

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS
DENGAN DEBU BATU DAN PENAMBAHAN
SUPERPLASTICIZER TERHADAP KEMUDAHAN
KERJA, SERAPAN, DAN KUAT TEKAN BETON
(*Effect of Replacing Fine Aggregate with Stone Dust and
Adding Superplasticizer on Workability, Absorption, and
Compressive Strength of Concrete*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro
19511093**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

**PENGARUH PENGGANTIAN AGREGAT HALUS
DENGAN DEBU BATU DAN PENAMBAHAN
SUPERPLASTICIZER TERHADAP KEMUDAHAN
KERJA, SERAPAN, DAN KUAT TEKAN BETON**
*(Effect of Replacing Fine Aggregate with Stone Dust and
Adding Superplasticizer on Workability, Absorption, and
Compressive Strength of Concrete)*

Disusun Oleh

Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro
19511093

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji:



Pembimbing

9.11.23

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng
NIK: 165111301

Penguji I

9-11-23

Malik Mushtofa, S.T., M.Eng.
NIK: 185111302

Penguji II

11/2023
11

Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D
NIK: 855110201

Mengesahkan,

Ketua Prodi Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

Karya ini saya ciptakan sebagai bentuk persembahan dedikasi saya untuk:

Sosok yang doanya senantiasa tidak akan terputus hingga akhir masa.

Sosok yang tetap mencintai, menyayangi, dan selalu ada untuk saya tanpa peduli berapa kali saya sudah mengecewakannya.

Sosok yang keras kepalanya, marahnya, dan senyumnya serupa dengan saya.

Orang tua saya tersayang,

dr. Haldoko Djati Purnomo

&

my forever 52, almh. Shri Pranawingsih

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa penyusunan laporan Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia keseluruhannya merupakan hasil saya pribadi. Terdapat bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara gambling sesuai dengan regulasi, kaidah, serta etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau terdapat plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencopotan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 04 Oktober 2023
Yang membuat pernyataan,



Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro
(19511093)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan ramhat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Pengaplikasian Abu Batu dan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan, *Workability*, dan Absorpsi Beton” secara optimal. Selawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad *Shallallahu'alaihi wasallam*, keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menuntaskan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penulisan Tugas Akhir ini saya hendaksino mengungkapkan terima kasih yang sangat tulus kepada seluruh pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak dan selalu memberi dukungan tenaga maupun mental kepada saya selama proses perencanaan hingga selesainya Tugas Akhir ini.

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran, dan semangat yang diberikan kepada saya selama penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang senantiasa memberikan ragam ilmu sedari awal penulis menekuni studi di Program Studi Teknik Sipil, FTSP UII.
4. M. Zakki Rizal, Suwarno, dan Darussalam, selaku laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) yang selalu membantu serta melancarkan penulis selama proses penelitian.

5. Ibu Shri Pranawingsih dan Bapak Haldoko Djati Purnomo, mama dan papa penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Budi Syarif Hidayatulloh, Adinda Dwi Restiyana, Winilis Wikanestri, Shatrieo Hartono, dan Wikan Dewanto Martonagoro, kelima kakak penulis yang tidak pernah kehilangan langkah untuk selalu menghibur, memotivasi, mengerti, serta memahami segala perilaku penulis sejak lahir hingga waktu yang tidak ditentukan.
7. Nona dengan NIM 19512044, selaku pemilik Toby dan partner yang segala hal kecil tentangnya menyemangati penulis serta membuat penulis merasa nyaman untuk berkembang dan berproses demi masa depan. Semoga apa yang menjadi doa baik kita terwujud.
8. Raihan Prasetyawan A, Helmi Yusron, dan Akmal Muhammad J, selaku “wingman” terbaik yang tidak mengenal lelah untuk selalu dapat diandalkan serta senantiasa menemani penulis dalam segala kesulitan maupun kemudahan yang penulis lalui.
9. Hatta Riau Marwangsyah NG, Haris Ihsan Setiahutama, dan Ilham Nuruddin, ketiga abang penulis yang hadirnya tak terlewat waktu dan tak terhitung jarak serta selalu siap dalam segala kondisi untuk memberi dukungan kepada penulis.
10. Kevin Fadhilul Azyam, Trio Gati P, Alhilal M Farhan, Fandika Ahmad Dwi S, Diinaa Romiizahathuuf H, Sallya Shabrina, Arkam M, serta seluruh saudara seperjuangan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil 2021/2022 dan teman teman singolast yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
11. Hasnaa Anggia A, Rifat Syauqi H, dan Haris Dwi N, teman-teman “Nomad” yang menemani penulis sepanjang studi berjalan.
12. Nabiilah Sari Anggraini, Tamara Novania Kirana, dan Syawqy Al Haq Mohammad Muiz, selaku ketiga “adik” penulis yang kerap mendukung serta tidak jarang menemani penulis dalam proses pelaksanaan studi hingga akhir studi. Semoga segala hal baik selalu menyertai kita.

13. Anggita Zuma, Hanif Fauzan, Farruq Alfiansyah, Gildan Rahmat, Alief Akbar, serta seluruh teman-teman “panglima pandanaran” yang selalu menemani serta memberi motivasi sejak penulis awal pelaksanaan studi hingga terselesaikannya naskah ini.
14. Rasyad, Dzikry, dan Rifqi, selaku sosok yang menyemangati penulis untuk selalu berkembang dalam segala rintangan. Semoga kebijaksanaan serta kemuliaan selalu memandu kalian dalam setiap aspek kehidupan.
15. Pemilik NIM 21511009, sosok yang menyadarkan penulis bahwa menulis itu menyembuhkan. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan motivasi tersebut.

Akhirnya penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DEDIKASI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK.....	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II KAJIAN LITERATUR	7
2.1 Tinjauan Umum.....	7
2.2 Penelitian Terdahulu.....	8
BAB III LANDASAN TEORI.....	14
3.1 Beton.....	14
3.2 Material Penyusun Beton	15
3.2.1 Agregat	15
3.2.2 Semen Portland.....	19
3.2.3 Air.....	20
3.2.4 Bahan Tambah (<i>Admixture</i>).....	22
3.3 <i>Superplasticizer</i> Sika <i>Viscocrete</i> – 1003	24

3.4	Perencanaan Campuran Beton.....	26
3.5	Berat Volume Beton	37
3.6	Kuat Tekan Beton.....	37
3.7	Absorpsi Beton	38
3.8	Koefisien Korelasi.....	38
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		40
4.1	Umum.....	40
4.2	Variabel Penelitian	40
4.3	Material yang dipakai	41
4.4	Alat yang Digunakan.....	41
4.5	Benda Uji.....	43
4.6	Pelaksanaan Penelitian	44
4.6.1	Persiapan Penelitian.....	44
4.6.2	Pengujian Agregat	44
4.6.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	45
4.6.4	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> dengan Umur 3 Hari	45
4.6.5	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji.....	45
4.6.6	Pengujian Benda Uji	46
4.6.7	Olah Data	47
4.6.8	Analisis Data.....	47
4.6.9	Pembahasan	47
4.6.10	Kesimpulan dan Saran	47
4.6.11	Diagram Alir Penelitian.....	47
BAB V ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		50
5.1	Hasil Pengujian Agregat.....	50
5.1.1	Hasil Pengujian Agregat Halus.....	50
5.1.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	59
5.1.3	Hasil Pengujian Agregat Halus Abu Batu	67
5.2	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	77
5.3	Hasil Pengujian Benda Uji <i>Trial</i>	88
5.4	Hasil Pengujian <i>Workability</i>	89

5.5	Hasil Pengujian Berat Volume Beton.....	91
5.6	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	93
5.7	Pengujian Absorpsi Beton	102
5.8	Hubungan <i>Workability</i> , Berat Volume, dan Absorpsi Terhadap Kuat Tekan serta Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		109
6.1	Kesimpulan.....	109
6.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		111
LAMPIRAN.....		114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Syarat Susunan Gradasi Agregat Kasar	18
Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	30
Gambar 3.3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm.....	33
Gambar 3.4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm.....	34
Gambar 3.5 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm.....	34
Gambar 3.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	35
Gambar 3.7 Sketa Uji Tekan Beton Silinder.....	38
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	49
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	56
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	56
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1.....	65
Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2.....	65
Gambar 5.5 Kurva Gradasi Agregat Halus Abu Batu Daerah II Sampel 1.....	73
Gambar 5.6 Kurva Gradasi Agregat Halus Abu Batu Daerah II Sampel 2.....	74
Gambar 5.7 Korelasi Kuat Tekan Terhadap Faktor Air Semen Untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm.....	79
Gambar 5.8 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Butir Maksimum 20 mm.....	83
Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	84
Gambar 5.10 Korelasi Nilai Slump Terhadap Variasi Kadar Superplasticizer pada Campuran Beton Tanpa Abu Batu dan Menggunakan Abu Batu....	90
Gambar 5.11 Pengujian Slump	91

Gambar 5.12 Perbandingan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dan Beton Abu Batu.....	95
Gambar 5.13 Grafik Peningkatan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu Terhadap Penambahan Superplasticizer	100
Gambar 5.14 Grafik Peningkatan Kuat Tekan Beton Abu Batu Terhadap Penambahan Superplasticizer	101
Gambar 5.15 Perbandingan Tingkat Absorpsi Beton Tanpa Abu Batu dengan Beton Abu Batu	103
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Penambahan Superplasticizer dengan Tingkat Absorpsi Beton Tanpa Abu Batu.....	105
Gambar 5.17 Grafik Hubungan Penambahan Superplasticizer dengan Tingkat Absorpsi Beton Abu Batu.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Penulis Lakukan	12
Tabel 3.1 Pengaruh Sifat Agregat Terhadap Sifat Beton.....	15
Tabel 3.2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus.....	17
Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar.....	28
Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan.....	29
Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	31
Tabel 3.6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus ...	32
Tabel 3.7 Instruksi Penafsiran Koefisien Korelasi.....	39
Tabel 4.1 Rincian Benda Uji.....	43
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	51
Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	54
Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	54
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus	55
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	58
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus.....	58
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	59
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.....	60
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1.....	63
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2.....	63
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar	64
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Asli.....	67

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Asli.....	67
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu.....	68
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu Sampel 1	71
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu Sampel 2	72
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Abu Batu.....	75
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Abu Batu	75
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200.....	76
Tabel 5.20 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30	77
Tabel 5.21 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan.....	78
Tabel 5.22 Estimasi Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Diperlukan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton.....	80
Tabel 5.23 Pedoman Kadar Semen Minimum serta Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Tertentu.	81
Tabel 5.24 Rekapitulasi Produk Perencanaan Campuran Beton.....	86
Tabel 5.25 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah <i>Superplasticizer</i> ..	88
Tabel 5.26 Proporsi Campuran Beton Abu Batu dengan Bahan Tambah <i>Superplasticizer</i>	88
Tabel 5.27 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton Trial	89
Tabel 5.28 Hasil Pengujian Slump Beton Tanpa Abu Batu dan Dengan Abu Batu	90
Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton	92
Tabel 5.30 Rekapitulasi Produk Perhitungan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dan Menggunakan Abu Batu	96
Tabel 5.31 Rekapitulasi Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dengan Superplasticizer Terhadap Beton Tanpa Abu Batu dan Superplasticizer.....	98

Tabel 5.32 Rekapitulasi Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Abu Batu dengan Superplasticizer Terhadap Beton Abu Batu Tanpa Superplasticizer.....	99
Tabel 5.33 Rekapitulasi Degradasi Kuat Tekan Beton Abu Batu Terhadap Beton Tanpa Abu Batu pada Tiap Variasi Superplasticizer.....	101
Tabel 5.34 Rekapitulasi Produk Pengujian Absorpsi Beton	103
Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Rerata Seluruh Pengujian	106
Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Abu Batu	107
Tabel 5.37 Proporsi Campuran Setiap <i>Mixing</i> Berdasarkan Perencanaan Campuran Abu Batu	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	115
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	116
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran.....	143
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji Trial	144
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	145
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Absorpsi Beton.....	147
Lampiran 7 Dokumentasi Peralatan Penelitian	148
Lampiran 8 Dokumentasi Proses Penelitian	156

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	= <i>American Society for Testing and Materials</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
MPa	= Megapascal
M	= Nilai tambah
S_r	= Deviasi standar
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
c	= Jumlah semen (kg/m^3)
fas	= Faktor Air Semen
BJ_{gab}	= Berat jenis gabungan agregat
$BJ_{Ag.Halus}$	= Berat jenis agregat halus
$BJ_{Ag.Kasar}$	= Berat jenis agregat kasar
%Ag. Halus	= Persentase agregat halus (%)
%Ag. Kasar	= Persentase agregat kasar (%)
$W_{Ag.Halus}$	= Kadar agregat halus (kg/m^3)
$W_{Ag.Kasar}$	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)
$W_{Ag.Gab}$	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
P_A	= Absorpsi beton (%)
B	= Massa contoh uji kering permukaan (gram)
A	= Massa contoh uji kering oven (gram)
mm	= Milimeter
cm	= <i>Centimeter</i>

d	= Diameter tabung silinder (mm)
kg	= Kilogram
m	= Meter
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
R ²	= Koefisien korelasi

ABSTRAK

Meningkatnya Pembangunan infrastruktur tentu membuat permintaan material konstruksi juga bertambah, salah satunya agregat halus atau pasir. Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) memperkirakan bahwa pada tahun 2012 dunia kehilangan hampir 30 miliar ton pasir hanya untuk pembuatan beton. Abu batu dapat digunakan sebagai pengganti pasir, namun penggunaan abu batu dalam skala besar pada suatu beton mengakibatkan turunnya nilai kuat tekan beton, turunnya *workability*, serta meningkatkan tingkat absorpsi beton tersebut. Bahan tambah (*admixture*) *water reducing superplasticizer* Sika *Viscocrete* – 1003 adalah bahan tambah yang meningkatkan *workability*, kuat tekan, serta dapat memecah partikel semen agar terselimuti lebih baik pada material yang tercampur pada beton sehingga tingkat absorpsi menurun. Penelitian ini menggunakan bahan tambah Sika *Viscocrete* – 1003 dengan kadar 0,3%, 0,4%, dan 0,5% dari berat semen terhadap beton dengan abu batu sejumlah 100% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan, *workability*, serta tingkat absorpsi pada tiap variasi beton tanpa abu batu dan beton abu batu. Perencanaan campuran beton sesuai dengan kaidah dalam SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 30 MPa.

Data hasil penelitian menyatakan bahwa penambahan *superplasticizer* Sika *Viscocrete* – 1003 sejumlah 0,5% mampu meningkatkan kuat tekan, *workability*, dan menurunkan tingkat absorpsi sampai pada nilai kuat tekan, *workability*, serta absorpsi beton tanpa abu batu. Hasil pengujian *slump* menunjukkan nilai 15 cm, selisih 7 cm dengan beton tanpa abu batu dan tanpa *superplasticizer*. Pengujian kuat tekan menyatakan nilai 32,73 MPa untuk beton abu batu dengan *superplasticizer*, nilai ini meningkat 8,485% dari beton tanpa abu batu dan *superplasticizer*. Sementara pengujian absorpsi didapat nilai absorpsi sebesar 5,33% atau menurun sebesar 7,945% terhadap beton tanpa abu batu dan *superplasticizer*.

Kata kunci: Beton, Abu Batu, Sika *Viscocrete* – 1003, Kuat tekan, Absorpsi

ABSTRACT

The escalating development of infrastructure inevitably leads to an increased demand for construction materials, notably fine aggregates such as sand. According to the United Nations Environment Programme (UNEP), nearly 30 billion tons of sand were estimated to have been lost solely for concrete production in 2012. While stone dust can serve as a substitute for sand, its extensive use on a large scale in concrete results in a reduction in concrete compressive strength, decreased workability, and an elevation in the concrete's absorption levels. The addition of the water-reducing superplasticizer, Sika Viscocrete – 1003, is an admixture that enhances workability, compressive strength, and aids in better coating cement particles within the mixed concrete, subsequently reducing absorption levels. This study employed Sika Viscocrete – 1003 at concentrations of 0.3%, 0.4%, and 0.5% by weight of cement in concrete containing 100% stone dust as the fine aggregate. Testing was conducted to evaluate compressive strength, workability, and absorption rates for various concrete mix variations, both with and without stone dust, in accordance with the specifications outlined in SNI 2834-2000, aiming for a planned strength of 30 MPa.

Research data states that the addition of 0.5% Sika Viscocrete – 1003 significantly improves compressive strength, workability, and decreases absorption levels to match those of concrete without stone dust. Slump test results exhibited a value of 15 cm, a notable 7 cm improvement compared to concrete without stone dust and devoid of the superplasticizer. Compressive strength testing showed a remarkable value of 32.73 MPa for stone dust concrete with superplasticizer, marking an impressive 8.485% increase compared to concrete without stone dust and the superplasticizer. Additionally, absorption testing indicated an absorption rate of 5.33%, representing a substantial 7.945% decrease compared to concrete without stone dust and the superplasticizer.

Keywords: *Concrete, Stone ash, Sika viscocrete – 1003, Compressive strength, Absorbtion*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur merupakan segala bentuk fasilitas dalam wujud fasilitas teknik, perangkat keras, dan sistem yang dapat bermanfaat bagi masyarakat serta menyokong pertumbuhan ekonomi dan sosial masyarakat agar dapat berjalan dengan baik (Peraturan Menteri Keuangan, 2020). Berkembangnya infrastruktur dalam suatu cakupan wilayah dapat meningkatkan taraf ekonomi masyarakat, hal ini menjadi latar belakang dalam penentuan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara Indonesia (APBN). Pada Tahun Anggaran (TA) 2023 alokasi anggaran yang diberikan untuk kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) adalah sebesar Rp125,18 triliun. Jumlah ini lebih besar dibandingkan anggaran yang didapat pada tahun 2022 yaitu senilai Rp116,37 triliun. Peningkatan jumlah anggaran ini dikarenakan pada TA 2023 ini pembangunan infrastruktur menjadi salah satu fokus APBN 2023 (Kementerian Keuangan, 2022). Jumlah proyek yang ditargetkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) pada TA 2023 yaitu 14 proyek Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU) senilai Rp73,93 triliun dalam tahap penyiapan dan 17 proyek KPBU senilai 138,41 triliun dalam tahap transaksi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023).

Meningkatnya APBN dalam pembangunan infrastruktur tentunya merupakan hal yang baik bagi keberlangsungan ekonomi di Indonesia. Tetapi, dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur tentu meningkatkan jumlah permintaan salah satu material konstruksi yaitu agregat halus atau pasir. Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) memperkirakan bahwa pada tahun 2012 dunia kehilangan hampir 30 miliar ton pasir hanya untuk pembuatan beton (*National Geographic*, 2017).

Material konstruksi yang masif digunakan di Indonesia adalah beton. Beton merupakan material yang didapat dari campuran agregat (pasir dan batu pecah / *split* (*crushed stone*)) yang terikat oleh bahan semen (Lie, 2018).

Bahan penyusun beton yang memiliki peranan penting salah satunya ialah agregat. Agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis (SNI 2847:2019). Agregat terbagi atas dua tipe yakni agregat halus dan agregat kasar. Agregat memiliki fungsi sebagai material pengisi campuran beton yang direkatkan semen melalui reaksi hidrasi oleh air, agregat akan mengisi 70-80% dari keseluruhan volume beton dan material ini merupakan hasil pemecahan alami batuan atau batu pecah dari suatu industry (SNI 1969:2016). Dikarenakan permintaan akan pembuatan beton untuk proyek konstruksi terus meningkat maka eksistensi material yang berasal dari alam ini ketersediaannya terbatas. Maka dari itu, perlu adanya solusi untuk menggantikan agregat dari alam demi keberlangsungannya pembangunan infrastruktur yang menggunakan bahan konstruksi dari beton.

Berdasarkan uraian di atas, penulis bermaksud memanfaatkan limbah tambah yaitu limbah *quarry* yang berupa abu batu untuk digunakan sebagai material pengganti agregat halus pada adonan beton. Prakash et al (2017) menyatakan bahwa limbah *quarry* berupa abu batu dapat digunakan sebagai pengganti pasir, beberapa industri pemecah batu sudah menjadikan limbah ini sebagai salah satu barang dagangnya namun belum dalam skala besar dikarenakan masih sedikit minat penggunaannya akibat penggunaan abu batu dalam skala besar dapat menurunkan kualitas beton. Didasari pada penelitian yang dilakukan oleh Utary (2019), penggunaan abu batu sebagai agregat halus dengan jumlah tinggi menurunkan kuat tekan pada beton. Kuat tekan beton yang divariasikan campurannya pada nilai 25% mendapat nilai 20,58 MPa, namun pada penggunaan 100% abu batu didapat nilai kuat tekan beton yaitu 13,28 MPa. Penggunaan abu batu sebagai pengganti agregat halus juga menurunkan *workability* dan tingkat penyerapan air pada abu batu tergolong lebih tinggi dibandingkan pasir.

Admixture merupakan bahan tambah yang digunakan pada proses pencampuran beton yang memiliki tujuan agar memperbaiki sifat-sifat beton. *Water reducer* dan *superplasticizer* merupakan salah satu *admixture* dengan peran untuk mengurangi kebutuhan air namun tetap memberi kelecakan (*workability*) yang baik dikarenakan *superplasticizer* tersusun atas asam sulfonat yang berfungsi menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar (Nji, 2003). Penambahan *admixture* ini melalui beberapa penelitian dapat memberikan pengaruh lain yaitu meningkatkan kuat tekan pada beton.

Meninjau berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pradhipta (2022), pemakaian *admixture superplasticizer* dengan merek sika *viscocrete* – 3115 N dapat meningkatkan kuat tekan. Peningkatan ini cukup signifikan pada beton umur 28 hari. Pada kadar variasi penggunaan *superplasticizer* 0% didapatkan nilai kuat tekan beton untuk rentang penggunaan abu batu sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% secara berturut-turut ialah 29,38 MPa; 30,42 MPa; 31,15 MPa; dan 30,78 MPa. Sedangkan pada penggunaan *superplasticizer* 0,4% berhasil didapatkan nilai kuat tekan beton dengan persentase pemakaian abu batu sebesar 0%, 10%, 20% dan 30% secara berturut-turut adalah 30,25 MPa; 31,00 MPa; 33,52 MPa; dan 32,55 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *admixture* tipe *superplasticizer* selain dapat meningkatkan *workability* dan penyerapan air beton, namun juga meningkatkan nilai kuat tekan pada penggunaan *superplasticizer* kadar 0,4%.

Sesuai apa yang telah diuraikan diatas, dapat diraih konklusi bahwa penggunaan abu batu sebagai substitusi agregat halus dalam beton memiliki dampak menurunnya kuat tekan beton serta tingginya tingkat absorpsi. Bahan tambah *superplasticizer* dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton serta menurunkan tingkat absorpsi dengan lebih menyebarnya partikel pada semen untuk menyelimuti bahan penyusun beton. Maka dari itu, penulis memiliki maksud untuk menguji penggunaan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, *workability*, dan absorpsi pada beton dengan agregat halus berupa abu batu dengan abu batu sebagai variabel tetap serta *superplasticizer* sebagai variabel yang divariasikan.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan yang sudah dijelaskan pada latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana *workability*, absorpsi, dan kuat tekan beton yang menggunakan abu batu sebagai agregat halus dan ditambahkan dengan *superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003?
2. Berapa persentase optimum penggunaan *admixture superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003 dalam beton untuk mendapatkan *workability* yang baik, absorpsi yang rendah, serta kuat tekan yang tinggi pada beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh hasil pengujian *workability*, absorpsi, dan kuat tekan pada beton yang menggunakan abu batu sebagai agregat halus dan ditambahkan dengan *superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003.
2. Memperoleh persentase optimum penggunaan *admixture superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003 dalam beton untuk mendapatkan *workability* yang baik, absorpsi yang rendah, serta kuat tekan yang tinggi pada beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, dapat diperoleh manfaat diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi berupa informasi pemakaian *admixture superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003 pada beton dapat menjadi solusi permasalahan beton yang menggunakan agregat halus berupa abu batu.
2. Menjadi penyelesaian terhadap permasalahan krisis eksistensi pasir dalam skala masif pada proyek konstruksi dengan menggantikannya menggunakan agregat halus berupa abu batu.

1.5 Batasan Penelitian

Tercapainya tujuan penelitian memerlukan beberapa batasan agar tidak menyimpang dari apa yang ditujukan serta terwujudnya manfaat dalam penelitian ini. Batasan dalam pelaksanaan studi ini diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan kuat tekan beton (f'_c) senilai 30 MPa.
2. Pembuatan rencana campuran beton mengacu pada SNI 2834-2000.
3. Bahan pengganti agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.
4. Persentase abu batu yang dipakai adalah 0% dan 100% sebagai pengganti agregat halus yaitu pasir.
5. *Admixture* yang digunakan adalah *superplasticizer* merek sika *viscocrete* – 1003 dengan variasi 0%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5% terhadap berat semen.
6. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *Portland Composite Cement* (PCC) dengan merek dagang Tiga Roda.
7. Penggunaan agregat halus yang diambil dari merapi, dan agregat kasar yang digunakan bersumber dari clereng dengan air yang digunakan dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
8. Limbah abu batu yang dipakai dalam penelitian ini berasal dari merapi.
9. Tidak dilaksanakan penelitian tentang kandungan bahan kimia pada *admixture superplasticizer* sika *viscocrete* – 1003.
10. Besar butiran maksimum pada agregat kasar adalah 20 mm.
11. Ukuran benda uji yang digunakan terdiri dari silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta kubus dengan sisi sepanjang 15 cm.
12. Umur benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah berumur 28 hari.
13. Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 03-1970-1990.
 - b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 03-1969-1990.

- c. Pengujian analisa saringan agregat halus mengacu pada SNI 03-1968-1990.
- d. Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 03-1968-1990.
- e. Pengujian berat isi gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 03-4804-1998.
- f. Pengujian berat isi gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 03-4804-1998.
- g. Pengujian lolos saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir) mengacu pada SNI 03-4142-1996.
- h. Pengujian slump beton mengacu pada SNI 1972-2008.
- i. Pengujian berat volume beton mengacu pada SNI 1983-2008.
- j. Pengujian kuat desak silinder beton mengacu pada SNI 03-1974-1990.
- k. Pengujian absorpsi pada beton segar mengacu pada SNI 6433:2016.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Tinjauan Umum

Material bangunan pada proyek konstruksi paling marak digunakan di Indonesia ialah beton. Terbentuknya beton merupakan hasil pencampuran agregat (pasir dan batu pecah/*split (crushed stone)*) yang direkatkan oleh semen. Bila bereaksi dengan air, semen dapat berubah wujud menjadi pasta yang akan mengeras (Han Ay Lie, et al., 2018). Beton adalah batuan rekayasa yang disatukan dengan pengikat berupa semen, sifat fisik beton dipengaruhi berdasarkan material pembuatnya. Tidak hanya itu, beton bisa dibedakan menurut massa jenisnya dan kuat tekannya.

