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lainnya dengan semen portland atau semen hidrolis lainnya. Pada titik tertentu, kombinasi tersebut akan memadat seperti batuan. Pemadatan terjadi dikarenakan reaksi kimia yang terjadi antara semen dan air (Mulyana, 2020).

Defenisi beton menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat. Ada sejumlah bagian yang berpengaruh pada sifat beton saat dibuat, seperti ukuran agregat kasar, komposisi campuran agregat halus, dan air yang memenuhi syarat pemadatan, kekuatan, dan ketahanan sesuai dengan spesifikasi rencana (Saputra, 2023).

Kombinasi bahan pembentuk beton harus diatur sedemikian rupa untuk membentuk beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras, dan ekonomis. Salah satu bahan campuran alami yang diteliti yaitu *Fly ash*, juga dikenal sebagai abu terbang. *Fly ash* adalah zat berwarna keabu-abuan dengan ukuran butir yang halus yang dibuat dari sisa pembakaran batu bara (Purnamasari, 2023).

Saat ini, *fly ash* adalah bahan tambah yang cukup populer untuk digunakan sebagai pengganti semen dalam kombinasi beton. Menurut PPRI No.85 Tahun 1999, *Fly ash* adalah bahan limbah dari pembakaran batu bara, yang dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Salah satu jenis operasi yang disebut pengelolaan limbah B3 adalah penyimpanan, pengumpulan, penggunaan, pengangkutan, dan pengolahan limbah B3, termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut. Beberapa orang tidak mengetahui bahwasanya limbah B3 khususnya *fly ash* ini dapat diolah sebagai bahan tambahan campuran beton.

Dalam menentukan baik dan buruknya penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton, diharuskan melewati beberapa tahap Analisa, salah satunya modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas merupakan hasil pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu objek ketika diterapkan gaya (Neri dan Desi, 2023). Oleh karena itu, modulus elastisitas ini digunakan untuk menghitung seberapa besar rasio objek dapat berubah (deformasi elastis) ketika dipaksakan atau diregangkan.

Menurut Pade (2013), Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas dipengaruhi oleh banyak faktor, termasuk umur beton, karakteristik agregat dan semen, kecepatan pembebanan, dan jenis dan ukuran benda uji. Setiap struktur yang akan dibangun harus melalui proses perhitungan modulus elastisitas beton karena beton dapat mengalami perubahan elastis. Ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar gaya yang dapat ditahan pada beton yang akan dipakai untuk memastikan bahwa bangunan yang dibangun akan berdiri kokoh.

Berdasarkan hal-hal yang disebutkan di atas, dilakukanlah penelitian yang berjudul: “Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Tanpa Metode Tanpa Perendaman”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton terhadap nilai modulus elastisitas beton (E) tanpa Metode Tanpa Perendaman.
2. Bagaimana hasil perbandingan antara nilai modulus elastisitas penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton geopolymer dengan nilai modulus elastisitas penggunaan semen (beton normal).
3. Bagaimana perbedaan penelitian modulus elastis ini dengan penelitian terdahulu terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas.

## **1.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Mungkin ada baiknya membuat batasan pada masalah yang akan dibahas agar diskusi lebih singkat dan tidak menyimpang. Dalam hal luasnya masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu:

1. Studi ini dilaksanakan Pada Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Metode konsep campuran beton memakai SNI (Standar Nasional Indonesia).
3. Studi ini berfokus pada uji kuat tekan dan modulus elastisitas ( $E_c$ ) beton yang menggunakan acuan ASTM 469-2-2006.
4. Semen yang digunakan adalah semen *Portland tipe I*
5. Agregat kasar dan air yang digunakan berasal dari Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. *Fly ash* yang digunakan bertipe C
7. Persentase *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5%, 10%, dan 15% dari agregat halus yang digunakan.

8. Jumlah benda uji yang digunakan setiap pengujian sebanyak 3 buah tiap variasi.
9. Mutu beton yang digunakan adalah 25 MPa.
10. Benda uji berupa Silinder berukuran 30 cm x 15 cm.
11. Umur beton yang diuji adalah 28 hari.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini dilakukan antara lain:

1. Memahami pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton dan nilai modulus elastisitas (E) beton dengan campuran *fly ash*.
2. Mengetahui hasil perbandingan antara nilai modulus elastisitas penggunaan *fly ash* sebagai bahan campuran beton geopolimer dan nilai modulus elastisitas penggunaan semen.
3. Mengetahui perbedaan hasil penelitian yang sekarang dengan penelitian terdahulu terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas..

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukannya penelitian ini sebagai berikut

1. Pemanfaatan *fly ash*, atau limbah B3, sebagai bahan campuran pembuatan beton, dapat memecahkan kelemahan dan kelangkaan pada bahan pembentuk adukan beton dan memangkas anggaran.
2. Menggunakan limbah *fly ash*, yang dikenal sebagai B3, untuk membuat bahan bangunan, terutama dalam bentuk campuran beton yang ramah lingkungan.

#### **1.6 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah ini meliputi sebagai berikut :

1. Metode untuk konsep kombinasi campuran beton dan pengujian beton menggunakan metode SNI ( Standar Nasional Indonesia) dan ASTM (*American Society For Testing And Materials*).
2. Melakukan pengujian modulus elastisitas beton menggunakan bahan campuran *fly ash* dengan metode ASTM C-469-2-2006.

3. Melakukan variasi persenan untuk *fly ash* sebanyak 5%, 10% , 15% untuk mengetahui perbandingan nilai modulus elastisitas pada variasi beton.

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan diskusi dan pemahaman, sistem penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat di bawah ini:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Latar belakang tugas akhir dibahas dalam bab ini. Ini juga membahas rumusan masalah dan batasan masalah serta keuntungan penulisan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bagian ini menjelaskan konsep teori yang mendukung kasus Tugas Akhir, memberikan dasar teori yang digunakan, dan memberikan informasi yang akan membantu peneliti memahami masalah yang akan diteliti.

#### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Jenis penelitian, lokasi, jadwal, dan prosedur penelitian akan dijelaskan dalam bab ini.

#### **BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN**

Hasil penelitian dan diskusi tentang analisis perhitungan dan pemecahan masalah dibahas dalam bab ini.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Hasil dari diskusi penelitian yang telah dilakukan serta rekomendasi dari penulis akan dipaparkan di bagian ini.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton**

Beton adalah kombinasi homogen yang dibuat dengan mencampur air, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lainnya dengan semen portland atau semen hidrolik lainnya (McCormac, 2018). Nama "beton" datang dari kata Latin "*concrectus*", yang berarti "tumbuh bersama" atau "menggabungkan."

Defenisi beton menurut SK SNI T-15-1991-03 adalah campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat. Ada sejumlah komponen yang berpengaruh pada karakteristik beton saat dibuat, seperti bentuk agregat kasar, rancangan campuran agregat halus, dan air yang sesuai syarat pemadatan, kekuatan, dan ketahanan sesuai dengan spesifikasi rencana (Saputra, 2023).

Beton adalah bahan yang paling banyak digunakan di dunia setelah air (Korompis et al., 2023). Terdapat beberapa alasan yang mendukung pernyataan tersebut, seperti ketersediaan yang banyak dari bahan pembuat beton, ketahanan beton yang berkualitas baik, dan biaya produksi yang dapat dijangkau. Studi ini bertujuan untuk mengurangi emisi rumah kaca dan menemukan alternatif untuk semen dalam beton. Beberapa jenis material, seperti abu terbang (*fly ash*), sedang dipelajari karena memiliki potensi sebagai pengganti semen.

Manfaat menggunakan beton sebagai bahan bangunan adalah daya tahan yang tinggi dan fleksibilitasnya yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan struktur. Selain itu, proses pembentukannya dengan menggunakan bekisting juga sangat mudah. Beton juga tahan terhadap suhu tinggi, memiliki biaya pemeliharaan yang rendah, dan memiliki umur panjang. Bahan bakunya juga mudah di dapatkan dan cukup ekonomis jika dianalogikan terhadap kayu dan baja. Namun, seiring dengan peningkatan jumlah beton yang digunakan, jumlah sumber daya yang tersedia menurun. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan pemanfaatan limbah industri (Purnamasari, 2023).

Disamping keunggulannya, beton juga memiliki beberapa kelemahan yaitu bebannya yang besar dibandingkan dengan beban yang harus ditahan. Untuk mengurangi kelemahan beton, agregat ringan dapat digunakan sebagai pengganti agregat yang biasa digunakan.

### **2.3 Beton Geopolimer**

*Geopolymer* merupakan bahan atau material yang berupa anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi. Profesor Davidovits pertama kali menggunakan istilah "*geopolymer*" untuk menjelaskan mineral *polymer* yang dibuat melalui *geochemistry* (Davidovits, 1988). Bentuk anorganik alumina-silika yang disebut geopolymer dibuat dari material yang banyak mengandung *alumina* (Al) dan *silika* (Si) yang berasal dari alam atau dari produk sampingan industri. (Manuahe et al., 2014). Meskipun mikrostrukturnya amorphous, komposisi kimia material geopolymer mirip dengan *Zeolit*. Atom alumina dan silika menyatu selama proses sintesa dan membentuk blok yang memiliki struktur kimia yang mirip dengan batuan alam.

Beton geopolimer ini dibuat melalui reaksi kimia daripada reaksi hidrasi seperti beton biasa. Maka dari itu, jenis aktivator harus sesuai dengan senyawa yang ada di *fly ash* dan komposisinya harus tepat untuk memungkinkan reaksi kimia terjadi (Triwulan et al., 2007). Aktivator yang umumnya digunakan adalah Sodium Hidroksida 8M sampai 14M dan Sodium Silikat ( $Na_2SiO_3$ ) dengan perbandingan antara 0.4 sampai 2.5 (Hardjito, 2005).

### **2.4 Agregat**

Dalam campuran beton, beton aspal, dan materi konstruksi lainnya, agregat adalah material berbutir yang terdiri dari butiran mineral seperti pasir, kerikil, atau serpihan batu. Agregat menjadi peranan yang sangat penting dalam proyek konstruksi karena keandalan mekanis dan kekuatan struktural yang dimilikinya. Dalam campuran beton, agregat biasanya digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton, menghemat semen, mengurangi penyusutan, mencapai kepadatan maksimum, dan meningkatkan *workability*.

### 2.4.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir yang terbentuk secara natural setelah batuan besar pecah menjadi butiran batuan berbentuk kecil. Agregat halus adalah butiran batuan dengan ukuran terbesar 5,0 mm atau tertahan di saringan No. 4. Desastasi alami ini menghasilkan butiran agregat halus dengan bentuk yang cenderung membulat dan tekstur kasar (Ibrahim & Saelan, 2019).

Agar agregat halus dapat memainkan peran pentingnya dalam campuran beton, agregat halus harus menyempurnakan persyaratan berikut menurut SK SNI S-04-1989-F, :

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran tajam, keras, dan kekal, sehingga tidak dapat hancur oleh cuaca dan perubahan suhu seperti hujan dan matahari .
- b. Agar dapat digunakan dalam campuran beton, agregat halus harus dicuci jika mengandung lumpur lebih dari 5% berat keringi.
- c. Percobaan warna Abrams-Harder dengan larutan NaOH 3% harus dilakukan untuk memastikan bahwa agregat halus tidak mengandung terlalu banyak bahan organik .
- d. Agregat halus harus terdiri dari berbagai ukuran butir dan memiliki nilai kehalusan (*fineness modulus*) antara 1,5 dan 3,5 .

Agregat sangat mempengaruhi karakteristik beton karena biasanya menempati 70% hingga 80% dari volumenya. Selain digunakan sebagai pengisi yang murah, agregat biasanya menghasilkan beton yang lebih stabil secara dimensi dan tahan aus. Untuk mendapatkan gradasi agregat campuran yang baik, diperlukan perbandingan antara berat agregat halus dan agregat kasar pada campuran beton, yang harus dapat dimasukkan ke dalam kurva standar yang ditemukan dalam Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton.

Beton yang halus dan berbagai ukuran memiliki volume pori yang lebih kecil karena butiran yang lebih kecil mengisi pori antara butiran yang lebih besar, yang menghasilkan kemampuan yang tinggi dan pori yang lebih kecil. Dalam pembuatan campuran beton, gradasi agregat juga harus diperhatikan karena akan memengaruhi sifat *workability* adukan. Menurut SNI 03-2834:2002 agregat halus merupakan agregat yang semua butirannya menembus ayakan berlubang

4,75 mm yang biasanya disebut pasir. Jenis agregat ini dapat dibedakan lagi menjadi:

- a. Pasir halus : Ø 0-1 mm
- b. Pasir kasar : Ø 1-5 mm

Gradasi agregat halus sebaiknya sesuai dengan spesifikasi SNI 03-2834:2002 , yaitu:

- 1) Memiliki bentuk yang halus.
- 2) Kandungan lumpur <5,0%.
- 3) Kandungan Zak Organik <0,5%. Dan untuk mutu tinggi modulus kehalusan  $\geq 3,0\%$
- 4) Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

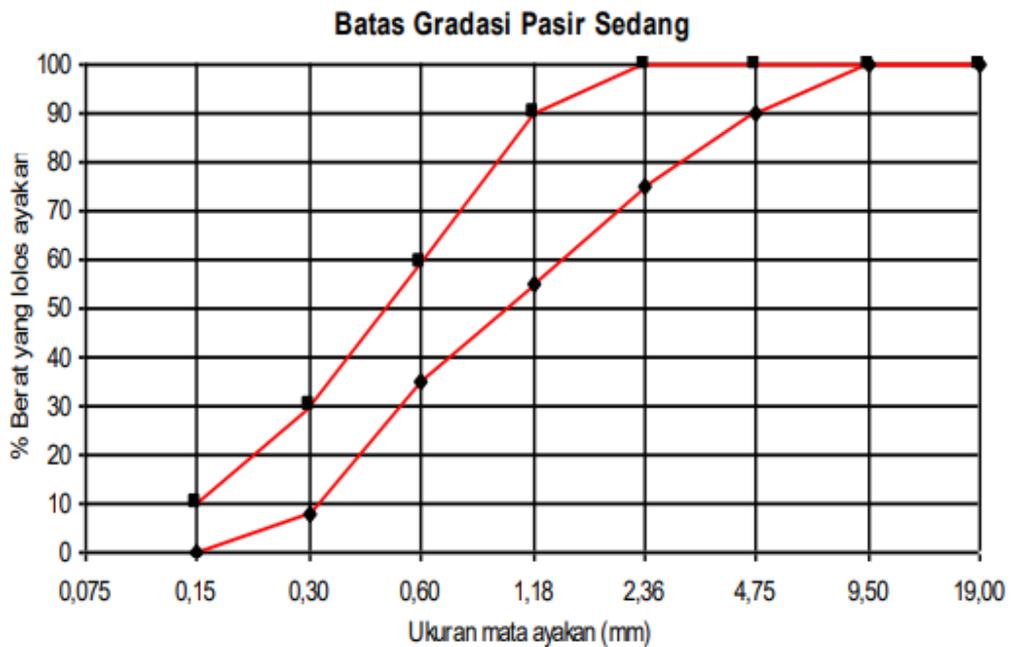
Parameter untuk agregat halus diberikan oleh ukuran yang sesuai dengan SNI 03-2834:2002. Untuk mempermudah pemahaman, agregat halus disusun dalam empat zona (daerah), yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 dan dijelaskan dalam Gambar 2.1.

Tabel 2.1: Batas gradasi agregat halus (SNI 03-2834:2002).

Lubang ayakan (mm)	No.	Persen berat butir yang lewat ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4,8	No. 4	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	No. 8	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	No. 16	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	No. 30	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	No. 50	5-20	8-30	12-40	15-50
0,25	No. 100	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan:

- Daerah Gradasi I : Pasir kasar
- Daerah Gradasi II : Pasir agak kasar
- Daerah Gradasi III : Pasir agak halus
- Daerah Gradasi IV : Pasir halus



Gambar 2.1: Daerah Gradasi Pasir Sedang (SNI 03-2834:2002)

Menurut standar SNI 03-2834-2000, pemeriksaan dasar ini dilakukan sesuai dengan:

- 1) Modulus kehalusan.
- 2) Berat jenis.
- 3) Penyerapan (*Absorpsi*).
- 4) Kadar air.
- 5) Kadar lumpur.
- 6) Berat isi.

#### 2.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah salah satu bentuk agregat yang dipakai dalam konstruksi, khususnya dalam produksi beton dan campuran beton aspal. Tergantung pada standar atau spesifikasi yang berlaku, agregat kasar merupakan butiran mineral

yang lebih besar dengan ukuran partikel lebih besar dari 4,75 mm hingga sekitar 75 mm. Agregat kasar berfungsi sebagai pengisi utama dalam campuran konstruksi dan memberikan stabilitas mekanis pada struktur (Salwa, 2023).

Agregat kasar merupakan material kasar yang berasal dari batuan alam yang sudah dipecah atau ditambang, termasuk di dalamnya batu pecah, kerikil, batu kali, dan material alam lainnya. Ada banyak variasi batuan yang dapat menghasilkan agregat kasar, seperti granit, batu kapur, basal, dan serpih. Pemilihan granit yang digunakan akan berdampak terhadap sifat fisik dan tekstur butiran agregat kasar.

Agregat kasar biasanya disebut sebagai kerikil, kericak, batu pecah, atau batu split (Ginting, 2019). Agregat halus adalah pasir, baik itu pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian atau dari hasil pemecahan batu. Dalam praktek agregat umumnya digolongkan menjadi 3 kelompok, yaitu:

- a. Batu dengan ukuran  $>40$  mm.
- b. Kerikil dengan ukuran  $>5$  mm dan  $<40$  mm.
- c. Pasir dengan ukuran  $>0,15$  mm dan  $<5$  mm.

