TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN ABU BATU DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON MUTU TINGGI

(THE EFFECT OF PARTIAL SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE USING STONE ASH AND THE ADDITION OF SUPERPLASTICIZER ON THE COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF HIGH QUALITY CONCRETE)

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

DEVI EKAWATI
20511348

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN ABU BATU DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON MUTU TINGGI

(THE EFFECT OF PARTIAL SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE USING STONE ASH AND THE ADDITION OF SUPERPLASTICIZER ON THE COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF HIGH QUALITY CONCRETE)

Disusun Oleh

Devi Ekawati
20511348

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

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji 1	Penguji 2
13/2 '25	14/2 '25	13/2 2025
Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.	Elvis Saputra, S.T., M.T.	Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 885110105	NIK: 205111302	NIK: 185111304

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK :095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditentukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Devi Ekawati

(20511348)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN MENGGUNAKAN ABU BATU DAN PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON MUTU TINGGI" dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat dan pengikut beliau di akhir zaman.

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam penyelesaian studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentu saja cukup banyak hambatan yang di lalui oleh penulis. Namun, atas dukungan, semangat, saran, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan ikhlas, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang terlibat.

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji I dalam sidang Tugas Akhir ini.

4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. Selaku Dosen Penguji II dalam sidang Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menempuh studi.
6. Bapak Joko Santoso dan Ibu Wartini, sebagai orang tua penulis yang sudah mendidik dan membesarkan penulis hingga saat ini. Terima kasih atas segala pengorbanan yang telah dilakukan baik secara material maupun spiritual.
7. Danis Ardiyanto, saudara penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi untuk terus berjuang demi masa depan yang diharapkan.
8. Ryoko Yuga Ramadhani, terima kasih telah menemani penulis dalam suka dan duka, menjadi penyemangat, teman berbagi, teman berkelahi, menjadi sosok kakak yang baik dan menjadi penasihat yang baik bagi penulis. Semoga apapun yang diusahakan sesuai dengan apa yang diharapkan.
9. Nistina Nabila Qatrunnada Agtyasta, sahabat penulis sejak Sekolah Menengah Pertama yang hampir tahu seluruh hal yang terjadi dalam hidup penulis, terima kasih telah menjadi sahabat yang baik dan selalu ada untuk penulis.
10. Muhammad Angger Pangestu, Firman Nur Rachman, Rizky Yandhi, Tri Cahyo Waluyo, Fika Lailatul Fajriah, Fadilah Nurcahyani, dan Vinda Nurul Hidayatul Aiman selaku teman penulis yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan peneliti ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, maupun peneliti lain sebagai tambahan referensi untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dibidang Teknik Sipil. Demikianlah yang dapat saya sampaikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiv
ABSTRAK xvi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Tinjauan Umum 6
2.2 Penelitian Terdahulu 6
2.2.1 Lukas Laymon Sitorus (2022) 6
2.2.2 Raditya Pradhipta (2022) 7
2.2.3 Iqbal Risky Permana (2023) 8
2.2.4 Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro (2023) 9
2.2.5 Miftha Nur Zakinah (2023) 9
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu 10
2.4 Keaslian Penelitian 14
BAB III LANDASAN TEORI 15
3.1 Beton 15

3.2 Beton Mutu Tinggi 17
3.3 Bahan Penyusun Beton 22
3.3.1 Agregat 22
3.3.2 *Portland Cement* 23
3.3.3 Air 25
3.3.4 Bahan Tambah 26
3.3.5 Bahan Substitusi 26
3.4 Pemeriksaan Bahan Susun 29
3.4.1 Pemeriksaan Agregat 29
3.4.2 Pemeriksaan *Portland Cement* 35
3.4.3 Pemeriksaan Air 35
3.4.4 Pemeriksaan Bahan Substitusi 36
3.4.5 Pemeriksaan Bahan Tambah 38
3.5 Perencanaan Campuran Beton *(Mix Design)* 39
3.6 Pengujian Campuran Beton *(Mix Design)* 44
3.7 Pembuatan Sampel Beton Uji 44
3.8 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal 46
3.9 Pengujian Sampel Beton 47
3.9.1 Pengujian Berat Volume Beton 47
3.9.2 Pengujian Kuat Tekan 47
3.9.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 48
BAB IV METODE PENELITIAN 50
4.1 Jenis Penelitian 50
4.2 Variabel Penelitian 50
4.3 Benda Uji 50
4.3 Lokasi Penelitian 51
4.5 Persiapan 51
4.5.1 Studi Literatur 51
4.5.2 Persiapan Laboratorium 52
4.5.3 Persiapan Alat dan Bahan 52
4.6 Pemeriksaan Bahan Susun 57