Mengacu pada SNI 2834 (2000) definisi dari beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Pasir yang berasal dari alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,00 mm merupakan agregat halus yang digunakan dalam campuran beton. Kerikil digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran beton, dan dapat ditemukan dalam dua bentuk: sebagai hasil alami dari disintegrasi batu atau sebagai batu pecah yang dihasilkan dari industri pemecah batu, dengan ukuran butir berkisar antara 5 mm hingga 40 mm. Dalam proses *mixing* atau pencampuran beton, kadar air dalam pencampuran beton agar tercapainya konsistensi tertentu, namun tidak termasuk air yang diserap oleh agregat diatur sebagai kadar air bebas. Dalam proses perencanaan *mix design* beton terdapat faktor utama yang perlu diperhatikan yaitu faktor air semen. Faktor air semen (FAS) merupakan angka perbandingan antara berat air bebas dan berat semen dalam beton. Sesuai dengan definisinya, bahan tambah (*admixture*) yang dapat digunakan dalam beton salah satunya adalah tipe *superplasticizer*. Penggunaan *admixture* sika *viscocrete* selain meningkatkan

keleccakan pada beton, jenis *superplasticizer* ini dapat meningkatkan kuat tekan beton (Muhammad Ulul Azmi, 2020).

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu penulis gunakan sebagai acuan referensi dalam proses pelaksanaan penelitian ini sebagai penunjang ketepatan penulis dalam membuat, melaksanakan, dan menyelesaikan penelitian yang penulis laksanakan. Penelitian terdahulu yang penulis gunakan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *A Study on the Suitability of Quarry Stone Dust as Sand Replacing Material in Concrete Production Around Jimma Town for Sustainable Construction.* Penelitian ini dilakukan oleh Moges G. Yalew, mahasiswa Magister Teknik Sipil, Jimma University pada tahun 2019. Penelitian yang dilakukan memiliki tujuan untuk mengetahui material abu batu dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dengan *admixture* tipe *superplasticizer*. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan dimensi 150 mm x 150 mm x 150 mm berjumlah 63 buah. Variasi penggunaan abu batu berada pada jumlah 0%, 15%, 25%, 35%, 45%, dan 50% sebagai substitusi parsial pada pasir. Umur benda uji divariasikan kedalam tiga variasi, yaitu 7, 14, dan 28 hari. Penggunaan *admixture* sejumlah 5% dari berat semen. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan kuat tekan beton pada kadar abu batu 15% merupakan yang paling optimal yaitu 17,69 MPa pada umur benda uji 7 hari, 22,52 MPa pada umur benda uji 14 hari, dan 25,84 MPa pada umur benda uji 28 hari. Pada persentase penggunaan abu batu 25% dan 35% penurunan tidak begitu signifikan, namun pada penggunaan abu batu pada persentase 45% dan 50% terdapat penurunan yang cukup kontras.
2. *The effect of variations in stone ash on the compressive strength of concrete.* Penelitian ini dilakukan pada tahun 2019 oleh C Utary, M Akbar, dan Y Kakerissa, mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Musamus, Merauke, Indonesia. Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mencari alternatif dari penggunaan pasir sebagai agregat halus menggunakan abu batu serta mengetahui seberapa besar nilai kuat tekan dari

beton normal dengan beton yang menggunakan substitusi agregat halus berupa abu batu. Variasi abu batu yang digunakan ialah dengan persentase 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Umur benda uji terbagi atas 3 (tiga) hari, 7 (tujuh) hari, 14 hari, dan 28 hari. Proses perencanaan campuran hingga pelaksanaan pengecoran berdasarkan SNI 03-2834-2000. Bentuk benda uji yang digunakan ialah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Total jumlah benda uji yang digunakan adalah 60 sampel benda uji, digunakan benda uji sejumlah 3 silinder berdasarkan SNI 2493:2011. Hasil pengujian kuat tekan paling tinggi didapatkan nilai 35,99 MPa pada beton normal, sedangkan pada penggunaan 25% abu batu didapatkan kuat tekan senilai 21,58 MPa, penggunaan abu batu 50% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 20,10 MPa, persentase abu batu 75% pada beton mendapatkan nilai kuat tekan 16,62 MPa, pada penggunaan abu batu penuh (100%) didapatkan nilai kuat tekan sebesar 16,64 MPa dengan penurunan sebesar 19,35% dibanding pada kuat tekan beton normal.

3. *Sustainable development: Using Stone dust to replace a part of sand in concrete mixture.*

Gidion Turuallo, Harun Mallisa, dan Nicodemus Rupang selaku peneliti yang melaksanakan penelitian ini pada tahun 2020 merupakan mahasiswa Universitas Tadulaku Palu. Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak penggunaan abu batu sebagai bahan ganti agregat halus yaitu pasir dengan penambahan *admixturer* berupa *superplasticizer* pada rentang 1 – 1,5%. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus dengan dimensi 150 mm X 150 mm X 150 mm. Jenis penggunaan abu batu terbagi atas 7 tipe, yaitu 0%, 20%, 40%, 60%, 70%, 80%, dan 100%. Umur benda uji terbagi atas 6 hari, yaitu 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari, dan 56 hari. Penelitian ini terlaksana dengan 2 tipe beton, yaitu *Normal Strength Concrete (NSC)* dan *High Strength Concrete (HSC)*. Baik pada beton tipe NSC maupun HSC didapatkan nilai optimum berada pada beton menggunakan kadar abu batu 60%, secara berturut-turut nilai kuat tekannya ialah 38,756 MPa dan 72,489 MPa meningkat 10,73%

dan 4,65% dibanding dengan beton normal yang menggunakan 100% pasir. Penggunaan abu batu diatas 60% menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada beton dibanding beton normal.

4. Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus terhadap Karakteristik Beton pada Mutu 30 MPa.

Pada tahun 2022, Raditya Pradhitya, seorang mahasiswa dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, melaksanakan penelitian dengan tujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan limbah industri pemecahan batu dalam bentuk abu batu. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton mengikuti standar beton normal SNI 03-2834-2000 dengan target kuat tekan 30 MPa. Untuk meningkatkan performa beton, digunakan *admixture* berupa *superplasticizer* Sika *Viscocrete* - 3115N dengan proporsi 0,4% dari berat semen. Variasi penggunaan abu batu dalam campuran beton mencakup persentase 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap berat pasir. Berbagai pengujian dilakukan, termasuk pengukuran kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, dan berat volume beton. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta balok dengan dimensi 60 cm x 15 cm x 15 cm. Jumlah total benda uji sebanyak 72 buah, dan semua benda uji diuji pada usia 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran beton dengan abu batu sebanyak 20% dan penggunaan Sika *Viscocrete* - 3115N sebanyak 0,4% menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 33,52 MPa, serta kuat lentur sebesar 3,90 MPa. Penyerapan air paling tinggi terjadi pada campuran dengan persentase abu batu 30%, mencapai nilai 2,13%. Selain itu, berat volume beton mengalami penurunan karena berat jenis abu batu yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat halus berupa pasir. Dengan demikian, penelitian ini mencapai hasil yang menunjukkan potensi penggunaan abu batu dalam campuran beton, dengan fokus pada parameter kuat tekan, kuat lentur, penyerapan air, dan berat volume beton.

Mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilaksanakan di atas, penulis melaksanakan penelitian yang berbeda dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang

akan dilakukan oleh penulis adalah dengan menambahkan *admixture* berupa *superplasticizer* Sika *Viscocrete* – 1003 dengan kadar 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% pada campuran beton dengan agregat limbah abu batu yang menggunakan variasi abu batu 0% dan 100%. Nilai mutu beton yang direncanakan adalah 30 MPa. Pelaksanaan pengujian yang dilakukan memiliki tujuan untuk mencari nilai kuat tekan pada beton yang memiliki umur rencana 28 hari, *workability* paling optimum, dan absorpsi beton paling rendah. Benda uji yang digunakan merupakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta kubus dengan dimensi $15 \times 15 \times 15$ cm. Berdasarkan penelitian terdahulu variasi yang digunakan ialah memvariasikan abu batunya serta jenis *superplasticizer* yang digunakan adalah sika *viscocrete* - 3115N dan mayoritas hanya melakukan pengujian kuat tekannya saja. Berdasarkan penjelasan tersebut, keaslian dari penelitian yang dijalankan dapat dijamin dan ditegaskan.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Penulis Lakukan

Peneliti	Moges G. Yalew (2019)	C Utary dkk (2019)	Gidion T dkk (2020)	Pradhipta (2022)	Penulis (2023)
Judul Penelitian	A Study on the Suitability of Quarry Stone Dust as Sand Replacing Material in Concrete Production Around Jimma Town for Sustainable Construction	The effect of variations in stone ash on the compressive strength of concrete	Sustainable development: Using stone dust to replace a part of sand in concrete mixture	Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus terhadap Karakteristik Beton pada Mutu 30 MPa	Pengaruh Abu Batu Sebagai Pengganti Agregat Halus dan Penambahan <i>Superplasticizer</i> Terhadap <i>Workability</i> , Absorpsi, dan Kuat Tekan Beton
Tujuan Penelitian	Meneliti kecocokan limbah <i>quarry</i> abu batu sebagai pengganti pasir dalam material produksi beton disekitar kota Jimma	Mengetahui seberapa kuat nilai kuat tekan beton dengan abu batu dibanding beton normal serta bisakah abu batu digunakan sebagai agregat halus	Mencari persentase maksimum dari pemanfaatan limbah <i>quarry</i> abu batu pada PT Mega Beton Jaya untuk nilai kuat tekan dan <i>workability</i> pada beton yang terbaik	Mengetahui pengaruh abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus menggunakan <i>superplasticizer</i> terhadap karakteristik beton dan mengetahui persentase optimal penggunaan abu batu	Mengetahui pengaruh pemakaian abu batu sebagai pengganti agregat halus dan penambahan <i>superplasticizer</i> yang optimum terhadap <i>workability</i> , absorpsi, dan kuat tekan beton
Mutu Rencana	25 MPa	35 MPa	35 dan 70 MPa	30 MPa	30 MPa
Kadar <i>Superplasticizer</i>	<1%	-	1 – 1,5%	0,4%	0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%
Persentase Abu Batu	0%, 15%, 25%, 35%, 45%, dan 50%	0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	0%, 20%, 40%, 60%, 70%, 80%, dan 100%	0%, 10%, 20%, dan 30%	0% dan 100%
Macam Pengujian	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, berat volume beton, dan kuat lentur	Kuat tekan, absorpsi, dan <i>workability</i>
Benda Uji	Kubus 150 X 150 X 150 mm	Silinder 15 x 30 cm	Kubus 150 x 150 x 150 mm	Silinder 15 x 30 cm dan Balok 60 x 15 x 15 cm	Silinder 15 x 30 cm dan kubus 15 × 15 × 15 cm

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Penulis Lakukan

Peneliti	Moges G. Yalew (2019)	C Utary dkk (2019)	Gidion T dkk (2020)	Pradhipta (2022)	Penulis (2023)
Umur Benda Uji	7, 14, dan 28 hari	3, 7, 14, dan 28 hari	3, 7, 14, 21, 28, dan 56 hari	28 hari	28 hari
Hasil Pengujian	Kuat tekan beton pada kadar abu batu 15% merupakan yang paling optimal yaitu 17,69 MPa pada umur benda uji 7 hari, 22,52 MPa pada umur benda uji 14 hari, dan 25,84 MPa pada umur benda uji 28 hari. Pada persentase penggunaan abu batu 25% dan 35% penurunan tidak begitu signifikan, namun pada penggunaan abu batu pada persentase 45% dan 50% terdapat penurunan yang cukup kontras.	Hasil pengujian kuat tekan paling tinggi didapatkan nilai 35,99 MPa pada beton normal, sedangkan pada penggunaan 25% abu batu didapatkan kuat tekan senilai 21,58 MPa, penggunaan abu batu 50% didapatkan nilai kuat tekan sebesar 20,10 MPa, persentase abu batu 75% pada beton mendapatkan nilai kuat tekan 16,62 MPa, pada penggunaan abu batu penuh (100%) didapatkan nilai kuat tekan sebesar 16,64 MPa dengan penurunan sebesar 19,35% dibanding pada kuat tekan beton normal	Baik pada beton tipe NSC maupun HSC didapatkan nilai optimum berada pada beton menggunakan kadar abu batu 60%, secara berturut-turut nilai kuat tekannya ialah 38,756 MPa dan 72,489 MPa meningkat 10,73% dan 4,65% dibanding dengan beton normal yang menggunakan 100% pasir. Penggunaan abu batu diatas 60% menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada beton dibanding beton normal	Didapat nilai kuat tekan tertinggi dimiliki dengan abu batu sebesar 20% dan penggunaan sika <i>viscocrete</i> 3115N sebesar 0,4% dengan nilai 33,52 MPa dan kuat lentur sebesar 3,90 MPa. Pengujian penyerapan air pada persentase abu batu 30% memiliki nilai penyerapan tertinggi sebesar 2,13%. Namun, pada berat volume didapati hasil nilai berat volume beton menurun dikarenakan berat jenis abu batu lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus yang berupa pasir.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah massa padat yang terbentuk dengan menggabungkan semen Portland atau semen hidraulis lainnya dengan agregat halus, agregat kasar, dan air, baik dengan atau tanpa tambahan bahan. Agregat halus yang digunakan dalam beton terdiri dari pasir, yang dapat berasal dari disintegrasi alami batuan atau diproduksi oleh industri pemecah batu, dengan ukuran butir terbesar tidak lebih dari 5,00 mm. Di sisi lain, agregat kasar dalam beton biasanya berupa kerikil, yang terjadi secara alami melalui disintegrasi batuan atau diperoleh sebagai batu pecah dari industri pemecah batu, dengan ukuran butir berkisar dari 5 mm hingga 40 mm, sesuai dengan standar SNI 2834-2000. Beton, yang diklasifikasikan sebagai bahan komposit, terdiri dari tiga komponen utama: agregat, mortar, dan daerah antarmuka antara agregat dan mortar. Ketiga komponen ini bersama-sama memengaruhi kualitas beton yang dihasilkan.

Peninjaunan yang mengacu pada Han Ay Lie (2018), *normal weight concrete* mempunyai massa jenis (γ) = $\pm 2400 \text{ kg/m}^3$. Kelebihan penggunaan beton diantaranya adalah:

1. Ketahanan terhadap air.
2. Mudah dibuat dan dibentuk.
3. Murah, mudah, dan menyerap tenaga.
4. Hampir tidak memerlukan perawatan.
5. Tahan terhadap temperatur tinggi

Beton yang memiliki kelebihan seperti yang dapat dilihat diatas dapat dibedakan bila didasari pada kekuatan tekannya. Beton dibedakan dalam tiga jenis, yaitu:

1. Beton dengan mutu rendah memiliki kuat tekan (f'_c) $< 20 \text{ MPa}$.
2. Beton normal (beton biasa) memiliki kuat tekan (f'_c) 20 s/d 40 Mpa.
3. Beton mutu tinggi memiliki kuat tekan (f'_c) $> 40 \text{ Mpa}$.

3.2 Material Penyusun Beton

Terdiri dari beberapa bahan penyusun, reaksi dalam proses pembuatan beton yang membentuk massa padat dengan menggunakan semen Portland, agregat halus, agregat kasar, dan air, tentu memiliki peranan khusus dalam mendukung kinerja beton. Seiring perkembangan teknologi di bidang konstruksi, beberapa bahan tambahan (admixture) telah muncul untuk dapat dimasukkan ke dalam campuran beton guna mencapai tujuan tertentu dengan lebih mudah. Seperti yang disebutkan sebelumnya, peran setiap bahan penyusun beton memiliki dampak langsung pada kualitas beton itu sendiri.

3.2.1 Agregat

Menurut Antoni dan Nugraha P (2007), agregat memainkan peran penting dalam menentukan kualitas beton, mengisi sekitar 70-75% dari volume total beton. Meskipun pada dasarnya berperan sebagai bahan pengisi dalam komposisi beton, agregat memiliki signifikansi besar karena kuantitasnya yang cukup besar. Karakteristik intrinsik agregat memiliki dampak yang nyata terhadap kualitas akhir beton, baik dalam bentuk cair maupun setelah beton mengeras. Pengaruh dari sifat agregat ini dapat ditemukan dalam Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Pengaruh Sifat Agregat Terhadap Sifat Beton

Sifat Agregat	Pengaruh	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, dan gradasi	Beton cair	Kelecekan pengikatan serta pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, dan mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, dan ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber: Antoni dan Nugraha P (2007)

Agregat terdiri dari dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar, yang merupakan komponen-komponen penting dalam sebuah campuran beton. Penjelasan mengenai kedua jenis agregat tersebut akan diuraikan sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Mengacu pada SNI 1970, 2016. Agregat halus adalah pasir alam hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu serta memiliki ukuran butir terbesar 4,75 mm atau saringan no 4.

Terdapat persyaratan agregat halus mengacu pada ASTM C33 (2003) untuk campuran beton, yaitu sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir berada pada rentang 2,3 – 3,1.
- b. Kadar lumpur atau butiran yang lebih kecil dari 0,074 mm atau No. 200 dalam persen berat maksimum merupakan sebesar 3,0% pada beton yang mengalami abrasi dan 5% untuk beton jenis lainnya.
- c. Kandungan gumpalan tanah liat atau partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
- d. Kadar arang atau lignit pada beton ekspose maksimum 0,5% dan beton jenis lainnya maksimum 1,0%.
- e. Kandungan zat organik yang ditentukan dengan melakukan pencampuran agregat halus menggunakan larutan Natrium Sulfat (NaSO_4) sebanyak 3%, tidak menimbulkan warna yang lebih tua daripada warna standar. Ketika warnanya lebih tua, maka agregat halus tidak diperbolehkan untuk digunakan kecuali sebagai berikut.
 - 1) Munculnya warna tersebut karena mengandung sedikit arang lignit atau sejenisnya.
 - 2) Saat dilaksanakan pengujian kuat tekan beton sesuai ASTM C.87 yang diciptakan menggunakan pasir standar silika hasilnya menunjukkan nilai lebih besar dari 95%.
- f. Apabila digunakan pada beton yang berhubungan dengan basah serta lembab, maka agregat tidak diperkenankan bersifat reaktif terhadap alkali. Tidak hanya hal tersebut, penggunaan agregat tidak boleh berhubungan dengan bahan yang memiliki sifat reaktif dengan unsur alkali semen, sehingga penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- g. Kekekalan jika diuji menggunakan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum adalah 10% dan jika dengan magnesium sulfat adalah 15%.
- h. Susunan gradasi wajib memenuhi syarat yang tertera pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)		Berat Benda Uji (gram)		
Lewat	Tertinggal	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C
38,10	25,40	1250		
25,40	19,05	1250		
19,05	12,70	1250	1250	
12,70	9,51	1250	1250	
9,51	6,35			1250
6,35	4,75			1250

Sumber: ASTM C-33 (2003)

2. Agregat Kasar

Menurut panduan yang diberikan oleh ASTM C-33, ada sejumlah persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat kasar dalam campuran beton.

- a. Apabila agregat digunakan pada beton yang memiliki hubungan dengan basah serta lembab maka agregat kasar tidak diperbolehkan mengandung bahan yang memiliki sifat reaktif dengan alkali semen dalam jumlah yang berakibat pada ekspansi mortar atau beton, kecuali bahan tersebut tersedia dalam jumlah yang merugikan, agregat kasar diperbolehkan apabila digunakan pada semen dengan kandungan alkali kurang dari 0,60%, jika terdapat persyaratan yang memuaskan, evaluasi, atau dengan penambahan yang dapat mencegah pemuaian yang berbahaya akibat reaksi alkali agregat.
- b. Susunan gradasi agregat kasar wajib mengacu pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

Gambar 3.1 Syarat Susunan Gradasi Agregat Kasar
(Sumber: ASTM C-33, 2003)

- c. Agregat kasar wajib harus memenuhi persyaratan batas ijin partikel yang berdampak buruk terhadap beton dan sifat fisika yang diijinkan.

3. Abu Batu

Abu batu merupakan material alam yang terbuat dari olahan batu split, material limbah ini dapat lolos ayakan diameter 4,75 mm dan tertahan pada ayakan 0,075 mm. Abu batu memiliki kandungan silika, alumina serta mengandung senyawa alkali, besi, dan kapur walau dalam kadar rendah (Raswitaningrum et al, 2019). Abu Batu memiliki kandungan silika sebesar 80% (Prakash et al, 2017). Sudhakar et al (2021) menyatakan bahwa terdapat abu batu yang memiliki kandungan silika sebesar 50,4%, Hal ini dapat disimpulkan jika memang kandungan silika pada abu batu bergantung pada limbah batuan jenis apa yang dipecahkan.

3.2.2 Semen Portland

Semen berperan penting dalam komposisi beton dengan fungsi utamanya sebagai bahan perekat yang menyatukan butiran-butiran agregat dan mengisi ruang antar mereka. Biasanya, proporsi semen dalam campuran beton berkisar sekitar 10%, dan pasta semen (semen dan air) membentuk sekitar 25%-40% dari total massa beton. Terdapat dua kategori utama semen, yaitu semen non-hidrolik dan semen hidrolik. Semen non-hidrolik adalah jenis semen yang tidak mampu mengeras dalam air, tetapi bisa mengeras di udara. Di sisi lain, semen hidrolik adalah jenis semen yang memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras dalam air.

Semen Portland merupakan salah satu jenis semen hidrolik. Pembuatan semen ini melibatkan proses penggilingan klinker yang mengandung kalsium silikat hidrolik, sehingga biasanya mencakup satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama dengan komponen utamanya (ASTM C-150, 1985). Karena kemampuannya yang serbaguna, semen Portland sering digunakan dalam proyek-proyek konstruksi.

Mengacu pada SNI-15-2049 (2004), semen portland terbagi atas 5 jenis berdasarkan fungsinya, yaitu sebagai berikut.

1. Jenis I

Semen portland jenis I adalah semen *portland* yang penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus.

2. Jenis II

Semen portland jenis II adalah semen portland yang saat digunakan perlu ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Jenis III

Semen portland jenis III adalah semen portland yang penggunaannya perlu kekuatan tinggi pada tahap permulaan sesaat setelah pengikatan terjadi.

4. Jenis IV

Semen portland jenis IV adalah semen portland yang penggunaannya perlu kalor hidrasi rendah.

5. Jenis V

Semen portland jenis V adalah semen portland yang secara fungsionalnya perlu ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Proses pembentukan pasta semen tidak mungkin tanpa keberadaan air. Air memiliki peran krusial dalam campuran beton cair, tidak hanya dalam menginisiasi proses hidrasi semen, tetapi juga dalam mengubahnya menjadi pasta yang membuat campuran beton menjadi mudah untuk diolah (*workable*) (Subakti, 1994).

Air adalah salah satu komponen krusial dalam pembuatan campuran beton karena harganya yang ekonomis dan ketersediaannya yang melimpah. Kandungan air dalam proses ini memainkan peran penting dalam mengatur *workability* (kemudahan pengolahan), kekuatan, tingkat susut, dan daya tahan beton, serta berdampak signifikan pada sifat-sifat tersebut. Salah satu perbandingan yang sangat penting adalah perbandingan antara kandungan air dan semen, karena ini mengatur pembentukan pasta semen yang terjadi melalui reaksi kimia antara semen dan air. Terlalu banyak air dapat menghasilkan banyak gelembung udara setelah proses hidrasi selesai. Di sisi lain, kadar air yang terlalu sedikit dapat menghambat proses hidrasi.

Kebutuhan jumlah air pada campuran beton ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum
Bertolak belakang dengan kebutuhan air, butir agregat yang besar justru membuat kebutuhan air semakin mengecil. Area permukaan agregat yang butuh diselimuti air lebih kecil menjadi penyebabnya.
2. Bentuk butir agregat
Agregat batu pecah lebih memerlukan banyak air dibanding dengan agregat yang berbentuk bulat.
3. Gradasi agregat
Semakin baik gradasi agregat yaitu agregat yang memiliki ukuran butiran beragam serta tersusun dengan padat sehingga rongga udara hampir tidak ada, sehingga air yang dikehendaki pada campuran beton akan menurun untuk kondisi lecak serupa.
4. Kotoran dalam agregat
Kandungan kotoran pada agregat dapat meningkatkan kebutuhan air untuk campuran beton. Kotoran tersebut dapat berwujud seperti lanau, tanah liat, dan lumpur.
Mengacu pada SNI 7974 (2013), terdapat persyaratan dalam penggunaan air pada campuran beton dengan semen hidraulis adalah sebagai berikut.

1. Air pencampur dapat meliputi air sebagai berikut.
 - a. Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau diukur di *batching plant*).
 - b. Es.
 - c. Air yang ditambahkan oleh operator truk.
 - d. Air bebas pada agregat-agregat.
 - e. Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01.
2. Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji.
3. Air campuran antara air yang dapat dikonsumsi dengan yang tidak dapat dikonsumsi atau air yang tidak dapat dikonsumsi atau campuran antara air yang tidak dapat dikonsumsi harus memenuhi persyaratan SNI 7974 (2013) agar dapat dipakai.

3.2.4 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah merujuk pada materi yang dimasukkan ke dalam campuran beton saat proses pencampuran berlangsung. Penggunaan bahan tambah bertujuan untuk mengubah karakteristik beton agar lebih sesuai untuk pekerjaan tertentu atau dapat mengurangi biaya.

Mengacu pada Mulyono T (2004), sebab penggunaan bahan tambah diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Memodifikasi beton segar, mortar, dan *grouting*

Terdapat beberapa bentuk memodifikasi beton segar, mortar, dan *grouting* adalah sebagai berikut.

- a. Menambah sifat kemudahan pekerjaan tanpa menambah kadar air atau mengurangi kebutuhan air dengan sifat pengerjaan yang sama.
- b. Menghambat atau mempercepat proses pengikatan awal dari campuran beton.
- c. Mengurangi atau mencegah penurunan maupun perubahan volume beton.
- d. Mengurangi resiko segregasi.
- e. Mengembangkan serta meningkatkan sifat penetrasi dan pemompaan beton segar.
- f. Mengurangi kehilangan nilai slump.

2. Mengubah sifat dari beton keras, mortar, dan *grouting*

Bentuk dari memodifikasi beton keras, mortar, dan *grouting* sebagaimana yang dimaksud adalah sebagai berikut.

- a. Menghambat atau mengurangi ekolusi panas selama proses perkerasan awal (beton muda).
- b. Mempercepat tahap pengembangan kekuatan beton pada umur muda.
- c. Menambah tingkat nilai kekuatan beton (kuat tekan, kuat lentur, atau kuat geser dari beton).
- d. Menambah keawetan beton atau ketahanan dari gangguan luar termasuk efek dari garam-garam sulfat.
- e. Mengurangi tingkat kapilaritas dari air.

- f. Mengurangi sifat permeabilitas.
- g. Mengontrol pengembangan akibat reaksi dari alkali termasuk alkali yang berasal dari agregat.
- h. Menghasilkan struktur beton yang baik.
- i. Menambah tingkat kekuatan ikatan beton bertulang.
- j. Mengembangkan ketahanan gaya *impact* (berulang) dan ketahanan terhadap abrasi.
- k. Mencegah terjadinya korosi pada baja (*embedded metal*).
- l. Menghasilkan warna tertentu pada beton maupun mortar.

Jenis-jenis bahan tambah pada beton dibagi atas 2, yaitu sebagai berikut.

1. Bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*)

Bahan tambah kimia mampu digolongkan menjadi 7 (tujuh) golongan sesuai yang tertuang pada SNI 2495 (1991), diantaranya sebagai berikut.

a. Tipe A (*Water Reducing Admixtures*)

Water reducing admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.

b. Tipe B (*Retarding Admixtures*)

Retarding admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan untuk menghambat waktu pengikatan beton.

c. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)

Accelerating Admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Water reducing and retarding admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan ganda yaitu mengurangi kadar air pencampur yang dibutuhkan untuk memproduksi beton dengan konsistensi tertentu serta menghambat pengikatan awal.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water Reducing and Accelerating Admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan ganda yaitu mengurangi kadar air pencampur yang dibutuhkan untuk memproduksi beton dengan konsistensi tertentu serta mempercepat pengikatan awal.

f. Tipe F (*Water Reducing High Range Admixtures*)

Water reducing high range admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air pencampur pada skala tinggi agar menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.

g. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Water reducing, High range retarding admixtures adalah jenis *admixture* yang dimanfaatkan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air pencampur pada skala tinggi agar menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih serta untuk menghambat pengikatan awal beton.