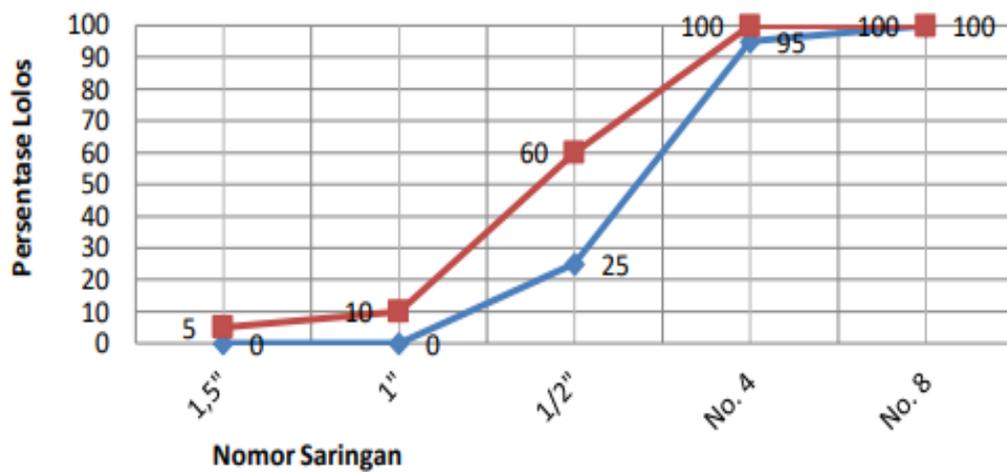
Menurut SNI 03-2834:2002 agregat kasar untuk beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1) Agar agregat kasar tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat keringnya, agregat kasar harus dicuci.
- 2) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti reaktif alkali.
- 3) Agregat kasar yang diayak dengan ayakan harus terdiri dari berbagai ukuran butir dan memenuhi syarat-syarat:
  - a. Sisa di atas ayakan 31,5 mm lebih kurang 0% berat total
  - b. Sisa di atas ayakan 4 mm lebih kurang 90% - 98% berat total
  - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan adalah maksimum 60% berat total, minimum 10% berat total.
- 4) Berat total butir agregat tidak boleh lebih dari satu perlima dari jarak terkecil antara bidang samping cetakan, tiga perempat dari tebal plat, atau enam perempat dari jarak besi terkecil antara tulang-tulangan.

Tabel 2.2 dan Gambar 2.2 menjelaskan batas gradasi agregat kasar sesuai dengan SNI 03-2834:2002, dengan diameter agregat maksimum 37,5 mm..

Tabel 2.2: Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834:2002).

Lubang ayakan (mm)	Persen butir lewat ayakan, Diameter terbesar 37,5 mm	
	Minimum	Maksimum
37,5 (1,5 in)	0	5
25 (1 in)	0	10
12,5 (½ in)	25	60
4,75 (No.4)	95	100
2,36 (No.8)	100	100



Gambar 2.2: Batas gradasi agregat kasar (SNI 03-2834:2002)

Pemeriksaan material agregat kasar ini sesuai dengan standar SNI 03-2834:2002 , agregat kasar diteliti terhadap:

1. Modulus kehalusan.
2. Berat jenis.
3. Penyerapan (*Absorpsi*).
4. Kadar air.
5. Kadar lumpur.
6. Berat isi.
7. Keausan agregat.

## 2.5 Abu Batu Bara (*fly ash*)

Abu batubara adalah limbah padat yang berjumlah cukup besar yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. Menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2020, produksi limbah batu bara industri ini berkisar antara 1,80 hingga 2,04 ton per hari. Ini karena pembakaran tiap satu ton batu bara akan menghasilkan abu batu bara (*fly ash*) sekitar 15% hingga 17%. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999, abu batu bara (*fly ash*) dikategorikan sebagai limbah B-3. Oleh karena itu, prosedur pengendaliannya harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam peraturan tersebut.

Sifat abu batu bara (*fly ash*) mirip dengan sifat semen, sehingga digunakan sebagai pengganti semen. Dua sifat utama, sifat fisik dan sifat kimiawi, dapat menentukan kemiripan sifat ini (Jeneri, 2023). Setelah memadat di dalam gas-gas buangan, bahan ini dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatik. *Fly ash* biasanya berbentuk bulat dan berukuran silt (0.074–0.005 mm) pada presipitator elektrostatik karena partikelnya memadat selama tersuspensi di dalam gas gas buangan. Bahan ini memiliki bahan kimia seperti silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Arianto, 2020).

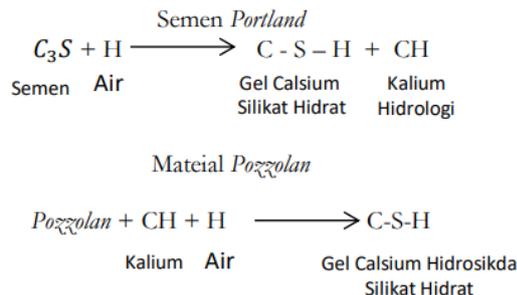
Menurut SK SNI S-15-1990-F, 1990 dan , Spesifikasi Abu Terbang Sebagai Bahan Tambahan untuk Campuran Beton disebutkan ada 3 jenis abu terbang, yaitu :

- a) Abu terbang kelas F adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara jenis *anthracite* pada suhu 1560 °C. Abu terbang ini memiliki sifat semen dengan kadar kapur di bawah 10%.
- b) Abu terbang kelas N adalah abu yang dihasilkan dari kalsinasi dari pozolan alam, seperti abu *diatomik*, lubang, tulang, batu apung, dan abu vulkanik .
- c) Abu terbang kelas C adalah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara atau *lignite* dengan kadar karbon sekitar 60% dan sifat semen dengan kadar kapur di atas 10%.

Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen dalam campuran beton, sebagai *pozzolan* karena reaksi yang terjadi antara *fly ash* dan semen. Karena bentuknya yang sangat halus, *fly ash* juga digunakan sebagai filler. *Fly ash* juga tahan terhadap sulfat, yang merupakan keuntungan lain (Salwa, 2023). *Fly ash* memiliki kandungan bahan semen yang tinggi dan memiliki sifat *pozzolanic*.

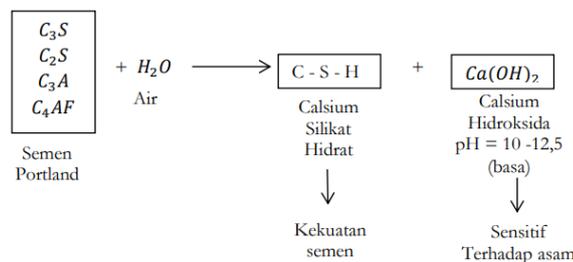
*Pozzolanic* adalah bahan yang terdiri dari silika dan alumunium, yang bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa untuk membentuk senyawa yang bersifat *cementitious* atau pematid (Purnamasari, 2023). Selain itu, *fly ash* juga dapat membentuk senyawa berikatan dengan adanya air pada suhu normal.

Karena sifat *pozzolan fly ash*, banyak digunakan sebagai filler pada beton SCC. Pada proses hidrasi, material *pozzolan* dapat bereaksi dengan kapur bebas (kalsium hidroksida) yang dilepaskan semen. Pada temperatur normal dengan adanya air, senyawa yang bersifat mengikat terbentuk. Gambar 2.3 berikut menunjukkan perbedaan antara reaksi hidrasi dan reaksi *pozzolanic*:



Gambar 2.3: Perbedaan Reaksi Hidrasi dan Reaksi *Pozzolanik*.

Proses kimiawi yang disebut hidrasi akan terjadi ketika air ditambahkan ke campuran semen. Gambar 2.4 menunjukkan bagaimana senyawa kimia dalam semen bereaksi dengan air, membentuk komponen baru:



Gambar 2.4: Reaksi Kimia Senyawa Semen dengan Air dan Hasil Reaksi Hidrasi

Gel kalsium silikat hidrat yang sering disingkat C-S-H, memiliki komposisi yang bervariasi berbentuk rongga sebanyak 70% dari semen. Kalsium hidroksida yang dihasilkan akan membuat sifat basa kuat ( $\text{pH} = 12,5$ ). Ini menyebabkan semen sensitif terhadap asam dan akan mencegah timbulnya karat pada besi (Nugraha dan Antoni, 2007:35). Ini disebabkan oleh fakta bahwa  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dalam beton sangat mudah bereaksi dengan asam, menyebabkan pembentukan garam yang menghambat penggerosan beton.

## 2.6 Kuat Tekan

Menurut Idris (2023), Kuat tekan beton ditentukan oleh keseimbangan perbandingan campuran dalam beton itu sendiri ketika sampel beton runtuh karena gaya tekan dari mesin uji tekan. Jadi, kuat tekan beton merupakan Kekuatan tekan beton terjadi saat sampel beton mengalami kerusakan akibat diberi tekanan dari mesin uji tekan dengan sejumlah tertentu dan ditentukan oleh keseimbangan proporsi campuran beton itu sendiri.

Nilai kuat tekan beton ringan struktural dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut berdasarkan beban runtuh yang dapat diterima oleh benda uji :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

$f_c$  : Kuat tekan ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P$  : Beban runtuh yang dapat diterima oleh benda uji (kg)

$A$  : Luas bidang tekan ( $\text{cm}^2$ )

## 2.6 Modulus Elastisitas Beton (E)

Modulus elastisitas beton adalah kemiringan kurva tegangan regangan pada kondisi linier atau mendekati linier. Ini adalah ukuran nilai yang menunjukkan kekuatan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi atau perubahan bentuk (Adhitya, 2023). Jika modulus elastisitas suatu bahan lebih besar, bahan tersebut memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menahan tegangan aksial akibat pembebanan dengan regangan yang lebih kecil. Namun menurut

Pratama (2018), Nilai defleksi yang dihasilkan berkorelasi negatif dengan modulus elastisitas beton.

Modulus elastisitas, perbandingan tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang sebagai akibat dari tekanan yang diberikan, adalah tolak ukur yang umum untuk sifat elastik suatu bahan. Tidak ada korelasi langsung antara modulus elastisitas dan sifat-sifat beton lainnya, tetapi kekuatan yang lebih tinggi biasanya disertai dengan harga E yang lebih tinggi (Murdock dan Brook, 1991 : 11).

Adapun cara untuk menemukan nilai modulus elastisitas menurut Akhmad (2020) antara lain:

1. Modulus Tangen Awal (*Initial Tangent*)

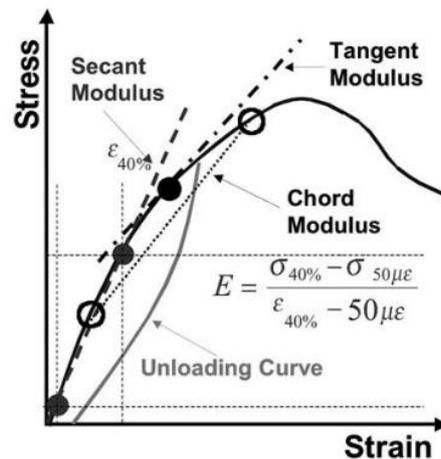
Garis singgung pada kurva tegangan-regangan yang memotong titik pusat modulus menentukan nilainya.

2. Modulus *Chord*

Nilai ini dihitung berdasarkan kemiringan garis yang menghubungkan dua titik pada diagram tegangan-regangan.

Satu-satunya metode uji ASTM untuk modulus elastisitas statis beton, (ASTM C-469-2, 2006), adalah metode uji tekan. “*It stipulates a chord modulus between two points on the stress strain curve defined as follows: the lower point corresponds to a strain of 50 millionths (i.e., 50  $\mu\epsilon$  ) and the upper point corresponds to a stress equal to 40 % of the strength of concrete at the time of loading*” (Joseph, 2006).

Dari kutipan tersebut, Modulus chord antara dua titik pada kurva tegangan-regangan dapat dinyatakan sebagai berikut: titik terendah terkait dengan regangan sebesar 50 *mikroepsilon* ( $\mu\epsilon$ ), sementara titik tertinggi terhubung dengan tegangan sekisar 40% kekuatan beton saat pemuatan.



Gambar 2.5: Macam-macam Bentuk Modulus Elastisitas (Joseph, 2006)

Kemiringan kurva tegangan-regangan di daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak dikenal sebagai modulus elastisitas (Zulkarnain, 2023). Menurut Harahap (2019), Sekitar 40% dari kurva ini biasanya dapat dianggap sebagai garis lurus untuk menyederhakannya. Setelah mencapai sekitar 70% tegangan hancur, kekakuan material secara signifikan berkurang sehingga kurva tidak lagi berjalan secara linier. Titik atas diambil di dekat ujung atas perilaku linier dan mendekati *the maximum working stress* yang diasumsikan pada sebagian besar desain. Dengan demikian, modulus yang ditentukan kira-kira merupakan modulus elastisitas rata-rata kompresi sepanjang rentang *the working stress* (Joseph, 2006).

Dengan demikian, Modulus yang ditentukan kira-kira merupakan modulus elastisitas rata-rata kompresi sepanjang rentang tegangan kerja. Kemampuan beton untuk menahan tegangan yang signifikan selama regangan yang masih kecil ditunjukkan oleh modulus elastisitas yang besar. Ini menunjukkan bahwa beton tersebut dapat menahan tegangan yang signifikan sebagai akibat dari beban yang terjadi pada regangan yang kecil, yang memungkinkan retakan. Modulus elastisitas yang merupakan perbandingan desakan yang diberikan dengan perubahan bentuk yang disebabkan oleh desakan yang diberikan, adalah tolak ukur yang umum untuk sifat elastisitas suatu bahan (Harahap, 2019).

Mencari nilai regangan ( $\epsilon$ ) pada pengujian.

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta l}{l} \tag{2.2}$$

Keterangan:

$\Delta l$  : Penurunan arah longitudinal atau perubahan panjang akibat beban P (mm),

$l$  : Tinggi beton relatif ( jarak antara dua *strain gauge* )

Mencari nilai tegangan ( $\sigma$ ) pada pengujian.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

$P$  : beban yang diberikan (ton)

$A$  : luas tampang melintang ( $mm^2$  )

Berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-94, modulus chord adalah perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan . Persamaan berikut menunjukkan perhitungan modulus elastisitas chord ( $E_c$ ):

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$S_1$  : tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005.

$S_2$  : tegangan sebesar 40%  $f'_c$

$\epsilon_2$  : regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

Modulus elastisitas beton antara lain sebagai berikut ini:

a. Kelembaban

Beton yang memiliki kandungan air yang lebih tinggi memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan karakteristik yang sama.

b. Agregat

Nilai modulus agregat dan proporsi volume agregat dalam campuran mempengaruhi modulus elastisitas beton; modulus yang lebih tinggi dipengaruhi oleh proporsi agregat dan modulus yang lebih besar.

- c. Umur beton
- d. Beton memiliki modulus elastisitas yang meningkat seiring dengan umurnya, tetapi modulus elastisitas meningkat lebih cepat daripada kekuatan beton.
- e. *Mix Design* Beton
- f. Nilai modulus elastisitas, atau E, dari jenis beton berbeda-beda pada umur dan kekuatan yang sama.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.3: Penelitian terdahulu

No.	Penulis	Judul Jurnal	Hasil penelitian
1.	McCormac, (2018)	Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis <i>Fly ash</i> Dari Pltu Amurang	<p>Angka modulus elastisitas beton geopolymer hasil pengujian laboratorium secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan angka modulus elastisitas beton normal hasil perhitungan menggunakan rumus SNI-2847:2013 yang belum dimodifikasi.</p> <p>Rumus SNI perlu dilakukan modifikasi untuk mendekati hasil pengujian yang didapat dari laboratorium. Rumus hasil modifikasinya adalah (Soentpiet B.J, 2018), yakni <math>E_c = 10f'c^2</math> untuk umur 7 hari, <math>E_c = 11f'c^2</math> untuk umur 28 hari. Jika memperhitungkan berat volume beton (untuk beton dengan berat volume antara 1440 dan 2560 <math>kg/m^3</math>), maka rumusnya adalah <math>E_c = w_c^{1,5}0,00010f'c^2</math> untuk umur 7 hari, dan <math>E_c = w_c^{1,5}0,00011f'c^2</math> untuk umur 28 hari.</p>
2.	Korompis et al., (2023)	Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> )	<p>Dapat dilihat dari hasil penelitian yang telah dilakukan, seiring dengan meningkatnya molaritas NaOH, beton geopolimer memiliki kecenderungan penurunan kuat tekan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan molaritas NaOH tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas. Hasil penelitian ini berbeda dengan hasil umumnya yang di dapat melalui penelitian-</p>

Tabel 2.3: *Lanjutan* Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul Jurnal	Hasil penelitian
			<p>penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dimana peningkatan molaritas NaOH akan diikuti oleh peningkatan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penambahan jumlah sampel untuk dilihat perbandingannya.</p>
3.	Arianto (2020)	<p>Analisis Pemanfaatan Bahan Limbah B3 Karbit Dan <i>Fly ash</i> Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Modulus Elastisitas</p>	<p>Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton yang didapat dari beton tanpa bahan tambah nilai Modulus elastisitas aktual sebesar <math>f'c</math> 33294 MPa sedangkan modulus elastisitas teoritis sebesar <math>f'c</math> 27344 MPa. beton dengan Fa 10% + Lk 5% nilai Modulus elastisitas aktual sebesar <math>f'c</math> 34666 MPa sedangkan modulus elastisitas teoritis sebesar <math>f'c</math> 24754 MPa dan beton dengan Fa 10% + Lk 10% Modulus elastisitas aktual sebesar <math>f'c</math> 30250 MPa sedangkan modulus elastisitas teoritis sebesar <math>f'c</math> 23715 MPa. Sedangkan beton dengan Fa 10% + Lk 15% nilai Modulus elastisitas aktual sebesar <math>f'c</math> 27476 MPa sedangkan modulus elastisitas teoritis sebesar <math>f'c</math> 20913 MPa.</p>
4	Harahap, (2019)	<p>Analisa Modulus Elastisitas Pada Beton Berserat Serat Serabut Kelapa Dan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Pasir</p>	<p>Pengujian modulus elastisitas beton pada umur 28 hari dengan metode ASTM C-469 dan metode SNI 2847-2013, maka hasil dari pengujian dengan menggunakan metode SNI 2847-2013 hasilnya lebih besar dibandingkan dengan</p>

Tabel 2.3: *Lanjutan* Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul Jurnal	Hasil penelitian
			menggunakan metode ASTM C-469.
5.	Agus Setiya Budi, Endah Safitri dan Fajar Bayu Kuncoro (2021)	Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Pengganti Semen <i>Fly ash</i> Kadar 15%, 30%, Dan 40% Terhadap Beton Normal	<p>Nilai kuat tekan beton yang paling tertinggi adalah FA-15% = 38,10 MPa. Nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar <i>fly ash</i> karena kadar <i>fly ash</i> yang bertambah maka penggunaan semen akan semakin berkurang. Adapun persentase perubahan <math>f'_c</math> untuk beton dengan kadar <i>fly ash</i> mengalami kenaikan terhadap beton normal. Nilai kuat tarik belah beton tertinggi dihasilkan oleh beton FA-15% = 3,87 MPa. Nilai kuat tarik belah beton menurun seiring bertambahnya kadar <i>fly ash</i> karena kekerasan beton menurun seiring bertambahnya <i>fly ash</i>. Nilai modulus elastisitas pada beton dengan kadar <i>fly ash</i> semakin menurun seiring bertambahnya kadar <i>fly ash</i>. Nilai modulus elastisitas menurun disebabkan karena ukuran partikel <i>fly ash</i> yang sangat kecil memberikan luas permukaan powder yang lebih banyak seiring bertambahnya kadar <i>fly ash</i> sehingga menyebabkan beton yang tinggi akan kadar <i>fly ash</i> memiliki tingkat kekerasan yang rendah.</p>

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah serangkaian tahapan atau teknik yang digunakan dalam mempelajari suatu permasalahan, kasus, peristiwa, atau hal lain dengan pendekatan ilmiah untuk mendapatkan jawaban yang logis. Dalam penelitian ini, digunakan metode eksperimental yang melibatkan pelaksanaan percobaan guna memperoleh data atau hasil yang mengaitkan variabel-variabel yang diteliti. Percobaan ini terdiri dari beberapa tes bahan, percobaan desain campuran, dan pengujian modulus elastisitas.