4.6.1 Pemeriksaan Agregat 57
4.6.2 Pemeriksaan *Portland Cement* 77
4.6.3 Pemeriksaan Air 77
4.6.4 Pemeriksaan Bahan Substitusi 77
4.6.5 Pemeriksaan Bahan Tambah 86
4.7 Rencana Campuran 87
4.8 Nilai *Slump* 93
4.9 Pembuatan Sampel Benda Uji 94
4.10 Perawatan 96
4.11 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal 97
4.12 Pengujian Sampel Beton 98
4.12.1 Pengujian Berat Volume Beton 98
4.12.2 Pengujian Kuat Tekan 103
4.12.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 107
4.13 Analisis Hasil Pengujian Benda Uji 112
4.14 Pembahasan 113
4.15 Kesimpulan dan Saran 113
4.16 Kerangka Konsep Penelitian 113
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 116
5.1 Umum 116
5.2 Agregat Kasar 116
5.3 Agregat Halus 117
5.4 Abu Batu 118
5.5 *Slump* 119
5.6 Benda Uji Beton *Trial* 121
5.7 Berat Volume Beton 121
5.8 Kuat Tekan 123
5.9 Kuat Tarik Belah 125
5.10 Pembahasan Menyeluruh 126
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 128
6.1 Kesimpulan 128

6.2 Saran 128
DAFTAR PUSTAKA 130
LAMPIRAN 134

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	11
Tabel 3.1	Susunan Unsur Semen *Portland*	24
Tabel 3.2	Batas Daerah Gradasi Agregat Kasar	31
Tabel 3.3	Batas Daerah Gradasi Agregat Halus	34
Tabel 3.4	Fraksi Volume Agregat Kasar yang Disarankan	40
Tabel 3.5	Estimasi Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar	41
Tabel 3.6	Rasio W/(c + p) Beton Tanpa *Superplasticizer*	42
Tabel 3.7	Rasio W/(c + p) Beton Dengan *Superplasticizer*	43
Tabel 3.8	Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur	47
Tabel 4.1	Rincian Benda Uji	51
Tabel 4.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	59
Tabel 4.3	Analisa Saringan Agregat Kasar	62
Tabel 4.4	Batas Gradasi Agregat Kasar	63
Tabel 4.5	Berat Volume Gembur Agregat Kasar	65
Tabel 4.6	Berat Volume Padat Agregat Kasar	66
Tabel 4.7	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	69
Tabel 4.8	Analisa Saringan Agregat Halus	72
Tabel 4.9	Batas Gradasi Agregat Halus	73
Tabel 4.10	Berat Volume Gembur Agregat Halus	75
Tabel 4.11	Berat Volume Padat Agregat Halus	76
Tabel 4.12	Uji Kadar Lumpur Dalam Pasir	77
Tabel 4.13	Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu	79
Tabel 4.14	Analisa Saringan Abu Batu	82
Tabel 4.15	Batas Gradasi Agregat Halus	82
Tabel 4.16	Berat Volume Gembur Abu Batu	85
Tabel 4.17	Berat Volume Padat Abu Batu	85
Tabel 4.18	Uji Kadar Lumpur Dalam Abu Batu	86
Tabel 4.19	Proporsi *Mix Design* per-m^3	91

Tabel 4.20 Proporsi Campuran Benda Uji 92
Tabel 4.21 Proporsi Campuran *Trial* 92
Tabel 4.22 Pengujian *Slump* 94
Tabel 4.23 Beton *Trial* 98
Tabel 4.24 Berat Volume Beton 99
Tabel 4.25 Kuat Tekan Beton 105
Tabel 4.26 Kuat Tarik Belah Beton 110
Tabel 5.1 Nilai *Slump* 119
Tabel 5.2 Berat Volume Beton 121
Tabel 5.3 Kuat Tekan 123
Tabel 5.4 Kuat Tarik Belah 125

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas	19
Gambar 3.2	Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton	48
Gambar 3.3	Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Beton	49
Gambar 4.1	Agregat Kasar	54
Gambar 4.2	Agregat Halus	55
Gambar 4.3	Semen	55
Gambar 4.4	Abu Batu	56
Gambar 4.5	*Superplasticizer*	57
Gambar 4.6	Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Kasar	58
Gambar 4.7	Analisa Saringan Agregat Kasar Gradasi Maksimum 10 mm	63
Gambar 4.8	Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Halus	66
Gambar 4.9	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	69
Gambar 4.10	Analisa Saringan Agregat Halus Gradasi Daerah I	73
Gambar 4.11	Analisa Saringan Abu Batu Gradasi Daerah II	83
Gambar 4.12	Pengujian *Slump*	93
Gambar 4.13	Pencetakan Benda Uji Silinder	96
Gambar 4.14	Perawatan Benda Uji	97
Gambar 4.15	Proses *Capping* Benda Uji Silinder	103
Gambar 4.16	Pengujian Kuat Tekan	107
Gambar 4.17	Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan	107
Gambar 4.18	Pengujian Kuat Tarik Belah	112
Gambar 4.19	Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	112
Gambar 4.20	*Flowchart* Tahap Penelitian	114
Gambar 5.1	Nilai *Slump* Setiap Variasi	120
Gambar 5.2	Berat Volume Beton Setiap Variasi	122
Gambar 5.3	Kuat Tekan Beton Setiap Variasi	124
Gambar 5.4	Kuat Tarik Beton Setiap Variasi	126
Gambar 5.5	Persentase Kenaikan Hasil Pengujian Keseluruhan	127

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Surat Izin Pemakaian Laboratorium	135
Lampiran 2	Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	136
Lampiran 3	Laporan Sementara Hasil Pengujian Berat Volume	155
Lampiran 4	Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan	158
Lampiran 5	Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	160
Lampiran 6	Dokumentasi Laboratorium	162
Lampiran 7	Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium	170