2. Bahan tambah mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral (*Additive*) adalah bahan tambah yang digunakan dengan tujuan memperbaiki kinerja beton. *Additive* lebih marak difungsikan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah ini lebih bersifat penyemenan. *Additive* diantaranya adalah pozzolan, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*.

3.3 *Superplasticizer Sika Viscocrete – 1003*

Superplasticizer (high range water reducer admixtures) merupakan bahan tambah (*admixture*) yang melarutkan gumpalan-gumpalan dengan cara melapisi pasta semen sehingga semen dapat menyelimuti agregat dengan merata serta meningkatkan *workability* beton (Rahmayanti, 2019). Dalam campuran beton atau mortar, penambahan bahan tersebut dilakukan sesaat sebelum atau selama proses pengadukan sedang berlangsung (Murdock & Brook, 1999). *Superplasticizer* tersusun atas asam sulfonat yang memiliki fungsi untuk menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang

terikat pada kelompok partikel semen, menghasilkan viskositas/kekentalan adukan pasta semen atau beton segar yang lebih rendah (Lauw Tjun Nji, 2003).

Mengacu pada Subakti (1995) dan Sulistyani (2005), secara umum, terdapat keuntungan dalam menggunakan *superplasticizer* pada campuran beton, keuntungannya adalah sebagai berikut.

1. Dalam pembuatan beton bermutu tinggi, biasanya digunakan nilai fas (*cementitious material content*) rendah, yang dapat mengakibatkan penurunan *workability* pada campuran beton segar. Namun, penggunaan *superplasticizer* dalam campuran beton tersebut memiliki kemampuan untuk meningkatkan *workability* campuran beton segar tersebut.
2. Apabila dibandingkan dengan campuran beton yang memiliki nilai fas dalam kisaran normal, penggunaan *superplasticizer* menghasilkan sifat-sifat yang lebih unggul.
3. Proses hidrasi semen dapat diperlambat dengan menghambat reaksi hidrasi silikat dan aluminat, yang pada gilirannya akan mengakibatkan penundaan dalam *setting time*.

Berlebihnya kadar *superplasticizer* pada suatu campuran beton dapat menghasilkan kelemahan seperti tingkat *flowability* terlalu tinggi sehingga terjadi *slump loss*, tidak ekonomis, dan *setting time* yang tertunda dengan signifikan lalu berujung pada hilangnya kekuatan *final* pada beton.

Penelitian ini memanfaatkan produk *superplasticizer*, Sika *Viscocrete-1003*. PT. Sika Indonesia mengklaim produk ini paling mutakhir diantara *superplasticizer* generasi ke-3 (tiga) yang dimilikinya. Pengurangan kadar air dalam jumlah yang signifikan, bertambah baiknya kemampuan aliran berbarengan juga terhadap optimalnya kohesi, serta meningkatkan karakteristik beton yang memadat secara otomatis merupakan peran atas produk ini. Merujuk pada lembar data produk Sika *Viscocrete-1003*, kadar *superplasticizer* berkisar 0,2% - 0,6% terhadap berat semen bila diperuntukkan pada beton plastis konvensional.

Penggunaan Sika *Viscocrete-1003* memberikan manfaat dengan cara bekerja melalui penyerapan permukaan partikel-partikel semen, menghasilkan

efek-efek separasi sterikal. Beton yang dibuat dengan Sika *Viscocrete* - 1003 menunjukkan karakteristik-karakteristik berikut.

1. Aliran beton yang teramat baik (dibuktikan dengan menurunnya penempatan yang tinggi serta tenaga untuk pemadatan).
2. Kapabilitas *self compact* yang kuat
3. Pengurangan air secara masif (ditinjau melalui kepadatan dan kuat beton).
4. Meminimalisir keretakan dan penyusutan.
5. Meningkatkan ketahanan karbonasi pada beton.
6. Meningkatkan tingkat kekedapan air pada beton.
7. Mengurangi tingkat *bleeding* dan segregasi pada beton.
8. Meningkatkan hasil akhir beton yang lebih baik.

Sika *Viscocrete* - 1003 memiliki kemampuan untuk menghasilkan beton dengan tingkat kelecakan yang tinggi, dan hal ini sangat tergantung pada desain campuran serta kualitas material yang digunakan. Agar mendapatkan manfaat optimal dari pengurangan kadar air yang signifikan yang diberikan oleh Sika *Viscocrete* - 1003, lebih baik penambahannya pada air yang telah ditakar atau langsung pada *mixer* selama pengadukan masih terlaksana. Kondisi basah atau dibawah 60 detik merupakan keadaan yang disarankan saat pengadukan. Lebih dari 2/3 durasi pemaduan saat situasi basah merupakan saat yang tepat untuk air tambahan (diperuntukkan tercapainya konsistensi beton sesuai keinginan), menjauhi berlebihnya air pada paduan beton merupakan tujuan hal tersebut.

3.4 Perencanaan Campuran Beton

Mix design beton dalam penelitian ini disusun dengan mengikuti metode yang sesuai dengan SNI 2834-2000 yang mengatur proses penyusunan rencana campuran beton normal. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan proporsi campuran beton secara sistematis.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan (f'_c) pada umur tertentu.
2. Menghitung nilai deviasi standar.

Nilai deviasi standar yang didapat dari pengalaman selama produksi beton menurut persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Dengan :

s = deviasi standar

x_i = kuat tekan beton yang didapat dari masing masing benda uji

\bar{x} = kuat tekan beton rata-rata menurut rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dengan :

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

- a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.
- c. Paling sedikit terdiri atas 30 hasil uji yang memiliki urutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- d. Bila suatu produksi beton tidak memiliki dua hasil yang memenuhi persyaratan di atas namun hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali berdasar Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Berdasarkan 5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- e. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f_c + 12$ MPa).
3. Menghitung nilai tambah.
 Nilai tambah dihitung berdasarkan persamaan 3.2 sebagai berikut.
- $$M = 1,64 \times S_r \quad (3.2)$$
- Dengan keterangan sebagai berikut.
- M = Nilai tambah
 1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%
 S_r = Deviasi standar rencana
4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}).
 Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut persamaan 3.3 sebagai berikut.
- $$\begin{aligned} f_{cr} &= f_c + M \\ f_{cr} &= f_c + 1,64 S_r \end{aligned} \quad (3.3)$$
- Dengan keterangan sebagai berikut.
- f_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)
 f_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)
 M = Nilai tambah
 S_r = Deviasi standar
5. Menetapkan jenis semen.

6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus.

7. Menentukan faktor air semen.

Faktor air semen ditentukan dengan tahapan sebagai berikut.

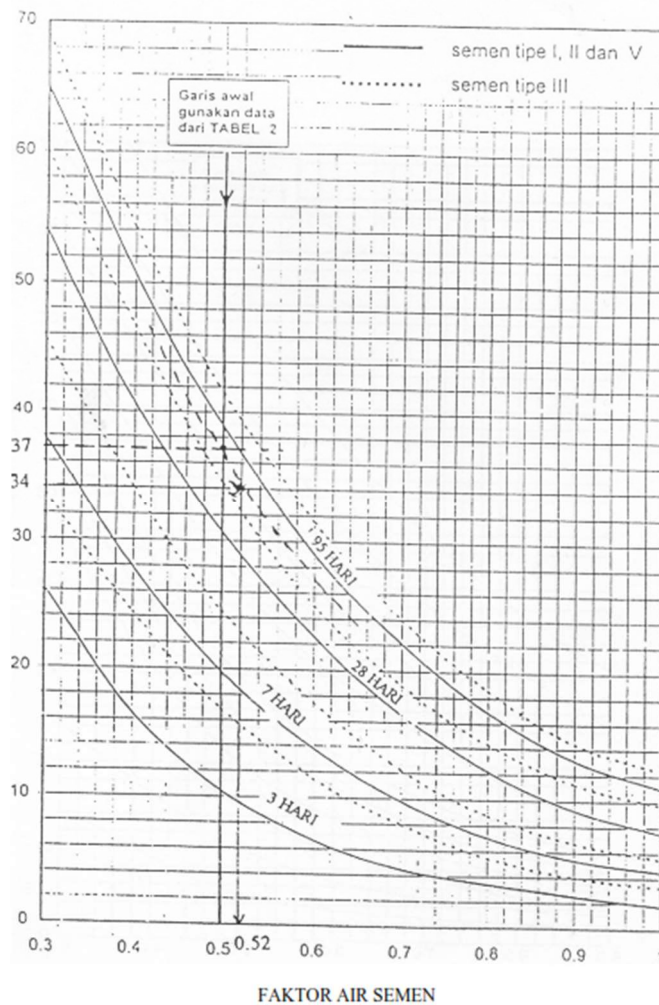
- a. Kuat tekan saat umur 28 hari disahkan melalui jenis semen serta agregat yang diberdayakan, pengesahannya merujuk Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk uji
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- b. Kurva liuk baru dibuat merujuk pada korelasi nilai kuat tekan poin 7a serta faktor air semen 0,5, hal ini dapat dilihat di Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 2834, 2000)

- c. Kurva liuk baru pada poin 7b yang dikoneksikan dengan rencana kuat tekan beton poin 4 merupakan acuan penentuan keperluan faktor air semen .
8. Menetapkan faktor air semen maksimum
Penentuan nilai maksimum faktor air semen dilakukan, dan kemudian diambil nilai terendah antara perhitungan pada poin 7 dan poin 8.
9. Menetapkan slump
10. Menetapkan ukuran agregat maksimum

Ukuran agregat maksimum ditentukan berdasarkan hasil pengujian *properties* agregat

11. Menentukan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas ditentukan menggunakan Tabel 3.5 dan persamaan 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat				
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

$$w = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)

12. Menghitung jumlah semen

Persamaan 3.5 berikut digunakan dalam menghitung keperluan jumlah semen.

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (kg/m^3)

w = Kadar air bebas (kg/m^3)

fas = Faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen semimum mungkin

Penentuan jumlah semen minimum didasarkan pada lokasi yang telah direncanakan untuk beton, sesuai dengan informasi yang tercantum dalam Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

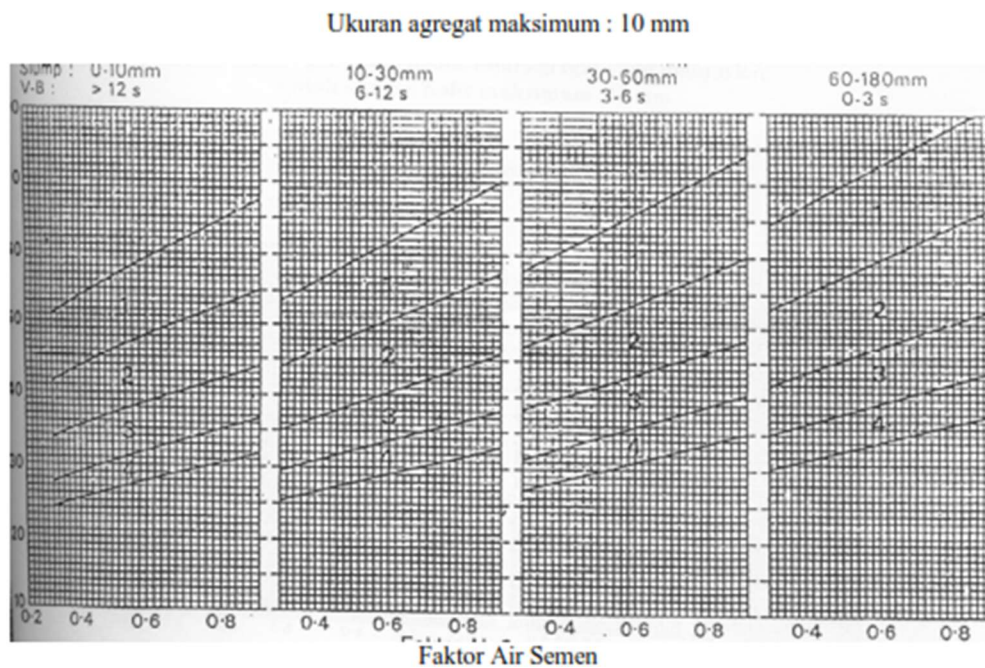
Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

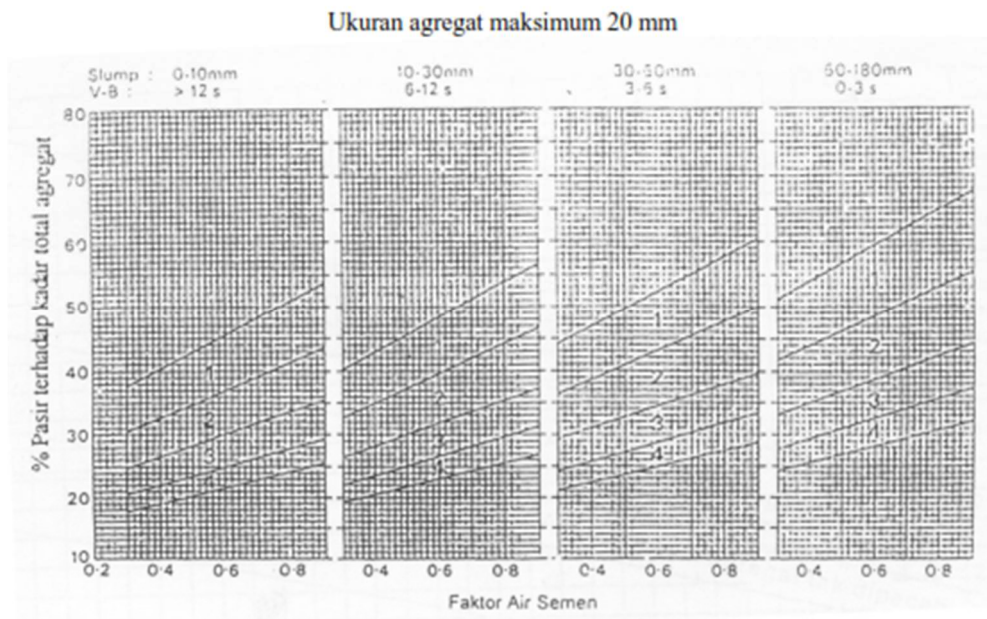
14. Menentukan jumlah semen yang digunakan

Kadar semen yang dipilih berdasarkan hasil tertinggi pada perhitungan kadar semen, kadar semen maksimal (bila tersedia), serta kadar semen paling minim.

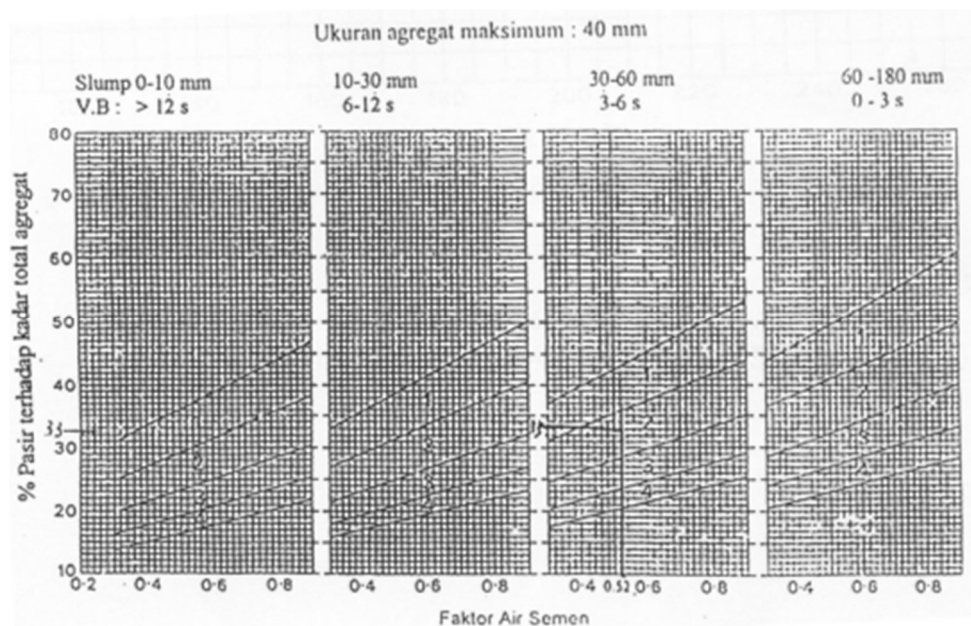
15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan
Penyesuaian faktor air semen diperlukan apabila terdapat perubahan pada kadar semen, diubah menggunakan jumlah semen maksimal maupun kadar semen paling minim, sesuai yang tertera pada poin 12.
16. Menentukan susunan butir agregat halus
Pola butir agregat halus ditetapkan berdasarkan hasil analisis saringan agregat halus yang telah diuji.
17. Menentukan susunan agregat kasar
Penyusunan butir agregat kasar ditentukan berdasarkan hasil analisis saringan agregat kasar yang telah dilakukan pengujian.
18. Menentukan persentase agregat halus
Penentuan persentase agregat halus disesuaikan dengan referensi yang ditemukan dalam Gambar 3.3 hingga Gambar 3.5. Penggunaan grafik ini disesuaikan dengan ukuran maksimum butir agregat kasar dan distribusi ukuran agregat halus.



Gambar 3.3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)



Gambar 3.4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)



Gambar 3.5 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

19. Menghitung berat jenis relatif agregat

Persamaan 3.6 digunakan untuk penentuan berat jenis relatif agregat.

$$BJ_{gab} = \%Ag.Halus \times BJ_{Ag.Halus} + \%Ag.Kasar \times BJ_{Ag.Kasar} \quad (3.6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

BJ_{gab} = Berat jenis relatif/gabungan agregat

$\%Ag.Halus$ = Persentase agregat halus (%)

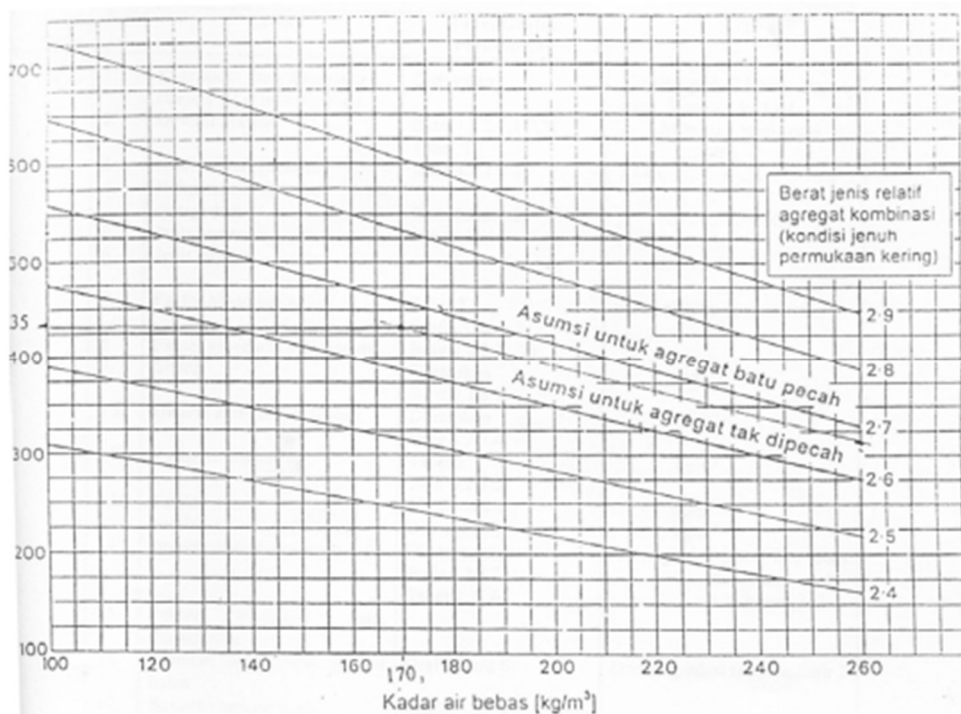
$\%Ag.Kasar$ = Persentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag.halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag.kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi beton

Kadar air tidak terikat lalu berat jenis relatif/gabungan pada agregat merupakan acuan dalam penentuan berat isi beton, ilustrasinya terdapat pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber: SNI 2834, 2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan

Persamaan 3.7 berikut digunakan dalam rangka penentuan persentase agregat gabungan.

$$W_{Ag.gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.7)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag.gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{beton} = \text{Berat isi beton (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{semen} = \text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)}$$

$$w = \text{Kadar air bebas (kg/m}^3\text{)}$$

22. Menghitung kadar agregat halus

Perhitungan jumlah agregat halus dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan 3.8 berikut ini.

$$W_{Ag.halus} = \%Ag.halus \times W_{Ag.gab} \quad (3.8)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag.halus} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$\%Ag.halus = \text{Persentase agregat halus (\%)}$$

$$W_{Ag.gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

23. Menghitung kadar agregat kasar

Perhitungan jumlah agregat kasar dilakukan dengan mengaplikasikan persamaan 3.8 berikut ini.

$$W_{Ag.kasar} = W_{Ag.gab} - W_{Ag.halus} \quad (3.9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag.kasar} = \text{Kadar agregat kasar (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{Ag.halus} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{Ag.gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

24. Menentukan proporsi campuran

Penetapan proporsi campuran dilakukan untuk setiap kubik meter (m^3) beton dengan mengasumsikan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Proporsi campuran uji untuk setiap m^3 beton dihitung dengan mengalikan dengan volume total benda uji.

25. Menghitung koreksi proporsi campuran

Koreksi proporsi campuran diperlukan untuk kondisi agregat yang tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Koreksi dilakukan terhadap kandungan air dalam agregat.

3.5 Berat Volume Beton

Beton dapat dikategorikan beton normal apabila memiliki berat volume pada rentang $2200 \text{ kg/m}^3 - 2500 \text{ kg/m}^3$ (SNI-2847-2019). Berat volume beton merupakan hasil perbandingan berat beton dengan volume beton. Persamaan 3.10 berikut diperuntukkan menghitung berat volume beton.

$$D = \frac{W}{V} \quad (3.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

D = Berat Volume Beton (kg/m^3)

W = Berat Beton (kg)

V = Volume Beton (m^3)

3.6 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan beton merupakan keahlian beton yang telah mengeras dalam menahan tekanan aksial per unit area. Penentuan nilai kekuatan tekan ini melibatkan pengujian sampel beton menggunakan mesin uji tekan, yang mengukur besaran tekanan aksial per unit area yang dapat merusak beton. Sesuai dengan panduan SNI 1974 (2011), persamaan 3.10 berikut diperuntukkan menghitung kekuatan desak beton.

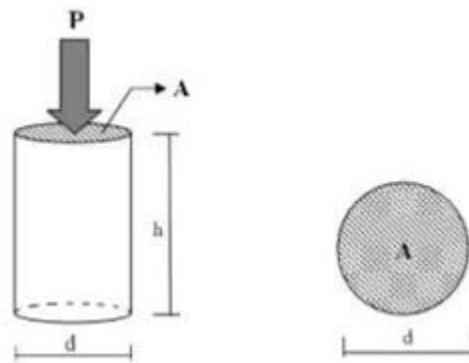
$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

Kuat tekan beton = Diuji menggunakan benda uji silinder (MPa atau N/mm^2)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm^2)



Gambar 3.7 Sketa Uji Tekan Beton Silinder
(Sumber: repository.ubb.ac.id)

3.7 Absorpsi Beton

Penyerapan air dalam beton, yang juga disebut sebagai absorpsi beton, memiliki definisi yaitu proses lolosnya air melalui pori-pori kapiler permukaan beton ke dalam beton. Oleh karena itu, tingkat penyerapan air pada beton sangat terkait dengan keberadaan pori-pori dan rongga dalam struktur beton itu sendiri. Semakin banyak pori-pori dan rongga dalam beton, semakin tinggi tingkat penyerapan airnya, yang pada gilirannya dapat mengurangi tingkat proteksi beton dengan air. Persamaan 3.14 berikut tertera dalam SNI 6433 (2016) untuk menghitung kadar absorpsi pada beton.

$$P_A = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.12)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

P_A = Absorpsi atau penyerapan air (%)

B = Massa contoh uji kering permukaan di udara setelah perendaman (gram)

A = Massa contoh uji kering oven di udara (gram)

3.8 Koefisien Korelasi

Sugiyono (2013) mengemukakan bahwa analisis regresi dalam rangka evaluasi tingkat korelasi antara 2 (dua) variabel maupun lebih dijuluki sebagai koefisien korelasi, panduan dalam memahami koefisien korelasi juga dinyatakannya seperti yang terpampang dalam Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.7 Instruksi Penafsiran Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Sumber: Sugiyono (2013)

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian eksperimental dilaksanakan dalam lingkungan laboratorium merupakan metode penelitian ini. Pendekatan eksperimental adalah metode penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat dalam satu atau lebih variabel tergantung dengan melakukan manipulasi variabel bebas dalam kondisi yang dapat dikendalikan (variabel kontrol). Studi ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Materi uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton standar dengan abu batu sebagai pengganti agregat halus pada berbagai persentase campuran, yaitu 0% dan 100%. Selain itu, juga dilakukan penambahan berbagai jumlah superplasticizer viscocrete-1003 (0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%) ke dalam campuran beton. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki efek variasi konsentrasi bahan tambahan superplasticizer Viscocrete-1003 terhadap karakteristik beton yang mengandung abu batu sebagai agregat halus.

4.2 Variabel Penelitian

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini, variabel independen yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas
Variabel bebas pada penelitian ini merupakan kadar bahan tambah *superplasticizer viscocrete – 1003* dan kadar abu batu.
2. Variabel terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini merupakan kuat tekan beton dan absorpsi beton.
3. Variabel kontrol
Wujud benda uji, ukuran benda uji, serta kuat tekan rencana beton (f'_c) merupakan variabel kontrol pada penelitian ini.

4.3 Material yang dipakai

Komponen material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Semen Portland
Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis semen Portland tipe I dengan merek Tiga Roda, yang dikemas dalam kemasan berbobot 40 kg.
2. Agregat Halus
Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan kawasan agregat halus penelitian ini berasal, sedangkan abu batu yang digunakan diperoleh dari hasil pemecahan batu di wilayah Merapi. Sebelum digunakan, agregat ini telah melalui proses pengujian analisa saringan untuk menentukan gradasinya.
3. Agregat Kasar
Agregat kasar yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar yang diperoleh dari wilayah Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta.
4. Air
Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT) yang terletak di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan lokasi asal air yang digunakan penelitian ini. Tidak mengandung zat tambahan yang tampak secara visual merupakan kualifikasi air yang digunakan.
5. Bahan Tambah
Aditif dalam penelitian ini melibatkan *superplasticizer* dengan merek Sika *viscocrete – 1003*.

4.4 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Seperangkat Saringan Agregat
Sebuah rangkaian alat saringan dilibatkan dengan tujuan melakukan pemisahan agregat berdasarkan dimensi butirnya. Peralatan ini diterapkan dalam pengujian analisa saringan agregat, baik untuk agregat halus maupun agregat kasar.