Penelitian tugas akhir yang berjudul “Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Terhadap Penambahan *Fly ash* Sebagai Bahan Pengganti Substitusi Semen Pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan Metode Tanpa Perendaman” dimulai setelah mendapatkan persetujuan secara tertulis dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Setelah itu, Melakukan Studi Literatur yang mencakup mengumpulkan penjelasan dari berbagai jurnal yang relevan atas topik studi segera dilaksanakan. Seperti mencari rujukan pada studi sebelumnya, mencari informasi tentang bahan tambahan, menentukan persentase nilai yang akan digunakan, dan mengacu pada panduan dalam melakukan penelitian.

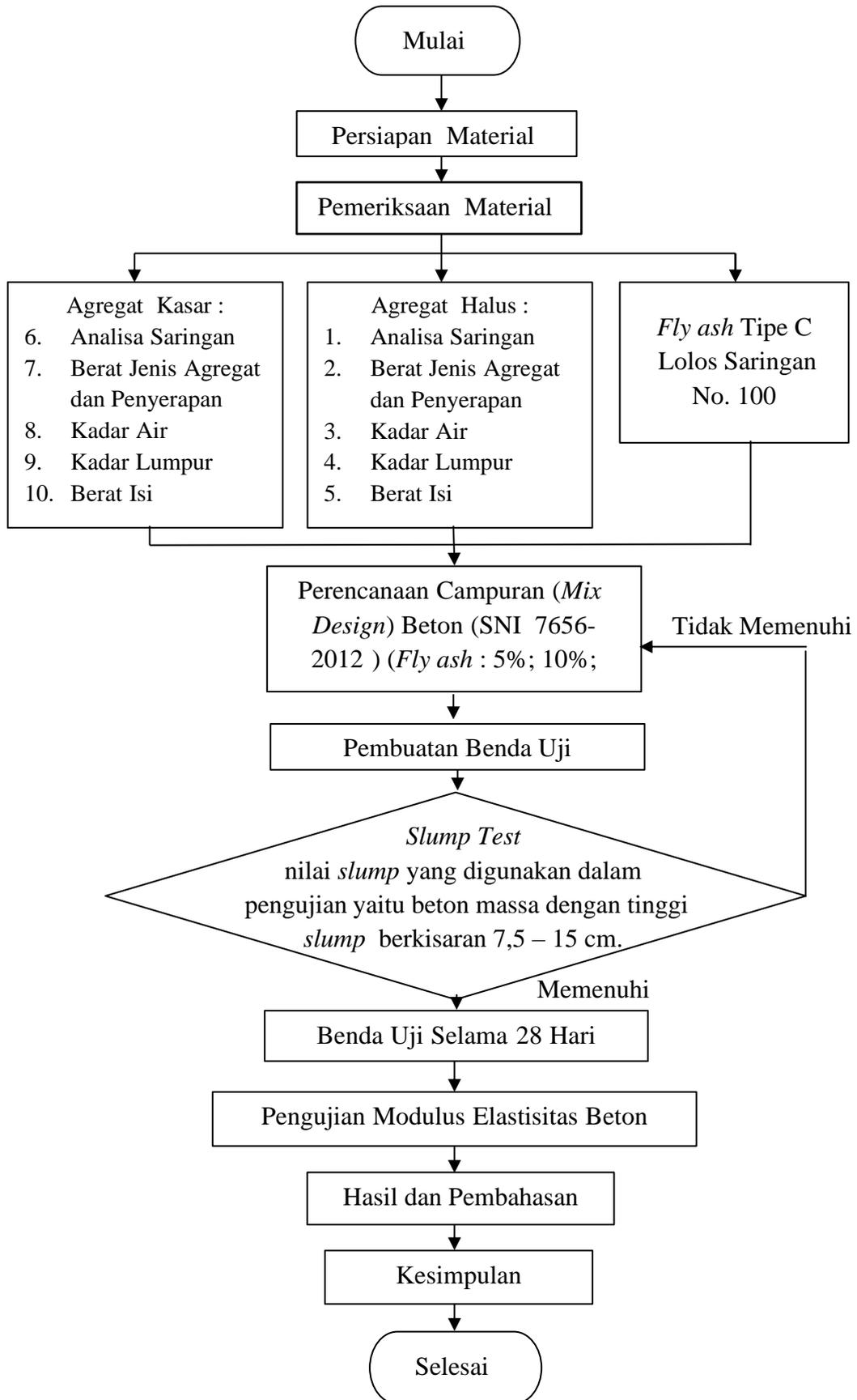
Sebelum melakukan penelitian selanjutnya, Melakukan persiapan bahan dan alat dengan lengkap agar mempermudah jalannya penelitian. Untuk mencapai hasil percobaan yang maksimum, dibutuhkan penggunaan peralatan dan bahan yang berkualitas sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Setelah bahan dan alat telah dipersiapkan, selanjutnya akan dilakukan Tahapan pengujian terhadap agregat baik itu halus dan kasar. Adapun tahapannya antara lain pengujian analisa saringan, pengujian berat jenis, pengujian berat isi, pengujian kadar air, dan pengujian kadar lumpur.

Setelah semua tahapan penelitian itu dilakukan, maka dilanjutkan dengan perencanaan campuran beton (*mix design*) perlu memahami perbandingan campuran beton untuk setiap benda uji. Setelah itu bahan tambahan yaitu abu batubara (*fly ash*) disaring menggunakan saringan No. 100. Setelah semua bahan yang diperlukan telah disiapkan, langkah selanjutnya adalah membuat benda uji. Ini dibuat sesuai dengan persyaratan untuk setiap variasi campuran bahan tambah, termasuk beton biasa (tanpa bahan tambahan), beton dengan filler abu batu bara (*fly ash*) 5%, 10%, dan 15%.

Langkah berikutnya adalah menghasilkan adukan beton dan memeriksa slump beton. Selanjutnya dilakukan pengujian *slump*, adonan beton setelah itu dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang telah diolesi vaselin berukuran 30 cm x 15 cm. Selanjutnya, objek pengujian dibiarkan diam dan cetakan dibuka setelah sekitar 24 jam. Kemudian, sampel didiamkan selama periode 28 hari. Setelah sampel berumur 28 hari, kemudian dilakukan pengujian kekuatan modulus elastisitas. Dari hasil pengujian modulus elastisitas, kita dapat mendapatkan data yang diperlukan untuk tujuan penelitian.

### **3.2 Diagram Alir Penelitian**

Sebuah pemeriksaan yang efektif harus dilakukan dengan metode yang terstruktur atau dengan suatu langkah-langkah yang terorganisir dengan baik agar mendapatkan hasil yang optimal dan dapat dipertanggungjawabkan. Berikut adalah gambar diagram alir *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 di halaman selanjutnya.



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian

### **3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara untuk pengerjaan pembuatan beton dan uji modulus elastisitas beton.

### **3.4 Sumber Data dan Pengambilan Data**

#### **3.4.1 Data Primer**

Data yang diperoleh dari penelitian Laboratorium termasuk:

- a. Analisa saringan agregat (SNI ASTM C136:2012).
- b. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969:2016)
- c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970:2016)
- d. Pemeriksaan berat isi agregat (SNI 1973:2008)
- e. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971:2011)
- f. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI 03-4142:1996)
- g. Perencanaan campuran beton (*mix design*) (SNI 1973:2008)
- h. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011)
- i. Uji *slump test* (SNI 1972:2008) dan (PBBI, 1971)
- j. Uji modulus elastisitas beton (ASTM C-469)

#### **3.4.2 Data Sekunder**

Data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, artikel, jurnal, dan buku-buku dari SNI (Standar Nasional Indonesia) dan ASTM (*American Society for Testing and Materials*) digunakan sebagai referensi untuk studi literatur yang lebih baik. Diskusi dengan dosen pembimbing dan pengawas laboratorium Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara untuk mendukung penelitian.

### **3.5 Alat dan Bahan**

Untuk dapat mencapai hasil percobaan yang optimal, perlu menggunakan peralatan dan bahan berkualitas yang memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Berikut ini adalah daftar peralatan dan bahan yang dipakai dalam percobaan ini:

### 3.5.1 Bahan

Sesuai dengan SNI 03-2834-2002, Bahan bahan yang digunakan untuk pembuatan beton yaitu:

1) Semen *Portland*

Semen *Portland* yang dipakai pada percobaan ini merupakan semen *Portland tipe I*, dengan merk Tiga Roda. Selama pemeriksaan, semen diamati dalam kondisi fisik yang utuh, dengan butiran berwarna abu-abu dan halus dan tidak menggumpal.

2) Agregat Halus dan Kasar

Baik agregat halus maupun agregat kasar yang digunakan dalam percobaan ini berasal dari Binjai. Agregat halus digunakan setelah melalui saringan no. 4 dan agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimal 20 mm.

3) Air

Air yang digunakan pada benda uji berasal dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Percobaan ini memakai air untuk mendukung pengolahan semen menjadi pasta semen yang dapat mengikat agregat dan mengendap pada beton setelah dicor.

4) *Fly ash* ( Tambahan bahan campuran beton)

Abu batubara (*Fly ash*) yang digunakan merupakan hasil dari limbah pabrik batu bara yang tidak digunakan lagi. *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *fly ash* tipe C yang lolos saringan no. 100. Persentase *fly ash* yang digunakan 5%, 10%, 15% terhadap berat agregat halus yang dipakai lalu disaring lolos saringan No. 100.

### 3.5.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini telah tersedia di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1: Peralatan Pembuatan Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Hidrolic Jack dan Transducer</i>	Menguji Kuat tekan dan Modulus Elastisitas beton
2	Saringan Agregat Kasar	Memisahkan agregat kasar sesuai ukuran
3	Saringan Agregat Halus	Memisahkan agregat halus sesuai ukuran
4	Cetakan Silinder	Mencetak benda uji
5	Oven	Mengeringkan agregat kasar dan halus
6	Gelas Ukur	Mengukur takaran air
7	Kerucut Abrams	Uji slump test
8	<i>Mixer</i> Beton	Membuat campuran beton
9	Timbangan	Untuk menimbang benda uji
10	Tongkat Penumbuk	Memadatkan benda uji
11	Triplek Ukuran 1x2 m	Alas dalam pengujian slump test
12	Pan	Wadah saat menyaring agregat
13	Ember	Sebagai wadah penyimpanan agregat
14	Plastik	Sebagai wadah agregat yang telah disaring
15	Sendok semen	Meratakan campuran beton saat diletakan pada cetakan
16	Sekop tangan	Mengaduk dan memasukan agregat kedalam cetakan
17	Skrap	Meratakan campuran beton
18	Masker	Untuk melindungi pernapasan dari debu

Tabel 3.1: *Lanjutan* Peralatan dan Pembuatan Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
19	Sarung tangan	Melindungi tangan
20	Penggaris	Mengukur slump test

### 3.6 Persiapan Bahan Tambah

Sebelum kita memulai proses pencampuran beton, diperlukan persiapan untuk menggunakan bahan tambahan yaitu *Fly ash* yang berasal dari pembakaran batubara. *Fly ash* diperoleh dari sebuah limbah pabrik batubara yang tidak digunakan lagi. Setelah bahan tersebut didapat, lalu akan langsung disaring menggunakan Saringan No.100 dan juga PAN sebagai wadah untuk hasil saringan dari *Fly ash* tersebut.

### 3.7 Tahapan Pengujian

Untuk mendapatkan hasil yang teliti, perlu dilakukan beberapa tahapan percobaan terhadap material dan bahan menggunakan metode yang telah ditetapkan sebelumnya. Tahapan-tahap ini akan dijelaskan di bawah ini:

#### 3.7.1 Pengujian Bahan Dasar Beton

Pemeriksaan material dasar beton bertujuan untuk mengevaluasi kecocokan sifat-sifat komponen penyusun beton yang akan dipakai pada perencanaan campuran beton. Uji coba berbagai komponen beton seperti *fly ash*, pasir halus, dan kerikil dilakukan dalam pengujian bahan dasar beton. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menilai apakah sifat dan karakteristik bahan yang digunakan untuk membuat beton sudah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya untuk pencampuran beton.

1) Agregat Halus

Pengujian dilakukan pada agregat halus sebagai komponen material penting dalam pembuatan beton. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kualitas dari agregat halus yang akan digunakan.

2) Agregat Kasar

Percobaan yang dilakukan pada agregat kasar bertujuan untuk mengevaluasi kecocokan bahan tersebut dalam pembuatan beton.

3) *Fly ash*

Adapun *Fly ash* yang akan dipakai untuk pembuatan benda uji sebesar 5%, 10% dan 15%. Metode yang digunakan dalam pembuatan bahan bangunan dengan memanfaatkan abu terbang menggunakan metode uji coba di laboratorium guna memperoleh informasi. *Fly ash* juga melewati tahapan pengujian Analisa saringan yaitu lolos saringan No. 100.

Tabel 3.2: Komposisi Campuran Benda Uji Dan Kode Benda Uji.

No.	Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Agregat Halus	<i>Fly Ash</i>	Semen	Jumlah Sampel
1.	BTN	100%	100%	0%	100%	3
2.	BFA 5	100%	100%	5%	95%	3
3.	BFA 10	100%	100%	10%	90%	3
4.	BFA 15	100%	100%	15%	85%	3
Total						12

Keterangan:

BN : Beton dengan campuran 0% *Fly ash* (Abu Batubara) dari berat semen (Beton Normal)

BFA 5 : Beton dengan campuran 5% *Fly ash* (Abu Batubara) dari berat semen

BFA 10 : Beton dengan campuran 10% *Fly ash* (Abu Batubara) dari berat semen

BFA 15 : Beton dengan campuran 15% *Fly ash* (Abu Batubara) dari berat semen



Gambar 3.2: Sampel *Fly ash*

### 3.7.2 Pengujian Analisa Saringan

Tujuan dari pengujian analisis saringan agregat halus adalah untuk mengidentifikasi zona agregat halus yang memengaruhi porositas, sifat kedap air, dan kepadatan agregat halus. Menurut Masdiana (2021), Sebelum agregat halus dimasukkan dalam saringan harus agregat halus harus dalam kondisi SSD supaya tidak menyerap air. Untuk analisa saringan agregat halus mulai dari saringan No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, dan PAN (*filler*) telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018.

Analisa saringan agregat kasar digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam material (Firmanul & Nely, 2023). Hasil pengujian ini akan membantu kita memahami sebaran partikel dalam agregat kasar dan faktor-faktor yang memengaruhi sifat reologi campuran beton. Dalam campuran beton, agregat kasar yang digunakan dapat berupa kerikil hasil disintegrasi alam dari batuan atau dapat berupa batu pecah (*split*) yang diperoleh dari pemecahan batu dengan ukuran butiran  $> 4,75 - 40$  mm (Imam et al., 2023).

Menurut SNI ASTM C 136 (2012), Urutan proses dalam pengujian Analisa Saringan Agregat ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bahan uji dikeringkan dalam oven pada suhu  $110 \pm 5$  °C sampai beratnya tidak berubah.
- 2) Saring sampel melalui susunan saringan, dengan saringan dengan ukuran paling besar berada di atas. Saringan diguncang selama lima belas menit dengan tangan atau dengan mesin pengguncang.
- 3) Setelah saringan selesai, hitung persentase benda sampel yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

### 3.7.3 Pengujian *Specific Gravity* Agregat (Berat Jenis)

Pada Pengujian *Specific Gravity* ini, Agregat halus dan kasar memiliki perbedaan dalam pengujian ini. Pada pengujian *Specific Gravity* pada agregat kasar mengacu pada SNI 1969, 2016. Sedangkan pada agregat halus mengacu pada SNI 1970, 2016.