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas Penampang yang Menerima Beban (mm^2)
a	= Berat Agregat Kering Mutlak Sebelum Diayak (gram)
b	= Berat Agregat Setelah Diayak (gram)
B	= Berat Piknometer Berisi Air (gram)
Ba	= Berat Kerikil Dalam Air (gram)
Bk	= Berat Kerikil Kering Mutlak (gram)
Bj	= Berat Kerikil Kondisi Jenuh Kering Muka
Bt	= Berat Piknometer Berisi Air dan Pasir (gram)
^oC	= Derajat Celcius
d	= Diameter Benda Uji (mm)
$f'c$	= Kuat Tekan Beton (MPa)
$f'cr$	= Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan (MPa)
ft	= Kuat Tarik Belah (Mpa)
Fas	= Faktor Air Semen
L	= Panjang Benda Uji (mm)
MPa	= Megapascal
n	= Banyak Benda Uji
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= *Saturated Surface Dry*
P	= Beban Maksimum (N)
PC	= *Portland Cement*
W	= Berat Agregat (gram)
Ww	= Berat Beton SSD (Kg)
Ws	= Berat Beton Kering Oven (Kg)
W1	= Berat Agregat Halus Kering Oven (gram)
W2	= Berat Agregat Halus Kering Oven Setelah Dicuci (gram)
v	= Volume Silinder (cm^3)
V	= Kadar Rongga Udara

s	= Standar Deviasi
mm	= Millimeter
cm	= Centimeter
kg	= Kilogram
gr	= Gram
N	= Newton

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu alternatif pilihan konstruksi yang utama karena mempunyai keuntungan seperti memiliki kekuatan yang relatif kuat, tahan terhadap cuaca, tahan terhadap api, dan beton mudah dikerjakan sesuai dengan rencana struktur. Tingginya permintaan pasir di pasaran membuat banyak yang melakukan pekerjaan penambangan yang dapat merusak alam sekitar. Kerusakan alam tersebut menjadi sebuah keterbatasan dalam menggunakan pasir sebagai material konstruksi, sehingga perlu adanya alternatif untuk pengganti sebagian pasir. Salah satunya dengan memanfaatkan limbah batu yang berupa abu batu. Dari penelitian yang menggunakan abu batu dalam campuran beton sebelumnya, ternyata banyak terjadi porositas. Oleh karena itu, salah satu cara memperkecil porositas dengan menambahkan *Superplasticizer*.

Pada penelitian ini digunakan abu batu dengan variasi 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% dari berat agregat halus yang dibutuhkan dan penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen. Pengujian dilakukan untuk mengetahui persentase kadar optimum dari abu batu berdasarkan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton umur 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-6468-2000 dengan kuat tekan rencana 41,4 MPa dengan benda uji berbentuk silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

Hasil yang diperoleh pada pengujian kuat tekan beton dengan nilai rerata maksimal sebesar 48,831 MPa meningkat sebesar 14,07%. Pengujian kuat tarik belah beton dengan nilai rerata maksimal sebesar 3,142 MPa meningkat sebesar 13,23%. Oleh karena itu, penggunaan abu batu sebagai bahan substitusi agregat halus optimum pada kadar 22,5% dan penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Kata kunci: Beton, Abu Batu, *Superplasticizer*, Kuat Tekan, Kuat Tarik

ABSTRACT

Concrete is one of the main alternative construction choices because it has advantages such as having relatively strong strength, weather resistance, fire resistance, and concrete is easy to work with according to the structural plan. The high demand for sand in the market makes many people do mining work that can damage the surrounding environment. This environmental damage is a limitation in using sand as a construction material, so there needs to be an alternative to replace some of the sand. One of them is by utilizing stone waste in the form of stone ash. From previous studies using stone ash in concrete mixtures, it turns out that there is a lot of porosity. Therefore, one way to reduce porosity is by adding Superplasticizer.

In this study, stone ash was used with variations of 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, and 25% of the weight of the required fine aggregate and the addition of Superplasticizer Viscocrete 3115N as much as 0,5% of the weight of cement. Testing was carried out to determine the optimum percentage of stone ash based on compressive strength and splitting tensile strength tests of 28-day-old concrete. Calculation of concrete mix planning using the SNI 03-6468-2000 method with a planned compressive strength of 41,4 MPa with a cylindrical test object with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm.

The results obtained in the concrete compressive strength test with a maximum average value of 48,831 MPa increased by 14,07%. The concrete splitting tensile strength test with a maximum average value of 3,142 MPa increased by 13,23%. Therefore, the use of stone ash as a substitute for optimum fine aggregate at a content of 22,5% and the addition of Superplasticizer Viscocrete 3115N can increase the compressive strength of concrete.

Keywords: *Concrete, Stone Ash, Superplasticizer, Compressive Strength, Tensile Strength*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu alternatif pilihan konstruksi yang utama karena mempunyai keuntungan seperti memiliki kekuatan yang relatif kuat, tahan terhadap cuaca, tahan terhadap api, dan beton mudah dikerjakan sesuai dengan rencana struktur. Faktor ekonomi juga termasuk sebuah pertimbangan dalam pemilihan beton karena biaya pemeliharaan rendah dibandingkan konstruksi kayu ataupun konstruksi baja. Menurut SNI 2847-2019, beton tersusun dari kombinasi agregat halus, agregat kasar, semen, air dan bila dikehendaki sifat khusus dapat menambahkan sebuah bahan tambah (*chemical admixture*). Dalam pembuatan beton akan timbul reaksi kimia (hidrasi) yang disebabkan oleh air dan semen dalam kurun waktu yang cukup lama sehingga campuran tersebut dapat bertahan keras sesuai dengan pertambahan umurnya.