2. Timbangan
Pengukuran berat bahan yang dipakai sesuai perencanaan campuran (*mix design*) menggunakan alat timbang.
3. Neraca *Ohaus*
Sebagai perangkat yang digunakan untuk mengukur bahan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan timbangan konvensional. Neraca *Ohaus* digunakan.
4. Piknometer
Piknometer adalah peralatan yang digunakan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis dan kapasitas penyerapan air pada agregat halus.
5. Oven
Oven merupakan perangkat yang dilibatkan dalam tahap pengeringan agregat halus maupun kasar serta pengujian berat jenis sekaligus kemampuan agregat menyerap air.
6. *Concrete Mixer*
Concrete mixer adalah peralatan yang digunakan sebagai pengaduk material penyusun beton dengan perbandingan yang sesuai pada hasil perhitungan perencanaan campuran beton.
7. Sekop
Sekop merupakan peralatan yang digunakan untuk memindahkan beton segar ke dalam bekisting beton.
8. Kerucut Abrams
Slump beton segar diuji menggunakan kerucut abrams.
9. Bekisting Beton
Wadah supaya beton terbentuk sesuai dimensi yang telah direncanakan disebut bekisting beton. Dalam penelitian ini, bekisting beton yang digunakan memiliki bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta kubus dengan panjang sisi keseluruhan sebesar 15 cm.
10. Mesin Uji Tekan
Kuat tekan beton diuji menggunakan perangkat mesin uji tekan hingga diketahui penerimaan beban benda uji sampai benda uji kolaps.

4.5 Benda Uji

Bahan percobaan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah beton, dengan dan tanpa campuran abu batu, yang telah ditambahkan admixture berupa superplasticizer Sika viscocrete-1003 dengan berbagai tingkat konsentrasi, yakni 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%. Setiap variasi bahan uji diuji setelah mencapai usia 28 hari. Bahan uji yang digunakan adalah silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Sesuai dengan standar SNI 2847:2019, jumlah minimum sampel silinder dengan dimensi 15 × 30 cm adalah 3 buah bahan uji. Sementara pada pengujian absorpsi, syarat khusus mengenai jumlah minimum sampel bahan uji yang diperlukan tidak ada, oleh karena itu digunakan 2 buah bahan uji. Rincian mengenai bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditemukan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Abu Batu	Kadar <i>viscocrete</i> – 1003	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan	0%	0%	KT-TAB-0	3
		0,3%	KT-TAB-03	3
		0,4%	KT-TAB-04	3
		0,5%	KT-TAB-05	3
	100%	0%	KT-AB-0	3
		0,3%	KT-AB-03	3
		0,4%	KT-AB-04	3
		0,5%	KT-AB-05	3
Absorpsi	0%	0%	A-TAB-0	2
		0,3%	A-TAB-03	2
		0,4%	A-TAB-04	2
		0,5%	A-TAB-05	2
	100%	0%	A-AB-0	2
		0,3%	A-AB-03	2
		0,4%	A-AB-04	2
		0,5%	A-AB-05	2
Total Sampel				40

Dengan keterangan sebagai berikut:

KT	= Uji Kuat Tekan
A	= Uji Absorpsi
AB	= Abu Batu 100%
TAB	= Tanpa abu batu
0	= Kadar <i>superplasticizer</i> 0%
03	= Kadar <i>superplasticizer</i> 0,3%
04	= Kadar <i>superplasticizer</i> 0,4%
05	= Kadar <i>superplasticizer</i> 0,5%

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Persiapan awal, pengetesan agregat, pembuatan rencana campuran, produksi benda uji, Perawatan benda uji, pengetesan benda uji, analisis data, serta diskusi dan kesimpulan merupakan serangkaian tahap dalam penelitian ini.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan merupakan fase yang mengawali penelitian ini, diantaranya melibatkan eksplorasi literatur, pengadaan bahan, serta penyelenggaraan serangkaian alat dalam keberlangsungan proses penelitian

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat merupakan fase evaluasi terhadap agregat kasar dan halus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kualitas agregat yang akan dilibatkan dalam pembuatan beton. Informasi mengenai kualitas agregat ini bertujuan untuk dijadikan sebagai pedoman dalam membuat rencana campuran beton (*mix design*). Berikut adalah beberapa jenis pengujian agregat serta acuannya yang umumnya dilaksanakan.

1. SNI 1970-1990 untuk berat jenis dan daya serap air agregat halus.
2. SNI 1969-1990 untuk berat jenis dan daya serap air agregat kasar.
3. SNI 1968-1990 untuk analisa saringan agregat halus.
4. SNI 1968-1990 untuk analisa saringan agregat kasar.
5. SNI 4804-1998 untuk berat volume gembur dan padat agregat halus.

6. SNI 4804-1998 untuk berat volume gembur dan padat agregat kasar.
 7. SNI 4142-1996 untuk uji tingkat lolos saringan no. 200 atau kadar lumpur.
- Hasil pengujian agregat ini kemudian dilanjutkan dengan pengecekan terhadap persyaratan *properties* agregat dengan tujuan untuk mengetahui apakah agregat yang digunakan memenuhi persyaratan atau tidak.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton disusun dengan mempertimbangkan data yang berasal dari pengujian agregat. Dalam penelitian ini, penyusunan campuran beton mengikuti pedoman yang tercantum dalam SNI 2834-2000. Informasi lebih lanjut mengenai perhitungan ini dapat diakses dalam bagian pembahasan di Bab V.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* dengan Umur 3 Hari

Berdasarkan rencana campuran beton, langkah berikutnya adalah pelaksanaan pembuatan dan pemeriksaan benda uji percobaan. Proses pembuatan dan pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian campuran beton yang telah direncanakan dengan kekuatan tekan yang diinginkan. Penelitian akan dilanjutkan setelah hasil pengujian benda uji percobaan memenuhi persyaratan mutu yang sesuai dengan rencana perancangan campuran beton.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan dan pemeliharaan benda uji dilaksanakan dengan mengacu pada rencana komposisi campuran beton yang telah disusun. Bahan-bahan beton yang sudah disesuaikan dengan hasil perencanaan kemudian dicampur menggunakan peralatan pencampur beton. Selanjutnya, kualitas beton segar diuji dengan slump test dan dicetak menggunakan bekisting beton. Setelah mencapai usia tertentu sesuai dengan perencanaan, beton dilepaskan dari bekisting dan mendapatkan perawatan sesuai prosedur yang telah ditetapkan. Dalam konteks penelitian ini, pendekatan yang diterapkan untuk merawat beton adalah dengan mengimbuhi benda uji dalam air hingga mencapai usia yang telah ditentukan sebelumnya.

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilaksanakan setelah beton mencapai usia yang telah direncanakan. Pengujian ini mencakup pengukuran kuat tekan beton dan pengukuran absorpsi beton. Proses pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan mengacu pada SNI 1974-2011. Adapun tahapan pengujian dari kuat tekan beton sebagai berikut.

- a. Mengangkat benda uji dari bak perendaman kemudian dibiarkan selama kurang lebih 24 jam.
- b. Melakukan pengukuran dimensi pada benda uji.
- c. Menimbang berat benda uji.
- d. Menempatkan sampel uji pada alas penekan bawah dan memverifikasi bahwa indikator beban menampilkan nol.
- e. Mengoperasikan mesin uji tekan dengan laju pemuatan sekitar 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik.
- f. Melakukan pemuatan beban hingga sampel uji kolaps, lalu dokumentasikan nilai kemampuan benda uji menanggung beban puncaknya.

2. Uji Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilaksanakan mengacu pada SNI 6433-2016. Tahapan pelaksanaan pengujian absorpsi beton adalah sebagai berikut.

- a. Mengeluarkan sampel uji yang telah direndam.
- b. Oven sampel uji pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ dengan durasi minimal 24 jam.
- c. Keluarkan benda uji dari oven dan mendinginkan benda uji hingga dingin pada temperatur ruangan ($20^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$).
- d. Mengukur massa sampel uji yang telah dikeringkan dalam oven.
- e. Rendam benda uji kering oven menggunakan air dengan durasi minimal 48 jam.
- f. Kain kering digunakan untuk menghilangkan kelembapan pada permukaan sampel uji.
- g. Lakukan penimbangan sampel uji setelah proses pada poin f selesai.

4.6.7 Olah Data

Pengolahan data adalah tahap di mana data awal dari pengujian kuat tekan dan absorpsi beton diolah sesuai dengan panduan kode dan dasar teori yang berlaku. Proses pengolahan data ini dilakukan dengan tujuan untuk memahami signifikansi dari parameter-parameter yang ada.

4.6.8 Analisis Data

Tahap analisis data merupakan momen di mana perbandingan dilakukan berdasarkan kategori variabel tertentu dengan maksud untuk menilai perbedaan dalam nilai-nilai yang diamati.

4.6.9 Pembahasan

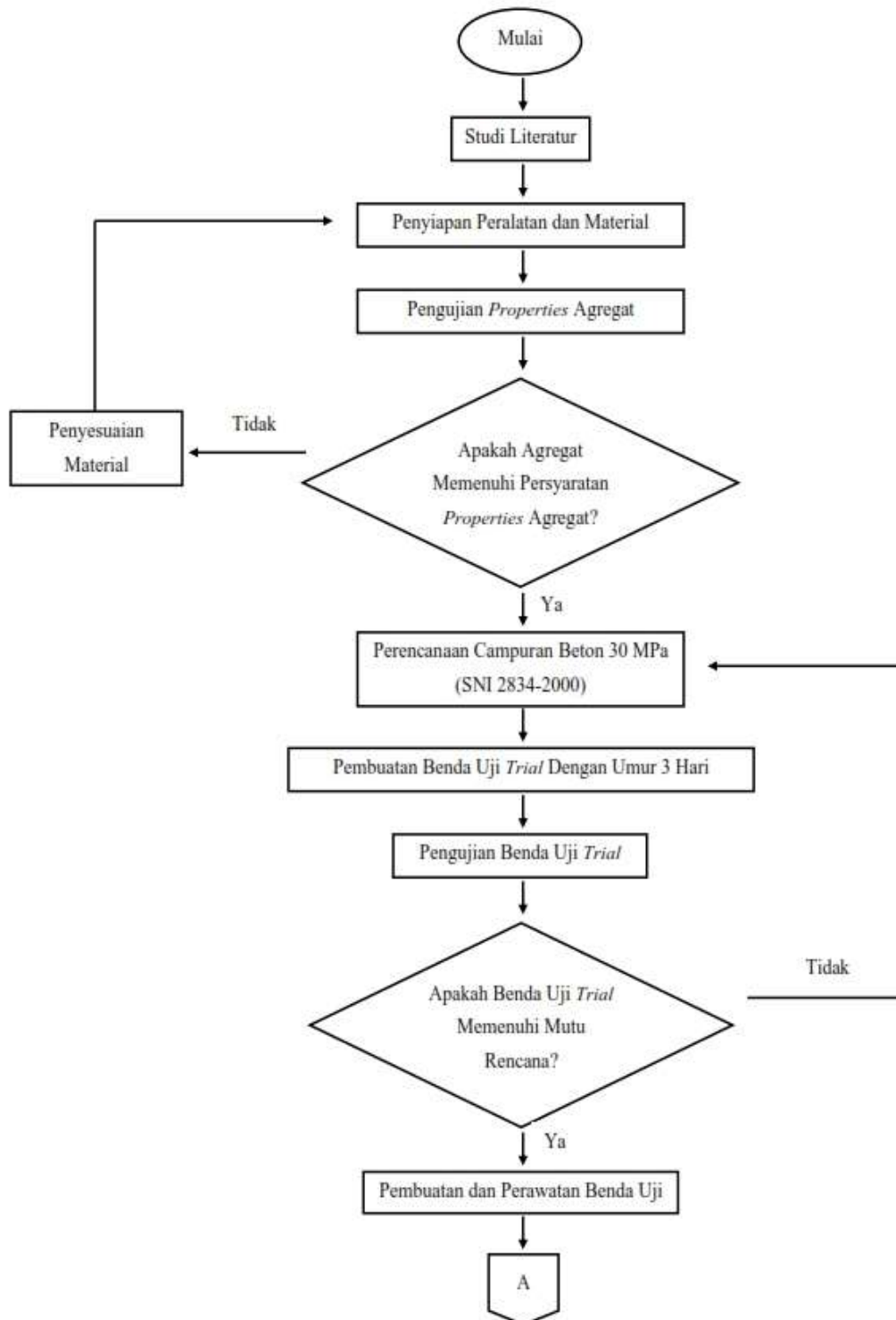
Selama tahap pembahasan, dilakukan evaluasi hasil data dengan maksud untuk memperoleh pemahaman dan penafsiran mengenai variasi-nilai yang muncul selama analisis data berlangsung.

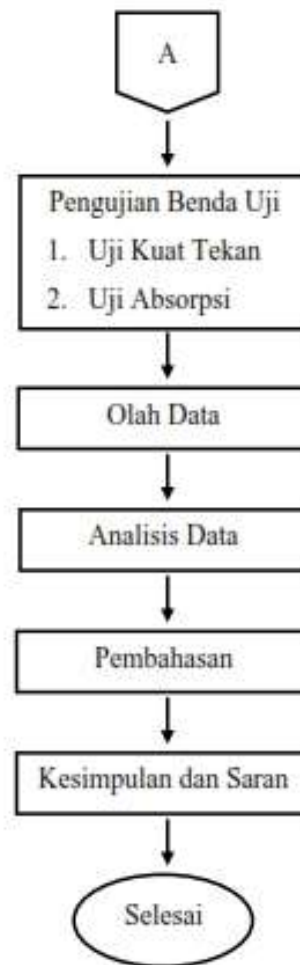
4.6.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran adalah langkah di mana dilakukan evaluasi berdasarkan hasil pembahasan yang merujuk pada tujuan penelitian. Selanjutnya, dari kesimpulan yang diambil, diberikan saran untuk penelitian-penelitian yang akan dilakukan di masa depan.

4.6.11 Diagram Alir Penelitian

Grafik aliran dari penelitian ini dapat disimak dalam Gambar 4.1 di bawah ini.





Gambar 4.1 *Flowchart* Penelitian

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilaksanakan dengan maksud untuk mengidentifikasi kualitas agregat untuk perancangan campuran beton. Ada sejumlah standar yang harus dipenuhi oleh agregat sebelum dapat digunakan dalam perencanaan campuran beton. Pengujian agregat dalam penelitian ini mencakup agregat halus, agregat kasar, dan agregat halus berupa abu batu. Pengujian agregat halus abu batu dilakukan untuk mengevaluasi potensinya sebagai komponen beton.

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengukuran berat jenis serta penyerapan air, analisa saringan, berat volume, lalu pengujian lolos saringan nomor 200 atau uji kadar lumpur merupakan cakupan pengujian agregat halus. Hasil cakupan pengujian tersebut dapat dirangkum sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air agregat Halus

Pengukuran berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus mengikuti pedoman SNI 1970-1990. Data pengukuran agregat halus tercantum dalam Tabel 5.1. Sementara itu, perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus sampel 1 dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{486}{(708+500-1013)} \\ &= 2,49 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{500}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{500}{(708+500-1013)} \\ &= 2,56 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{486}{(708+500-1013)} \\ &= 2,69 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(500-B)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(500-486)}{486} \times 100\% \\ &= 2,88\% \end{aligned}$$

Berikutnya, langkah-langkah perhitungan yang serupa dijalankan pada sampel 2 dalam pengujian agregat halus. Hasil rangkuman dari pengukuran berat jenis dan daya serap air pada agregat halus tercantum dalam Tabel 5.1, seperti yang terlihat di bawah ini.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1.013	1.022	1.017,5
Berat Piknometer berisi air, gram (B)	708	708	708
Berat jenis curah	2,49	2,62	2,56
Berat jenis jenuh kering permukaan	2,56	2,69	2,63
Berat jenis semu	2,69	2,80	2,74
Penyerapan air	2,88	2,46	2,67

Berdasarkan hasil pengujian, ditemukan bahwa berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) memiliki nilai rata-rata sekitar 2,63. Sesuai ketentuan SK SNI T-15-1990-1 (1990), berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal berada dalam kisaran 2,5 - 2,7. Hasil pengujian juga tercatat bahwa penyerapan air agregat halus memiliki rata-rata sekitar 2,67%. Mengacu pada SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Dapat disimpulkan

bahwa agregat halus yang digunakan penelitian ini termasuk kategori agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan agregat halus, sesuai dengan pedoman SNI 1968-1990, menggunakan sampel seberat 2000 gram. Hasil data berat yang tertinggal di setiap nomor saringan telah dicatat dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Perhitungan analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 dapat dipresentasikan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertahan

$$\text{Persentase berat tertahan} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\sum \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 4,8 mm} &= \frac{20}{1983} \times 100\% \\ &= 1,01\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 2,4 mm} &= \frac{223}{1983} \times 100\% \\ &= 11,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 1,2 mm} &= \frac{486}{1983} \times 100\% \\ &= 24,51\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 0,6 mm} &= \frac{913}{1983} \times 100\% \\ &= 46,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 0,3 mm} &= \frac{244}{1983} \times 100\% \\ &= 12,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 0,15 mm} &= \frac{84}{1983} \times 100\% \\ &= 4,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{13}{1983} \times 100\% \\ &= 0,66\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertahan Terakumulasi

$$\text{Lubang penyaring 4,8 mm} = 1,01\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 2,4 mm} &= 1,01\% + 11,25\% \\ &= 12,25\% \end{aligned}$$

Lubang penyaring 1,2 mm	= 12,25% + 24,51%
	= 36,76%
Lubang penyaring 0,6 mm	= 36,76% + 46,04%
	= 82,80%
Lubang penyaring 0,3 mm	= 82,80% + 12,30%
	= 95,11%
Lubang penyaring 0,15 mm	= 95,11% + 4,24%
	= 99,34%
Pan	= 99,34% + 0,66%
	= 100,00%

c. Persentase Lolos Terakumulasi

Lubang penyaring 4,8 mm	= 100% - 1,01%
	= 98,99%
Lubang penyaring 2,4 mm	= 100% - 12,25%
	= 87,75%
Lubang penyaring 1,2 mm	= 100% - 36,76%
	= 63,24%
Lubang penyaring 0,6 mm	= 100% - 82,80%
	= 17,20%
Lubang penyaring 0,3 mm	= 100% - 95,11%
	= 4,89%
Lubang penyaring 0,15 mm	= 100% - 99,34%
	= 0,66%
Pan	= 100% - 100%
	= 0,00%

Analisa serupa diterapkan pada sampel 2. Ringkasan dari hasil kalkulasi analisis saringan agregat halus untuk sampel 1 dan sampel 2 tersaji dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 seperti yang berikut.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Penyaring (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Terakumulasi (%)	Persentase Lolos Terakumulasi (%)
40,0	0	0	0	100
20,0	0	0	0	100
10,0	0	0	0	100
4,8	5	0.25	0.25	99.75
2,4	273	13.77	14.02	85.98
1,2	586	29.55	43.57	56.43
0,6	413	20.83	64.40	35.60
0,3	324	16.34	80.74	19.26
0,15	294	14.83	95.56	4.44
Pan	88	4.44	100.00	0
Jumlah	1983	100	298.54	

Tabel 5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Penyaring (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Terakumulasi (%)	Persentase Lolos Terakumulasi (%)
40,0	0	0	0	100
20,0	0	0	0	100
10,0	0	0	0	100
4,8	2	0,10	0,10	99,90
2,4	179	9,06	9,16	90,84
1,2	628	31,78	40,94	59,06
0,6	398	20,14	61,08	38,92
0,3	316	15,99	77,07	22,93
0,15	288	14,57	91,65	8,35
Pan	165	8,35	100,00	0
Jumlah	1976	100	280,01	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertahan terakumulasi}}{100} \\
 \text{MHB sampel 1} &= \frac{298,54}{100} \\
 &= 2,99 \\
 \text{MHB sampel 2} &= \frac{280,01}{100} \\
 &= 2,80 \\
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\
 &= 2,895
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan modulus halus butir di atas menunjukkan bahwa rata-rata modulus halus butir agregat halus adalah 2,895. Sesuai dengan ASTM C-33 (2003), nilai modulus halus butir agregat halus seharusnya berada dalam kisaran 2,3 hingga 3,1. Oleh karena itu, berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir (MHB) di atas, dapat dinyatakan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan tersebut.

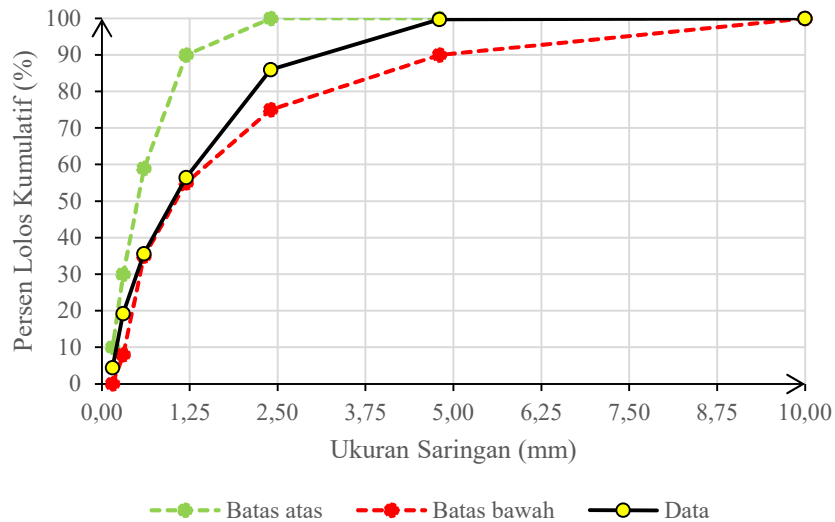
Selain itu, pengujian analisis saringan juga dilakukan untuk menentukan gradasi agregat halus yang digunakan, sebagaimana yang tertera dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus

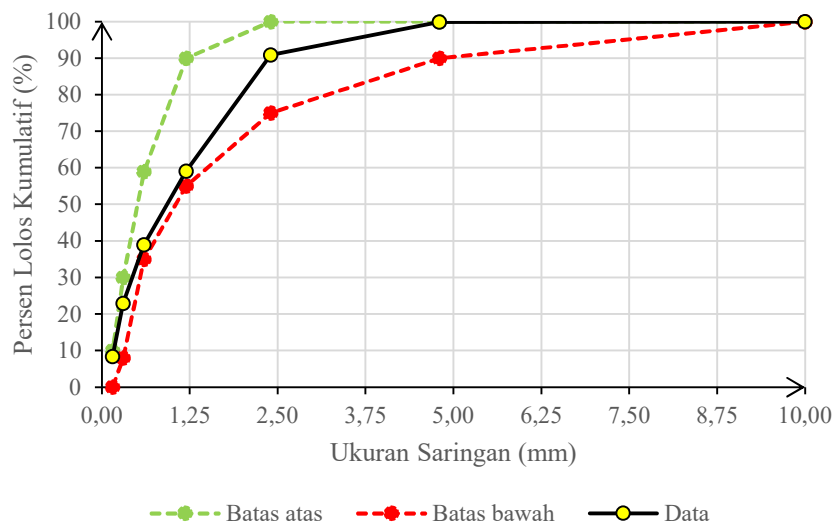
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-39	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834 (2000)

Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut merupakan produk kurva gradasi agregat halus, pembuatannya mengacu pada Tabel 5.4 diatas.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

Berdasarkan Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 yang telah disajikan, ikhtisar yang dapat diraih ialah agregat halus dalam penelitian ini termasuk gradasi II dengan tafsiran pasir agak kasar.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Tabel 5.5 serta Tabel 5.6 menyajikan hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus yang pelaksanaannya sesuai kaidah dalam SNI 4804-1998. Penjabaran kalkulasi produk sampel 1 pengujiannya dapat dilihat seperti pada poin a. dibawah ini.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18756 - 10024 \\
 &= 8732 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30,35 \\
 &= 5359,42 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8732}{5359,42} \\
 &= 1,63 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19549 - 10024 \\
 &= 9525 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30,35 \\
 &= 5359,42 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{9525}{5359,42} \\
 &= 1,78 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Proses perhitungan dengan pendekatan yang serupa juga dilakukan pada sampel 2, sehingga menghasilkan ringkasan data pengukuran berat volume

gembur dan padat agregat halus sebagaimana tercantum dalam Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagaimana yang ditunjukkan di bawah ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Diameter silinder (d), cm	15,00	15,01	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,35	30,28	30,31
Berat tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,5
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18.229	18.538	18.383,50
Berat agregat (W3), gram	8.732	8.658	8.695
Volume tabung (V), gram	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1.63	1.62	1.62

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Diameter silinder (d), cm	15,00	15,01	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,35	30,28	30,31
Berat tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19.549	19.753	19.651
Berat agregat (W3), gram	9.525	9.190	9.357,50
Volume tabung (V), gram	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1,78	1,72	1,75

Dari Tabel 5.5 dan Tabel 5.6, dapat dilihat bahwa 1,62 gram/cm³ merupakan berat volume gembur agregat halus rata-rata, sementara 1,75 gram/cm³ merupakan berat volume padat agregat halus rata-rata. Sesuai dengan ASTM C33 (2003), 1,12 kg/dm³ merupakan persyaratan berat volume gembur dan padat agregat halus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat halus penelitian ini memenuhi regulasi tersebut.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)
SNI 4142-1996 merupakan pedoman dalam pengujian lolos penyaring nomor 200 atau pengukuran kadar lumpur agregat halus. Informasi produk

pengujian tertera dalam Tabel 5.7. Kalkulasi kadar lumpur pada agregat halus sampel 1 dapat ditemukan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 4}{500} \times 100\% \\
 &= 3,6\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	482	484	483
Persentase lolos ayakan No. 200 $[(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$	3,6%	3,2%	3,4%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa persentase yang lulus saringan nomor 200 atau kadar lumpur rata-rata dalam agregat halus adalah sekitar 3,4%. Sesuai dengan standar ASTM C-33 (2003), batas maksimum kadar lumpur yang diperbolehkan untuk agregat halus alami adalah 5%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan tersebut.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengetesan berat jenis, daya serap air, analisa saringan, serta berat volume merupakan cakupan pengujian agregat kasar. Produk pengujian agregat kasar dapat disaksikan di bawah ini.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

SNI 1969-1990 merupakan acuan terhadap pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar. Hasil pengujian tersebut terdokumentasi dalam Tabel 5.8. Selain itu, kalkulasi berat jenis dan daya serap air pada agregat kasar asli sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{(B_j - B)} \\
 &= \frac{4946}{(5000 - 3107)}
 \end{aligned}$$

$$= 2,61$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \\ &= \frac{5000}{(5000 - 3107)} \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \\ &= \frac{4946}{(4946 - 3107)} \\ &= 2,69 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(5000 - 4946)}{4946} \times 100\% \\ &= 1,09\% \end{aligned}$$

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4.946	4.903	4.924,5
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)	5.000	5.000	5.000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3.107	3.147	3.127
Berat jenis curah BK/(Bj-Ba)	2,61	2.65	2.63
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,64	2.70	2.67
Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,69	2.79	2.74
Penyerapan air [(Bj-Bk)/Bk] ×100%	1,09	1.98	1.54

Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis agregat kasar dalam kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) memiliki nilai rata-rata sekitar 2,67. Sesuai SK.SNI.T-15-1990:1 (1990), berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal berada dalam kisaran 2,5 - 2,7. Hasil pengujian menunjukkan penyerapan air agregat kasar rata-rata sekitar 1,54%.