#### 1) Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Karakteristik berat jenis curah biasanya digunakan untuk menghitung volume agregat dalam berbagai campuran yang mengandung agregat, seperti semen, aspal, dan campuran lain yang diproporsikan atau dianalisis berdasarkan volume absolut. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

##### a. Untuk Agregat Halus:

$$\text{Berat jenis curah } (S_d) = \frac{A}{B + S - C} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- A : Berat benda uji kering oven (gr)
- B : berat benda pikrometer berisi air (gr)
- C : berat benda pikrometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr)
- S : Berat benda Uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

##### b. Untuk Agregat Kasar:

$$\text{Berat jenis curah } (S_d) = \frac{A}{B - C} \quad (3.2)$$

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)

2) Berat Jenis Jenuh (*Bulk gravity SSD*)

Rasio berat di udara dari air suling bebas gelembung dengan volume dan suhu yang sama dibandingkan dengan berat dari satuan volume agregat (termasuk air yang ada di dalam rongga selama 15 hingga 19 jam perendaman, tetapi tidak termasuk rongga antara butiran partikel). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Untuk Agregat Halus:

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan } (S_s) = \frac{S}{(B + S - C)} \quad (3.3)$$

Keterangan:

- B : Berat benda piknometer berisi air (gr)
- C : berat benda pikrometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr)
- S : Berat benda Uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

b. Untuk Agregat Kasar:

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan } (S_s) = \frac{B}{B - C} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)
- C : Berat benda uji dalam air (gr).

3) Berat Jenis Semu. (*Apparent Specific Gravity*)

Rasio berat per satuan volume bagian impermeabel terhadap berat di udara dalam air suling bebas gelembung dengan volume dan suhu yang sama. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Untuk Agregat Halus:

$$\text{Berat jenis Semu } (S_a) = \frac{A}{(B + A - C)} \quad (3.5)$$

Keterangan:

- A : berat benda uji kering oven (gram).
- B : Berat benda piknometer berisi air (gram)

C : berat benda pikrometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

b. Untuk Agregat Kasar:

$$\text{Berat jenis Semu } (S_a) = \frac{A}{A-C} \quad (3.6)$$

Keterangan:

A : berat benda uji kering oven (gr).

C : berat benda uji dalam air (gr).

4) Penyerapan (*Absorbtion*)

Penambahan berat agregat yang disebabkan oleh air yang meresap ke dalam pori-porinya tetapi tidak termasuk air yang tertahan di permukaan luarnya disebut sebagai persentase dari berat keringnya. Agregat dianggap kering ketika dijaga pada suhu 110 °C (plus atau minus lima derajat) selama waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan airnya (sampai beratnya tetap). Adapun perhitungannya sebagai berikut:

a. Untuk Agregat Halus:

$$\text{Penyerapan } (Absorbtion) (A_w) = \left[ \frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan:

A : berat benda uji kering oven (gr).

S : Berat benda Uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

b. Untuk Agregat Kasar:

$$\text{Penyerapan } (Absorbtion) (A_w) = \left[ \frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan:

A : berat benda uji kering oven (gr).

B : berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)

### 3.7.4 Pengujian Berat Isi

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat isi agregat halus sebagai perbandingan antara berat material kering dengan volumenya (Harahap, 2019). Rumus yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{w_3}{V} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$w_3$  : berat contoh bahan (gr).

B : Isi wadah ( $dm^3$ )

### 3.7.5 Pengujian Kadar air

Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang dikandung agregat dengan agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen (%) (Masdiana et al., 2021). Menurut SNI 1971 (2011), Kadar air agregat merupakan perbandingan antara massa air yang dikandung agregat dengan massa agregat dalam keadaan kering oven dan dinyatakan dalam satuan persen.

Cara pengujian kadar air agregat mengacu pada SNI 1971 (2011), Adapun perhitungannya sebagai berikut:

a. Berat sample SSD + berat wadah ( $W_1$ ) (3.11)

b. Berat sample kering oven + berat wadah ( $W_2$ ) (3.12)

c. Berat wadah ( $W_3$ ) (3.13)

d. Berat air = ( $W_1 - W_2$ ) (3.14)

e. Kadar air =  $\frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100\%$  (3.15)

### 3.7.6 Pengujian Kadar Lumpur

Tingkat lumpur dalam agregat disebut kadar lumpur. Lumpur merupakan bagian dari agregat alam (*split* dan pasir) yang memiliki berat jenis kurang dari  $2.0 t/m^3$  dan diperoleh melalui ayakan 0,075 mm (SNI 03-4142:1996). Jika lumpur ada, beton dapat rusak selama proses pengikatan dan pengerasan. Akibatnya, kualitas beton mungkin tidak sesuai dengan harapan. Kadar lumpur

agregat tidak boleh melebihi 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar (Hudori et al., 2022).

Adapun perhitungannya sebagai berikut:

- a. Berat sample kering (A)
- b. Berat sample kering setelah dicuci (B)
- c. Berat kotoran agregat lolos saringan No.100 setelah dicuci

$$(C) = A - B \quad (3.16)$$

- d. Persentase kotoran agregat lolos saringan No.100 setelah dicuci

$$(D) = \frac{C}{A} \times 100 \% \quad (3.17)$$

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

Penentuan komposisi campuran (*mix design*) dijalankan sambil mengikuti panduan yang ditetapkan dalam SNI 7656:2012. Hal ini dilakukan dengan memeriksa setiap bahan yang akan dipakai dalam campuran beton, mulai dari semen, pasir halus, kerikil kasar, dan air. Hasil pemeriksaan ini menjadi dasar untuk merencanakan proses pencampuran beton.

Output dari desain campuran ini adalah perbandingan antara komponen yang membentuk beton yaitu semen *Portland* dan juga *Fly ash* yang kemudian akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan sampel uji. Karakteristik dan sifat bahan akan mempengaruhi hasil rancangan. *Mix design* dimaksudkan untuk mengetahui komposisi campuran dari beton sesuai dengan mutu beton yang direncanakan (Adhitya, 2023).

Percobaan ini mengubah adukan beton dengan menambahkan FA (*Fly ash*) sebanyak 5%, 10%, dan 15% sebagai pengganti sebagian semen yang diberikan secara konstan. Pada percobaan ini digunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standar (SNI 03-2834, 2002). Membuat beton yang mudah diolah dan memenuhi standar pengolahan Indonesia adalah tujuan dari penelitian yang dilakukan selama proses pembuatan campuran beton dengan standar SNI 03-2834:2002. Sebagai contoh, rencana campuran beton adalah sebagai berikut:

## 1) Pemilihan Slump

Jika digunakan dengan bahan tambahan kimia, kelumpuhan dapat ditambahkan asalkan beton yang diberi bahan tambahan tersebut tidak menunjukkan segregasi atau *bliding* yang signifikan atau rasio air-semen yang sama atau lebih kecil. Untuk metode pemadatan tanpa penggetaran, *slump* dapat ditambah 25 mm. Beton segar yang dipakai pada elemen-elemen struktur harus memiliki *workability* yang sesuai. Oleh karena itu, diharuskan untuk menggunakan nilai slump yang direkomendasikan seperti pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3: Nilai *slump* yang dianjurkan untuk konstruksi (PBBI, 1971)

Tipe Konstruksi		
Fondasi beton (dinding dan fondasi telapak)	12,5	5,0
Fondasi telapak tanpa tulangan, kaisan dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat (lantai), Balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Jalan beton bertulang	7,5	5,0
Beton massa	7,5	2,5

Pada penelitian ini, nilai *slump* yang digunakan dalam pengujian seperti pada poin terakhir pada Tabel 3.3 yaitu beton massa dengan nilai *slump* berkisaran 7,5 – 15 mm.

## 2) Pilihan ukuran besar untuk butiran agregat yang paling besar.

Agregat kasar yang berukuran nominal maksimal dan gradasi yang optimal memiliki sedikit ruang kosong jika dibandingkan dengan agregat yang ukuran lebih kecil. Dengan kata lain, volume mortar yang dibutuhkan untuk setiap satuan isi beton akan lebih sedikit jika digunakan beton dengan agregat ukuran lebih besar.

Dalam kebanyakan kasus, ukuran nominal agregat maksimum harus yang terbesar yang dapat diperoleh secara ekonomi dan ditetapkan berdasarkan dimensi masing-masing komponen struktur atau konstruksi. Tidak boleh melebihi ukuran ini:

- a. 1/5 dari ukuran terkecil dimensi antara dinding-dinding cetakan/bekisting.
- b. 1/3 tebalnya pelat lantai

- c. 3/4 jarak minimum antar masing-masing batang tulangan, berkas-berkas tulangan, atau tendon tulangan pra-tegang (*pretensioning strands*).

Jika ingin mendapatkan beton yang memiliki kekuatan besar, pilihan terbaik adalah menggunakan agregat berukuran maksimum yang lebih kecil. Hal ini akan meningkatkan kekuatan beton dengan perbandingan air-semen yang sudah ditentukan.

### 3) Perkiraan air pencampur dan kandungan udara

Tabel 3.4 menghasilkan perkiraan kebutuhan air campuran dan kadar udara untuk berbagai slump dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah.

Tabel 3.4: Anggapan jumlah air pencampur dan kadar udara yang diperlukan untuk berbagai slump serta ukuran nominal agregat batu pecah terbesar (*ACI 211.1-91*).

Workability of air content	Water content, Kg/m <sup>3</sup> of concrete for indicated maximum size of aggregate							
	10 mm	12,5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
Non-air entrained concrete								
Slump								
30-50 mm	205	200	185	180	160	155	145	125
80-100 mm	225	215	200	195	175	170	160	140
150-180 mm	240	230	210	205	180	180	170	-
approximate entrapped air content (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Non-air entrained concrete								
Slump								
30-50 mm	180	175	165	160	145	140	135	120
80-100 mm	200	190	180	175	160	155	150	135
150-180 mm	215	205	190	185	170	160	160	-
Recommended average total air content (%)								
Mild expose	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Moderate exposure	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Extreme exposure	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Slump tidak banyak dipengaruhi oleh jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya dalam tingkat pemakaian normal. Penggunaan sedikit bahan tambahan mineral yang halus dapat mengurangi kebutuhan air, yang merupakan perkiraan kebutuhan air untuk ukuran agregat yang diinginkan dan target slump.

Untuk menghitung perkiraan kebutuhan air, beberapa hal harus diperhatikan, di antaranya adalah:

a) Bahan tambahan kimia

Bahan tambahan kimia digunakan untuk mengubah karakteristik beton agar lebih mudah dalam proses pengolahan, tahan lama, lebih hemat biaya, mengatur kecepatan pengerasan, mempercepat kekuatan, dan mengendalikan panas saat proses hidrasi. Tambahan kima digunakan setelah melalui evaluasi yang teliti.

Bahan tambahan/*aditif* untuk mengurangi kadar air pencampur dan atau mengatur waktu pengikatan yang memenuhi syarat ASTM C494/C494M , bila digunakan dengan atau tanpa campuran bahan tambahan kimia lainnya, akan banyak mengurangi jumlah air per satuan isi beton.

b) Tingkat paparan ringan

Tingkat paparan beton ini mencakup kondisi di dalam dan di luar bangunan di mana beton tidak akan membeku dan tidak akan diterima oleh zat atau bahan pencair es.

c) Tingkat paparan sedang

Beton dapat membeku karena tingkat paparannya yang tinggi di iklim dingin. Namun, beton tidak perlu terpapar uap air atau air bebas untuk jangka waktu yang lama sebelum membeku, dan tidak perlu terpapar bahan pencair atau bahan kimia agresif lainnya.

d) Tingkat Paparan berat

Beton yang terpapar pada bahan kimia cair atau bahan kimia agresif lainnya atau yang secara langsung terendam uap air atau air bebas sebelum membeku disebut tingkat paparan berat.

4) Pemilihan rasio air-semen atau rasio air-bahan bersifat semen

Pemilihan perbandingan air-semen ( $W/C$ ) atau air-bahan bersifat semen ( $W/(C+P)$ ) ditentukan berdasarkan kekuatan dan ketahanan yang diperlukan. Nilai yang diisyaratkan ini berdasarkan pada Tabel 3.5 dibawah ini:

Tabel. 3.5: Hubungan antara kekuatan beton dan perbandingan air-semen (W/C) atau air-bahan bersifat semen (W/(C+P)) (ACI 211.1-91).

Average compressive strength at 28 days		Effective water/cement ratio (by mass)	
MPa	Psi	Non-air entrained concrete	Air entrained concrete
-	7000	0,33	-
45	-	0,38	-
-	6000	0,41	-
40	-	0,43	-

Average compressive strength at 28 days		Effective water/cement ratio (by mass)	
MPa	Psi	Non-air entrained concrete	Air entrained concrete
35	5000	0,48	0,40
30	-	0,55	0,46
-	4000	0,57	0,48
25	-	0,62	0,53
-	3000	0,68	0,59
20	-	0,70	0,61
15	-	0,80	0,71
-	2000	0,82	0,74

Tabel 3.6: Hubungan rasio air-semen atau air-bahan dan kekuatan beton (SNI 7656, 2012)

Kekuatan beton umur 28 hari, (MPa)	Rasio air-semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

5) Menghitung kadar semen (C) yang diperlukan

Contoh 2 dan 3 di atas menunjukkan jumlah semen untuk tiap satuan volume beton. Langkah 2 memperkirakan kadar air pencampur dan langkah 3 membagi rasio air-semen, sehingga kebutuhan semen sama. Namun demikian, dalam kasus di mana persyaratan tidak hanya membutuhkan kekuatan dan keawetan, tetapi juga mengharuskan pemakaian semen minimum, campuran harus didasarkan pada kriteria apapun yang memungkinkan pemakaian semen yang lebih besar. Penggunaan bahan pozolanik atau bahan tambahan kimia akan memengaruhi kualitas beton, baik yang baru dibuat maupun yang telah mengeras.

Perkiraan kadar air tercampur dibagi rasio air-semen menentukan jumlah semen untuk tiap satuan volume beton.

$$C = \frac{W}{W/C} \quad (3.17)$$

Keterangan:

- C : Kadar semen  
W : perkiraan kadar air tercampur  
W/C : Rasio air-semen

6) Menentukan jumlah agregat kasar

Penggunaan jumlah volume agregat yang sama dengan ukuran partikel terbesar dan distribusi yang sama akan menghasilkan beton yang mudah dikerjakan ketika sejumlah tertentu volume agregat kering digunakan untuk setiap volume beton. Tabel 3.7 menunjukkan volume agregat kasar per satuan volume beton. Anda juga dapat melakukan perhitungan secara grafis atau analitis.

Tabel 3.7: Volume agregat kasar per satuan volume beton (SNI 7656, 2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven (*) per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan (†) dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44

Tabel 3.7: *Lanjutan* Volume agregat kasar per satuan volume beton (SNI 7656, 2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven (*) per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan (†) dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

#### 7) Menentukan jumlah agregat halus

Jika kita dapat mendapatkan perkiraan berat per satuan volume beton dari pengalaman, maka kita dapat menghitung berat agregat halus yang diperlukan sebagai selisih antara berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Biasanya, bobot per satuan beton telah ditetapkan dengan cukup akurat melalui pengalaman sebelumnya yang menggunakan bahan yang sama.

Jumlahkan semua kebutuhan material (air, semen, dan agregat kasar) terkecuali agregat halus. Dilanjutkan dengan menentukan berat beton segar dari Table 3.8 jumlah agregat halus didapat dari hasil berat beton segar dikurangi jumlah semua kebutuhan yang sudah diperoleh.

Tabel 3.8: Perkiraan awal berat beton segar (SNI 7656, 2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m <sup>3</sup>	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19,0	2345	2275

Tabel 3.8: *Lanjutan* Perkiraan awal berat beton segar (SNI 7656, 2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m <sup>3</sup>	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
25,0	2380	2290
37,5	2410	2350
50,0	2445	2345
75,0	2490	2405
150,0	2530	2435

Bila diinginkan perhitungan berat beton per  $m^3$ , secara teoritis rumus berikut ini dapat digunakan:

$$U = 10G_a(100 - A) + c \left(1 - \frac{G_a}{G_c}\right) - w(G_a - 1) \quad (3.18)$$

Keterangan ;

U : Berat beton segar (kg/m<sup>3</sup>)

$G_a$  : berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan kasar, kering permukaan jenuh (SSD adalah *saturated surface dry*)

$G_c$  : berat jenis semen (umumnya = 3,15)

A : Kadar udara (%)

w : Syarat banyaknya air pencampur (kg/m<sup>3</sup>)

c : syarat banyaknya semen (kg/m<sup>3</sup>)

Satuan volume beton dikurangi dari total volume bahan-bahan yang diketahui—air, udara, semen, dan agregat kasar—untuk mendapatkan volume agregat halus yang diinginkan. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

#### 8) Penyesuaian Terhadap Kelembapan Agregat

Dalam membuat beton, perlu mempertimbangkan jumlah agregat yang akan ditambahkan, dengan memperhitungkan seberapa banyak air yang dapat diserap

oleh agregat tersebut. Secara umum, agregat biasanya memiliki kelembaban, sehingga total berat keringnya harus meningkat sebesar jumlah persentase air yang terkandung baik yang diserap maupun yang berada di permukaannya. Jumlah air yang perlu ditambahkan ke dalam campuran harus dikurangi dengan air bebas yang diperoleh dari agregat, seperti total air dikurangi air yang terserap.

Menurut SNI 03-2493-2011, prosedur pembuatan campuran percobaan di laboratorium memungkinkan pencampuran agregat dalam kondisi kering udara selama penyerapan agregat kurang dari 1,0% dan kemungkinan air diserap dari beton yang belum menjalani proses pengikatan. SNI 03-2493-2011 menyarankan bahwa jumlah air yang diserap setara dengan 80% dari perbedaan antara jumlah air sebenarnya dalam pori-pori agregat (kondisi kering udara) dan 36 penyerapan 24 jam nominal yang ditemukan dalam SNI 1969-2016 atau SNI 1970-2016.

SNI 03-2493-2011 merekomendasikan pengondisian sebelumnya untuk memenuhi syarat penyerapan untuk agregat dengan penyerapan yang lebih tinggi dengan mengatur berat agregat berdasarkan kadar air dan memasukkan air permukaan sebagai bagian dari air pencampur yang disyaratkan.