Kemajuan teknologi di bidang konstruksi di Indonesia terus berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan infrastruktur yang lebih modern. Hal ini terlihat dari pembangunan berbagai fasilitas, seperti jembatan dengan bentang yang panjang dan lebar, gedung bertingkat tinggi terutama pada elemen kolom, beton pracetak, dan infrastruktur lainnya. Dalam perencanaannya, pembangunan fasilitas-fasilitas tersebut semakin mengarah pada penggunaan beton berkualitas tinggi yang mencakup kekuatan, ketahanan, umur layanan, dan efisiensi. Dengan menggunakan beton mutu tinggi, dimensi dari struktur dapat diperkecil sehingga berat struktur menjadi lebih ringan. Menurut SNI 03-6468-2000 mengenai Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi diartikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa. Untuk mendapatkan beton dengan mutu tinggi, memungkinkan penggunaan bahan tambah dalam campuran beton guna meningkatkan kualitas dan mutu beton. Selain itu diperlukan pemilihan bahan susun yang tepat juga.

.

Banyaknya kebutuhan akan bangunan yang menggunakan beton mutu tinggi secara langsung berdampak pada meningkatnya permintaan bahan penyusun beton, salah satunya adalah pasir. Tingginya permintaan pasir di pasaran membuat banyak yang melakukan pekerjaan penambangan yang dapat merusak alam sekitar. Kerusakan alam tersebut menjadi sebuah keterbatasan dalam menggunakan pasir sebagai material konstruksi, sehingga perlu adanya alternatif untuk pengganti sebagian pasir. Salah satunya yaitu dengan memanfaatkan limbah batu yang berupa abu batu.

Abu batu adalah limbah yang berasal dari hasil pemecah batu secara mekanik yang berbentuk butiran halus. Kriteria lolos ayakan abu batu yaitu pada diameter 4,75 mm dan tertahan pada ayakan 0,075 mm. Abu batu sendiri kurang diminati karena dalam dunia konstruksi masih banyak menggunakan pasir (agregat halus) yang digunakan saat pencampuran beton. Selain itu, faktor harga yang lebih murah sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan material abu batu ini

Dari penelitian yang menggunakan abu batu dalam campuran beton sebelumnya, ternyata banyak terjadi porositas. Porositas mempengaruhi kuat tekan dan kuat tarik beton. Semakin besar porositasnya maka kuat tekan yang dihasilkan semakin kecil. Porositas disebabkan oleh adanya partikel penyusun yang relatif besar sehingga terdapat rongga-rongga pada beton. Semakin banyak rongga-rongga pada beton maka semakin besar juga nilai daya serap air pada beton yang mengakibatkan ketahanan beton terhadap air akan berkurang. Beton berkualitas tinggi dipengaruhi oleh fas (faktor air semen). Fas yang rendah membuat proses pembuatan beton menjadi sulit, sehingga proses pemadatan tidak maksimal dan dapat menimbulkan rongga pada beton. Dengan menggunakan abu batu inilah yang dapat menjadi bahan pengisi karena partikelnya halus dan dapat menjadi alternatif sebagai bahan pengganti sebagian pasir sehingga dapat mengurangi porositas. Porositas juga dapat diperkecil dengan menambahkan *Superplasticizer.*

Superplasticizer merupakan bahan tambah *(admixture)* yang ditambahkan ke dalam adukan beton dengan tujuan untuk meningkatkan kelecakan pada beton, sehingga dapat mempermudah untuk dikerjakan (*workability*). *Superplasticizer* dikelompokan kedalam bahan tambah kimia tipe F (*water reducing high range*

admixtures). Salah satu produk *Superplasticizer* adalah *Viscocrete 3115N* yang diproduksi dari PT. Sika Indonesia. Fungsi dari *Superplasticizer* yaitu untuk menambah kelecakan pada campuran beton dan dapat meningkatkan nilai *slump* hingga 200 mm.

Dari hasil penelitian Raditya Pradhipta (2022), dengan menggunakan abu batu pada interval 10% dari kadar 0%, 10%, 20%, dan 30% didapat nilai kuat tekan beton tertinggi pada penggunaan 20% sebesar 33,52 MPa dan kuat tarik sebesar 2,91 MPa. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat lagi, perlu dilakukan penelitian dengan interval yang lebih rapat di sekitar persentase tersebut dengan menggunakan bahan tambah *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang didapatkan, sebagai berikut:

1. Berapa nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik pada kadar optimum substitusi agregat halus dengan abu batu dalam interval 2,5% pada campuran beton?
2. Berapa kadar optimum substitusi agregat halus dengan abu batu dalam interval 2,5% pada campuran beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Merujuk dari rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik pada kadar optimum substitusi agregat halus dengan abu batu dalam interval 2,5% pada campuran beton yang menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen.
2. Mengetahui kadar optimum substitusi agregat halus dengan abu batu, dalam interval 2,5% pada campuran beton yang menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Merujuk dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan diharapkan bisa memberikan manfaat pengetahuan bagi masyarakat umum dan perkembangan teknologi beton khususnya. Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Mendapat beton dengan kuat tekan yang tinggi apabila dibanding dengan beton biasa,
2. Substitusi abu batu diharapkan dapat menjadi alternatif substitusi dalam membuat campuran beton,
3. Penggunaan abu batu dapat mengurangi biaya pembuatan beton, karena harga abu batu lebih murah dibandingkan dengan harga pasir,
4. Dengan menggunakan abu batu dapat mengurangi limbah pabrik agar lingkungan sekitar tidak tercemar oleh limbah tersebut, dan
5. Dapat menjadi referensi penelitian mengenai penggunaan limbah abu batu dengan kombinasi penambahan bahan-bahan lainnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian yang diperlukan agar penelitian dapat terarah. Batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Metode perencanaan campuran adukan beton menggunakan SNI 03-6468-2000 mengenai Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi.
2. Benda uji yang digunakan adalah beton dengan rancangan mutu beton tinggi sebesar *f'c* 41,4 Mpa.
3. Abu batu yang digunakan untuk substitusi yaitu interval 2,5 % dimulai dari jarak 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% terhadap agregat halus.
4. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *Viscocrete 3115N* dengan kadar 0,5% dari berat semen.
5. Limbah abu batu yang digunakan berasal dari hasil pemecah batu secara mekanik yang diperoleh dari Penggilingan Batu *Quartcon Stone Crusher* di Jl. Pakem – Kalasan, Kragilan, Bimomartani, Kec. Ngemplak, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584.

6. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland Composite Cement* (PCC) dengan merek Semen Gresik.
7. Agregat halus yang digunakan adalah berasal dari Sungai Progo, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
8. Agregat kasar dari Celereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan besar butiran maksimum 10 mm.
9. Air yang digunakan dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
10. Benda uji berupa silinder beton ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
11. Jumlah benda uji beton sebanyak 60 buah.
12. Perawatan benda uji dalam penelitian ini dilakukan dengan cara merendam benda uji di dalam bak yang berisikan air sampai seluruh permukaan.
13. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.
14. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan *(admixture).* Agregat halus menggunakan berupa pasir alam atau menggunakan pasir yang dihasilkan dari industri pemecah batu secara mekanik. Agregat kasar menggunakan batu alam atau menggunakan batu yang dihasilkan dari industri pemecah batu secara mekanik. Bahan tambah (*admixture*) dapat berupa bahan kimia, serat, maupun bahan buangan (limbah) non-kimia.

Campuran beton pada awalnya berbentuk plastis, apabila dituang kedalam cetakan dan didiamkan maka akan terjadi pengerasan seperti batuan. Pengerasan terjadi karena adanya proses kimia antara semen (PC) dengan air dalam kurun waktu yang cukup lama, sehingga beton tersebut akan bertambah keras sesuai dengan pertambahan umurnya. Beton akan mencapai kekuatan rencana *(f'c)* pada umur 28 hari.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang berkaitan dengan beton pada pengaruh agregat halus dengan penambahan *Superplasticizer* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian sebelumnya perlu dipahami terlebih dahulu untuk dijadikan sebagai bahan referensi dalam penelitian penulis ini.

2.2.1 Lukas Raymon Sitorus (2022)

Penelitian Lukas Raymon Sitorus mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara tahun 2022 yang berjudul "Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan *Admixture Superplasticizer Viscocrete 3115N".* Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan terhadap umur beton dengan menggunakan variasi *Superplasticizer Viscocrete 3115N* 1%, 1,5%, dan 2% dari berat semen, serta variasi umur beton pada 7 hari, 14 hari, 21

hari, dan 28 hari untuk setiap variasinya. Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan masing-masing 5 buah pada setiap variasi hari dan kadar *Superplasticizer*. Jumlah keseluruhan benda uji menggunakan 60 sampel dengan umur beton yang direncanakan 28 hari dan mutu beton yang digunakan sebesar 42 MPa. Pada pengujian kuat tekan umur 7 hari didapatkan 29,725 MPa, 32,125 MPa, dan 34,834 MPa. Pada pengujian kuat tekan umur 14 hari didapatkan 34,673 MPa, 37,126 MPa, dan 39,835 MPa. Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari didapatkan 46,600 MPa, 48,966 MPa, dan 51, 566 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kuat tekan beton maksimum dicapai pada penggunaan variasi *Superplasticizer* 2% yaitu sebesar 51,566 MPa pada umur 28 hari. Hal ini dikarenakan penggunaan beton *Superplasticizer* memberikan laju peningkatan kekuatan awal yang baik dibanding beton dengan semen *Portland* kekuatan awal tinggi PBI 1971 atau dengan kata lain angka koefisien pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari pada beton *Superplasticizer* lebih tinggi dibandingkan dengan semen *Portland* kekuatan awal tinggi.