Mengacu pada SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini merupakan agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

SNI 1968-1990 mengemukakan bahwa sampel kerikil sebesar 5000 gram digunakan dalam pengujian analisis saringan agregat kasar. Tabel 5.9 serta Tabel 5.10 mencakup produk pengujian yang berupa data berat tertahan pada tiap nomor penyaring, kalkulasi analisis saringan agregat kasar sampel 1 dapat ditemukan di bawah ini.

a. Persentase Berat Tertahan

$$\text{Persentase berat tertahan} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\sum \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 20 mm} &= \frac{57}{5000} \times 100\% \\ &= 1,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 10 mm} &= \frac{3121}{5000} \times 100\% \\ &= 62,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 4,8 mm} &= \frac{1697}{5000} \times 100\% \\ &= 33,94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 2,4 mm} &= \frac{16}{5000} \times 100\% \\ &= 0,32\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang penyaring 1,2 mm} &= \frac{7}{5000} \times 100\% \\ &= 0,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{102}{5000} \times 100\% \\ &= 2,04\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertahan Terakumulasi

$$\text{Lubang penyaring 40 mm} = 0\%$$

$$\text{Lubang penyaring 20 mm} = 0\% + 1,14\%$$

	= 1,14%
Lubang penyaring 10 mm	= 1,14% + 62,42%
	= 63,56%
Lubang penyaring 4,8 mm	= 63,56% + 33,94%
	= 97,50%
Lubang penyaring 2,4 mm	= 97,50% + 0,32%
	= 97,82%
Lubang penyaring 1,2 mm	= 97,82% + 0,14%
	= 97,96%
Pan	= 97,96% + 2,04%
	= 100%
c. Persentase Lolos Terakumulasi	
Lubang penyaring 40 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Lubang penyaring 20 mm	= 100% - 1,14%
	= 98,86%
Lubang penyaring 10 mm	= 100% - 63,56%
	= 36,44%
Lubang penyaring 4,8 mm	= 100% - 97,50%
	= 2,5%
Lubang penyaring 2,4 mm	= 100% - 97,82%
	= 2,18%
Lubang penyaring 1,2 mm	= 100% - 97,96%
	= 2,04%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Langkah-langkah perhitungan yang identik juga diterapkan pada analisis saringan agregat kasar sampel 2. Hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar untuk sampel 1 dan sampel 2 terdapat dalam Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Penyaring (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Terakumulasi (%)	Persen Lolos Terakumulasi (%)
40,0	0	0	0	100
20,0	57	1.14	1.14	98.86
10,0	3121	62.42	63.56	36.44
4,8	1697	33.94	97.50	2.5
2,4	16	0.32	97.82	2.18
1,2	7	0.14	97.96	2.04
0,6	0	0	97.96	2.04
0,3	0	0	97.96	2.04
0,15	0	0	97.96	2.04
Pan	102	2.04	100	0
Jumlah	5000	100	651.86	

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Penyaring (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan Terakumulasi (%)	Persen Lolos Terakumulasi (%)
40,0	0	0	0	100
20,0	113	2.28	2.28	97.72
10,0	3515	71.02	73.31	26.69
4,8	977	19.74	93.05	6.95
2,4	219	4.43	97.47	2.53
1,2	1	0.02	97.49	2.51
0,6	0	0	97.49	2.51
0,3	0	0	97.49	2.51
0,15	0	0	97.49	2.51
Pan	124	2.51	100	0
Jumlah	4949	100	656.09	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertahan terakumulasi}}{100} \\ \text{MHB sampel 1} &= \frac{651,86}{100} \\ &= 6,52 \\ \text{MHB sampel 2} &= \frac{656,09}{100} \\ &= 6,56 \\ \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 6,54 \end{aligned}$$

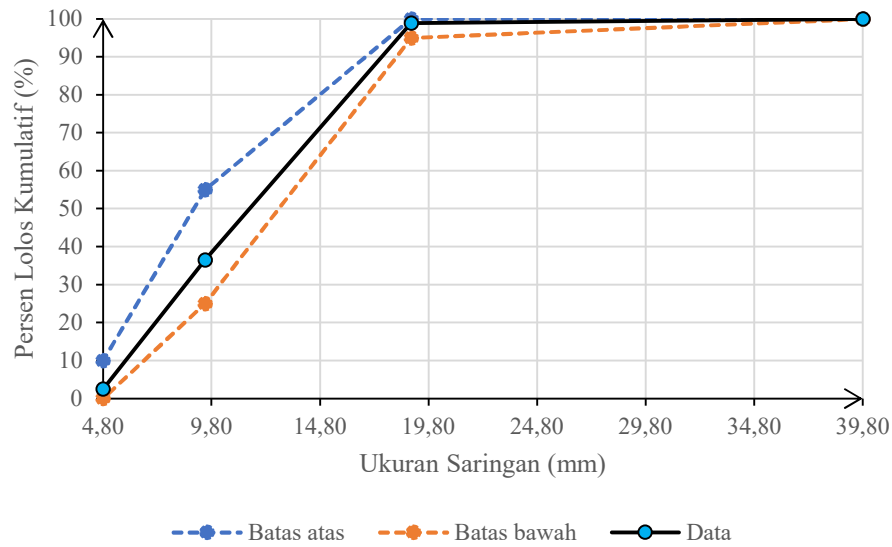
Hasil perhitungan modulus halus butir di atas menunjukkan bahwa nilai rata-rata modulus halus butir agregat kasar asli adalah 6,54. Sesuai dengan SK SNI S-04-1989-F, batasan nilai modulus halus butir agregat kasar asli berada dalam kisaran 5 hingga 8. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai modulus halus butir agregat kasar asli yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan. Selain itu, dilakukan juga pengujian analisis saringan untuk menentukan gradasi agregat kasar asli. Penentuan gradasi ini mengacu pada Tabel 5.11 seperti berikut.

Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar

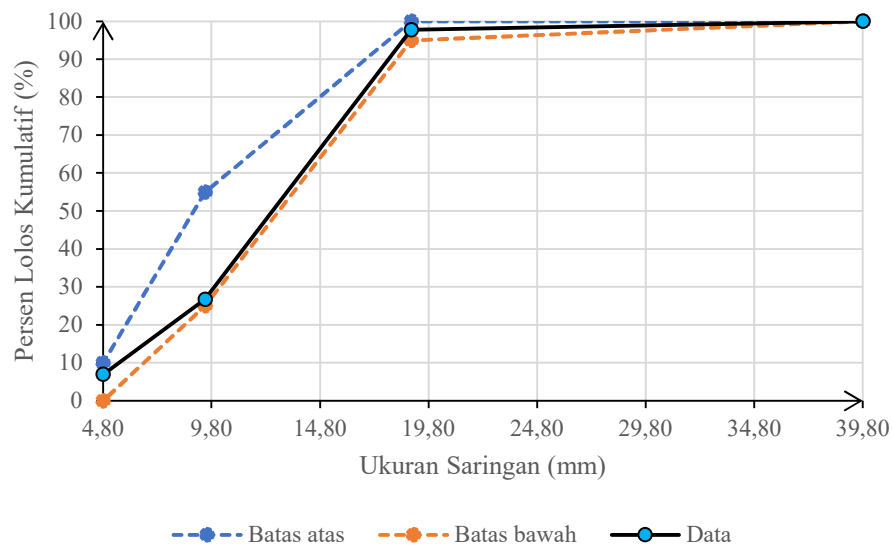
Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 2834 (2000)

Gambar 5.3 serta Gambar 5.4 di bawah ini menampilkan kurva gradasi agregat kasar sesuai Tabel 5.11 diatas.



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

Merujuk Gambar 5.3 dan Gambar 5.4, dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan sesuai dengan persyaratan gradasi dimensi tertinggi 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar
SNI 4804-1998 difungsikan sebagai acuan dalam pengetesan berat volume gembur dan padat agregat kasar. Hasil pengujian tersebut terdokumentasi

dalam Tabel 5.12 serta Tabel 5.13. Sementara itu, kalkulasi berat volume gembur dan padat pada agregat kasar untuk sampel 1 dapat dilihat seperti berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18961 - 11649 \\
 &= 7312 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30,35 \\
 &= 5359,42 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7312}{5359,42} \\
 &= 1,36 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19646 - 11649 \\
 &= 7997 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30,35 \\
 &= 5359,42 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7997}{5359,42} \\
 &= 1,49 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tahapan perhitungan yang sama juga diterapkan pada agregat kasar asli sampel 2 untuk menghitung berat volume gembur dan padatnya. Tabel 5.12 serta Tabel 5.13 di bawah ini merupakan rekapitulasi produk kalkulasi pengetesan berat volume gembur serta padat pada agregat kasar.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Asli

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11.649	10.653	11.151
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18.961	18.090	18.525,5
Berat Agregat (W3), gram	7.312	7.437	7.374,5
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,36	1,39	1,38

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Asli

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11.649	10.653	11.151
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19.646	18.584	19.115
Berat Agregat (W3), gram	7.997	7.931	7.964
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,49	1,48	1,49

Dari Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 di atas, terlihat bahwa nilai rata-rata berat volume gembur agregat kasar asli adalah sekitar 1,38 gram/cm³. Sementara itu, nilai rata-rata berat volume padat agregat kasar asli adalah sekitar 1,49 gram/cm³. Sesuai dengan ASTM C33 (2003), persyaratan untuk berat isi gembur dan padat agregat kasar adalah lebih dari 1,12 kg/dm³. Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat kasar asli yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan tersebut.

5.1.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Abu Batu

Agregat halus abu batu diperlakukan dengan cara yang serupa seperti agregat halus asli. Oleh karena itu, dilakukan pengujian terhadap *properties* agregat halus abu batu untuk mengevaluasi kesesuaian penggunaannya sebagai pengganti agregat halus dalam pembuatan beton, berdasarkan karakteristiknya. Pengujian ini mencakup pengukuran berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, serta berat volume. Berikut adalah produk atas pengujian-pengujian tersebut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu
 Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat abu batu sesuai SNI 1969-1990. Data pengujian agregat halus abu batu terdapat dalam Tabel 5.14, dan perhitungan berat jenis serta penyerapan air pada sampel 1 dapat ditemukan berikut ini.

- a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{468}{(733+500-1027)} \\ &= 2,276 \end{aligned}$$

- b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{500}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{500}{(733+500-1027)} \\ &= 2,432 \end{aligned}$$

- c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B+B_k-)} \\ &= \frac{468}{(733+468-1027)} \\ &= 2,696 \end{aligned}$$

- d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(B_j-B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(500-468)}{468} \times 100\% \\ &= 6,838\% \end{aligned}$$

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat abu batu kering mutlak (Bk)	468	471	469,5
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)	500	500	500

**Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air
Agregat Halus Abu Batu**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat piknometer berisi abu batu dan air (Bt)	1.036	1.034	1.035
Berat piknometer berisi air (B)	733	733	733
Berat jenis curah, $B_k/(B+500-B_t)$	2,370	2,370	2,370
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), $500/(B+500-B_t)$	2,532	2,516	2,524
Berat jenis semu, $B_k/(B+B_k-B_t)$	2,828	2,775	2,802
Penyerapan air $(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$	6,838	6,157	6,497

Berdasarkan data yang tercantum dalam Tabel 5.14 di atas, disimpulkan bahwa berat jenis agregat halus abu batu dalam kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) memiliki nilai rata-rata 2,52. Sesuai dengan SK SNI T-15-1990:1 (1990), rentang berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal berada dalam kisaran 2,5 – 2,7. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa agregat halus abu batu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dianggap sebagai agregat normal. Namun, Tabel 5.14 di atas menunjukkan bahwa nilai rata-rata penyerapan air agregat halus abu batu adalah sekitar 6,497%. Sesuai dengan SNI No. 1737-1989-F (1989), batasan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Oleh karena itu, agregat halus abu batu dapat diklasifikasikan sebagai agregat yang tidak normal, dan untuk mengatasi hal ini, digunakan *admixture*.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu

Proses pengujian analisis saringan agregat halus abu batu dilakukan sesuai dengan SNI 1968-1990. Pengujian ini menggunakan sampel agregat halus abu batu dengan berat 2000 gram. Hasil pengujian mencatat berat yang tertinggal pada setiap nomor saringan yang digunakan. Detail-data ini terdokumentasi dalam Tabel 5.2 serta Tabel 5.3. Selanjutnya, berikut adalah kalkulasi analisis saringan agregat halus untuk sampel 1.

a. Persentase Berat Tertahan

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase berat tertahan} &= \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\% \\
 \text{Lubang penyaring 4,8 mm} &= \frac{45}{1950} \times 100\% \\
 &= 2,31\% \\
 \text{Lubang penyaring 2,4 mm} &= \frac{154}{1950} \times 100\% \\
 &= 7,90\% \\
 \text{Lubang penyaring 1,2 mm} &= \frac{325}{1950} \times 100\% \\
 &= 16,67\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,6 mm} &= \frac{397}{1950} \times 100\% \\
 &= 20,36\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,3 mm} &= \frac{452}{1950} \times 100\% \\
 &= 23,18\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,15 mm} &= \frac{447}{1950} \times 100\% \\
 &= 22,92\% \\
 \text{Pan} &= \frac{130}{1950} \times 100\% \\
 &= 6,67\%
 \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertahan Terakumulasi

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang penyaring 4,8 mm} &= 2,31\% \\
 \text{Lubang penyaring 2,4 mm} &= 2,31\% + 7,90\% \\
 &= 10,21\% \\
 \text{Lubang penyaring 1,2 mm} &= 10,21\% + 16,67\% \\
 &= 26,87\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,6 mm} &= 26,87\% + 20,36\% \\
 &= 47,23\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,3 mm} &= 47,23\% + 23,18\% \\
 &= 70,41\% \\
 \text{Lubang penyaring 0,15 mm} &= 70,41\% + 22,92\% \\
 &= 93,33\% \\
 \text{Pan} &= 93,33\% + 6,67\%
 \end{aligned}$$

	= 100,00%
c. Persentase Lolos Terakumulasi	
Lubang penyaring 4,8 mm	= 100% - 2,31%
	= 97,69%
Lubang penyaring 2,4 mm	= 100% - 10,21%
	= 89,79%
Lubang penyaring 1,2 mm	= 100% - 26,87%
	= 73,13%
Lubang penyaring 0,6 mm	= 100% - 47,23%
	= 52,77%
Lubang penyaring 0,3 mm	= 100% - 70,41%
	= 29,59%
Lubang penyaring 0,15 mm	= 100% - 93,33%
	= 6,67%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Proses perhitungan yang identic diterapkan pada analisis saringan agregat halus abu batu sampel 2. Tabel 5.15 serta Tabel 5.16 di bawah ini menyajikan produk kalkulasi analisis saringan agregat halus abu batu sampel 1 dan 2.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	45	2,31	2.31	97.69
2,4	154	7,90	10.21	89.79
1,2	325	16,67	26.87	73.13

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,6	397	20,36	47.23	52.77
0,3	452	23,18	70.41	29.59
0,15	447	22,92	93.33	6.67
Pan	130	6,67	100.00	0

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	41	2,08	2,08	97,92
2,4	138	6,99	9,07	90,93
1,2	335	16,97	26,04	73,96
0,6	376	19,05	45,09	54,91
0,3	503	25,48	70,57	29,43
0,15	443	22,44	93,01	6,99
Pan	138	6,99	100,00	0

d. Modulus Halus Butir (MHB)

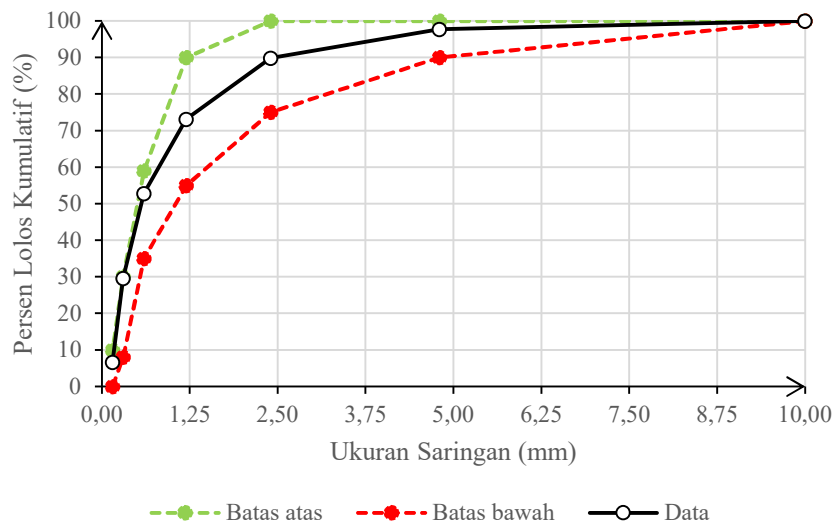
$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Persentase berat tertahan terakumulasi}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{250,36}{100} \\ &= 2,50 \end{aligned}$$

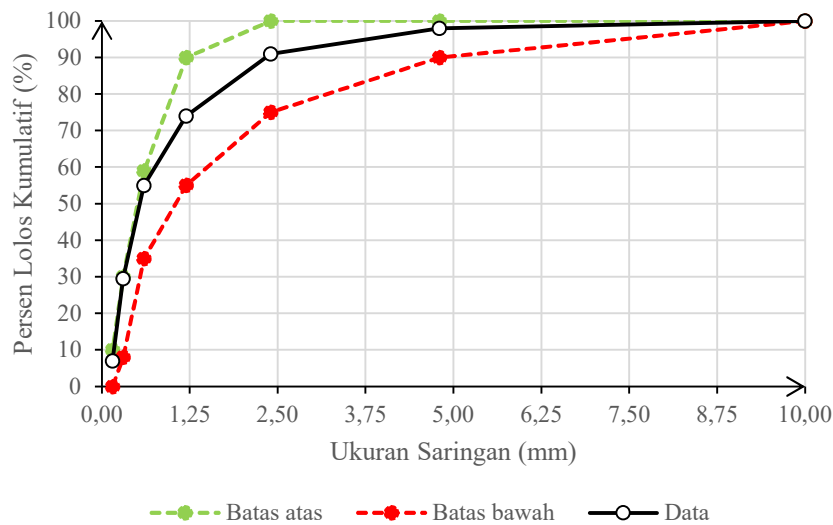
$$\text{MHB sampel 2} = \frac{245,85}{100}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MHB rata-rata} &= 2,46 \\
 &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\
 &= 2,48
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan modulus halus butir yang telah disebutkan menunjukkan bahwa nilai rata-rata modulus halus butir agregat halus abu batu adalah sekitar 2,48. Sesuai dengan ASTM C-33 (2003), nilai modulus halus butir agregat halus berada dalam kisaran 2,3 hingga 3,1. Oleh karena itu, dari hasil perhitungan modulus halus butir (MHB) tersebut, dapat disimpulkan bahwa agregat halus abu batu yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan. Pengujian analisis saringan juga memiliki tujuan dalam menentukan gradasi agregat halus abu batu yang digunakan, dan penentuan ini merujuk pada Tabel 5.4. Lebih lanjut, Gambar 5.5 serta Gambar 5.6 di bawah ini menyajikan kurva gradasi agregat halus abu batu.



Gambar 5.5 Kurva Gradasi Agregat Halus Abu Batu Daerah II Sampel 1



Gambar 5.6 Kurva Gradasi Agregat Halus Abu Batu Daerah II Sampel 2

Mengacu pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 di atas, dapat disimpulkan bahwa agregat halus abu batu pada penelitian ini tergolong dalam gradasi II, yakni pasir agak kasar.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus Abu Batu SNI 4804-1998 difungsikan sebagai acuan pengetesan berat volume gembur serta padat agregat halus abu batu. Produk pengujian tersebut tersedia di Tabel 5.17 serta Tabel 5.18. Berikut adalah kalkulasi berat volume gembur serta padat agregat halus abu batu untuk sampel 1.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18351 - 10024 \\
 &= 8327 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,00^2 \times 30,35 \\
 &= 5359,42 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8327}{5359,42}
 \end{aligned}$$

$$= 1,55 \text{ gram/cm}^3$$

b. Berat Volume Padat

1) Berat Agregat (W3) $= W2 - W1$
 $= 19058 - 19058$
 $= 9034 \text{ gram}$

2) Volume Tabung $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,00^2 \times 30,35$
 $= 5359,42 \text{ cm}^3$

3) Berat Volume Padat $= \frac{W3}{V}$
 $= \frac{9034}{5359,42}$
 $= 1,69 \text{ gram/cm}^3$

Perhitungan yang identik juga diterapkan pada sampel 2, Tabel 5.17 serta Tabel 5.18 di bawah ini menampilkan rekapitulasi produk pengetesan volume gembur serta padat agregat halus.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Diameter silinder (d), cm	15,00	15,01	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,35	30,28	30,31
Berat tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18.351	18.702	18.526,50
Berat agregat (W3), gram	8.327	8.139	8.233,00
Volume tabung (V), gram	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,55	1,52	1,54

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Diameter silinder (d), cm	15,00	15,01	15,00
Tinggi silinder (t), cm	30,35	30,28	30,31

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19.058	19.528	19.293,00
Berat agregat (W3), gram	9.034	8.965	8.999,50
Volume tabung (V), gram	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1,69	1,67	1,68

Dari Tabel 5.17 dan 5.18 di atas, dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus abu batu adalah 1,54 gram/cm³, dan nilai rata-rata berat volume padat agregat halus abu batu adalah 1,68 gram/cm³. Sesuai dengan ASTM C33 (2003), 1,12 kg/dm³ merupakan syarat berat isi gembur serta padat agregat halus. Jadi, agregat halus abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan tersebut.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)
 Pengujian penyaringan nomor 200 atau pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilakukan sesuai dengan ketentuan SNI 4142-1996. Data hasil pengujian tercantum dalam Tabel 5.19. Dalam konteks ini, perhitungan kadar lumpur dalam agregat halus sampel 1 dapat ditemukan seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam agregat halus} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 4}{500} \times 100\% \\
 &= 4,00\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	480	478	479
Persentase lolos ayakan No. 200 $[(W_1 - W_2)/W_1] \times 100$	4,0%	4,4%	4,2%

Berdasarkan data pengujian yang telah dilakukan, persentase yang lolos saringan nomor 200 atau kadar lumpur dalam agregat halus abu batu memiliki rata-rata sekitar 4,2%. Menurut ASTM C-33 (2003), persyaratan maksimum untuk kadar lumpur dalam agregat halus alami adalah $\leq 5\%$. Oleh karena itu, dapat diambil kesimpulan bahwa agregat halus abu batu yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi standar tersebut.

5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) mengacu pada SNI 2847 – 2000. Sehingga kalkulasi perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Benda uji bentuk silinder diameter 15 cm serta tinggi 30 cm ditambah kubus dengan sisi sepanjang 15 cm bermutu rencana (f'_c) 30 MPa.
2. semen hidraulis *portland* tipe I dengan merek Tiga Roda berjenis PCC digunakan.
3. Hasil pengujian berat jenis dan kemampuan penyerapan agregat halus serta kasar menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus adalah 2,63 dan berat jenis agregat kasar adalah 2,67.
4. Produk pengujian analisis saringan pada agregat kasar mengindikasikan bahwa dimensi paling besar dari agregat tersebut adalah 20 mm.
5. Mengacu pada hasil pengujian analisa saringan agregat halus didapatkan gradasi butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II.
6. Sampel silinder yang digunakan adalah 3 buah, maka berdasarkan Tabel 5.20 digunakan nilai margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5.20 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber: SNI 2834 (2000)

*) bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f'c + 12$ MPa).

7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'c + M \\ &= 30 + 12 \\ &= 42 \text{ MPa} \end{aligned}$$

8. Tabel 5.21 serta Gambar 5.7 di bawah ini berperan sebagai acuan untuk penentuan faktor air semen (fas).

Tabel 5.21 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

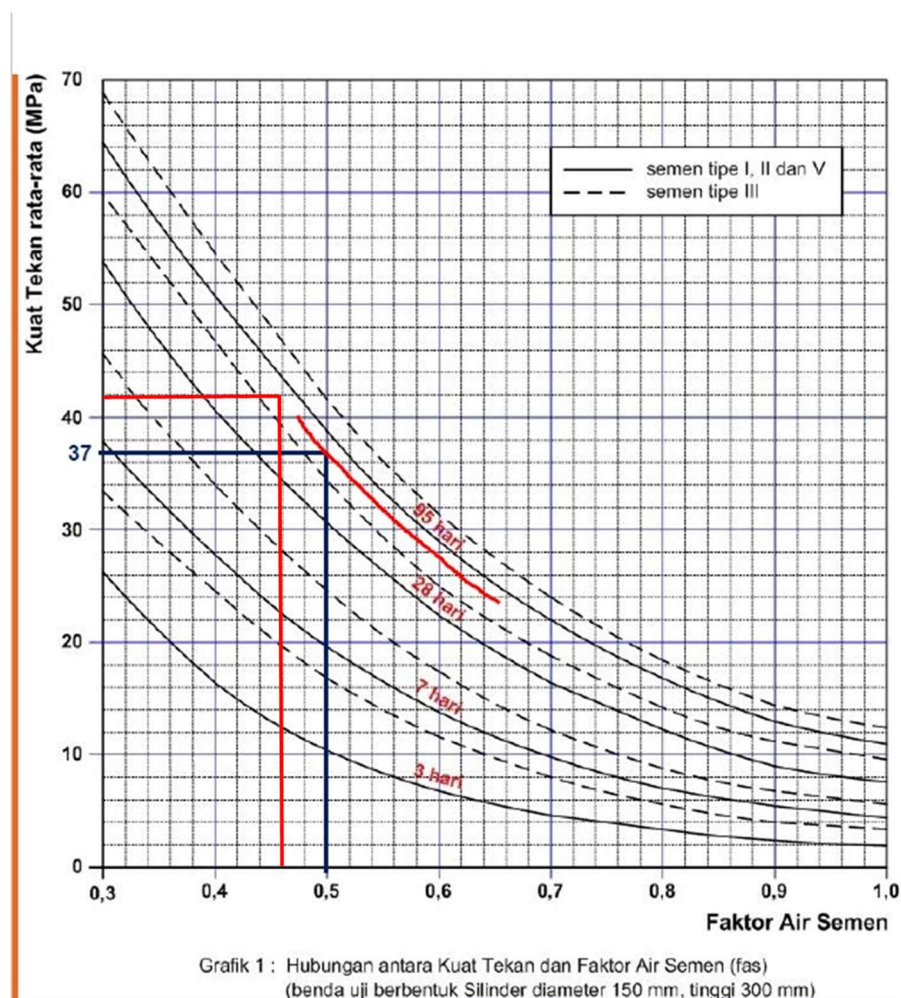
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk Uji
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- a. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen tipe I Portland, dengan agregat kasar berupa pecahan batu, pengujian dilaksanakan dengan benda uji berbentuk silinder, dan kekuatan tekan diukur pada usia 28 hari. Dengan demikian, mengacu pada tabel 5.21 yang terlampir, didapatkan perkiraan kekuatan tekan beton dengan FAS 0,5 mencapai 37 MPa.
- b. Dengan referensi kepada ilustrasi pada Gambar 5.7, gambarlah sebuah garis tegak lurus yang dimulai dari nilai FAS 0,5 dan sebuah garis mendatar yang dimulai dari nilai rata-rata kuat tekan sekitar 37 MPa

yang diambil dari Tabel 5.21. Titik perpotongan antara kedua garis ini kemudian dapat diidentifikasi.

- c. Dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
- d. Gambarlah sebuah garis mendatar yang berlanjut ke arah kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang diinginkan (f'_{cr}) sekitar 42 MPa hingga mencapai titik potong dengan kurva pada titik butir c.
- e. Gambarlah sebuah garis tegak lurus yang turun dari titik pertemuan dengan butir d. Hasilnya akan memberikan nilai FAS sekitar 0,46.