#### 9) Pengaturan Campuran Beton

Hasil perhitungan harus diperiksa dengan membuat campuran percobaan yang direncanakan dan diuji menurut SNI 03-2493-2011 atau sebanyak campuran yang ada di lapangan. Saat memilih proporsi percobaan, air harus cukup untuk menghasilkan slump yang diinginkan. Beton harus diperiksa berat isi dan jumlah yang dihasilkan / *yield* (SNI 1973, 2008) dan kadar udara (SNI 03-3418-2011). Juga harus diperiksa sifat pengerjaannya, bebas dari segregasi, dan sifat penyelesaiannya (*finishing*-nya). Pengaturan yang sesuai harus pula dilakukan untuk campuran-campuran sebagai berikut.

Jika nilai slump campuran eksperimen tidak sesuai, tambahkan atau kurangi kandungan air sebanyak  $2 \text{ kg/m}^3$  jika nilai slump campuran eksperimen tidak sesuai. Berat beton segar untuk penyesuaian diperkirakan setara dengan berat campuran percobaan dalam  $\text{kg/m}^3$ , dikurangi atau ditambahkan oleh persentase perubahan kadar air campuran percobaan.

#### 10) Menentukan jumlah *Fly ash* (Abu Batubara)

Jumlah *Fly ash* yang dibutuhkan sesuai dengan variasi yang telah di tentukan yaitu 5%, 10%, 15%, untuk mengurangi takaran semen dalam campuran beton.

### 3.7.8 Pengujian *Slump Test*

Pengujian slump ini merupakan suatu teknik untuk memantau homogenitas dan *workability* adukan beton segar dengan suatu kekentalan tertentu yang dinyatakan dengan satu nilai slump (SNI-1972, 2008). Tujuan dari pengujian slump ini adalah untuk memperoleh angka slump beton.

#### 1) Peralatan

- a) Cetakan kerucut terpancung, yang terbuat dari logam dengan ketebalan minimal 1,2 mm, memiliki diameter bagian bawah 203 mm, diameter bagian atas 102 mm, dan tinggi 305 mm. Bagian bawah dan atas cetakan terbuka.
- b) Tongkat pemadat dengan panjang 600 mm dan diameter 16 mm dan ujung yang dibulatkan terbuat dari baja yang bebas karat dan bersih.
- c) Pelat logam yang memiliki permukaan yang rata, kokoh, dan kedap air.
- d) Sendok yang cekung tidak dapat menyerap air.
- e) Mistar ukur.

#### 2) Langkah pengujian slump.

Menurut SNI-1972-2008, Langkah dalam pengujian slump ini sebagai berikut:

- a) Basahi cetakan dan letakkan di atas permukaan yang kering, tidak menyerap air, dan kaku. Selama pengisian, cetakan harus ditahan secara kokoh di tempat oleh operator yang berdiri di atas bagian injakan.
- b) Gunakan batang pemadat untuk memadat setiap lapisan dengan 25 tusukan. Penusukan didistribusikan secara merata di atas setiap lapisan. Untuk lapisan paling bawah, akan diperlukan penusukan miring dengan jumlah tusukan sekitar setengah dari jumlah yang dekat dengan pinggir cetakan. Selanjutnya, penusukan dilakukan secara spiral vertikal di sekitar pusat permukaan. Lapisan bawah harus dipadatkan sepenuhnya hingga kedalamannya. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan.

Padatkan lapisan kedua dan atas sepenuhnya hingga kedalamannya, sehingga penusukan dapat menembus batas lapisan di bawahnya.

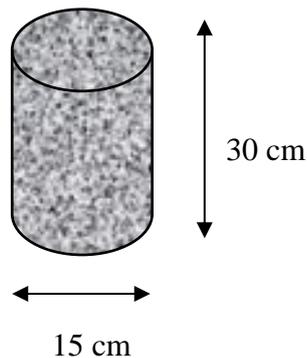
- c) Selama pengisian dan pemadatan lapisan atas, lebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Jika beton turun di bawah ujung atas cetakan, tambahkan adukan untuk menjaga kelebihan beton di bagian atas cetakan. Setelah lapisan atas dipadatkan, ratakan permukaan beton dengan menggelindingkan batang penusuk di atasnya. Segera lepaskan cetakan dari beton dengan mengangkatnya secara vertikal. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 hingga 2 detik (plus atau minus) tanpa menggerakannya ke sisi atau ke belakang. Dalam waktu tidak lebih dari dua setengah menit, selesaikan pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan.
  - d) Setelah beton menunjukkan penurunan permukaan, ukur kelumpuhan dengan mengukur perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton. Jika terjadi kerusakan atau keruntuhan geser pada satu sisi atau sebagian massa beton, seperti yang dinyatakan dalam pernyataan berikut: "Bila dua pengujian berturutan pada satu contoh beton menunjukkan keruntuhan geser beton pada satu sisi atau sebagian massa beton, kemungkinan adukan beton kurang plastis atau kurang kohesif untuk dilakukan pengujian slump", abaikan pengujian tersebut dan lakukan pengujian baru dengan bagian beton yang berbeda.
- 3) Langkah pengujian *slump*.

Pengukuran *slump* harus segera dilakukan dengan cara mengukur tegak lurus antara tepi atas cetakan dengan tinggi rata-rata benda uji; untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dilakukan dua kali pemeriksaan dengan adukan yang sama dan dilaporkan hasil rata-rata. Apabila terjadi kegagalan dalam mencapai tingkat kekentalan yang diinginkan (*slump* yang disyaratkan) dan terjadi keruntuhan pada benda uji termasuk keruntuhan geser, maka pengujian akan diulang dengan batas maksimal 3 kali. Jika setelah pengujian ulang masih terjadi kegagalan, maka beton akan dianggap tidak memenuhi syarat dan ditolak.

### 3.7.9 Pembuatan Benda Uji

Pada tahap pembuatan benda uji ini, Benda uji yang digunakan pada penelitian modulus elastisitas masing-masing terdiri dari 3 benda uji beton normal, 3 benda uji beton dengan campuran *fly ash* 5%, 3 benda uji beton dengan campuran *fly ash* 10% dan 3 benda uji beton dengan campuran *fly ash* 15%. Untuk bentuk benda uji, digunakan bentuk silinder dengan ukuran 30 cm x 15 cm.

Menurut Joseph (2006), “*The 150 by 300-mm (6 by 12-in.) cylinder is the specimen size, a commonly used specimen geometry for the determination of the modulus of elasticity in compression; however*” yang berarti spesimen yang umum digunakan untuk mengukur modulus elastisitas kompresi menggunakan silinder dengan ukuran 6 x 12 inci. Maka, Dalam Pengujian tegangan – regangan akibat pembebanan tekan menggunakan silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 3.3: Bentuk benda uji silinder 30 cm x 15 cm.

Pada penelitian modulus elastisitas, tiga sampel benda uji digunakan dan dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Perincian sampel benda uji porositas dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Benda uji dan campuran pembuatan beton

No.	Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Agregat Halus	<i>Fly ash</i>	Semen	Jumlah Sampel
1.	BTN	100%	100%	0%	100%	3
2.	BFA 5%	100%	100%	5%	95%	3
3.	BFA 10%	100%	100%	10%	90%	3
4.	BFA 15%	100%	100%	15%	85%	3
Total						12

Keterangan ;

BTN : Beton Normal  
BFA : Beton *Fly ash*

Langkah – Langkah pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. Pembuatan benda uji beton normal:
  - a) Alat-Alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil mix design.
  - b) Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan.
  - c) Kemudian pertama – tama tuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen. Aduk hingga ketiga bahan tersebut tercampur merata menggunakan molen.
  - d) Setelah ketiga bahan tersebut tercampur rata, masukkan air sedikit demi sedikit.
  - e) Setelah tercampur rata, dilakukan uji slump untuk mengukur tingkat workability adukan.
  - f) Apabila nilai slump telah memenuhi spesifikasi, selanjutnya adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder, dan dirojok agar campuran beton menjadi padat.
  - g) Diamkan selama 24 jam.
  - h) Setelah 24 jam, cetakan dibuka kemudian beton dilakukan perawatan
2. Pembuatan benda uji beton campuran *Fly ash* (Abu Batubara)
  - a) Alat – alat yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian menimbang bahan-bahan yang akan digunakan sesuai dengan komposisi hasil mix design.
  - b) Menyiapkan molen yang bagian dalamnya sudah dilembabkan.
  - c) Kemudian tuangkan agregat kasar.
  - d) Lalu masukkan agregat halus.
  - e) Masukkan semen kedalam molen lalu memasukkan campuran *Fly ash* yang Tertahan saringan No.100 dengan variasi yang telah ditentukan
  - f) Setelah bahan tercampur rata, masukkan air sedikit demi sedikit.

- g) Setelah tercampur rata, dilakukan uji *slump* untuk mengukur tingkat *workability* adukan.
- h) Apabila nilai *slump* telah memenuhi spesifikasi, selanjutnya adukan beton dituangkan kedalam cetakan silinder, dan dirojok agar campuran beton menjadi padat.
- i) Diamkan selama 24 jam sampai adukan beton menjadi keras.
- j) Setelah 24 jam, buka cetakan dan keluarkan beton lalu dilakukan perawatan pada beton.

### **3.7.10 Perawatan Benda Uji**

Pada tahap ini, Benda uji diproses dengan cara didiamkan di ruangan selama kurang lebih 28 hari. Di samping itu, Menurut SNI 2493:2011 tingkat kelembapan bahan pada permukaannya juga dapat meningkatkan ketahanan bahan terhadap cuaca dan membuatnya lebih tahan air.

### **3.7.11 Pengujian Modulus Elastisitas Beton**

Pengujian modulus elastisitas dibawah ini menggunakan metode ASTM C-469, Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan alat kuat tekan beton dan *dial gauge* (alat uji modulus elastisitas beton) dan Pengujian benda uji dilakukan setelah perawatan berumur 28 hari.

Pada titik ini, pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan menerapkan beban atau tekanan pada permukaan benda uji. Alat pengukur deformasi, *dial gauge*, digunakan untuk memberikan pembebanan secara bertahap pada benda uji. Pembacaan *dial gauge* dilakukan pada setiap kenaikan pembebanan tertentu untuk mengetahui besarnya perubahan panjang yang terjadi pada benda uji.

Pengujian tegangan-regangan menggunakan alat uji tekan *loading frame* dan alat pengukur deformasi berupa *dial gauge*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan menerapkan tekanan atau beban pada permukaan benda uji.

2. *Hydraulic jack* dan *transducer* digunakan untuk memberikan pembebanan secara bertahap. Pembacaan dial dilakukan dengan setiap kenaikan pembebanan 50 KN untuk mengukur besarnya perubahan panjang yang terjadi pada benda uji..
3. Pembebanan dilakukan hingga mencapai 40 % dari kuat tekan benda uji.
4. Menghitung regangan berdasarkan data perubahan panjang dari pengujian dengan menggunakan rumus:

$$\text{Regangan } (\varepsilon) = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.19)$$

Keterangan:

$\Delta l$  : Penurunan arah longitudinal atau perubahan panjang akibat beban P (mm),

$l$  : Tinggi beton relatif ( jarak antara dua *strain gauge* )

5. Menghitung tegangan ( $\sigma$ ) yang terjadi.

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (3.20)$$

$P$  : beban yang diberikan (ton)

$A$  : luas tampang melintang ( $\text{mm}^2$  )

6. Membuat grafik hubungan tegangan-regangan
7. Menghitung nilai modulus elastisitas

Berdasarkan rekomendasi ASTM C-469, perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan adalah modulus chord. Adapun perhitungan modulus elastisitas chord ( $E_c$ ) sesuai Persamaan 3.21

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3.21)$$

Keterangan:

$S_1$  : tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal akibat tegangan sebesar 0,00005 ( $50 \mu\varepsilon$ )

$S_2$  : tegangan sebesar 40%.  $f'_c$

$\varepsilon_2$  : regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

## **BAB 4**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Penerapan metode dan protokol pengujian pada bab ini sesuai dengan standar SNI dan ASTM dilakukan untuk menguji bahan dan benda uji. Jadwal penelitian dan persetujuan penggunaan Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara menjadi acuan dalam menyesuaikan waktu pelaksanaan percobaan.

Pada bagian ini, akan dipaparkan hasil dari penelitian dan dilakukan pembahasan terhadap hasil yang telah didapatkan. Dalam pelaksanaannya, uji coba yang akan dilakukan mencakup memeriksa komponen beton, merencanakan komposisi beton, mencampur bahan beton, dan menguji beton yang sudah dibuat.

#### **4.1 Hasil Pengujian Bahan Dasar**

##### **4.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus**

Dalam pengujian ini, agregat halus yang digunakan berasal dari pasir alam yang diambil di Medan Tembung. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus meliputi pengujian densitas dan kapasitas penyerapan air, pengujian kadar air, analisis ukuran butiran, pengujian berat volume, dan pengujian kandungan lumpur.

##### **1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus**

Dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air ini, digunakan metode SNI 7656-2012, dan hasil dari pengujian tersebut adalah sebagai berikut::

Tabel 4.1: Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	S	500	500	gram
Berat benda uji kering oven	A	487	482	gram
Berat piknometer yang berisi air	B	662	661	gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai	C	964	975	gram
Batas pembacaan				

Tabel 4.2: Perhitungan Agregat Halus

Perhitungan	Persamaan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah (Sd)	Sd	2,46	2,59	2,53
Berat jenis jenuh kering		2,53	2,69	2,61
Berat jenis semu (Sa)	Sa	2,63	2,87	2,75
Penyerapan air (Aw)	Aw	2,67	3,73	3,20

Hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa rata-rata berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*) adalah 2,53. Angka ini mengklasifikasikan material tersebut sebagai agregat normal, karena berada dalam rentang yang diperbolehkan, yaitu antara 2,2 hingga 2,8, sesuai dengan klasifikasi agregat normal dalam SNI 1970 (2016). SNI 1970, 2016. Penyerapan air (*absorption*) dari hasil pengujian yaitu sebesar 3,20%.

## 2) Pengujian Gradasi Agregat Halus

Hasil pengujian agregat halus dan spesifikasi SNI 03-2834:2002 dengan menggunakan Daerah Gradasi III, yaitu pasir kasar, disajikan pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3: Analisa Gradasi Agregat Halus

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan (c)	Lolos (d)
Mm (inci)	Gram (a)	Gram (b)		
(3/8 inci)	3	3	0,6	100
No. 4	2	5	1,0	99,0
No. 8	4	9	1,8	98,2
No. 16	411	420	84,0	16,0
No. 30	58	478	95,6	4,4
No. 50	18	496	99,2	0,8
No.100	2	498	99,6	0,4
No. 200	1	499	99,8	0,2
Pan	1	500	100,0	0,0
Modulus Kehalusan			381,2	3,812

$$\text{Modulus Halus Butiran (MHB)} = \frac{\% \text{ Kumulatif}}{100} = 3,8$$

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), secara umum, modulus halus partikel agregat halus berkisar antara 1,5 hingga 3,8. Dalam pengujian ini, diperoleh hasil 3,8 yang menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi kriteria yang telah ditentukan. Hasil pengujian analisis saringan digunakan untuk menentukan nilai modulus halus dan gradasi agregat halus.

### 3) Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur mengacu pada SNI 7656- 2012 serta mengikuti Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU tentang kadar lumpur agregat halus. Hasil dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.4: Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Agregat Halus Lolos Saringan No.4	Notasi	I	II	Satuan
Berat wadah + isi	W1	1618	1802	Gram
Berat wadah	W2	504	510	Gram
Berat contoh kering + Wadah	W4	1565	1750	Gram
		I	II	Rata-rata
Berat kering contoh awal	W3	1114	1292	1203
Berat kering contoh setelah dicuci	W5	1061	1240	1150,5
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200	W6	53	52	52,5
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200		4,76	4,02	4,39

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kadar lumpur sampel 1 sebesar 4,76% dan sampel 2 sebesar 4,02%, sehingga nilai kadar lumpur rata-rata untuk kedua sampel adalah 4,39%.

#### 4) Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi agregat halus dilakukan berdasarkan pedoman yang tercantum dalam SNI 1973:2008, serta mengacu pada modul laporan praktikum beton yang dilaksanakan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5: Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Agregat Halus	Notasi	Lepas	Rojok	Goyang	Satuan
Berat wadah + isi	1	16982	17890	17908	gram
Berat wadah	2	5300	5300	5300	gram
volume wadah	3	10851,84	10851,84	10851,84	cm <sup>3</sup>

Tabel 4.5: Lanjutan Pengujian Berat Isi Agregat Halus

	Notasi	I	II	III	Satuan
Berat contoh	4	11682	12590	12608	gram
Berat isi	5	1,076	1,160	1,162	gram/cm <sup>3</sup>
Rata-rata		1,633			gram/cm <sup>3</sup>
		1632,83			kg/m <sup>3</sup>

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat isi agregat halus rata-rata 1,633 gr/cm<sup>3</sup>. Berat isi yang diperlukan untuk beton biasa berkisar antara 1,5 dan 1,8 gr/cm<sup>3</sup>. Dengan demikian, berat agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan.

#### 5) Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar air dalam bahan yang akan digunakan di masa depan. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara melakukan pemeriksaan pada laboratorium beton. Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 1971:2011 dan pedoman laporan praktikum beton. Hasil pemeriksaan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6: Pengujian Kadar Air Agregat Halus

	Benda uji ke 1	Benda uji ke 2
Massa wadah + benda uji	2509	2498
Massa wadah	488	511
Massa benda uji (W1)	2021	1987
Massa wadah + benda uji	2405	2397
Massa wadah	488	511
Massa benda uji kering oven (W2)	1917	1886
Kadar air total (P)	5,43	5,36
$((W1-W2)/W2)*100\%$		
Kadar air total (P) rata-rata	5,39	

Hasil dari dua tes menunjukkan kadar air rata-rata 5,39%. Nilai pada tes pertama adalah 5,43%, dan tes kedua adalah 5,36%.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari Medan Tembung. Bahan diperiksa untuk analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, kadar air, berat volume, dan kadar lumpur, semua dengan mengikuti standar SNI.