2.2.2 Raditya Pradhipta (2022)

Penelitian Raditya Pradhipta mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta tahun 2022 yang berjudul "Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 MPa". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan kuat tarik belah dengan menggunakan variasi abu batu 0%, 10%, 20%, dan 30% substitusi terhadap berat pasir. Pada setiap variasi dicampurkan *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N* secara konsisten sebesar 0,4% dari berat semen. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 48 buah serta balok dengan ukuran panjang 600 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 150 mm sebanyak 24 buah. Jumlah keseluruhan benda uji menggunakan 72 sampel dengan umur beton yang direncanakan 28 hari dan mutu beton yang digunakan sebesar 30 MPa. Nilai kuat tekan beton berturut turut didapatkan 30,25 MPa, 31 Mpa, 33,52 MPa, dan 32,55 MPa. Penambahan abu batu dengan bahan tambah *Superplasticize*r dapat

meningkatkan nilai kuat tekan beton dan pada variasi 20% merupakan nilai kuat tekan paling besar yaitu 33,52 MPa. Nilai pengujian kuat tarik didapatkan 2,20 MPa, 2,56 MPa, 2,91 MPa, dan 2,79 MPa. Nilai kuat tarik belah terbesar yaitu pada variasi 20% yaitu 2,91 MPa dan nilai kuat tarik belah terkecil yaitu pada variasi 0%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pada variasi 0% sampai 20% mengalami kenaikan kekuatan karena dengan adanya penambahan abu batu dapat meningkatkan mutu beton yang direncanakan. Pada variasi 20% sampai 30% mengalami penurunan kekuatan karena pada saat pemadatan kurang maksimal sehingga pada campuran beton terdapat rongga.

2.2.3 Iqbal Rizky Permana (2023)

Penelitian Iqbal Rizky Permana mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta tahun 2023 yang berjudul "Analisis Pengaruh Abu Batu sebagai Pengganti Agregat Halus dan Penambahan *Damdex* Terhadap Karakteristik Beton Keras". Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik pada beton dengan menggunakan variasi abu batu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap agregat halus serta *Damdex* sebesar 0% dan 2% dari berat semen pada setiap variasinya. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 100 sampel serta umur beton yang direncanakan yaitu 28 hari dengan mutu beton yang direncanakan sebesar 25 MPa. Pada setiap variasi benda uji masing masing terdiri dari 5 silinder. Hasil rerata pengujian kuat tekan dengan kadar *Damdex* 0% untuk variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut sebesar 28,701 MPa, 29,048 MPa, 25,752 MPa, 25,493 MPa, dan 24,626 MPa. Sedangkan hasil rerata pengujian kuat tekan dengan kadar *Damdex* 2% sebesar 29,888 MPa, 32,174 MPa, 26,514 MPa, 26,329 MPa, dan 25,338 MPa. Nilai rerata kuat tarik belah dengan kadar *Damdex* 0% sebesar 2,619 MPa, 2,711 MPa, 2,508 MPa, 2,420 MPa, dan 2,038 MPa. Sedangkan hasil rerata pengujian kuat tarik dengan kadar *Damdex* 2% sebesar 2,738 MPa, 2,923 MPa, 2,519 MPa, 2,441 MPa, 2,168 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah abu batu sebagai substitusi agregat halus dan penambahan *Damdex* sebagai bahan tambah berpengaruh terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Penambahan

bahan tersebut dapat meningkatkan dan menurunkan mutu beton tergantung dengan kadar penggunaanya. Penggantian maksimum agregat halus dengan abu batu sebesar 25%, apabila kadar diatas 25% dapat mengakibatkan penurunan mutu beton dan dengan penambahan *Damdex* 2% dari berat semen pada setiap *mixing* dapat meningkatkan mutu beton.

2.2.4 Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro (2023)

Penelitian Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta tahun 2023 yang berjudul "Pengaruh Penggantian Agregat Halus Dengan Debu Batu Dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kemudahan Kerja, Serapan, Dan Kuat Tekan Beton". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan menggunakan variasi *Superplasticizer Sika Viscocrete-1003* sebesar 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% terhadap berat semen. Pada setiap variasi dicampurkan abu batu 0% dan 100% terhadap berat agregat halus. Benda uji yang digunakan yaitu silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 40 sampel dengan mutu beton yang digunakan sebesar 30 MPa. Pada setiap variasi benda uji masing masing terdiri dari 3 silinder untuk kuat tekan dan 2 silinder untuk pengujian absorpsi pada umur 28 hari. Dari nilai rerata kuat tekan tanpa abu batu didapatkan 30,17 MPa, 32,92 MPa, 36,35 MPa, dan 37,28 MPa. Sedangkan nilai rerata kuat tekan dengan abu batu didapatkan 27,09 MPa, 28,46 MPa, 32,01 MPa, dan 32,73 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah penggunaan *admixture Superplasticizer Sika Viscocrete-1003* pada beton sebanyak 0,3% sampai 0,5% dapat meningkatkan kuat tekan beton abu batu dan beton tanpa abu batu. Namun, persentase optimum penggunaan *admixture Superplasticizer 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.

2.2.5 Miftha Nur Zakinah (2023)

Penelitian Miftha Nur Zakinah, Andi Abidah, Muhammad Junaedy Rahman mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Makassar tahun 2023 yang berjudul "Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Kombinasi Abu Batu

Dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Agregat Halus". Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton dengan menggunakan variasi *fly ash* dan abu batu sebanyak (FA 5% + AB 95%), (FA 10% + AB 90%), (FA 15% + 85%), (FA 20% + AB 80%), (FA 25% + AB 75%), dan (FA 30% + AB 70%) terhadap substitusi agregat halus. Benda uji yang digunakan sebanyak 72 buah, dengan rincian 4 benda uji untuk cetakan silinder ukuran 10x20 cm, 5 benda uji untuk cetakan silinder 15 x 30 cm, dan 3 benda uji untuk cetakan kubus 15 x 15 cm untuk setiap variasi campuran dengan mutu rencana sebesar 50 MPa. Hasil rerata pengujian kuat tekan untuk variasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% berturut-turut sebesar 30,36 MPa, 34,51 MPa, 37,03 MPa, 40,09 MPa, 45,06 MPa, dan 50,04 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengaruh jumlah *fly ash* yang digunakan sebagai agregat halus dan kuat tekan beton berhubungan satu sama lain. Hasil analisis data menunjukan pengaruh variasi kombinasi abu batu dan abu terbang 30% sebagai agregat halus untuk campuran beton mutu tinggi. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa seiring dengan penggunaan *fly ash*, maka kuat tekan dan berat jenis beton juga meningkat.