Gambar 5.7 Korelasi Kuat Tekan Terhadap Faktor Air Semen Untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

9. Menentukan keperluan kadar air.

Tabel 5.22 di bawah ini difungsikan sebagai penentu kadar air.

- a. 20 mm merupakan dimensi tertinggi butir agregat sesuai produk pengetesan analisis saringan agregat kasar.
- b. agregat halus (batu tak dipecahkan) dengan agregat kasar (batu pecah) merupakan jenis batuan pada penelitian ini.
- c. 10 ± 2 cm merupakan *slump* rencana, sehingga tergolong pada *slump* dengan rentang 60 – 180 mm.

Tabel 5.22 Estimasi Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Diperlukan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

<i>Slump</i> (mm)		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat				
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{2}{3} \times 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

10. Mengesahkan kadar semen minimum dan FAS maksimum

Tabel 5.23 dibawah ini difungsikan sebagai acuan penetapan kadar semen paling minim serta FAS tertinggi.

Tabel 5.23 Pedoman Kadar Semen Minimum serta Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Tertentu

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Spesifikasi beton yang digunakan adalah untuk penggunaan dalam bangunan dengan lingkungan yang tidak bersifat korosif. Sebagai hasilnya, dengan mengacu pada Tabel 5.23, diperoleh estimasi kebutuhan semen minimal sekitar 275 kg/m³ dan nilai FAS maksimum yang diperbolehkan adalah sekitar 0,60.

11. Mengesahkan kadar semen yang difungsikan
 - a. FAS dengan nilai 0,46 berhasil diidentifikasi melalui analisis grafik, sedangkan nilai FAS maksimum yang sesuai dengan jenis pembetonan adalah 0,60. Dalam hal ini, dipilihlah nilai FAS terkecil, yakni 0,46, yang didapat dari grafik.

- b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai FAS dan kadar air sebagai berikut.

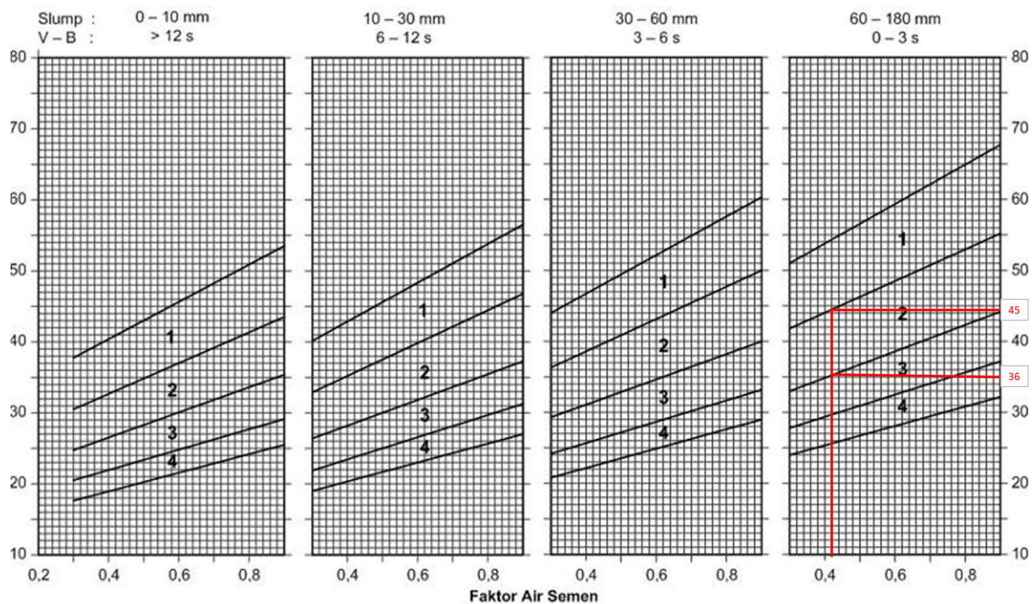
$$\begin{aligned} c &= \frac{w}{fas} \\ &= \frac{205}{0,46} \\ &= 446 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

- c. Kadar semen yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah sekitar 446 kg/cm³, sementara kadar semen minimum yang disyaratkan berdasarkan jenis pembetonan adalah 475 kg/cm³. Dengan demikian, jumlah semen yang akhirnya digunakan adalah sekitar 446 kg/cm³.

12. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar

Gambar 5.10 di bawah ini berfungsi dalam aspek penentuan persentase agregat halus.

- a. Dimensi agregat maksimal yang dipilih adalah sekitar 20 mm, sementara rentang rencana *slump* beton adalah antara 60 hingga 180 mm. Juga, FAS yang diterapkan adalah sekitar 0,46, dan agregat halus yang digunakan memenuhi gradasi tipe II.
- b. FAS 0,46 digunakan sebagai acuan penarikan garis vertikal hingga berpotongan dengan dua buah kurva yang membatasi kawasan gradasi II.
- c. Dengan memanfaatkan dua titik persilangan di butir b, buatlah sebuah garis mendatar ke arah kanan untuk menentukan persentase batas atas dan batas bawah agregat halus, yang masing-masing adalah 45% dan 36%.



Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 5.8 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 2834, 2000)

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \%Ag.Halus &= \frac{45\%+36\%}{2} \\ &= 40,69\% \end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \%Ag.Kasar &= 100\% - \%Ag.Halus \\ &= 100\% - 40,69\% \\ &= 59,31\% \end{aligned}$$

13. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

Persamaan berikut difungsikan untuk kalkulasi berat jenis relatif gabungan.

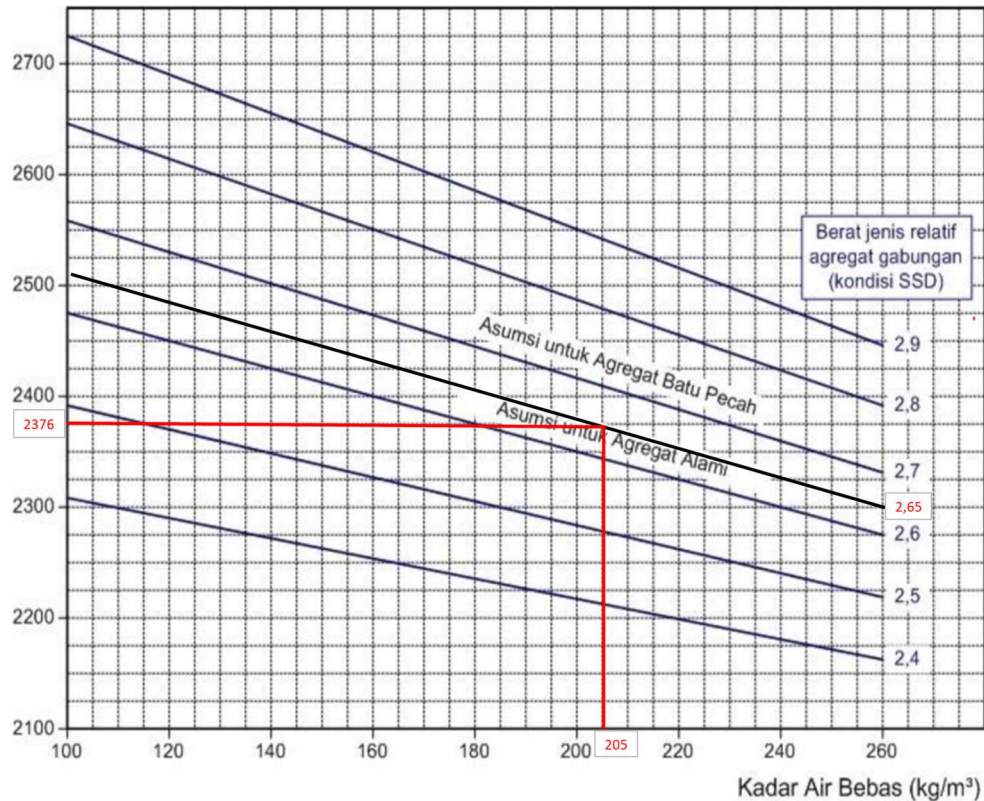
$$\begin{aligned} BJ_{gab} &= (\%Ag.Halus \times BJ_{Ag.Halus}) + (\%Ag.Kasar \times BJ_{Ag.Kasar}) \\ &= (40,69\% \times 2,63) + (59,31\% \times 2,67) \\ &= 2,65 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat isi beton

Gambar 5.9 di bawah ini berperan dalam penentuan berat isi beton.

- a. nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,65 difungsikan sebagai acuan kurva baru.

- b. nilai kadar air sebesar 205 kg/m^3 dijadikan acuan penarikan garis lurus ke atas hingga memotong kurva baru pada butir a.
- c. Dari titik perpotongan pada butir b, gambarlah garis mendatar ke sisi kiri untuk mendapatkan perkiraan nilai berat isi beton (W_{beton}) sekitar 2376 kg/m^3 .



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 5.9 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 2834, 2000)

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton
 Persamaan berikut memiliki fungsi sebagai kalkulasi kadar agregat campuran beton.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Ag.gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \\
 &= 2376 - 446 - 205 \\
 &= 1725 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton

Formula pada poin a. serta poin b. dibawah berperan dalam penentuan kadar agregat halus serta agregat kasar pada campuran beton.

a. Agregat halus

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Halus}} &= \% \text{Ag.Halus} \times W_{\text{Ag.gab}} \\ &= 40,69\% \times 1725 \text{ kg/m}^3 \\ &= 702 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b. Agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Kasar}} &= W_{\text{Ag.gab}} - W_{\text{Ag.halus}} \\ &= 1725 - 702 \\ &= 1023 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Rasio campuran per 1 m³ beton

Rasio masing-masing material per 1 m³ beton berlandaskan produk kalkulasi campuran beton tertera di bawah ini.

- a. Semen = 446 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 702 kg
- d. Agregat Kasar = 1023 kg

18. Rasio campuran per 1 m³ beton dengan angka penyusutan

Angka penyusutan sebesar 25% diterapkan dalam penelitian ini, dan sebagai akibatnya, komposisi material per 1 m³ beton menjadi seperti yang berikut.

- a. Semen = 557,67 kg
- b. Air = 256,25 kg
- c. Agregat Halus = 877,49 kg
- d. Agregat Kasar = 1279,16 kg

19. Hasil perencanaan campuran beton

Hasil perhitungan untuk perencanaan campuran beton tersedia dalam Tabel 5.24 seperti yang terlihat di bawah ini.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Produk Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar deviasi	-	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,46	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,46	
11	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	446	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	446	Kg/m ³
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,63	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,67	
22	Persentase agregat halus	40,69	%
23	Persentase agregat kasar	59,31	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,65	
25	Berat isi beton	2376	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1725	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	702	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1023	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	557,67	kg/m ³
30	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³
31	Kadar agregat halus dengan angkat penyusutan	877,49	kg/m ³
32	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1.279,16	kg/m ³

20. Volume benda uji

3 silinder dengan diameter 150 mm serta tinggi 300 mm, serta 2 kubus dengan keseluruhan sisi sepanjang 150 mm untuk setiap variasi merupakan benda uji dalam penelitian ini. Perhitungan volume benda uji didasarkan pada jumlah benda uji yang digunakan dalam satu putaran pencampuran. Proses pembuatan benda uji untuk setiap variasi dilakukan dengan satu putaran pencampuran yang melibatkan 3 silinder dan 2 kubus. Berikut adalah detail volume benda uji untuk masing-masing tahap pencampuran.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Volume } \textit{mixing} &= (3 \times V_{\text{silinder}}) + (2 \times V_{\text{kubus}}) \\
 &= (3 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t) + (2 \times s \times s \times s) \\
 &= (3 \times \frac{1}{4} \pi \times 0,15^2 \times 0,3) + \\
 &\quad (2 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,15) \\
 &= 0,023 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

21. Proporsi campuran untuk tiap kali *mixing*

Dengan mengambil referensi dari volume yang sudah dihitung pada butir 20. dapat ditentukan proporsi campuran yang akan digunakan selama proses pencampuran. Perincian perhitungan proporsi campuran dapat ditemukan sebagai berikut.

a. Proporsi campuran untuk *mixing*

1) Semen	$= 0,023 \times 557,67$	$= 12,634 \text{ kg}$
2) Air	$= 0,023 \times 256,25$	$= 5,805 \text{ kg}$
3) Agregat halus	$= 0,023 \times 877,49$	$= 19,879 \text{ kg}$
4) Agregat kasar	$= 0,023 \times 1279,16$	$= 28,978 \text{ kg}$

Tabel 5.25 di bawah menunjukkan rekapitulasi rasio campuran pada pelaksanaan penelitian ini.

Tabel 5.25 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah *Superplasticizer*

Kadar <i>Superplasticizer</i>	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Superplasticizer</i> (kg)
0%	12,634	5,805	19,879	28,978	0,000
0,3%	12,634	5,767	19,879	28,978	0,038
0,4%	12,634	5,754	19,879	28,978	0,051
0,5%	12,634	5,742	19,879	28,978	0,063
Jumlah	50,536	23,068	79,516	115,914	0,152

Tabel 5.26 Proporsi Campuran Beton Abu Batu dengan Bahan Tambah *Superplasticizer*

Kadar <i>Superplasticizer</i>	Semen (kg)	Air (kg)	Abu Batu (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Superplasticizer</i> (kg)
0%	12,634	5,805	19,879	28,978	0,000
0,3%	12,634	5,767	19,879	28,978	0,038
0,4%	12,634	5,754	19,879	28,978	0,051
0,5%	12,634	5,742	19,879	28,978	0,063
Jumlah	50,536	23,068	79,516	115,914	0,152

5.3 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial*

Sesuai dengan perencanaan campuran yang telah disusun, langkah selanjutnya adalah melaksanakan percobaan dengan pembuatan benda uji *trial*. Hal ini dilakukan untuk menilai sejauh mana perencanaan campuran tersebut akurat. Sampel benda uji yang diproduksi terdiri dari 3 silinder yang sebelum diuji, diberi lapisan *capping* untuk menghasilkan permukaan yang rata. Pengujian ini dilaksanakan ketika beton berusia 3 hari, sehingga dalam perhitungan nilai kuat tekan beton, perlu memperhitungkan faktor konversi untuk usia pengujian yang sesuai. Berikut adalah detail perhitungan kuat tekan beton dari uji coba ini.

1. Kuat tekan beton *trial* umur 3 hari

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{217 \times 1000}{0,25 \times \pi \times 151,2^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 12,086 \text{ MPa} \\
 f'_{c_{\text{konversi}}} &= f'_{c_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka konversi}} \\
 &= 12,086 \times \frac{1}{0,4} \\
 &= 30,214 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan identik dilakukan pada keseluruhan sampel. Tabel 5.26 di bawah ini menyajikan produk pengujian kekuatan tekan beton *trial*.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton Trial

Umur (Hari)	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Angka Konversi Umur Uji	Kuat Tekan (MPa)
3	1	151,2	17.955,333	217	12,086	0,4	30,214
3	2	149,35	17.518,638	229	13,072	0,4	32,679
3	3	149,3	17.506,910	223	12,738	0,4	31,845

Merujuk pada Tabel 2.56 di atas, dapat disimpulkan bahwa benda uji *trial* telah berhasil memenuhi mutu yang telah direncanakan, yaitu mencapai 30 MPa. Pengujian yang dilakukan pada tiga benda uji *trial* menunjukkan adanya konsistensi dalam hasil yang diperoleh, tanpa adanya variasi yang mencolok. Oleh karena itu, perencanaan campuran ini dapat dianggap sesuai untuk digunakan dalam penelitian.

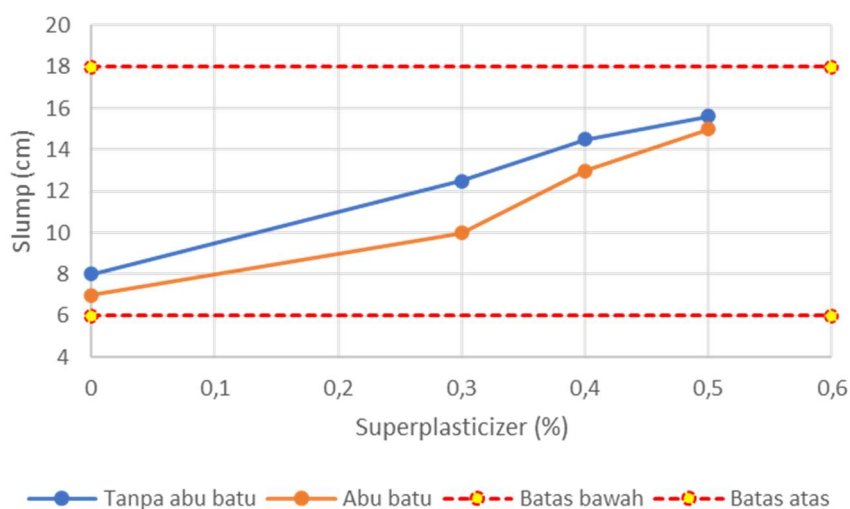
5.4 Hasil Pengujian *Workability*

Workability pada beton segar mengacu pada tingkat kemudahan dalam proses konstruksi. Pengujian *workability* beton segar dilakukan melalui pelaksanaan *slump test*. Semakin tinggi nilai *slump* pada beton segar, semakin mudah pengerjaannya, sedangkan nilai *slump* yang rendah menunjukkan tingkat kesulitan dalam pengerjaan beton. Peningkatan nilai *slump* beton yang disebabkan oleh penambahan air tanpa penambahan semen yang sesuai dapat mengurangi mutu beton. Pada saat melakukan pencampuran berbagai variasi beton dengan *superplasticizer*, sekitar 20% dari campuran air disimpan untuk dicampur bersama dengan *superplasticizer* dan kemudian dimasukkan ke dalam *mixer*. Pengurangan

air dilakukan sesuai dengan kadar superplasticizer yang tercantum dalam Tabel 5.26. Hasil pengujian *slump* dan hubungannya dengan variasi kadar *superplasticizer* pada beton normal tanpa abu batu dan dengan abu batu dapat dilihat dalam Tabel 5.27 dan Gambar 5.10.

Tabel 5.28 Hasil Pengujian Slump Beton Tanpa Abu Batu dan Dengan Abu Batu

Variasi Kadar <i>Superplasticizer</i>	Slump (cm)	
	Tanpa Abu Batu	Abu Batu
0%	8	7
0,3%	12,5	10
0,4%	14,5	13
0,5%	15,6	15



Gambar 5.10 Korelasi Nilai Slump Terhadap Variasi Kadar Superplasticizer pada Campuran Beton Tanpa Abu Batu dan Menggunakan Abu Batu

Dari informasi yang terdokumentasikan dalam Tabel 5.27 dan Gambar 5.10 di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa *workability* beton yang memanfaatkan abu batu dalam komposisinya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan campuran beton yang tidak mengandung abu batu. Puncak nilai *slump* tercatat pada campuran beton tanpa abu batu, yakni sekitar 15,6 cm dengan penggunaan *superplasticizer*

sebesar 0,5%, sementara nilai terendah terlihat pada campuran beton tanpa abu batu dengan *slump* sekitar 8 cm pada kadar *superplasticizer* 0%. Di sisi lain, campuran beton dengan abu batu menunjukkan performa *workability* terbaik dengan *slump* sekitar 15 cm pada kadar *superplasticizer* 0,5%, sedangkan performa *workability* terendahnya adalah *slump* sekitar 7 cm dengan kadar *superplasticizer* 0%. Hasil penelitian ini sesuai dengan ekspektasi, mengingat bahwa kadar penyerapan agregat halus abu batu lebih tinggi dibandingkan dengan pasir, sehingga *workability* pada campuran beton dengan abu batu cenderung lebih rendah daripada campuran beton tanpa abu batu.



Gambar 5.11 Pengujian Slump

5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Pengujian ini memiliki tujuan untuk mendapat nilai perbandingan antara berat beton dengan volumenya. Perhitungan berat volume beton dapat dilihat dibawah ini dan untuk hasil rekapitulasinya ditunjukkan pada Tabel 5.29 sebagai berikut.

1. Berat Volume Beton

$$M_c = 12721 \text{ gram}$$

$$V_m = \frac{1}{4} \times \pi \times (150,1 \times 10^{-3})^2 \times 303,95 \times 10^{-3}$$

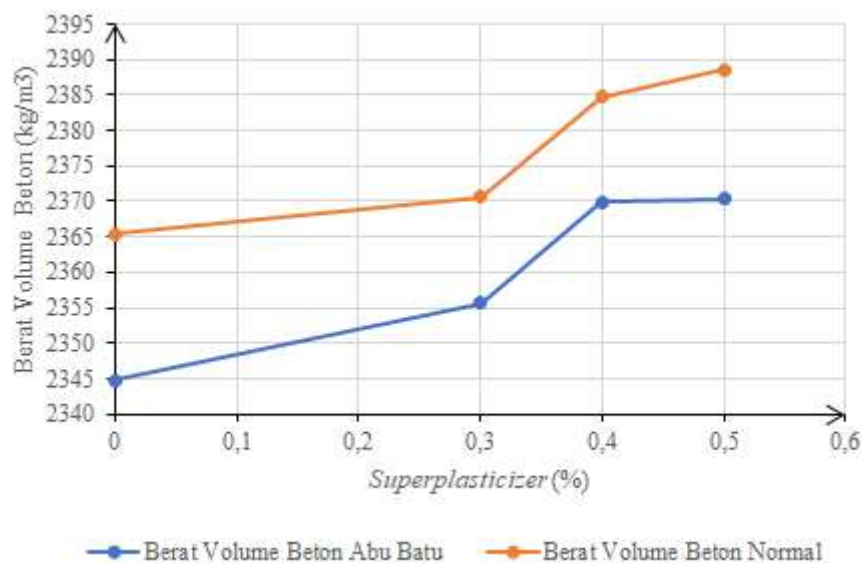
$$= 0,005 \text{ m}^3$$

$$D = \frac{12721 \times 10^{-3}}{0,005}$$

$$= 2365,3 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Kode Benda Uji	Berat Beton (gram)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume Beton (m³)	Berat Volume Beton (kg/m³)	Berat Volume Rata-rata (kg/m³)
KT-TAB-0	12.892	151,45	302,75	0,005	2.363,7	2.365,471
	12.721	150,1	303,95	0,005	2.365,3	
	12.691	150	303,35	0,005	2.367,4	
KT-TAB-03	12.576	149,25	303	0,005	2.372,4	2.370,567
	12.642	150	301,75	0,005	2.370,8	
	12.817	150,65	303,6	0,005	2.368,5	
KT-TAB-04	13.156	151,7	305	0,006	2.386,5	2.384,812
	13.113	151,2	306,3	0,005	2.384,3	
	13.326	151,9	308,5	0,006	2.383,6	
KT-TAB-05	12.881	150,75	302	0,005	2.389,6	2.388,580
	13.565	154,1	304,5	0,006	2.388,5	
	13.166	151,6	305,5	0,006	2.387,6	
KT-AB-0	12.682	151,15	301,1	0,005	2.347,4	2.344,844
	12.780	151,25	303,55	0,005	2.343,2	
	13.045	152,2	305,9	0,006	2.343,9	
KT-AB-03	12.721	151,15	301,25	0,005	2.353,3	2.355,691
	12.471	149,05	303,05	0,005	2.358,6	
	12.918	150,9	306,7	0,005	2.355,2	
KT-AB-04	12.785	150,7	302,5	0,005	2.369,5	2.369,957
	12.689	149,8	303,95	0,005	2.368,7	
	13.100	151,5	306,4	0,006	2.371,7	
KT-AB-05	12.857	150,25	305,9	0,005	2.370,4	2.370,359
	12.791	150,6	302,85	0,005	2.371,0	
	12.811	149,85	306,55	0,005	2.369,6	



Gambar 5.12 Korelasi Berat Volume Beton terhadap Penggunaan *Superplasticizer*

Sesuai dengan Tabel 5.29 dan Gambar 5.12 didapat bahwa berat volume beton terus meningkat seiring penambahan kadar *superplasticizer*. Berat beton normal tertinggi dan terendah yang didapatkan yaitu senilai 2388,580 kg/m³ dan 2365,471 kg/m³. Sementara, berat volume beton abu batu terendah dan tertinggi yaitu senilai 2344,844 kg/m³ dan 2370,359 kg/m³. Beton dengan abu batu memiliki nilai berat volume lebih rendah dibanding dengan beton normal, hal ini dikarenakan berat jenis abu batu lebih kecil dibanding dengan agregat halus pasir. Berat jenis bahan penyusun beton sangat mempengaruhi berat volume beton (Naga, 2003).

5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada usia 28 hari dengan target nilai kuat tekan sekitar 30 MPa. Proses pengujian kuat tekan dilaksanakan dengan menggunakan mesin *Automax Pro-M*, dan untuk memastikan permukaan bidang tekan benda uji menjadi rata, dilakukan pemberian lapisan *capping*. Beton ditempatkan dalam mesin *Automax Pro-M* dalam posisi tegak vertikal dan kemudian ditekan. Selama proses pembebanan beton, nilai beban akan bertambah naik seiring peningkatan nilai gaya tekan hingga mencapai kuat tekan maksimum. Nilai kuat tekan beton adalah nilai beban puncak yang tercapai selama proses

pengujian. Sebagai contoh, hasil perhitungan kuat tekan beton dapat ditemukan seperti yang diilustrasikan di bawah ini.

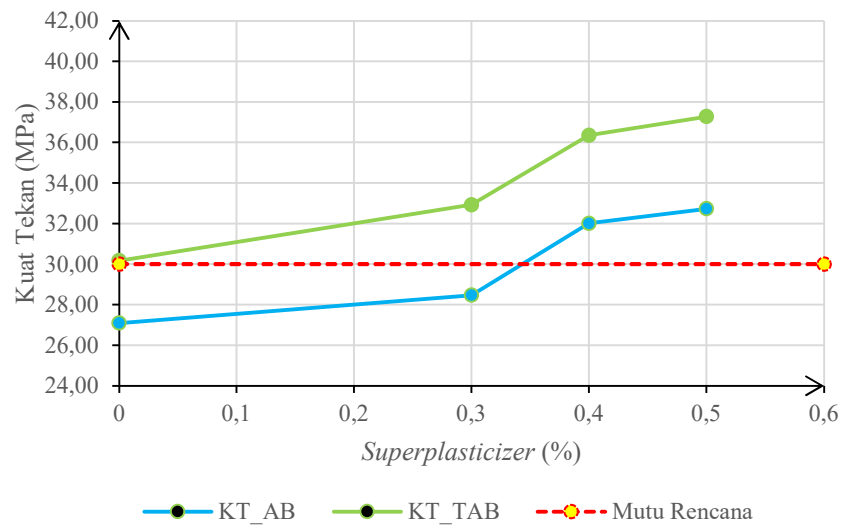
2. Kuat tekan beton tanpa abu batu

$$\begin{aligned}
 P_{\text{maksimum}} &= 547,37 \text{ kN} \\
 \text{Luas permukaan benda uji KT-TAB-0-I} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,45^2 \\
 &= 18014,76 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat tekan KT-TAB-0-I} &= \frac{547,37 \times 10^3}{18014,76} \\
 &= 30,38 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton abu batu

$$\begin{aligned}
 P_{\text{maksimum}} &= 470,87 \text{ kN} \\
 \text{Luas permukaan benda uji KT-AB-0-I} &= \frac{1}{4} \times \pi \times 151,15^2 \\
 &= 17943,46 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat tekan KT-AB-0-I} &= \frac{470,87 \times 10^3}{17943,46} \\
 &= 26,24 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Metode yang sama diterapkan dalam menghitung nilai-nilai kuat tekan untuk semua benda uji, dan hasil perhitungan keseluruhan kuat tekan benda uji dapat diakses pada Tabel 5.28. Grafik yang membandingkan kuat tekan beton yang tidak mengandung abu batu dengan yang mengandung abu batu dapat dilihat dalam Gambar 5.12 sebagaimana yang terlihat di bawah ini.