##### 1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air kami menggunakan pedoman SNI 1969:2016 dan juga laporan praktikum beton tentang berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Dan berikut hasil dari pengujian :

Tabel 4.7: Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	1964	1972	gram
berat benda uji jenuh kering permukaan	B	2002	2010	gram
di udara	C	1245	1250	gram
Perhitungan		I	II	Rata-
Berat jenis curah (Sd)	Sd	2,59	2,59	2,59
Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)	Ss	2,64	2,64	2,64
Berat jenis semu (Sa)	Sa	2,73	2,73	2,73
Penyerapan air (Sw)	Sw	1,93	1,93	1,93

Hasil pengujian berat jenis menunjukkan bahwa berat jenis SSD (Saturated Surface Dry) rata-rata sebesar 2,59 dan diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih berada di antara 2,2 dan 2,9, yang merupakan batas yang diizinkan. Hasil pengujian juga menunjukkan penyerapan air (absorption) sebesar 1,93%.

## 2) Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Pengujian gradasi ini kami menggunakan pedoman SNI ASTM C136, 2012, dan juga menggunakan panduan laporan praktikum beton Teknik sipil UMSU tentang Analisa saringan. Hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8: Analisa Gradasi Agregat Kasar

Saringan Mm (inci)	Massa Tertahan Gram (a)	Jumlah Tertahan Gram (b)	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan (c)	Lolos (d)
No. 3/4	1141	1141	22,82	77,18
No. 1/2	1431	2572	51,44	48,56
No. 3/8	845	3417	68,34	31,66
No. 4	1176	4593	91,86	8,14
No. 8			100	0
No. 16			100	0
No. 30			100	0
No. 50			100	0
No. 100			100	0
No. 200			100	0
Pan	407	5000	100	0
Modulus Kehalusan			634,46	6,34

*Modulus Halus Butiran (MHB) = 6,34*

Tjokrodimuljo (2007) menyatakan bahwa modulus halus butir agregat kasar biasanya berkisar antara 6,0 dan 7,0; dalam pengujian ini, hasilnya adalah 6,34, yang menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi standar. Hasil dari analisis pengujian saringan digunakan untuk mengetahui nilai modulus halus dan gradasi agregat kasar.

## 3) Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian kadar lumpur agregat kasar mengacu pada SNI 4142:1996 tentang kadar lumpur agregat kasar. Berikut hasil pengujian :

Tabel 4.9: Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Agregat Kasar Lolos Saringan No.4	Notasi	I	II	Satuan
Berat wadah + isi	W1	1	1	gram
Berat wadah	W2	5	5	gram
Berat contoh kering + Wadah	W4	1	1	gram
		I	II	Rata-rata
Berat kering contoh awal	W3	1000	1000	1000
Berat kering contoh setelah dicuci	W5	979	982	980,5
Berat kotoran agregat lolos saringan No.200 (W6)	W6	21	18	19,5
Persentase kotoran agregat lolos saringan No.200		2,1	1,8	1,95

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kadar lumpur sampel 1 sebesar 2,1% dan sampel 2 sebesar 1,8%, sehingga nilai kadar lumpur rata-rata untuk kedua sampel adalah 1,95%.

#### 4) Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian dilakukan dengan menggunakan pedoman SNI 1973:2008 dan juga mengacu pada laporan praktikum beton Teknik sipil Umsu tentang Berat isi agregat kasar. Hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.10: Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Agregat Kasar	Notasi	Lepas	Rojok	Goyang	Satuan
Berat wadah + isi	1	22974	24023	23272	gram
Berat wadah	2	5300	5300	5300	gram
Volume wadah	3	10851,84	10851,84	10851,84	cm <sup>3</sup>
		I	II	III	Satuan
Berat contoh	4	17674	18723	17972	gram

Tabel 4.10: Lanjutan Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

	Notasi	I	II	III	Satuan
Berat isi	5	1,628	1,725	1,656	gram/cm <sup>3</sup>
Rata-rata		1,67			gram/cm <sup>3</sup>
		1670,039			kg/m <sup>3</sup>

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata berat isi agregat kasar adalah 1,67 gr/cm<sup>3</sup>. Berat isi yang dibutuhkan untuk beton normal berada dalam rentang 1,4 – 1,8 gr/cm<sup>3</sup>, sehingga berat agregat halus yang digunakan sudah memenuhi standar yang ditetapkan.

#### 5) Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian dilakukan dengan menggunakan pedoman SNI 1971-2011, dan juga mengacu pada laporan praktikum beton Teknik sipil Umsu tentang Kadar Air Agregat Kasar. Hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.11: Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

	Benda uji ke 1	Benda uji ke 2
Massa wadah + benda uji	2027	2044
Massa wadah	505	486
Massa benda uji (W1)	1522	1558
Massa wadah + benda uji	1992	2028
Massa wadah	505	486
Massa benda uji kering oven (W2)	1487	1542
Kadar air total (P)	2,35	1,04
Kadar air total (P) rata-rata	1,70	

Hasil dua percobaan menunjukkan kadar air rata-rata 1,70%; percobaan pertama menunjukkan kadar air 2,35% dan percobaan kedua menunjukkan kadar air 1,04%.

### 4.1.3 Tipe Fly ash

*Fly ash* pada penelitian ini berasal dari Kab. Blitar, Jawa Timur. Tipe *Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe C yang mengandung *Silicon dioxide* (SiO<sub>2</sub>) + *Aluminium oxide* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + *Iron Oxide* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### 4.2 Mix Design

Setelah pengujian dasar selesai, nilai-nilai diperoleh untuk membuat perencanaan campuran beton (*mix design*) yang diinginkan. Perencanaan ini dilakukan sesuai dengan metode uji SNI 7656:2012. Tabel berikut menunjukkan data yang disajikan:

Tabel 4.12: Tabel Data *Mix Design*

No	Data	Satuan	Nilai
1	Mutu beton	MPa	25
2	Slump	mm	75-150
3	Ukuran agregat maksimum	mm	19
4	Berat kering oven agregat kasar	kg/m <sup>3</sup>	1514,5
5	Berat jenis semen tanpa tambahan udara		3,15
6	Modulus Kehalusan Agregat halus		3,8
7	Berat jenis (SSD) agregat halus		2,61
8	Berat jenis (SSD) agregat kasar		2,64
9	Penyerapan air agregat halus	%	3,20
10	Penyerapan air agregat Kasar	%	1,93

Pengujian dilakukan sesuai dengan metode uji Standar Nasional Indonesia, SNI 7656:2012. Berikut Langkah pengujian :

- 1) Banyak Air Campuran

Tabel 4.13: Tabel Rasio Air

Air (kg/m <sup>3</sup> ) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump	9,5	12,7	19	25	37,5	50	75	150
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)

Tabel 4.13: Lanjutan Tabel Rasio Air

Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	270	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
$\geq 175^*$	-	-	-	-	-	-	-	-
banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Air (kg/m <sup>3</sup> ) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
Slump	9,5	12,7	19	25	37,5	50	75	150
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Beton dengan tambahan udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
$\geq 175^*$	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah kadar udara yang disarankan untuk tingkat paparan sebagai berikut :								
Ringan (%)	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5**	1,0**
Sedang (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5**	3,0**
Berat (%)	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5**	4,0**

Berdasarkan table data diatas maka banyaknya air adalah : 205 kg/m<sup>3</sup>

## 2) Rasio Air Semen

Menurut SNI 7656:2012, saat melakukan percobaan campuran untuk membuktikan hubungan kekuatan atau mengevaluasi kembali kekuatan suatu campuran, sebaiknya digunakan air pencampur dan kadar udara yang minimal. Kadar kelembapan udara harus berada pada batas maksimum yang diizinkan, dan beton perlu diukur untuk mencapai tingkat slump maksimum yang diperbolehkan. Jika beton memiliki tingkat kelembapan atau kadar udara yang lebih rendah, maka proporsi material-material dalam campuran beton perlu diubah agar dapat menghasilkan beton yang diinginkan.

Tabel 4.14: Tabel Rasio Air Semen

Kekuatan Beton umur 28 hari (MPa)	Rasio Air Semen	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39

Tabel 4.14: Lanjutan Tabel Rasio Air Semen

Kekuatan Beton umur 28 hari (MPa)	Rasio Air Semen	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
25	0,79	0,70

Berdasarkan Tabel 4.14 diatas, diambil nilai rasio air-semen sebesar 0,61% sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa.

3) Banyaknya kadar semen :  $205 : 0,61 = 336,07 \text{ kg}$

4) Berat Kering Agregat Kasar

Agar agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama digunakan untuk tiap satuan volume beton, mereka akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat dalam tabel 4.15 berikut:

Tabel 4.15: Tabel Berat Kering Agregat Kasar

Ukuran Normal Agregat	Volume agregat kasar kering oven* persatuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Berdasarkan data diatas maka diambil : 0,66

Sehingga berat keringnya didapat :  $0,66 \times 1514,5 = 999,57 \text{ kg}$

5) Perkiraan Awal Berat Beton Segar

Untuk perkiraan awal berat beton baik tanpa tambahan udara maupun dengan tambahan udara menurut SNI 7656:2012, berat agregat halus yang diperlukan adalah perbedaan antara berat beton segar dan berat total dari bahan-bahan lainnya. Tabel berikut menunjukkan hal ini:

Tabel 4.16: Tabel Berat Beton Segar

Ukuran nominal maksimum agregat (mm)	Perkiraan awal berat beton, kg/m <sup>3</sup>	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Berdasarkan data diatas, maka perkiraan berat beton : 2345

Sehingga :

Air	:	205 Kg
Semen	:	336,07 Kg
Agregat Kasar	:	999,57 Kg
Jumlah	:	1540,64 Kg

Jadi,  $2345 - 1540,64 = 804,36$  kg

#### 6) Volume Absolut

Agregat halus yang dibutuhkan harus ditentukan berdasarkan volume absolut. Dengan mengetahui jumlah semen, air udara, dan agregat kasar, kadar agregat halus dapat dihitung sebagai berikut:

- Volume Air :
 
$$= \frac{205}{1000} = 0,205 \text{ m}^3$$
- Volume padat semen :
 
$$= \frac{336,07}{(3,15 \times 1000)} = 0,107 \text{ m}^3$$
- Volume absolut agregat kasar :
 
$$= \frac{999,57}{(2,64 \times 1000)} = 0,378 \text{ m}^3$$
- Volume udara terperangkap :
 
$$= 1\% \times 1 = 0,010 \text{ m}^3$$

- Jumlah volume padat selain agregat halus :  
 $= 0,205 + 0,107 + 0,378 + 0,010 = 0,7 \text{ m}^3$
- Volume agregat halus yang dibutuhkan :  
 $= 1 - 0,7 = 0,3 \text{ m}^3$
- Berat agregat halus kering yang dibutuhkan :  
 $= 0,3 \times 2,61 \times 1000 = 783 \text{ kg}$

#### 7) Perbandingan Berat

Berdasarkan SNI 7656:2012, tabel 4.16 berikut menunjukkan nilai perbandingan berat air (berat bersih), agregat kasar (kering), dan agregat halus (kering):

Tabel 4.17: Tabel Perbandingan Berat

	Berdasarkan perkiraan	Berdasarkan
	Massa beton (kg)	Volume Absolut (kg)
Air (berat bersih)	205	20
Semen	336,07	336,0
Ag. Kasar (kering)	999,57	999,5
Ag. Halus (kering)	804,36	783

#### 8) Koreksi terhadap kandungan air

Di bawah ini adalah kadar air yang ditunjukkan hasil pengujian. Jika rasio campuran eksperimen dibandingkan dengan asumsi berat (massa) yang digunakan, maka berat (massa) penyesuaian agregat menjadi:

Kadar Air didapat :

- Agregat Kasar : 1,70 %
- Agregat Halus : 5,39 %
- Agregat Kasar (Basah) :  $999,57 \times (1 + 0,017) = 1016,56 \text{ Kg}$
- Agregat Halus (Basah) :  $804,36 \times (1 + 0,0539) = 847,71 \text{ Kg}$

Air yang diserap harus dihilangkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan karena tidak termasuk dalam air pencampur. Jadi:

- Air yang diberikan Ag. Kasar adalah :  $(1,70 - 1,93) = 0,23 \%$
- Air yang diberikan Ag. Halus adalah :  $(5,39 - 3,20) = 2,19 \%$

Dengan demikian kebutuhan air adalah sebagai berikut :

$$205 - (999,57 \times 0,23\%) - (804,36 \times 2,19\%) = 185,08$$

Maka perkiraan 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebagai berikut :

Air ( yang ditambahkan )	= 185,08 Kg
Semen	= 336,07 Kg
Ag. Kasar (Basah)	= 1016,56 Kg
Ag. Halus (Basah)	= 847,71 Kg
<hr/>	
Jumlah	= 2385,42 Kg

#### 4.3 Kebutuhan Bahan

Didasarkan pada hasil dari desain campuran yang telah dilakukan di atas, jumlah bahan yang diperlukan untuk benda uji dihitung sebagai berikut:

1. Benda uji yang dibuat adalah silinder sebanyak 15 buah

- Diameter = 15 cm
- Tinggi = 30 cm
- Volume Silinder =  $\frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t$   
= 5298,75 cm<sup>3</sup> = 0,0053 m<sup>3</sup>

2. Total bahan yang dibutuhkan untuk membuat benda uji :

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji, yaitu :  
Banyak semen dalam 1 meter kubik  $\times$  Volume 1 benda uji  
 $336,1831 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 1,78117 \text{ kg}$
- Agregat Halus yang dibutuhkan untuk 1 benda uji, yaitu :  
Banyak pasir dalam 1 meter kubik  $\times$  Volume 1 benda uji  
 $847,71 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 4,49286 \text{ kg}$
- Agregat Kasar yang dibutuhkan untuk 1 benda uji, yaitu :  
Banyak kerikil dalam 1 meter kubik  $\times$  Volume 1 benda uji  
 $1016,56 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 5,38776 \text{ kg}$

- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji, yaitu :  

$$\text{Banyak air} \times \text{Volume 1 benda uji}$$

$$185,08 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3 = 0,98092 \text{ kg}$$

Tabel 4.18: Total bahan yang dibutuhkan untuk membuat 3 benda uji.

Bahan	Berat	satuan	Berat	satuan
Air	0,98092	kg	980,920	gr
Agregat Halus	4,49286	kg	4492,860	gr
Agregat Kasar	5,38776	kg	5387,760	gr
Semen	1,78117	kg	1781,170	gr
Total	12,64271	kg	12642,710	gr

Dengan mengingat bahwa kebutuhan bahan untuk satu adukan adalah  $3 \times 0,0053 \text{ m}^3$ , maka total campuran bahan yang diperlukan untuk setiap variasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.19: Kebutuhan Bahan Tiap Variasi Campuran

No.	Kode Benda Uji	Volume Silinder ( $\text{m}^3$ )	Komposisi Bahan				
			Air	Agregat halus	Agregat kasar	Semen	<i>Fly ash</i>
1.	BN	0,0053	2,94276	13,47858	16,16328	5,34351	-
2.	BFA 5%	0,0053	2,94276	13,47858	16,16328	5,07633	0,26718
3.	BFA 10%	0,0053	2,94276	13,47858	16,16328	4,80916	0,53435
4.	BFA 15%	0,0053	2,94276	13,47858	16,16328	4,54198	0,80153
total		0,0371	11,7710	53,91432	64,65312	19,7709	1,60305

Keterangan :

BN : Beton Normal

BFA 5% : Beton silinder dengan campuran 5% *Fly ash*

BFA 10% : Beton silinder dengan campuran 10% *Fly ash*

BFA 15% : Beton silinder dengan campuran 15% *Fly ash*

#### 4.4 Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah silinder dengan ukuran sisi 15 cm x 30 cm. Ada 12 benda uji yang dibuat. Pembuatan benda uji memerlukan beberapa tahapan:

1. Menyiapkan bahan dan alat

Bahan bahan yang perlu disiapkan sesuai dengan data yang telah disiapkan seperti agregat halus, agregat kasar, semen, bahan tambah (*fly ash*), dan air. Untuk takaran disetiap bahan disesuaikan dengan data yang telah dihitung, sedangkan untuk alat alat yang akan digunakan antara lain *mixer*, alat untuk *slump test* (kerucut abrams), alat perata (dapat berupa tongkat atau semacamnya), cetok, cetakan silinder 15 cm x 30 cm , dan lain lain.

2. Pengadukan beton

Adonan beton dicampur dengan menggunakan alat pengaduk seperti mesin mixer. Terdapat 3 kategori yang digunakan untuk membagi air dalam penggunaannya. Langkah pertama dalam proses ini adalah menuangkan 1/3 bagian air ke dalam mixer. Selanjutnya, ditambahkan agregat kasar dan agregat halus, diikuti dengan penambahan 1/3 air kedua. Setelah itu, semen dimasukkan, dan akhirnya 1/3 air terakhir dituangkan ke dalamnya. Mixer diatur sedemikian rupa untuk mengaduk campuran secara merata sehingga tampak homogen. Setelah beton teraduk dengan baik, campuran beton tersebut kemudian dituangkan ke dalam pan.

3. Pencetakan

Sebelum beton ditempatkan ke dalam cetakan, dilakukan pengukuran kelecakan terlebih dahulu dengan melakukan slump test. Setelah itu, adukan beton dimasukkan ke dalam cetakan yang telah disiapkan menggunakan sekop. Setiap pengambilan dari adukan yang diambil harus mewakili seluruh adukan tersebut. Mengisi 1/3 dari cetakan dengan adukan beton dan kemudian dilakukan pemadatan dengan cara menekan atau tusukkan menggunakan rojok. Dalam melakukan proses ini, digunakanlah batang besi dengan diameter 16 mm. Tusukan dilakukan sebanyak 25 kali dan dilakukan terus menerus untuk mencapai 2/3 dan 3/3 cetakan terisi. Selanjutnya, untuk menghilangkan udara yang terperangkap dalam adukan, bagian luar cetakan dipukul dengan palu karet. Setelah itu, permukaan cetakan diratakan dan ditutup dengan kaca untuk mencegah air menguap dari beton yang masih baru. Setelah dua puluh jam, keluarkan cetakan segera dan pastikan tidak melewati 48 jam setelah proses pencetakan.

#### 4. Pemeliharaan beton.

Beton ditimbang setelah cetakan dibuka dan disimpan di suhu ruangan selama 28 hari.