2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Perbandingan antara penelitian terdahulu dengan rencana penelitian dilakukan dapat ditinjau pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Penelitian

Penelitian Terdahulu						**Penelitian**
Penelitian	Lukas Raymon Sitorus (2022)	Raditya Pradhipta (2022)	Iqbal Rizky Permana (2023)	Whisnu Wikan Wicaksono Martonagoro (2023)	Miftha Nur Zakinah, Andi Abidah, dan M. Junaedy Rahman (2023)	Devi Ekawati (2025)
Judul Penelitian	Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan *Admixture Superplasticizer Viscocrete 3115N*	Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 MPa	Analisis Pengaruh Abu Batu sebagai Pengganti Agregat Halus dan Penambahan *Damdex* Terhadap Karakteristik Beton Keras	Pengaruh Penggantian Agregat Halus dengan Debu Batu dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kemudahan Kerja, Serapan, dan Kuat Tekan Beton	Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Kombinasi Abu Batu Dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Agregat Halus	Pengaruh Substitusi Parsial Agregat Halus Menggunakan Abu Batu dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi
Tujuan	Mengetahui kuat tekan terhadap umur beton	Mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik belah.	Mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik.	Mengetahui nilai pengujian kuat tekan beton.	Mengetahui nilai pengujian kuat tekan beton.	Mengetahui nilai kuat tekan dan nilai kuat tarik optimum.
Parameter yang diuji	Kuat tekan	Kuat tekan dan kuat tarik belah	Kuat tekan dan kuat tarik.	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan dan kuat tarik
Mutu Beton	42 MPa	30 MPa	25 MPa	30 MPa	50 MPa	41,4 MPa

Lanjutan Tabel 2.2

Metode Penelitian	Benda uji yang digunakan berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan masing-masing 5 buah pada setiap variasi hari dan kadar *Superplasticizer.* Jumlah keseluruhan benda uji menggunakan 60 sampel dengan umur beton yang direncanakan 28 hari dan mutu beton yang digunakan sebesar 42 MPa.	Pengujian ini menggunakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 48 buah serta balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm sebanyak 24 buah sehingga pengujian ini menggunakan 72 sampel dengan umur beton yang direncanakan 28 hari. Variasi yang digunakan 0%, 10%, 20%, dan 30% substitusi terhadap abu batu dengan penambahan *Superplasticizer*	Pengujian ini menggunakan sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 100 buah. Umur beton yang direncanakan yaitu 28 hari dengan mutu beton 25 MPa. Menggunakan variasi abu batu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap agregat halus serta *Damdex* sebesar 0% dan 2% dari berat semen pada setiap variasinya.	Pengujian ini menggunakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 40 buah. Umur beton yang direncanakan yaitu 28 hari dengan mutu beton 30 MPa. Menggunakan variasi *Superplasticizer Sika Viscocrete-1003* 0%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% terhadap berat semen serta menggunakan bahan tambah abu batu sebesar 0% dan 100% terhadap berat agregat halus.	Benda uji yang digunakan sebanyak 72 buah, dengan rincian 4 benda uji untuk cetakan silinder ukuran 10x20 cm, 5 benda uji untuk cetakan silinder 15 x 30 cm, dan 3 benda uji untuk cetakan kubus 15 x 15 cm untuk setiap variasi campuran dengan mutu rencana sebesar 50 MPa.	Penelitian ini menggunakan silinder dengan ukuran 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 60 buah. Umur beton yang direncanakan yaitu 28 hari. Menggunakan variasi abu batu sebesar 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% terhadap agregat halus, serta menggunakan *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N* dengan kadar 0,5% dari berat semen pada setiap variasi.

Lanjutan Tabel 2.3

Hasil Penelitian	Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari didapatkan 46,600 MPa, 48,966 MPa, dan 51, 566 MPa.	Nilai kuat tekan beton berturut turut didapatkan 30,25 MPa, 31 MPa, 33,52 MPa, dan 32,55 MPa. Nilai pengujian kuat tarik didapatkan 2,20 MPa, 2,56 MPa, 2,91 MPa, dan 2,79 MPa.	Hasil rerata pengujian kuat tekan dengan kadar *Damdex* 0% untuk variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% berturut-turut sebesar 28,701 MPa, 29,048 MPa, 25,752 MPa, 25,493 MPa, dan 24,626 MPa. Nilai rerata kuat tarik belah dengan kadar *Damdex* 0% sebesar 2,619 MPa, 2,711 MPa, 2,508 MPa, 2,420 MPa, dan 2,038 MPa.	Dari nilai rerata kuat tekan tanpa abu batu didapatkan 30,17 MPa, 32,92 MPa, 36,35 MPa, dan 37,28 MPa. Sedangkan nilai rerata kuat tekan dengan abu batu didapatkan 27,09 MPa, 28,46 MPa. 32,01 MPa. dan 32,73 Mpa.	Hasil rerata pengujian kuat tekan untuk variasi 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% berturut-turut sebesar 30,36 MPa, 34,51 MPa, 37,03 MPa, 40,09 MPa, 45,06 MPa, dan 50,04 MPa.	Pada penelitian ini, telah didapatkan hasil pengujian kuat tekan untuk variasi 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% berturut-turut sebesar 42,810 MPa, 43,263 MPa, 44,452 MPa, 46,576 MPa, 48,831 MPa, dan 45,135 MPa. Nilai kuat tarik berturut-turut sebesar 2,775 MPa, 2,954 MPa, 3,088 MPa, 3,130 MPa, 3,142 MPa, dan 2,943 MPa.