Gambar 5.13 Perbandingan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dan Beton Abu Batu

Tabel 5.30 Rekapitulasi Produk Perhitungan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dan Menggunakan Abu Batu

Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran (%)		Beban Maksimum	Luas	Kuat Desak (MPa)	
	(mm)	(mm)	Abu Batu	<i>Superplasticizer</i>	(kN)	(mm ²)	Satuan	Rerata
KT-TAB-0	151,45	302,75	0	0	547,37	18.014,76	30,38	30,17
	150,10	303,95			522,58	17.695,03	29,53	
	150,00	303,35			540,81	17.671,46	30,60	
KT-TAB-03	149,25	303,00	0	0,3	572,97	17.495,19	32,75	32,92
	150,00	301,75			586,34	17.671,46	33,18	
	150,65	303,60			585,19	17.824,94	32,83	
KT-TAB-04	151,70	305,00	0	0,4	655,55	18.074,28	36,27	36,35
	151,20	306,30			639,93	17.955,33	35,64	
	151,90	308,50			673,05	18.121,97	37,14	
KT-TAB-05	150,75	302,00	0	0,5	665,40	17.848,62	37,28	37,28
	154,10	304,50			690,08	18.650,70	37,00	
	151,60	305,50			677,98	18.050,46	37,56	
KT-AB-0	151,15	301,10	100	0	488,78	17.943,46	27,24	27,09
	151,25	303,55			491,76	17.967,21	27,37	
	152,20	305,90			484,86	18.193,62	26,65	
KT-AB-03	151,15	301,25	100	0,3	513,54	17.943,46	28,62	28,46
	149,05	303,05			503,21	17.448,33	28,84	
	150,90	306,70			499,50	17.884,15	27,93	

Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Produk Perhitungan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dan Menggunakan Abu Batu

Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran (%)		Beban Maksimum	Luas	Kuat Desak (MPa)	
	(mm)	(mm)	Abu Batu	<i>Superplasticizer</i>	(kN)	(mm ²)	Satuan	Rerata
KT-AB-04	150,70	302,50	100	0,4	570,78	17.836,78	32,00	32,01
	149,80	303,95			563,45	17.624,37	31,97	
	151,50	306,40			577,93	18.026,65	32,06	
KT-AB-05	150,25	305,90	100	0,5	574,47	17.730,41	32,40	32,73
	150,60	302,85			589,61	17.813,11	33,10	
	149,85	306,55			576,35	17.636,13	32,68	

Tabel 5.28 dan Gambar 5.12 menunjukkan hasil pengujian uji tekan pada beton, nilai kuat tekan yang diraih pada variasi KT-TAB-0 hingga KT-TAB-05 secara berturut – turut adalah 30,17 MPa, 32,92 MPa, 36,35 MPa, dan 37,28 MPa. Sedangkan, nilai kuat tekan yang diraih pada variasi KT-AB-0 hingga KT-AB-05 secara berturut – turut adalah 27,09 MPa, 28,46 MPa, 32,01 MPa, 32,73 MPa. Beton kontrol yang dipakai sebagai acuan memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 30,17 MPa. Nilai ini tentunya sudah memenuhi mutu beton rencana, yaitu 30 MPa. Namun, penggunaan abu batu pada beton menurunkan kuat tekan beton. Beton dengan abu batu tanpa *superplasticizer* memiliki nilai kuat tekan senilai 27,42 MPa. Beton dengan abu batu mendapatkan nilai kuat tekan rata-rata tertinggi senilai 32,73 MPa pada variasi KT-AB-05 (0,5% *superplasticizer*), angka ini meningkat 8,46% dari kuat tekan beton normal tanpa abu batu dan *superplasticizer*. Nilai kuat tekan terus meningkat seiring penambahan *superplasticizer*, tidak hanya berlaku pada beton dengan abu batu. Namun, beton tanpa abu batu juga mengalami peningkatan nilai kuat tekan yaitu pada variasi KT-TAB-05 (0,5% *superplasticizer*) senilai 37,28 MPa. Persentase peningkatan nilai kuat tekan pada beton dengan abu batu serta tanpa abu batu dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 sebagai berikut.

Tabel 5.31 Rekapitulasi Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu dengan Superplasticizer Terhadap Beton Tanpa Abu Batu dan Superplasticizer

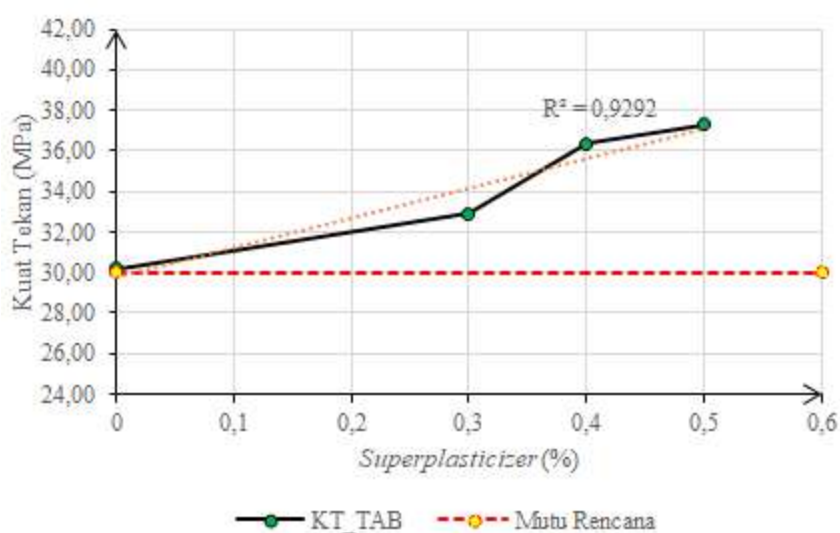
Kadar <i>Superplasticizer</i> (%)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan (%)
	KT-TAB
0,3	9,10
0,4	20,47
0,5	23,55

Tabel 5.32 Rekapitulasi Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton Abu Batu dengan Superplasticizer Terhadap Beton Abu Batu Tanpa Superplasticizer

Kadar <i>Superplasticizer</i> (%)	Persentase Peningkatan Kuat Tekan (%)
	KT-AB
0,3	5,08
0,4	18,18
0,5	20,82

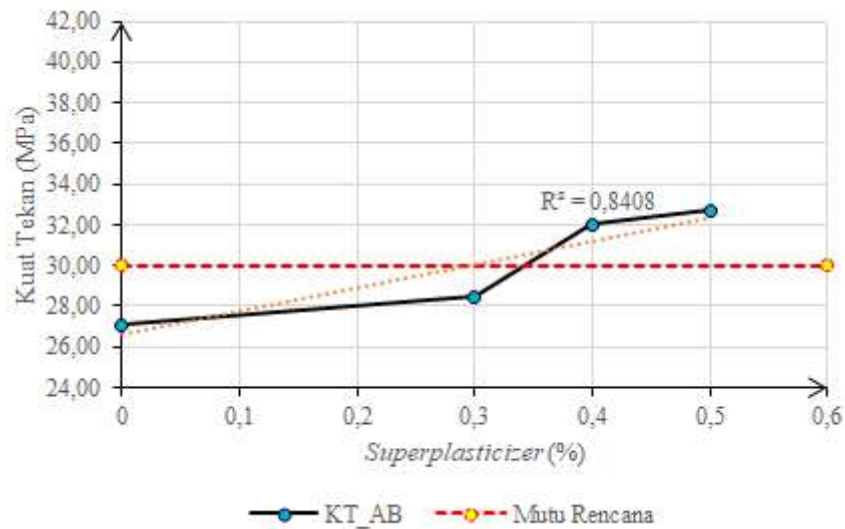
Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 menunjukkan bahwa persentase nilai kuat tekan terus meningkat bahkan hingga variasi *superplasticizer* 0,5%, peningkatan ini cukup signifikan hingga pada kadar 0,4%. Namun persentase peningkatan nilai kuat tekan tidak begitu signifikan pada variasi 0,5% yaitu hanya meningkat dalam rentang 3% – 4% dari variasi 0,4%. Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan Rakha (2018), mengacu pada penelitiannya didapat peningkatan kuat tekan 22,015% pada kadar *superplasticizer* 0,3%, 41,638% pada kadar *superplasticizer* 0,4%, hingga pada kadar *superplasticizer* 0,5% didapat peningkatan kuat tekan sebesar 62,36% dari beton kontrol. Tidak hanya itu, mengacu dari penelitian yang dilakukan S Haniza et al (2021) menyatakan bahwa penambahan *superplasticizer* meningkatkan nilai kuat tekan hingga pada nilai 506,79 kg/cm² (setara 49,699 MPa) untuk kadar tertinggi dalam penelitiannya yaitu 1,5%. Nilai kuat tekan beton yang diraih penulis dalam penelitian ini sudah sesuai dengan penelitian R Hidayata et al (2019), yaitu nilai kuat tekan yang diraih beton menggunakan abu batu akan tetap lebih rendah dibanding dengan beton tanpa abu batu, nilai yang didapat pada umur 28 hari untuk beton normal adalah 40,17 MPa. Sedangkan, untuk beton dengan abu batu pada persentase 20% hanya didapat 36,28 MPa. Namun, dengan penambahan *superplasticizer* yang dilakukan penulis maka kuat tekan beton dengan abu batu dapat meningkat bahkan melebihi mutu rencana hal ini sesuai dengan penelitian yang dilaksanakan Pradhipta (2022), dengan varian 20% abu batu tanpa *superplasticizer* didapat angka 31,15 MPa. Sedangkan, dengan varian yang sama namun kadar *superplasticizer* sebanyak 0,4% didapat angka 33,52 MPa.

Peningkatan kuat tekan akibat penggunaan *superplasticizer* terjadi karena pasta semen pada beton yang menggunakan *superplasticizer* lebih baik dalam menyelimuti agregat – agregat sehingga tingkat homogenitas dalam beton keras lebih baik (Rahmayanti, 2019). Tidak hanya itu, sesuai dengan prinsip kerja *superplasticizer*. Law Tjiun Nie (2003) menyatakan bahwa kandungan asam sulfonate dalam *superplasticizer* dapat menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar yang mengakibatkan air yang terikat pada kelompok partikel menghasilkan viskositas/kekentalan beton segar lebih rendah dengan tingkat pemadatan lebih baik. *Product data sheet Sika Viscocrete – 1003* (2018) mengklaim bahwa penggunaannya dapat menyebabkan pemadatan lebih baik sehingga meningkatkan kuat tekan serta hasil akhir dari beton yang dibuat.



Gambar 5.14 Grafik Peningkatan Kuat Tekan Beton Tanpa Abu Batu Terhadap Penambahan Superplasticizer

Koefisien korelasi pada Gambar 5.13 menunjukkan angka sebesar 0,9292. Tabel 3.8 menyatakan bahwa interval koefisien 0,8 – 1,0 tingkat hubungannya sangat kuat. Beton tanpa abu batu dengan penambahan *superplasticizer* menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibanding beton tanpa abu batu dan tidak ditambahkan *superplasticizer*.



Gambar 5.15 Grafik Peningkatan Kuat Tekan Beton Abu Batu Terhadap Penambahan Superplasticizer

Beton dengan abu batu seperti pada gambar 5.14, mendapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,8408. Mengacu pada Tabel 3.8, didapat kesimpulan bahwa tingkat hubungan antara kuat tekan beton abu batu dengan penambahan *superplasticizer* adalah sangat kuat.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Degradasi Kuat Tekan Beton Abu Batu Terhadap Beton Tanpa Abu Batu pada Tiap Variasi Superplasticizer

Kadar <i>Superplasticizer</i> (%)	Persentase Degradasi Kuat Tekan (%)		
	KT-TAB	KT-AB	Persentase
0	30,17	27,09	10,23
0,3	32,92	28,46	13,54
0,4	36,35	32,01	11,94
0,5	37,28	32,73	12,21
Rata-rata			11,98

Tabel 5.29 di atas menunjukkan bahwa rata-rata persentase degradasi kuat tekan beton menggunakan abu batu terhadap beton tanpa abu batu disetiap variasinya adalah 11,98%, hasil ini diakibatkan abu batu memiliki berat jenis yang lebih kecil serta penyerapan air yang lebih besar dibanding pasir biasa sehingga

mempengaruhi terhadap berat volume beton yang berdampak pada menurunnya nilai kuat tekan beton tersebut.

5.7 Pengujian Absorpsi Beton

Pelaksanaan uji absorpsi dilaksanakan dengan menaruh benda uji kubus dalam oven durasi 24 jam besaran suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Lalu, benda uji dikeluarkan dan ditimbang sehingga didapat berat sampel dalam kondisi kering oven. Pengujian dilanjutkan dengan sampel benda uji tersebut direndam selama 48 jam. Setelahnya, keluarkan benda uji dari perendaman lalu keringkan permukaan menggunakan kain kering agar mencapai kondisi kering permukaan lalu ditimbang. Diketuinya berat benda uji dalam kondisi kering permukaan, maka dilanjutkan dengan perhitungan sebagai berikut.

1. Absorpsi beton tanpa abu batu dan tanpa *superplasticizer*

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{8,222 - 7,781}{7,823} \times 100 \\ &= 5,67\% \end{aligned}$$

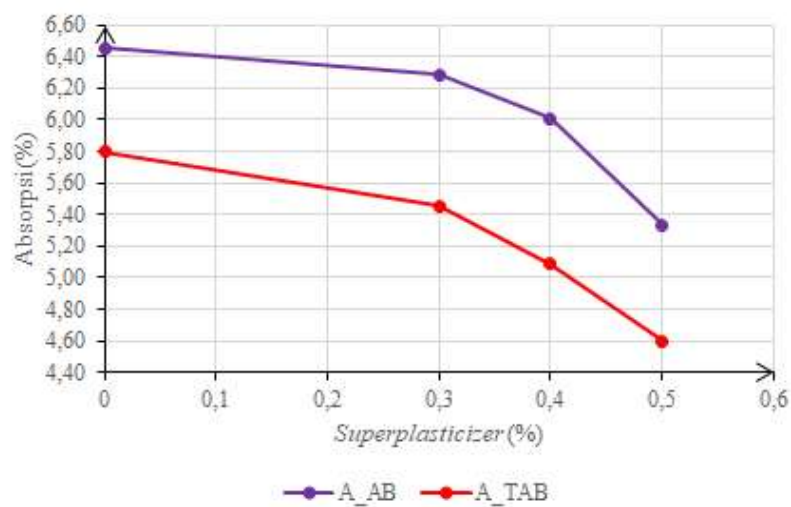
2. Absorpsi beton tanpa abu batu dengan *superplasticizer*

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{7,900 - 8,299}{7,900} \times 100 \\ &= 5,05\% \end{aligned}$$

Dengan melakukan perhitungan yang serupa, hitung absorpsi beton pada sampel-sampel lainnya. Sehingga, didapat rekapitulasi hasil perhitungan absorpsi beton seperti pada Tabel 5.32 sebagai berikut.

Tabel 5.34 Rekapitulasi Produk Pengujian Absorpsi Beton

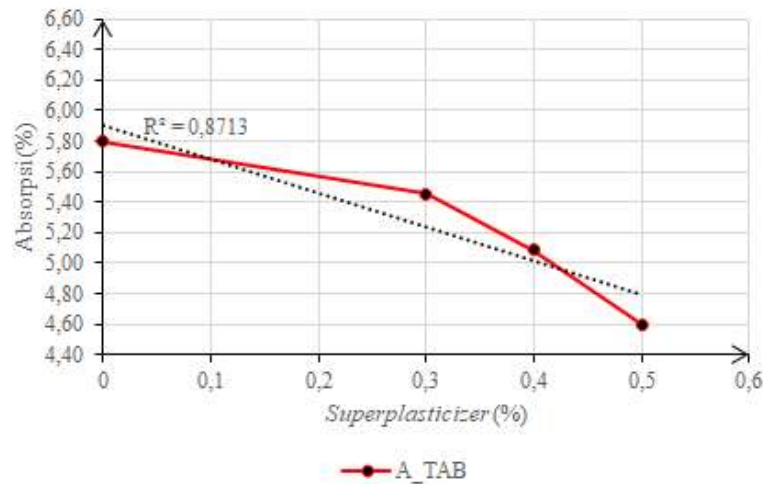
Abu Batu	Kadar <i>Superplasticizer</i>	Kode Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rata-rata (%)
0%	0%	A-TAB-0	7,781	8,222	5,67	5,79
			7,565	8,013	5,92	
	0,3%	A-TAB-03	7,823	8,239	5,32	5,45
			7,610	8,035	5,58	
	0,4%	A-TAB-04	7,900	8,299	5,05	5,09
			7,807	8,207	5,12	
	0,5%	A-TAB-05	8,063	8,413	4,34	4,60
			7,671	8,043	4,85	
100%	0%	A-AB-0	7,448	7,939	6,59	6,45
			7,524	7,999	6,31	
	0,3%	A-AB-03	7,614	8,079	6,11	6,29
			7,912	8,424	6,47	
	0,4%	A-AB-04	7,831	8,302	6,01	6,01
			7,934	8,410	6,00	
	0,5%	A-AB-05	7,907	8,326	5,30	5,33
			8,027	8,458	5,37	



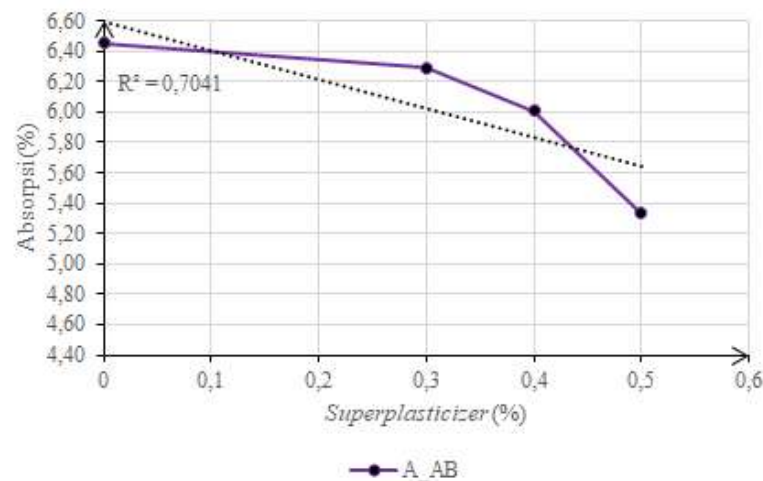
Gambar 5.16 Perbandingan Tingkat Absorpsi Beton Tanpa Abu Batu dengan Beton Abu Batu

Merujuk pada Tabel 5.32 dan Gambar 5.15 di atas, didapat angka absorpsi beton tanpa abu batu rata-rata pada penggunaan *superplasticizer* sebesar 0%; 0,3%; 0,4%; dan 0,5% secara berturut-turut sebesar 5,79%, 5,45%, 5,09%, dan 4,60%. Sedangkan, pada beton dengan abu batu angka absorpsi secara berturut-turut sebesar 6,45%, 6,29%, 6,01%, dan 5,33%. Data hasil uji absorpsi yang dilakukan penulis sesuai dengan penelitian yang dilaksanakan Pradhipta (2022), tingkat absorpsi beton dengan abu batu memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan beton tanpa abu batu. Nilai absorpsi yang lebih besar ini hasil atas sifat abu batu yang memiliki daya serap terhadap air lebih tinggi daripada pasir biasa, sehingga air lebih banyak menembus kedalam pori-porinya.

Rakha (2018) menyatakan dalam penelitiannya bahwa penggunaan *superplasticizer* dapat mengurangi tingkat absorpsi pada beton dibandingkan dengan benda uji tanpa penggunaan *superplasticizer*, pernyataan ini sejalan dengan data hasil pengujian absorpsi yang didapat yaitu benda uji baik itu beton tanpa abu batu dan beton menggunakan abu batu nilai absorpsinya menurun seiring dengan penambahan *superplasticizer*. Farsin (2018) menyatakan bahwa adsorpsi merupakan proses memisahkannya bahan dari suatu campuran baik itu gas atau cair dengan bahan yang terpisah ditarik oleh permukaan zat padat, sehingga zat tersebut tertahan pada permukaan partikel penyerap sehingga peningkatan adsorpsi mengakibatkan penurunan kapabilitas absorpsi suatu partikel. Penurunan nilai absorpsi yang terjadi merupakan akibat dari reaksi kimia pada senyawa kimia *Polycarboxylate* (PCE) yang terdapat pada kandungan *superplasticizer*, reaksi senyawa kimia *Polycarboxylate* meningkatkan tingkat adsorpsi bila tercampur dalam suatu zat (Deng et al, 2021). Hubungan antara tingkat absorpsi pada beton tanpa abu batu dan beton abu batu dengan penambahan *superplasticizer* dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 sebagai berikut.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Penambahan Superplasticizer dengan Tingkat Absorpsi Beton Tanpa Abu Batu



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Penambahan Superplasticizer dengan Tingkat Absorpsi Beton Abu Batu

Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 menyatakan bahwa korelasi antara penambahan *superplasticizer* dengan penurunan tingkat absorpsi adalah sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi pada beton tanpa abu batu dan beton menggunakan abu batu secara berturut turut yaitu 0,8713 dan 0,7041. Mengacu pada Tabel 3.8 dapat disimpulkan bahwa korelasi antara penambahan *superplasticizer* dengan beton tanpa abu batu adalah sangat kuat, sedangkan pada beton tanpa abu batu adalah kuat.

5.8 Hubungan *Workability*, Berat Volume, dan Absorpsi Terhadap Kuat Tekan serta Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Berdasarkan hasil pengujian *workability*, berat volume, dan absorpsi didapatkan hasil hubungannya terhadap kuat tekan seperti yang tertera pada Tabel 5.35 sebagai berikut.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Hasil Rerata Seluruh Pengujian

Kode Benda Uji	<i>Workability</i> (cm)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)	Absorpsi Rerata (%)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
TAB-0	8	2.365,471	5,79	30,17
TAB-03	12,5	2.370,567	5,45	32,92
TAB-04	14,5	2.384,812	5,09	36,35
TAB-05	15,6	2.388,580	4,60	37,28
AB-0	7	2.344,844	6,45	27,09
AB-03	10	2.355,691	6,29	28,46
AB-04	13	2.369,957	6,01	32,01
AB-05	15	2.370,359	5,33	32,73

Tabel 5.35 di atas, menunjukkan bahwa peningkatan *workability*, Berat Volume, serta penurunan absorpsi selaras dengan peningkatan nilai kuat tekan dan berlaku sebaliknya. Hal ini terjadi dikarenakan sesuai dengan definisinya semakin meningkatnya *workability* maka beton akan semakin mudah dikerjakan serta dipadatkan, pemadatan beton yang merata dan terpadatkan dengan baik dapat diketahui dengan nilai berat volumenya yang tinggi, kepadatan yang tinggi pada setiap bahan penyusun serta partikel beton berpengaruh terhadap ketahanan beton terhadap air, sehingga beton memiliki tingkat absorpsi semakin rendah. Seluruh aspek yang disebutkan berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton, pengaruh ini berlaku terhadap beton normal dan beton abu batu.

Nilai beton dengan abu batu lebih rendah ini terjadi akibat dari berat jenis yang dimiliki abu batu lebih kecil dibanding dengan pasir. Berat jenis agregat memiliki peran penting dalam pembuatan perencanaan campuran (*mix design*) pada

beton. Perencanaan campuran dengan berat jenis abu batu mendapatkan hasil rekapitulasi komposisi *mixing* seperti pada Tabel 5.36 berikut.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton Abu Batu

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar deviasi	-	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Batu pecah	
7	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,45	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,45	
11	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	454	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	454	Kg/m ³
19	Susunan besar butir abu batu	Gradasi II	
20	Berat jenis abu batu (SSD)	2,52	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,67	
22	Persentase agregat halus	40,52	%
23	Persentase agregat kasar	59,48	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,61	
25	Berat isi beton	2352	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1693	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	686	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1007	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	567,932	kg/m ³
30	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³
31	Kadar agregat halus dengan angkat penyusutan	857,328	kg/m ³
32	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1.258,397	kg/m ³

Tabel 5.36 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dari jumlah semen yang digunakan serta proporsi pada abu batu dan agregat kasar pada campuran beton. Semen yang digunakan yaitu sebesar 454 kg/m^3 sedangkan pada proporsi campuran beton normal semen yang digunakan sejumlah 446 kg/m^3 . Abu batu sebagai agregat halus memiliki jumlah lebih sedikit yaitu 686 kg/m^3 sedangkan pada perencanaan campuran beton normal, pasir yang digunakan memiliki proporsi 702 kg/m^3 . Perbedaan proporsi ini juga berpengaruh terhadap kadar agregat kasar yang digunakan, pada perencanaan campuran abu batu didapat proporsi agregat kasar sebesar 1007 kg/m^3 , sedangkan pada perencanaan campuran beton normal didapat proporsi sebesar 1023 kg/m^3 . Perbedaan keseluruhan ini membuktikan bahwa penggunaan abu batu memerlukan kadar semen lebih banyak dan proporsi agregat lebih sedikit dibanding dengan beton normal, hal ini selaras dengan nilai FAS pada perencanaan campuran abu batu yaitu 0,45 dan pada perencanaan campuran beton normal adalah 0,46. Perbandingan antara hasil perencanaan campuran dengan agregat halus pasir dan agregat halus abu batu pada tiap *mixing* dapat dilihat pada Tabel 5.25 di atas dan 5.37 sebagai berikut.

Tabel 5.37 Proporsi Campuran Setiap *Mixing* Berdasarkan Perencanaan Campuran Abu Batu

Kadar <i>Superplasticizer</i>	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Superplasticizer</i> (kg)
0%	12,866	5,805	19,422	28,508	0,000
0,3%	12,866	5,766	19,422	28,508	0,039
0,4%	12,866	5,753	19,422	28,508	0,052
0,5%	12,866	5,741	19,422	28,508	0,064
Jumlah	51,464	23,065	77,688	114,032	0,155

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Mengacu pada hasil penelitian yang sudah dilaksanakan, berawal dari tahap pengujian *properties* agregat, pembuatan *mix design*, pelaksanaan *trial*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian, hingga analisis hasil, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian *workability*, absorpsi, dan kuat tekan yang didapat memiliki perbedaan signifikan antara beton normal dan beton dengan agregat halus abu batu. Rincian hasil pengujian *workability*, absorpsi, dan kuat tekan beton normal dan beton dengan agregat halus abu batu tertera sebagai berikut.
 - a. Hasil pengujian *workability* yang didapat setelah pelaksanaan pengujian pada variasi *superplasticizer* 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% dapat meningkatkan *workability*. Hasil pengujian *workability* untuk beton normal secara berturut-turut adalah 8 cm, 12,5 cm, 14,5 cm, dan 15,6 cm. Sedangkan, pada beton dengan agregat halus abu batu didapatkan hasil secara berturut-turut adalah 7 cm, 10 cm, 13 cm, dan 15 cm.
 - b. Penggunaan *superplasticizer* pada variasi 0,3%, 0,4% dan 0,5% terhadap berat semen dapat menurunkan tingkat absorpsi pada beton, hasil pengujian tingkat absorpsi rerata yang didapat secara berturut-turut pada beton normal adalah 5,45%, 5,09%, dan 4,60%. Sedangkan pada beton dengan agregat halus abu batu diperoleh tingkat absorpsi rerata secara berturut-turut yaitu 6,29%, 6,01%, dan 5,33%.
 - c. Hasil pengujian kuat tekan beton pada tiap variasi *superplasticizer* menunjukkan bahwa seiring bertambahnya persentase *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan beton. Data hasil pengujian kuat tekan beton pada variasi *superplasticizer* 0%, 0,3%, 0,4% dan 0,5% untuk

beton normal diperoleh nilai yaitu 30,17 MPa, 32,92 MPa, 36,35 MPa, dan 37,28 MPa. Persentase peningkatannya terhadap beton normal tanpa *superplasticizer* secara berturut-turut yaitu 9,10%, 20,47%, dan 23,55%. Sedangkan, pada beton dengan agregat halus abu batu diperoleh nilai kuat tekan rerata secara berturut-turut yaitu 27,09 MPa, 28,46 MPa, 32,01 MPa, dan 32,73 MPa. Persentase peningkatannya terhadap beton dengan agregat halus abu batu tanpa *superplasticizer* secara berturut-turut yaitu 5,08%, 18,18%, dan 20,82%.