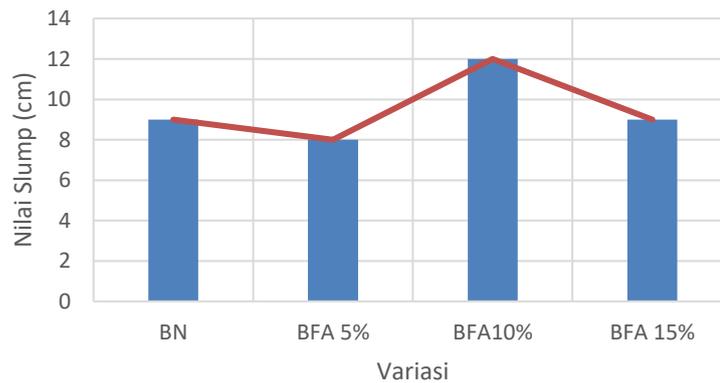
#### 4.5 Slump test

Pengujian slump dilakukan dengan menggunakan kerucut abrams. Ini dimulai dengan mengisi tiga lapis beton segar, sekitar 1/3 kapasitas kerucut. Setelah setiap lapisan, penusukan menggunakan tongkat penusuk dilakukan sebanyak 25 kali, mencapai bagian bawah tiap lapisan. Setelah pengisian selesai, permukaan kerucut diratakan dan cetakan diangkat dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 sampai 2 detik, tanpa gerakan lateral atau torsional.

Pengujian Slump adalah salah satu cara untuk mengetahui workability (kemudahan pengerjaan) campuran beton segar. Batasan nilai slump yang umumnya digunakan berkisar antara 7,5 hingga 15 cm sesuai dengan PBI 1971. Jika ukuran slump beton berada dalam rentang 0 cm, maka bisa dipastikan bahwa kualitas *workabilitas* beton buruk.

Tabel 4.20: Nilai slump test pada tiap pengujian modulus elastisitas.

Kode benda uji	T	Syarat	Keterangan
	(cm)	(cm)	
BN	9	7,5 – 15	Memenuhi
BFA 5%	8	7,5 – 15	Memenuhi
BFA10%	12	7,5 – 15	Memenuhi
BFA 15%	9	7,5 - 15	Memenuhi



Gambar 4.1: Grafik nilai slump test

#### 4.6 Pemantauan Beton

Pada tahap ini, Benda uji diproses dengan cara didiamkan di ruangan selama kurang lebih 28 hari. Tujuan dari Perawatan beton ini untuk mengetahui perubahan di setiap harinya. Adapun perubahan pada beton yang terjadi dalam beberapa hari setelah pelepasan dari cetakan, Beton mengalami penyusutan, tingkat porositas meninggi dan keretakan. Ini disebabkan beton tidak melewati proses hidrasi, yang mana proses hidrasi pada beton sangat diperlukan untuk meningkatkan ketahanan bahan terhadap cuaca dan membuatnya lebih tahan air (SNI 2493:2011). Setelah mencapai 28 hari, tingkat penyusutan, keretakan, dan porositasnya meninggi sehingga membuat beton mengalami penurunan berat.



Gambar 4.2: Kondisi Beton saat mencapai 28 hari

#### 4.7 Pengujian Kuat Tekan

Pada saat beton berusia 28 hari, dilakukan pengujian kekuatan tekan menggunakan mesin *press* beton pada variasi campuran beton dan beton normal. Tabel 4.19 memberikan informasi mengenai hasil pengujian kekuatan tekan beton normal setelah 28 hari yaitu mulai di tanggal 7 Juni 2024 sampai 5 Juli 2024.

Tabel 4.21: Hasil Pengujian Kuat Tekan

No.	Variasi	A	Berat Benda uji	Beban Tekan	Kuat Tekan Beton	
		mm <sup>2</sup>	kg	KN	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1.	BN 1	17662,5	12,215	200	101,0318	11,2260
2.	BN 2	17662,5	12,21	175	103,9185	9,9112
3.	BN 3	17662,5	12,213	180	103,9185	10,1944
4.	BFA 5% 1	17662,5	12,26	250	144,3312	14,1589
5.	BFA 5% 2	17662,5	12,258	255	147,2178	14,4421
6.	BFA 5% 3	17662,5	12,257	245	141,4446	13,8757
7.	BFA 10% 1	17662,5	12,31	210	121,2382	11,8935
8.	BFA 10% 2	17662,5	12,25	240	138,5580	13,5925
9.	BFA 10% 3	17662,5	12,28	230	132,7847	13,0262
10.	BFA 15% 1	17662,5	12,3	250	144,3312	14,1589
11.	BFA 15% 2	17662,5	12,23	260	150,1045	14,7252
12.	BFA 15% 3	17662,5	12,26	255	147,2178	14,4421

Dari pengujian kuat tekan pada penelitian ini menjelaskan bahwasanya kuat tekan di tiap variasi memiliki sedikit perbedaan yang berkisar 200 – 260 KN, namun berbeda dengan beton normal yang hanya memiliki kuat tekan sebesar 175 – 200 KN saja. Berdasarkan tabel 4.20 menjelaskan dari keempat beton variasi hasil uji kuat tekan beton, BFA 15% yang memiliki kuat tekan beton rata rata yang paling tinggi yaitu 14,1581 MPa.

Dikarenakan beton dilakukan tanpa perendaman, nilai kuat tekan menjadi lebih rendah sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian ini memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dengan penelitian terdahulu yang melakukan proses perendaman beton.

Biasanya beton yang tidak direndam memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah daripada beton yang direndam. ini terjadi karena perendaman dapat mendukung proses penyerapan air.

## 4.8 Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton di bawah ini dilakukan menggunakan metode ASTM C 469. Alat uji modulus elastisitas beton digunakan untuk memberikan beban pada benda uji secara bertahap sampai kuat tekannya mencapai 40 persen, dan dial gauge digunakan untuk mengukur perubahan panjang dengan skala 0,001 mm.

Data tentang perubahan panjang yang terjadi pada setiap benda uji ketika diberikan beban ( $\Delta l$ ) diperoleh secara langsung dari pengujian ini. Selanjutnya, data ini dapat digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas masing-masing benda uji.

Perhitungan nilai modulus elastisitas:

1. Regangan ( $\epsilon$ ) yang terjadi dihitung dengan persamaan 3.19
2. Perhitungan tegangan dapat dihitung dengan persamaan 3.20
3. Membuat grafik hubungan tegangan-regangan.
4. Menghitung nilai modulus elastisitas dengan persamaan 3.21

### 4.8.1 Analisa Regangan dan Tegangan

#### 1) Regangan

Sebagai contoh perhitungan diambil dari salah satu sampel benda uji beton dengan tambahan *Fly ash* sebanyak 15% umur 28 hari dengan kode BFA 15% 1.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = 0,000525$$

Tabel 4.22: Perhitungan regangan pada BFA 15% 1.

Kode Sampel	Beban	L	Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan ( $\epsilon$ )
	KN	(mm)		(mm)	
BFA 15% 1	0	200	0,0	0,0000	0
	50	200	1,5	0,0150	0,000075
	100	200	3,0	0,0300	0,00015
	150	200	5,4	0,0540	0,00027
	200	200	8,1	0,0810	0,000405
	250	200	11,0	0,105	0,000525

## 2) Tegangan

Sebagai contoh perhitungan diambil dari salah satu sampel benda uji beton dengan tambahan *Fly ash* sebanyak 15% umur 28 hari dengan kode BFA 15% 1 dengan  $P_{max}$  250 KN.

$$\sigma = \frac{P}{A} = 14,15428 \text{ KN/cm}^2$$

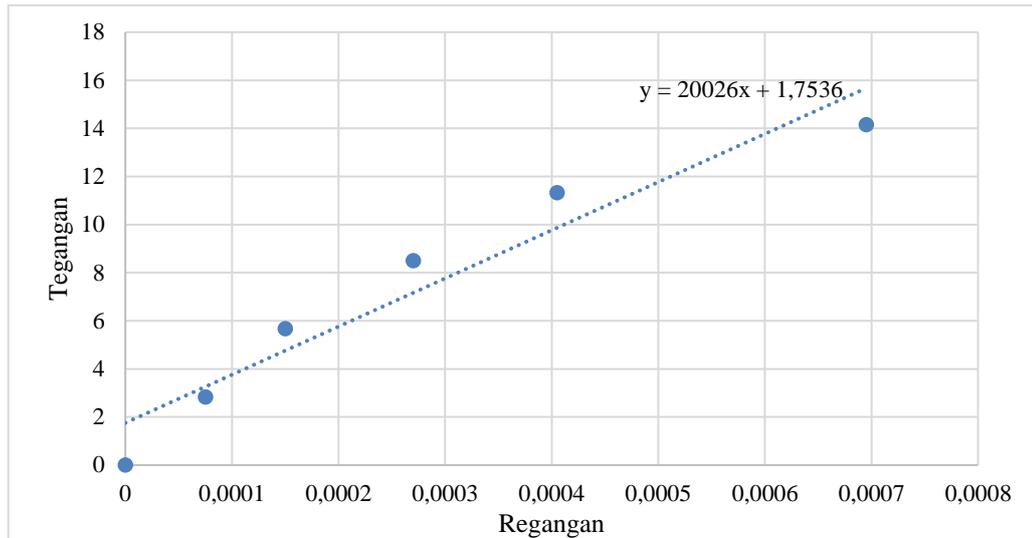
Tabel 4.23: Perhitungan Tegangan pada BFA 15% 1.

Kode Sampel	Beban	A (mm <sup>2</sup> )	Pembacaan Dial	$\Delta L$	Tegangan ( $\sigma$ )
	KN		(mm)	(mm)	(KN/cm <sup>2</sup> )
BFA 15% 1	0	17662,5	0,0	0,0000	0
	50		1,5	0,0150	2,830856
	100		3,0	0,0300	5,661713
	150		5,4	0,0540	8,492569
	200		8,1	0,0810	11,32343
	250		11,0	0,105	14,15428

## 3) Hubungan Tegangan dan Regangan

Dengan memplotkan data tegangan untuk setiap kenaikan 50 kN beban aksial dengan regangan yang terjadi pada setiap benda uji, kurva tegangan dan regangan didapat dari perhitungan dalam tabel di atas. Kemudian, persamaan linier dan analisa regresi dibuat menggunakan Microsoft Excel.

Untuk mendapatkan nilai persamaan linier, pertama-tama dibuat kurva regresi linear dari nilai tegangan regangan. Ini dimulai dengan nilai tegangan regangan 0 dan berlanjut sampai kurva regresi polynomial melengkung pada 40%. Gambar berikut menunjukkan gambar yang lebih jelas:



Gambar 4.3: Grafik hubungan tegangan-regangan

#### 4.8.2 Analisa Modulus Elastisitas

Setelah mendapatkan persamaan regresi linearnya, maka dilanjutkan dengan mencari nilai modulus elastisitasnya menggunakan persamaan regresi linear. Untuk lebih jelas sebagai berikut:

$$y = 20026x + 1,7536 \quad \text{Pers. 1}$$

$$S_2 = 5,66 \text{ MPa}$$

Untuk mencari  $S_1$ , kita menggunakan  $x = 0,00005$  di Pers.1

$$S_1 = 2,8$$

Sedangkan untuk mencari nilai  $\epsilon_2$  sebagai berikut:

$$\epsilon_2 = 0,00019$$

Maka nilai modulus elastisitas sebagai berikut:

$$Ec = 20026 \text{ MPa}$$

Tabel 4.24: Kurva linear dan hasil yang didapat dari BFA 15% 1.

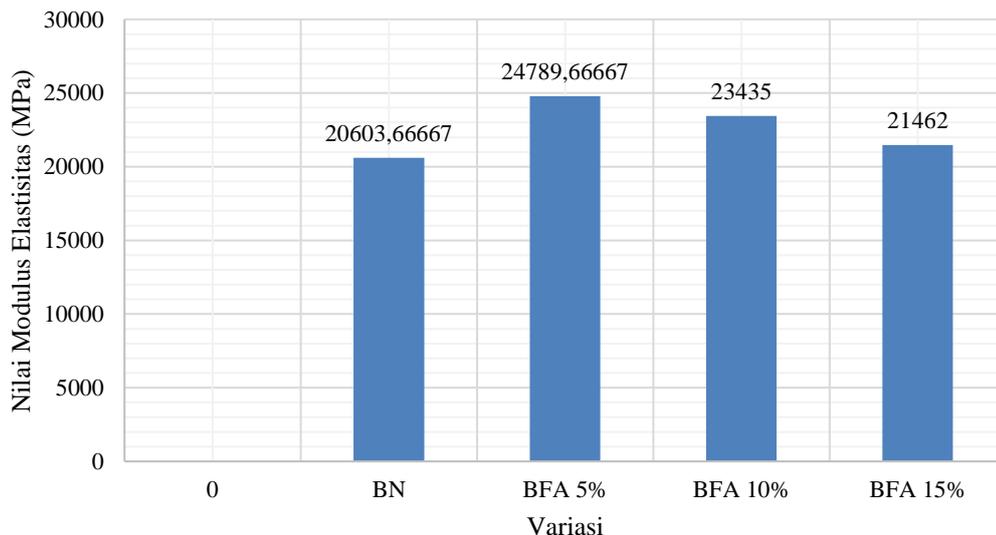
Kurva Linear		Hasil yang didapat		
a	1,7536	$S_2$	5,663557	Mpa
		$S_1$	2,8	Mpa
b	20026	$\epsilon_2$	0,0019	
		Modulus Elastisitas		
$\epsilon_1$	0,00005	$E_c$	20026	MPa

Tabel 4.25: Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Variasi	Sampel	A	Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tagangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		mm <sup>2</sup>			S1	S2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	
BN	1	17662,5	80	0,015	2,05	4,53	0,00005	0,00021	21272
	2	17662,5	80	0,01	2,59	3,96	0,00005	0,00012	20648
	3	17662,5	72	0,015	1,56	4,08	0,00005	0,00019	19891
BFA 5%	1	17662,5	100	0,045	1,38	5,66	0,00005	0,00115	24437
	2	17662,5	102	0,03	2,54	5,78	0,00005	0,00107	24063
	3	17662,5	98	0,02	1,43	5,55	0,00005	0,00097	25869
BFA 10%	1	17662,5	84	0,015	2,29	4,76	0,00005	0,00015	23514
	2	17662,5	96	0,005	3,14	5,44	0,00005	0,00015	23640
	3	17662,5	92	0,01	2,55	5,21	0,00005	0,00019	23151
BFA 15%	1	17662,5	100	0,03	2,75	5,66	0,00005	0,00019	20026
	2	17662,5	104	0,035	2,38	5,89	0,00005	0,00021	21616
	3	17662,5	102	0,044	1,66	5,78	0,00005	0,00023	22744

Dari hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat penurunan nilai modulus elastisitas setiap kenaikan variasi *fly ash* dan nilai modulus elastisitas rata rata yang tertinggi ada pada variasi BFA 5% dengan nilai modulus elastisitasnya 25869 MPa dan yang terendah ada pada variasi BN yaitu 19891 MPa.

Hubungan antara pengaruh kadar *fly ash* dengan nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Grafik 4.4



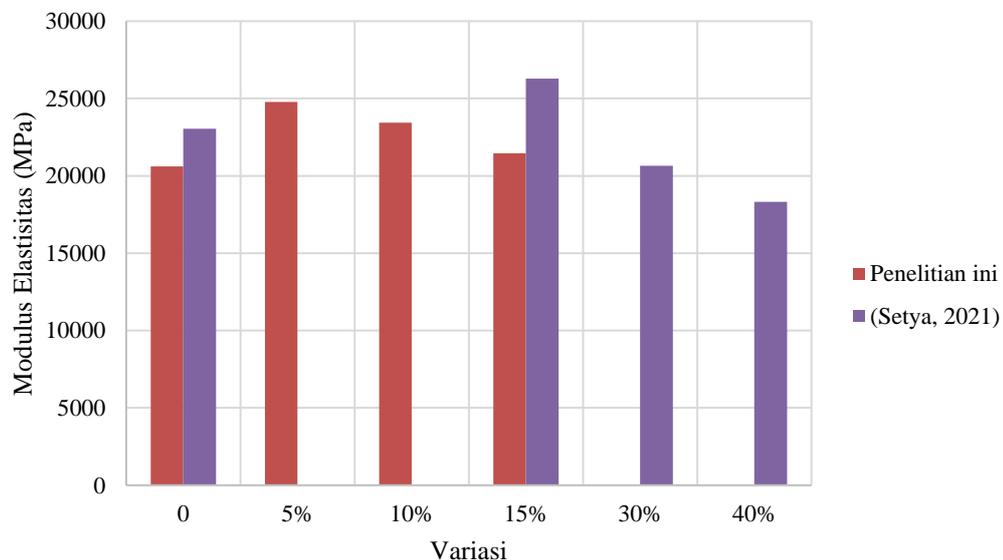
Gambar 4.4: Grafik Hubungan antara pengaruh kadar *fly ash* dengan nilai modulus elastisitas

Pada Grafik 4.3 memperlihatkan pengaruh kadar *fly ash* yang perlahan menurun saat variasi *fly ash* ditingkatkan. Kadar *fly ash* yang bertambah pada komposisi beton cenderung melambatkan proses pengikatan agregat sehingga mengakibatkan waktu yang lebih lama untuk pengeringan dan pemadatan beton. Kadar *fly ash* yang meningkat juga dapat membuat beton memiliki tingkat kekerasan rendah, yang mana itu dikarenakan jumlah kandungan semen yang semakin berkurang. Selain itu, dikarenakan beton dalam pengujian ini tidak direndam, porositas beton meningkat yang dapat menurunkan kekakuan dan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah.