2. Penggunaan *admixture superplasticizer viscocrete* – 1003 pada beton sebanyak 0,3% hingga 0,5% dapat meningkatkan *workability*, kuat tekan dan menurunkan absorpsi beton abu batu serta beton tanpa abu batu. Namun, persentase optimum penggunaan *admixture superplasticizer* Sika *viscocrete* – 1003 yang ditinjau berdasarkan peningkatan kuat tekan yang cukup signifikan diperoleh pada variasi *superplasticizer* Sika *viscocrete* – 1003 0,4% dan 0,5% terhadap berat semen

6.2 Saran

Mengacu pada proses penelitian dan hasil penelitian yang telah penulis lakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dilaksanakan serta dikembangkan pada penelitian selanjutnya agar menjadi penelitian yang lebih baik. Saran – saran tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Pelaksanaan penelitian lebih lanjut terkait dengan dampak pemakaian abu batu sebagai pengganti agregat halus pasir dengan mutu rencana lain serta perencanaan campuran yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *superplasticizer* Sika *viscocrete* – 1003 dan abu batu sebagai pengganti agregat halus pasir dalam beton jenis lain, seperti *self compacting concrete*.
3. Pengurangan air sebesar 30% sesuai klaim *product data sheet* Sika *viscocrete* – 1003 dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk melihat keefektifan penggunaan *superplasticizer* jenis ini pada beton normal ataupun beton dengan abu batu dengan variasi persentase diatas 0,5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Antoni, Nugraha P. 2007. *Teknologi Beton: Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*. First Ed. Andi. Yogyakarta.
- ASTM C-150. 1985. *Standard Specification for Portland Cement*. American Society for Testing and Material. USA.
- ASTM C-33. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*, American Society for Testing and Material. USA.
- Azmi, M U. 2020. *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete 1003 Untuk Mencapai Kuat Tekan Awal Tinggi Beton*. Universitas Internasional Batam, Batam.
- CNBC Indonesia. 2021. *Tak Banyak yang Tahu, Dunia Terancam Alami Krisis Pasir*. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20210305205102-4-228246/tak-banyak-yang-tahu-dunia-terancam-alami-krisis-pasir>. Diakses 15 Maret 2023.
- Deng Z, et al. 2021. *Investigation of the Behavior and Mechanism of Action of Ether-Based Polycarboxylate Superplasticizers Absorption on Large Bibulous Stone Powder*. School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai, China.
- Farsin, N V. 2018. *Makalah Absorpsi dan Adsorpsi*. https://www.academia.edu/37507023/MAKALAH_ABSORPSI_DAN_ADSORPSI. Diakses 22 September 2023.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2023. *Pagu Anggaran Kementerian PUPR Tahun 2023 Sebesar Rp 125,2 Triliun Disetujui Komisi V DPR RI*. <https://pu.go.id/berita/pagu-anggaran-kementerian-pupr-tahun-2023-sebesar-rp1252-triliun-disetujui-komisi-v-dpr-ri>. Diakses 15 Maret 2023.
- Maryoto A, Lie H A dan Purwanto. 2018. *Pengantar Teknologi Beton: Pengertian, Pengujian, Perilaku dan Sifat Mekanik*. 1. CV Markumi. Boyolali.
- Moges, G dan Yalew. 2019. *A Study on The Suitability of Quarry Stone Dust as Sand Replacing Material in Concrete Production Around Jimma Town for Sustainable Construction*. Jimma Institute of Technology. Ethiopia.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. First Ed. Andi. Yogyakarta.
- Murdock, L dan Brook K. 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Erlangga. Jakarta.

- Naga R et al. 2003. *Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Tebu Hasil Pembakaran Ulang Terhadap Kuat Desak Beton dengan Agregat Kasar Pecahan Genteng Godean. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- National Geographic. 2017. *Dunia Krisis Pasir Apa Dampaknya Bagi Manusia dan Lingkungan?*. <https://nationalgeographic.grid.id/read/13308973/dunia-krisis-pasir-apa-dampaknya-bagi-manusia-dan-lingkungan?page=all>. Diakses 15 Maret 2023.
- PMK.08. 2020. *Fasilitas Untuk Penyiapan dan Pelaksanaan Transaksi Proyek Kerja Sama Pemerintah dengan Badan Usaha Dalam Penyediaan Infrastruktur*. Menteri Keuangan Republik Indonesia. Jakarta Pusat.
- Pradhipta R. 2022. *Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 MPa. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Prakash et al. 2017. *Strength Characteristics of Quarry Dust in Replacement of Sand. Article*. K L University, India.
- R Hidayata, et al. 2019. *Alternative of Stone Ash as a Sand Replacement in f_c '40 MPa Quality Concrete Mixture on Pressure Stress*. Department of Civil Engineering, Universitas Darul'Ulum, Jombang, Indonesia.
- Rahmayanti N. 2019. *PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN VISCOCRETE 1003 TERHADAP KUALITAS BETON NORMAL DENGAN UPV TEST. Jurnal*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Raswitaningrum et al. 2019. *Pengaruh Abu Batu Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Pembakaran. Jurnal*. Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta.
- Razak, R P dan Muntafi Y. 2018. *Pengaruh Admixture Polycarboxylate dan Napthalene Terhadap Kuat Desak Beton Normal. Jurnal*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- S Haniza, et al. 2021. *The effect of adding viscocrete – 1003 on compressive strength of concrete using electric pole waste as a partial replacement of coarse aggregate*. Civil Engineering Department, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Pekanbaru, Riau, Indonesia.
- Sika Indonesia. 2016. *Sika Viscocrete – 1003 Concrete Admixture for High flow / Self-Compacting Concrete. Product Data Sheet*. Bogor, Indonesia.
- Sika Indonesia. 2022. *Admixture/Obat Beton Untuk Beton Dengan Kemampuan Mengalir Tinggi/ Self-Compacting Concrete*. <https://idn.sika.com/in/construction/waterproofing/campuran-waterproofing/sika-viscocrete-3115n.html>. Diakses 15 Maret 2023.
- SNI 03-2495. 1991. *Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 6433. 2016. *Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7974. 2013. *Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Subakti A. 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Sudhakar et al. 2021. *Performance Evaluation of Quarry Dust Treated Expansive Clay for Road Foundations*. Article. Shiraz University, Iran.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Afabeta. Bandung.
- Turuallo G, Mallisa H dan Rupang N. 2020. *Using Stone Dust to Replace a Part of Sand in Concrete Mixture*. Tadulako University, Palu.
- Utary C, Akbar M dan Kakerissa Y. 2019. *The Effect of Variations in Stone Ash on The Compressive Strength of Concrete*. Universitas Musamus, Merauke, Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN | PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL

Nomor :
Lampiran :
Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Lab**

Yogyakarta, 16 June 2023

Kepada Yth:
Yth. **Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik**
Prodi Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : WHISNU WIKAN WICAKSONO MARTONAGORO
No. Mhs : 19511093
Prodi : Teknik Sipil

Sehubungan dengan Penelitian yang saya lakukan guna menyusun mata kuliah tugas akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Prodi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Proposal Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 16 June 2023

Sekretaris Prodi Teknik Sipil

Pemohon

Dinia Anggraheni S.T., M.Eng.

WHISNU WIKAN WICAKSONO MARTONAGORO
19511093

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1.013	1.022	1.017,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708	708	708
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,49	2,62	2,56
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,56	2,69	2,63
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,69	2,80	2,74
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2,88	2,46	2,67

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	5	0,25	0,25	99,75
2,4	273	13,77	14,02	85,98
1,2	586	29,55	43,57	56,43
0,6	413	20,83	64,40	35,60
0,3	324	16,34	80,74	19,26
0,15	294	14,83	95,56	4,44
Pan	88	4,44	100,00	0
Jumlah	1983	100	298,54	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{298,54}{100} \\ &= 2,99 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

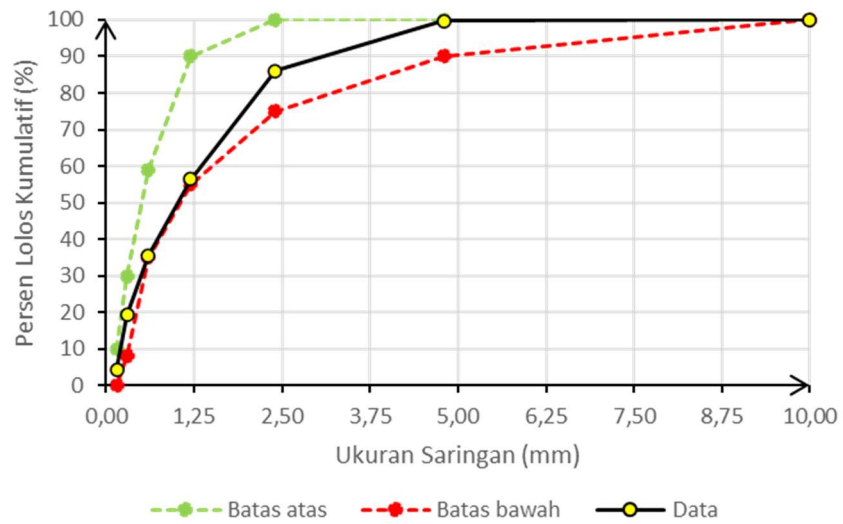
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	2	0,10	0,10	99,90
2,4	179	9,06	9,16	90,84
1,2	628	31,78	40,94	59,06
0,6	398	20,14	61,08	38,92
0,3	316	15,99	77,07	22,93
0,15	288	14,57	91,65	8,35
Pan	165	8,35	100,00	0
Jumlah	1976	100	280,01	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{280,01}{100} \\
 &= 2,80
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

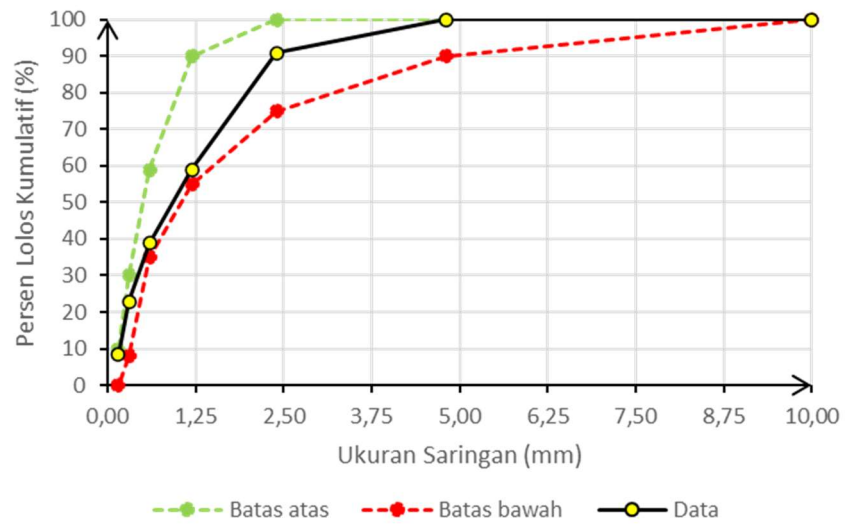
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT HALUS**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,01 cm
Tinggi Silinder	30,35 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18.229	18.538	18.383,50
Berat Agregat (W3), gram	8.732	8.658	8.695,00
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,63	1,62	1,62

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8732}{5359,42} \\
 &= 1,63 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT HALUS**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,00 cm
Tinggi Silinder	30,28 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19.549	19.753	19.651,00
Berat Agregat (W3), gram	9.525	9.190	9.357,50
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,78	1,72	1,75

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{9525}{5359,42} \\
 &= 1,78 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200/UJI
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
AGREGAT HALUS
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	482	484	483
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 $[(W1-W2/W1)] \times 100$	3,6%	3,2%	3,4%

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4.946	4.903	4.924,5
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5.000	5.000	5.000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3.107	3.147	3.127
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,61	2,65	2,63
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,64	2,70	2,67
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,69	2,79	2,74
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,09	1,98	1,54

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

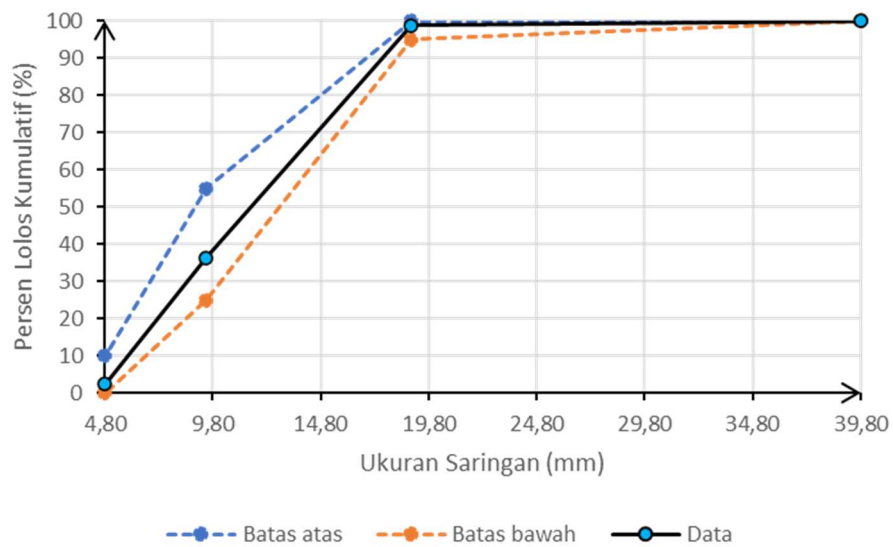
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	57	1,14	1,14	98,86
10	3121	62,42	63,56	36,44
4,8	1697	33,94	97,50	2,5
2,4	16	0,32	97,82	2,18
1,2	7	0,14	97,96	2,04
0,6	0	0	97,96	2,04
0,3	0	0	97,96	2,04
0,15	0	0	97,96	2,04
Pan	102	2,04	100	0
Jumlah	5000	100	651,86	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{651,86}{100} \\
 &= 6,52
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

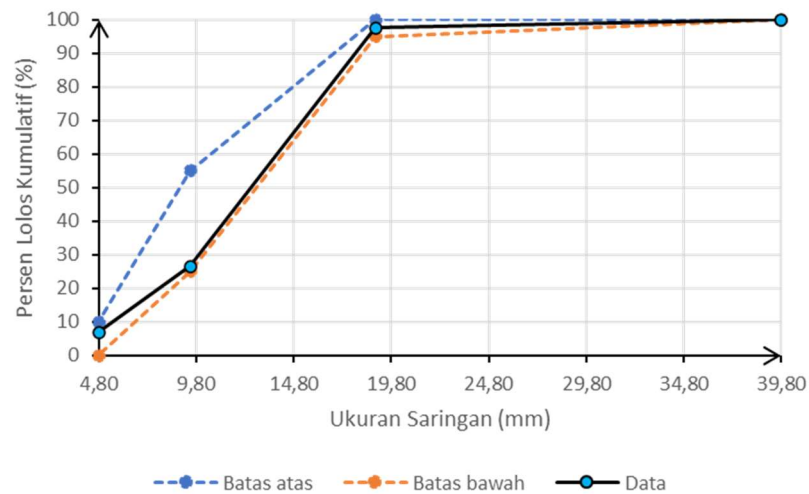
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	113	2,28	2,28	97,72
10	3515	71,02	73,31	26,69
4,8	977	19,74	93,05	6,95
2,4	219	4,43	97,47	2,53
1,2	1	0,02	97,49	2,51
0,6	0	0	97,49	2,51
0,3	0	0	97,49	2,51
0,15	0	0	97,49	2,51
Pan	124	2,51	100	0
Jumlah	4949	100	656,09	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{656,09}{100} \\
 &= 6,56
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT KASAR**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,01 cm
Tinggi Silinder	30,35 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11.649	10.653	11.151
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18.961	18.090	18.525,5
Berat Agregat (W3), gram	7.312	7.437	7.374,5
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,36	1,39	1,38

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7312}{5359,42} \\
 &= 1,36 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :

Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT KASAR**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,00 cm
Tinggi Silinder	30,28 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11.649	10.653	11.151
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19.646	18.584	19.115
Berat Agregat (W3), gram	7.997	7.931	7.964
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,49	1,48	1,49

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7997}{5359,42} \\
 &= 1,49 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :

Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT HALUS ABU BATU
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Abu Batu	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	468	471	469,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1.036	1.034	1.035
Berat piknometer berisi air, gram (B)	733	733	733
Berat Jenis Curah, Bk / (B+500-Bt)	2,37	2,37	2,37
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), 500 / (B+500-Bt)	2,53	2,52	2,52
Berat Jenis semu, Bk / (B+Bk-Bt)	2,83	2,77	2,80
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	6,84	6,16	6,50

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS ABU BATU
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	45	2,31	2,31	97,69
2,4	154	7,90	10,21	89,79
1,2	325	16,67	26,87	73,13
0,6	397	20,36	47,23	52,77
0,3	452	23,18	70,41	29,59
0,15	447	22,92	93,33	6,67
Pan	130	6,67	100,00	0
Jumlah	1950	100	250,36	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{250,36}{100} \\
 &= 2,50
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

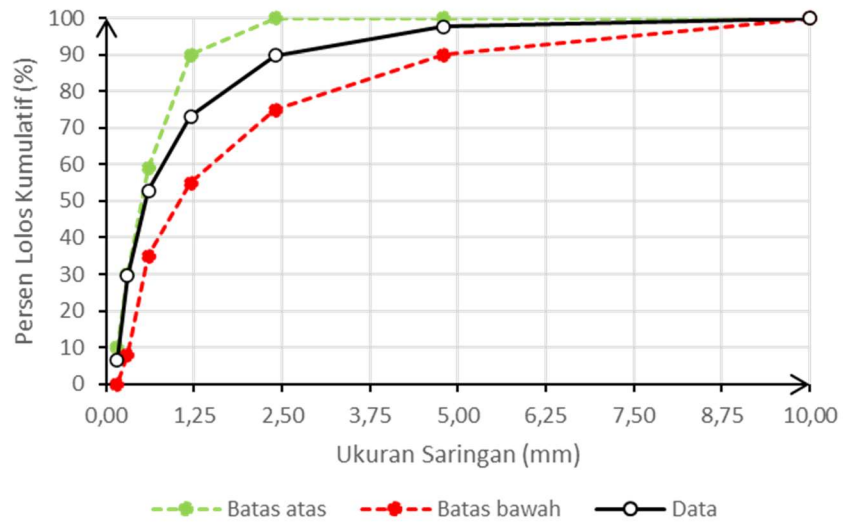
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS ABU BATU
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	41	2,08	2,08	97,92
2,4	138	6,99	9,07	90,93
1,2	335	16,97	26,04	73,96
0,6	376	19,05	45,09	54,91
0,3	503	25,48	70,57	29,43
0,15	443	22,44	93,01	6,99
Pan	138	6,99	100,00	0
Jumlah	1974	100	245,85	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{245,85}{100} \\
 &= 2,46
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

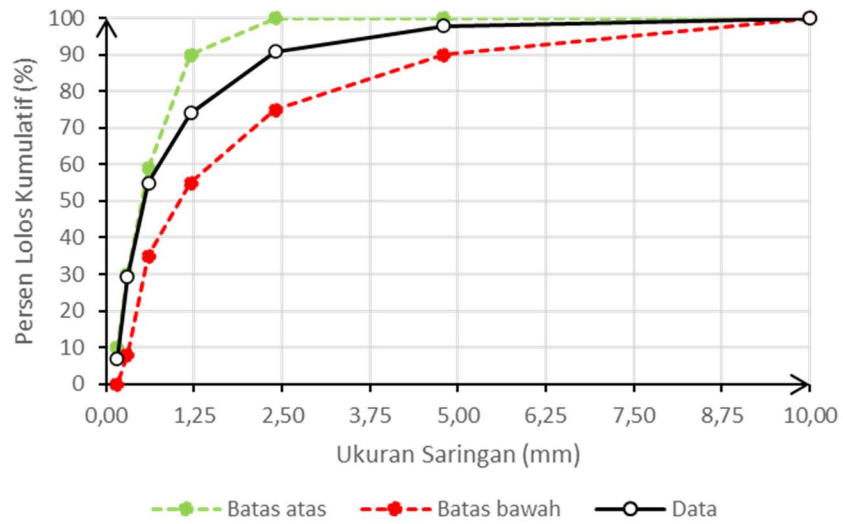
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT HALUS ABU BATU**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,01 cm
Tinggi Silinder	30,35 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18.351	18.702	18.526,50
Berat Agregat (W3), gram	8.327	8.139	8.233,00
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,55	1,52	1,54

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8327}{5359,42} \\
 &= 1,55 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT HALUS ABU BATU**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	15,00 cm
Tinggi Silinder	30,28 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10.024	10.563	10.293,50
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19.058	19.528	19.293,00
Berat Agregat (W3), gram	9.034	8.965	8.999,50
Volume Tabung (V), cm ³	5.359,42	5.357,17	5.358,29
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,69	1,67	1,68

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{9034}{5359,42} \\
 &= 1,69 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 24 Juli 2023

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200/UJI
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
AGREGAT HALUS ABU BATU
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Kerikil	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	480	478	479
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 $[(W1-W2/W1)] \times 100$	4,00	4,40	4,2

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 24 Juli 2023
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar deviasi	-	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,46	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,46	
11	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	446	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	446	kg/m ³
18	FAS disesuaikan	-	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,63	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,67	
22	Persentase agregat halus	40,69	%
23	Persentase agregat kasar	59,31	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,65	
25	Berat isi beton	2376	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1725	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	702	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1023	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	557,67	kg/m ³
30	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³
31	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	877,49	kg/m ³
32	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1.279,16	kg/m ³

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji Trial

Kode Benda Uji	Bentuk Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Permukaan (mm)	Tinggi (mm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/cm ³)	Beban Maksimum (kN)	Mutu Realisasi (MPa)	Konversi 28 Hari (MPa)
									3 Hari	
BTR-1	Silinder	151,200	17.955,333	301,350	0,005	12,644	2.524,600	217	12,086	30,214
BTR-2	Silinder	149,350	17.518,638	300,050	0,005	12,759	2.551,800	229	13,072	32,679
BTR-3	Silinder	149,300	17.506,910	302,250	0,005	12,677	2.535,400	223	12,738	31,845

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran (%)		Beban Maksimum	Luas	Kuat Desak (MPa)	
	(mm)	(mm)	Abu Batu	<i>Superplasticizer</i>	(kN)	(mm ²)	Satuan	Rerata
KT-TAB-0	151,45	302,75	0	0	547,37	18.014,76	30,38	30,17
	150,10	303,95			522,58	17.695,03	29,53	
	150,00	303,35			540,81	17.671,46	30,60	
KT-TAB-03	149,25	303,00	0	0,3	572,97	17.495,19	32,75	32,92
	150,00	301,75			586,34	17.671,46	33,18	
	150,65	303,60			585,19	17.824,94	32,83	
KT-TAB-04	151,70	305,00	0	0,4	655,55	18.074,28	36,27	36,35
	151,20	306,30			639,93	17.955,33	35,64	
	151,90	308,50			673,05	18.121,97	37,14	
KT-TAB-05	150,75	302,00	0	0,5	665,40	17.848,62	37,28	37,28
	154,10	304,50			690,08	18.650,70	37,00	
	151,60	305,50			677,98	18.050,46	37,56	
KT-AB-0	151,15	301,10	100	0	488,78	17.943,46	27,24	27,09
	151,25	303,55			491,76	17.967,21	27,37	
	152,20	305,90			484,86	18.193,62	26,65	
KT-AB-03	151,15	301,25	100	0,3	513,54	17.943,46	28,62	28,46
	149,05	303,05			503,21	17.448,33	28,84	
	150,90	306,70			499,50	17.884,15	27,93	

Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran (%)		Beban Maksimum	Luas	Kuat Desak (MPa)	
	(mm)	(mm)	Abu Batu	<i>Superplasticizer</i>	(kN)	(mm ²)	Satuan	Rerata
KT-AB-04	150,70	302,50	100	0,4	570,78	17.836,78	32,00	32,01
	149,80	303,95			563,45	17.624,37	31,97	
	151,50	306,40			577,93	18.026,65	32,06	
KT-AB-05	150,25	305,90	100	0,5	574,47	17.730,41	32,40	32,73
	150,60	302,85			589,61	17.813,11	33,10	
	149,85	306,55			576,35	17.636,13	32,68	

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Abu Batu	Kadar <i>Superplasticizer</i>	Kode Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rata-rata (%)
0%	0%	A-TAB-0	7,781	8,222	5,67	5,79
			7,565	8,013	5,92	
	0,3%	A-TAB-03	7,823	8,239	5,32	5,45
			7,610	8,035	5,58	
	0,4%	A-TAB-04	7,900	8,299	5,05	5,09
			7,807	8,207	5,12	
	0,5%	A-TAB-05	8,063	8,413	4,34	4,60
			7,671	8,043	4,85	
100%	0%	A-AB-0	7,448	7,939	6,59	6,45
			7,524	7,999	6,31	
	0,3%	A-AB-03	7,614	8,079	6,11	6,29
			7,912	8,424	6,47	
	0,4%	A-AB-04	7,831	8,302	6,01	6,01
			7,934	8,410	6,00	
	0,5%	A-AB-05	7,907	8,326	5,30	5,33
			8,027	8,458	5,37	

Lampiran 7 Dokumentasi Peralatan Penelitian



Gambar L-7. 1 Piknometer



Gambar L-7. 2 Konus



Gambar L-7. 3 Neraca Ohaus



Gambar L-7. 4 Timbangan Digital



Gambar L-7. 5 Oven



Gambar L-7. 6 Lokasi Penambilan Abu Batu



Gambar L-7. 7 Saringan Agregat Halus



Gambar L-7. 8 Saringan Agregat Kasar



Gambar L-7. 9 Mesin Pengguncang Agregat Halus



Gambar L-7. 10 Mesin Pengguncang Agregat Kasar



Gambar L-7. 11 Sekop



Gambar L-7. 12 Semen



Gambar L-7. 13 Troli



Gambar L-7. 14 Pan



Gambar L-7. 15 Gelas Ukur



Gambar L-7. 16 Alat Uji Slump



Gambar L-7. 17 Batang Penusuk



Gambar L-7. 18 Ember



Gambar L-7. 19 Bekisting Silinder



Gambar L-7. 20 Bekisting Kubus



Gambar L-7. 21 Concrete Mixer



Gambar L-7. 22 Automax Pro-M



Gambar L-7. 23 Alat Capping

Lampiran 8 Dokumentasi Proses Penelitian



Gambar L-8. 1 Persiapan Pengujian Sampel



Gambar L-8. 2 Benda Uji Setelah Dilaksanakan Pengujian