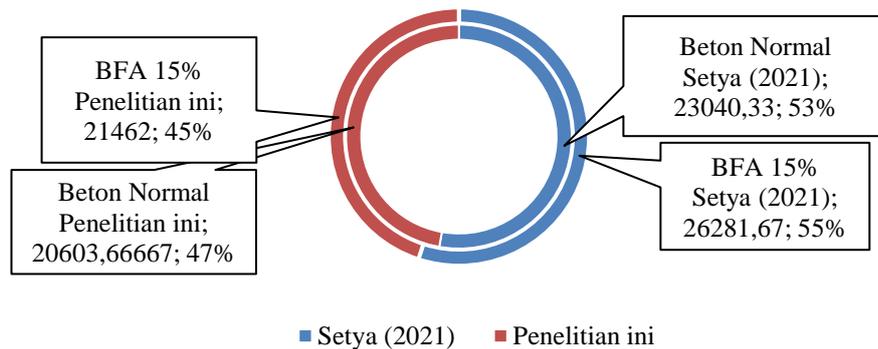
Dapat dilihat pada Tabel 24 yang membahas perbandingan nilai modulus elastisitas beton pada penelitian terdahulu dengan penelitian ini.

Tabel 4.26: Nilai Modulus Elastisitas Penelitian ini dengan penelitian terdahulu

Variasi	Nilai modulus elastisitas beton	
	Penelitian ini	Penelitian terdahulu
0	20603,66667	23040,33
5%	24789,66667	-
10%	23435	-
15%	21462	26281,67
30%	-	20647
40%	-	18312,32



Gambar 4.4: Grafik Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu



**Gambar 4.5** Grafik Persen Perbandingan nilai modulus elastisitas dengan penelitian terdahulu

Berdasarkan Grafik diatas, nilai modulus elastisitas pada penelitian ini cenderung lebih rendah dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Pada penelitian ini, variasi yang digunakan adalah BN 0% (beton normal), BFA 5%, BFA 10% dan BFA 15%, sedangkan pada penelitian terdahulu, variasi yang digunakan adalah BN 0% (beton normal), BFA 15%, BFA 30% dan BFA 40%. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat perbedaannya pada variasi BFA 15% yaitu 21462 MPa dan 26281,67 MPa dengan perbedaan 81,22% dan pada variasi BN yaitu 20603,66667 MPa dan 23040,33 MPa dengan perbedaan 89,42%.

Menurut Sugianto (2018), Material *pozzolan* bereaksi dengan kapur bebas (*kalsium hidroksida*) yang dilepaskan semen pada proses hidrasi dan membentuk senyawa yang bersifat mengikat pada temperatur normal dengan adanya air dan menurut Anggara (2023) penambahan *fly ash* pada tingkatan efektif dalam semen akan menambah kekuatan dari produk beton yang dihasilkan.

Jadi dapat disimpulkan bahwa material *pozzolan* membutuhkan air untuk melakukan proses hidrasi guna untuk meningkatkan durabilitas beton dan membangun kekuatan beton. Namun dikarenakan pada penelitian ini proses hidrasi yang seharusnya dilakukan, tidak dilakukan. Maka penguapan air yang terjadi saat proses hidrasi menjadi lebih cepat dan proses hidrasi menjadi tidak sempurna dan jumlah ruang kosong atau pori-pori di dalam beton juga meningkat sehingga kekuatan beton semakin rendah.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari semua percobaan, pengolahan data, dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. kadar *fly ash* pada pengujian modulus elastisitas sangat berpengaruh pada nilai modulus elastisitas. Semakin tinggi kadar *fly ash*, maka semakin rendah pula nilai modulus elastisitasnya. Kadar *fly ash* yang meningkat juga dapat membuat beton memiliki tingkat kekerasan rendah, yang mana itu dikarenakan jumlah kandungan semen yang semakin berkurang. Adapun rata-rata nilai modulus elastisitas pada tiap variasi beton sebagai berikut:
  - BN (Beton Normal) dengan variasi *fly ash* 0% = 20603,6666 MPa
  - BFA 5% (dengan variasi *fly ash* 5%) = 24789,66667 MPa
  - BFA 10% (dengan variasi *fly ash* 10%) = 23435 MPa
  - BFA 15% (dengan variasi *fly ash* 15%) = 21462 MPa
2. Perbandingan persenan nilai modulus elastisitas beton normal (BN) dengan beton dengan bahan campuran *fly ash* cukup tinggi. Adapun perbandingan nilai modulus elastisitas beton normal (BN) dengan beton bahan campuran *fly ash* sebagai berikut:
  - BN dengan BFA 5% = 83,11 %
  - BN dengan BFA 10% = 87,91 %
  - BN dengan BFA 15% = 96,01 %
3. Dikarenakan beton dilakukan tanpa perendaman, nilai kuat tekan menjadi lebih rendah sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian ini memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah dengan penelitian terdahulu yang melakukan proses hidrasi dengan cara *curing*, ini terjadi karena tidak mendukung proses penyerapan air. Dan juga dikarenakan beton dalam pengujian ini tidak direndam, porositas beton meningkat yang dapat menurunkan kekakuan dan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah.

## 5.2 Saran

Ada beberapa perbaikan yang perlu dilakukan dalam menindaklanjuti penelitian ini agar penelitian-penelitian selanjutnya dapat ditingkatkan. Beberapa rekomendasi untuk penelitian mendatang termasuk:

1. Diperlukan upaya untuk memverifikasi bahwa peralatan yang akan digunakan berada dalam kondisi yang baik supaya dapat mencegah terjadinya kesalahan saat pengambilan data.
2. Untuk mencegah pergeseran saat dibebani, penting untuk meletakkan *dial gauge* dengan presisi pada benda uji.
3. Untuk meningkatkan akurasi data hasil pengujian, disarankan untuk meningkatkan jumlah benda uji pada setiap variasi kadar *fly ash*. Tujuannya adalah agar hasil pengujian tidak bertentangan dengan teori yang ada maupun perbedaan formula yang mungkin timbul, dan agar selisih antara data percobaan dan hasil percobaan lebih kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211.1-91. (1991). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- Adhitya, N. M. (2023). Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Bahan Tambah Abu Batu. *5*(1), 17–23.
- Akhmad, P., Tri, R., & Riyanto, S. (2020). Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Normal *Fc ' 20. 1*, 109–114.
- Anggara, F., Sujoto, V. S. H., Tangkas, I. W. C. W. H., Astuti, W., Sumardi, S., Putra, I. S. R., Putra, A. D., & Petrus, H. T. B. M. (2023). Pengaruh penambahan *fly ash* PLTU Cirebon dan temperatur pengeringan terhadap kuat tekan material konstruksi beton high volume *fly ash* (HFVA). *Jurnal Rekayasa Proses*, *17*(2), 172–178. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.77825>
- Arianto, D. &. (2020). *729-Research Results-1234-1-10-20200903*. *9*(1), 43–52.
- ASTM C-469-2. (2006). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson ' s Ratio of Concrete. i*, 2–6. <https://doi.org/10.1520/C0469>
- ASTM C494/C494M. (2022). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Annual Book of ASTM Standards*, *04*(January), 1–9.
- Badan Standardisasi Indonesia. (1991). SKSNI-T-15-1991-03. *Sksni-T-15-1991-03, 1*(1), 1–185.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 23. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi umum 2010. *Direktorat Jendral Bina Marga, 2018*(Revisi 3), 1–6.
- Firmanul, K., & Nely, K. (2023). Pengujian Awal Agregat Kasar, Agregat Halus, Semen, Dan Air: Fondasi Penelitian Beton Berkualitas. *Jurnal Konstruksi*, *XI*(2), 77–88.
- Ginting, A. (2019). Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous dengan Bahan Pengisi Styrofoam. *Jurnal Teknik Sipil*, *11*(2), 76–98. <https://doi.org/10.28932/jts.v11i2.1404>
- Harahap, W. R. (2019). Analisa Modulus Elastisitas Pada Beton Berserat Serat Serabut Kelapa Dan Abu Sekam Padi Sebagai Pengganti Pasir (Studi Penelitian).

- Hudori, M., Tandedi, M., Sentanu, A. T., & Ferdinand, M. A. (2022). Studi Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Pada Pasir Di Kota Batam. *Racic : Rab Construction Research*, 7(1), 96–103. <https://doi.org/10.36341/racic.v7i1.2536>
- Ibrahim, M. M., & Saelan, P. (2019). Studi Perancangan Campuran Beton Menggunakan Abu Batu Sebagai Agregat Halus. (Hal. 108-117). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5(3), 108. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i3.108>
- Idris, M., Trisnawathy, T., Hisbullah, H., & Yusril, I. (2023). Kuat Tekan Beton dengan Penambahan *Fly ash* Batu Bara sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 3(1), 39. <https://doi.org/10.31963/jacee.v3i1.4190>
- Imam, Lukman, H., & Artiningsih, T. P. (2023). Analisa Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Halus Pasir Citarik (Sukabumi) Dan Pasir Jebrod (Cianjur). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1), 1–14.
- Jeneri, R. (2023). Pengaruh Campuran Abu Batubara (*Fly ash*) Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik *Paving Block* (*The Effect Of Coal Ash Mixture (Fly ash) As A Partical Replacement Of Cement On The Characteristics Of Paving Block*).
- Joseph, F. (2006). *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*. *ASTM Special Technical Publication, STP 169D*. <https://doi.org/10.1520/stp169d-eb>
- Korompis, T. J., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2023). Analisis Pengaruh Variasi Molaritas NaOH Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Pada Eksperimen Beton Geopolimer Berbasis Abu Terbang (*Fly ash*). *Tekno*, 21(85), 1481–1490.
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2014). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (*Fly ash*). *Jurnal Sipil Statik*, 2(6), 277–282.
- Masdiana, M., Prasetia, M. S., Sulha, S., Mursidi, B., Machmud, S., & Lewikinta, A. B. (2021). Studi Pengaruh Limbah Plastik Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Rekayasa Sipil*, 15(3), 222–227. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2021.015.03.9>
- McCormac. (2018). Modulus Elastisitas Beton Geopolymer Berbasis *Fly ash* Dari Pltu Amurang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 3–10.
- Mulyana, L. H. (2020). Analisa Perbandingan Berat Jenis Dan Kuat Tekan Antara Beton Ringan Dan Beton Normal Dengan Mutu Beton K-200. *Focus Teknik Sipil UPMI*, 1(2), 52–60.

<http://journal.uta45jakarta.ac.id/index.php/JKTE/article/view/5738>

- Pade, M. M. M., Kumaat, E. J., Tanudjaja, H., & Pandaleke, R. (2013). Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Batu Ringan Ape Dari Kepulauan Talaud. *Jurnal Sipil Statik*, 1(7), 479–485.
- PBBI. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, 7, 130.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 85 Tahun 1999 Tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. (1999).
- Pratama, M. M. A. (2018). Analisis Numerik Modulus Elastisitas Beton Gradasi. *Jurnal Bangunan*, 23(1), 1–8.
- Purnamasari, E. (2023). *Kajian Awal Beton Geopolimer Ramah Lingkungan. 2023*(Senastika), 119–123.
- Puspita Sari, N., & Desi, Y. (2023). *Pengaruh Kadar Air Terhadap Modulus Elatisitas Beton Menggunakan Uji Ultrasonik. 1*, 5–9.
- Salwa, H. (2023). *Sebagai Material Substitusi Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course ( Ac-Wc )* Disusun Dalam Rangka Memenuhi Persyaratan Penyelesaian Program Sarjana Strata Satu ( S-1 ) Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Disusun Oleh : Hazlind.
- Saputra, I. H. (2023). Analisis Hubungan Nilai Konversi Fc'Dan Fs Dengan Uji Kuat Tekan Dan Lentur Beton Studi Material Lokal Kabupaten Bojonegoro. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3, 5479–5489. <http://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/2452%0Ahttp://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/download/2452/1953>
- Self, A. S. H., Concrete, C., & Hari, H. U. (2018). *High volume fly ash self compacting concrete*. 621–629.
- Septian, D. (2012). Pengaruh kadar *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap modulus elastisitas pada high volume *fly ash*–self compacting concrete (*Effect of Fly ash ...* <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/24066%0Ahttps://digilib.uns.ac.id/dokumen/download/24066/NTA4MjA=/Pengaruh-kadar-fly-ash-sebagai-pengganti-sebagian-semen-terhadap-modulus-elastisitas-pada-high-volume-fly-ash-self-compacting-concrete-Effect-of-Fly>
- SK SNI S-15-1990-F. (1990). Tata Cara Pemasangan Balok Beton Terkunci Untuk Permukaan Jalan. In *Badan Standarisasi Nasional, Indonesia*.
- SNI-1972. (2008). *Cara Uji Slump Beton*.

- SNI 03-2834. (2002). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-4142-1996. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No.200. *Standardisasi Nasional Indonesia Nasional Indonesia, 200(200)*, 1–6.
- SNI 1969. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. 20.
- SNI 1970. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus* (pp. 1–22).
- SNI 1971. (2011). Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan". *Badan Standardisasi Nasional*, 1–11.
- SNI 1973. (2008). Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–13.
- SNI 7656. (2012). Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat Dan Beton Massa*.
- SNI ASTM C 136. (2012). SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- SNI ASTM C136. (2012). Analisis Saringan Agregat. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- SNI S-04-1989-F. (1989). Spesifikasi Bahan Bangunan. *Departemen Pekerjaan Umum*.
- Tjokrodinuljo, k. (2007). *Teknologi Beton*.
- Triwulan, Ekaputri, J. J., & Adiningtyas, T. (2007). Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan Dasar *Fly ash* dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sipil*, 33(3), 33–45.
- Zulkarnain, F. (2023). Analysis of The Addition Polypropylene Fibre and 8670 Mn Viscocrete added Material on The Split Tensile Strength and Modulus of Elasticity of Concrete. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 8798–8806. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.4808>

## DOKUMENTASI



Mix design



Slump test



Alat slump test



Cetakan 30 x 15 cm



Pasir



Analisa saringan



Pengujian *Slump*



Nilai *Slump*



Alat Modulus Elastisitas



Benda Uji Silinder



Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

## LAMPIRAN

Nilai Modulus Elastisitas Beton Normal (BN)

Benda Uji	Berat Siliner	Ukuran Benda Uji			Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tegangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		D	t	A			(MPa)				
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)		S1	S2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	(MPa)
1	12,215	150	300	17662,5	80	0,01	2,04540	4,53085	0,00005	0,00017	21272
2	12,21	150	300	17662,5	80	0,01	2,59110	3,96449	0,00005	0,00012	20648
3	12,218	150	300	17662,5	72	0,02	1,55655	4,07776	0,00005	0,00018	19891

Nilai Modulus Elastisitas Beton *Fly ash* 5% (BFA 5%)

Benda Uji	Berat Siliner	Ukuran Benda Uji			Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tegangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		D	t	A			(MPa)				
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)		S1	S2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	(MPa)
1	12,215	150	300	17662,5	100	0,045	1,37525	5,66356	0,00005	0,00023	24437
2	12,21	150	300	17662,5	102	0,03	2,54255	5,77683	0,00005	0,00018	24063
3	12,218	150	300	17662,5	98	0,02	1,42505	5,55029	0,00005	0,00021	25869

Nilai Modulus Elastisitas Beton *Fly ash* 10% (BFA 10%)

Benda Uji	Berat Siliner	Ukuran Benda Uji			Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tegangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		D	t	A			(MPa)		$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)		S1	S2			(MPa)
1	12,215	150	300	17662,5	84	0,015	2,29090	4,75739	0,00005	0,00015	23514
2	12,21	150	300	17662,5	96	0,005	3,14130	5,43701	0,00005	0,00015	23640
3	12,218	150	300	17662,5	92	0,01	2,54765	5,21047	0,00005	0,00017	23151

Nilai Modulus Elastisitas Beton *Fly ash* 15% (BFA 15%)

Benda Uji	Berat Siliner	Ukuran Benda Uji			Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tegangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		D	t	A			(MPa)		$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(KN)		S1	S2			(MPa)
1	12,215	150	300	17662,5	100	0,03	2,75490	5,66356	0,00005	0,00020	20026
2	12,21	150	300	17662,5	104	0,035	2,37920	5,89010	0,00005	0,00021	21616
3	12,218	150	300	17662,5	102	0,044	1,66270	5,77683	0,00005	0,00023	22744

Nilai Modulus Elastisitas seluruh variasi

Variasi	Sampel	A	Pmax 40%	$\Delta L$ 40%	Tagangan		Regangan		Modulus Elastisitas
		mm <sup>2</sup>			S1	S2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	
BN	1	17662,5	80	0,015	2,05	4,53	0,00005	0,00021	21272
	2	17662,5	80	0,01	2,59	3,96	0,00005	0,00012	20648
	3	17662,5	72	0,015	1,56	4,08	0,00005	0,00019	19891
BFA 5%	1	17662,5	100	0,045	1,38	5,66	0,00005	0,00115	24437
	2	17662,5	102	0,03	2,54	5,78	0,00005	0,00107	24063
	3	17662,5	98	0,02	1,43	5,55	0,00005	0,00097	25869
BFA 10%	1	17662,5	84	0,015	2,29	4,76	0,00005	0,00015	23514
	2	17662,5	96	0,005	3,14	5,44	0,00005	0,00015	23640
	3	17662,5	92	0,01	2,55	5,21	0,00005	0,00019	23151
BFA 15%	1	17662,5	100	0,03	2,75	5,66	0,00005	0,00019	20026
	2	17662,5	104	0,035	2,38	5,89	0,00005	0,00021	21616
	3	17662,5	102	0,044	1,66	5,78	0,00005	0,00023	22744

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Satrio Wibowo  
Panggilan : Birou  
Tempat, Tanggal lahir : Doloksanggul, 24 April 2001  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Alamat : Jl. Pendidikan No.07 Pasar Doloksanggul,  
Kab. Humbang Hasundutan  
Agama : Islam  
No. HP : 0822-1420-6490  
Email : satrio.wibowo2404@gmail.com

Nama Orang Tua  
Ayah : Suprianto  
Ibu : Sri Idawati

### Riwayat Pendidikan

Nomor Induk Mahasiswa : 2007210109  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3  
Medan 20238

No.	Tingkat Ketinggian	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1.	SD	MIN 1 Humbang Hasundutan	2014
2.	SMP	MTsN 1 Humbang Hasundutan	2017
3.	SMA	MAN 1 Humbang Hasundutan	2020
4.	Melanjutkan kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 sampai selesai.		