2.4 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan saat ini berbeda dengan penelitian sebelumnya. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, pada penelitian Raditya Pradhipta (2022) menggunakan abu batu dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% disubstitusikan dengan agregat halus dan mutu yang digunakan 30 MPa serta bahan tambah *Superplasticizer* sebanyak 0,6% dari berat semen. Sedangkan untuk penelitian saat ini dilakukan dengan persentase abu batu dengan variasi 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% disubstitusikan dengan agregat halus dan penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen. Selain itu penelitian saat ini menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 60 buah serta menggunakan mutu beton rencana 41,4 MPa. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai optimum kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan umur rencana beton 28 hari.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Menurut SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan *(admixture).* Beton akan mengalami pengerasan seiring dengan kekuatan beton tergantung pada kualitas bahan dasar, umur beton, pertambahan perbandingan campuran, cara pencampuran, dan proses perawatan dan kondisi sekitar beton. Beton akan mencapai kekuatan yang direncanakan pada umur 28 hari setelah penuangan beton segar.

Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton, kecepatan pengerasan, dan kekuatan (Murdock dan Brook, 1991). Beton juga mempunyai kelebihan dan kekurangan. Menurut Tjokrodimuljo (2007), beberapa kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan antara lain sebagai berikut:

1. Material umumnya mudah didapatkan disekitar, sehingga harganya relatif murah,
2. Beton memiliki sifat kelecakan yang baik sehingga memudahkan dalam proses pengerjaan,
3. Beton mempunyai sifat kuat tekan yang tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan akan mendapatkan kuat tekan dan kuat tarik yang baik,
4. Keawetan *(durability)* beton sangat baik sehingga beton termasuk bahan yang awet, tahan air, tahan panas, tahan dari pembusukan kondisi lingkungan sehingga biaya perawatan yang relatif murah, dan
5. Beton segar dapat disalurkan melalui pompa untuk menjangkau tempat yang sulit untuk melakukan penuangan.

Disisi lain juga dinyatakan beberapa kekurangan dari beton diantaranya sebagai berikut:

1. Dibalik kekuatan tekan yang baik, beton mempunyai kelemahan dalam kuat tarik sehingga perlu ditambahkan tulangan,
2. Beton dapat mengembang dan menyusut terhadap perubahan suhu,
3. Struktur beton sulit untuk dipindahkan, dan
4. Pemakaian kembali atau daur ulang biasanya sulit untuk dilakukan.

Menurut (Mulyono, 2004) secara umum beton dibedakan dalam 2 kelompok sebagai berikut:

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton

Kelas dan mutu ini dibedakan menjadi tiga kelas meliputi:

a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan-bahan. Sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.
b. Beton kelas II adalah untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan-pimpinan tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu standar B1, K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kuat tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara *continue* dari hasil pemeriksaan benda uji.
c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara *continue.*

2. Beton Berdasarkan Jenisnya

   Berdasarkan jenis beton dibagi menjadi 6 jenis meliputi:

   a. Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan

untuk memproduksi beton ringan merupakan agregat ringan juga. Agregat yang umumnya digunakan adalah states, residu, slag, batu bara dan banyak pembakaran vulkanik. Menurut SNI 08-1991-03 berat jenis agregat ringan sekitar 800 sampai dengan 1800 kg/m³ dan berdasarkan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m³, serta memiliki kuat tekan antara 6,89 MPa sampai dengan 17,24 MPa pada umur 28 hari.

b. Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200-2500 kg/m³ dengan kuat tekan 2-40 MPa.
c. Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³. Untuk menghasilkan beton berat biasanya digunakan agregat yang berat jenisnya tinggi.
d. Beton massa *(massa concrete)* dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan massif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, jembatan dan lain-lain.
e. *Ferro-cement* adalah bahan gabungan yang diperoleh dari campuran beton dengan tulangan kawat anyam/kawat dianyam. Beton jenis ini akan mempunyai kuat tarik yang tinggi dan daktail.
f. Beton serat *(fiber concrete)* merupakan bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat, umumnya berupa batangan-batangan dengan panjang 25 mm. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastic *(polypropylene)*, atau potongan kawat baja. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktail daripada beton normal.

3.2 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi merupakan beton yang mempunyai kuat tekan lebih tinggi dibandingkan beton normal, menurut SNI 03-6468-2000 mengenai Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi diartikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar atau sama dengan 41,4 MPa. Beton mutu tinggi lazim

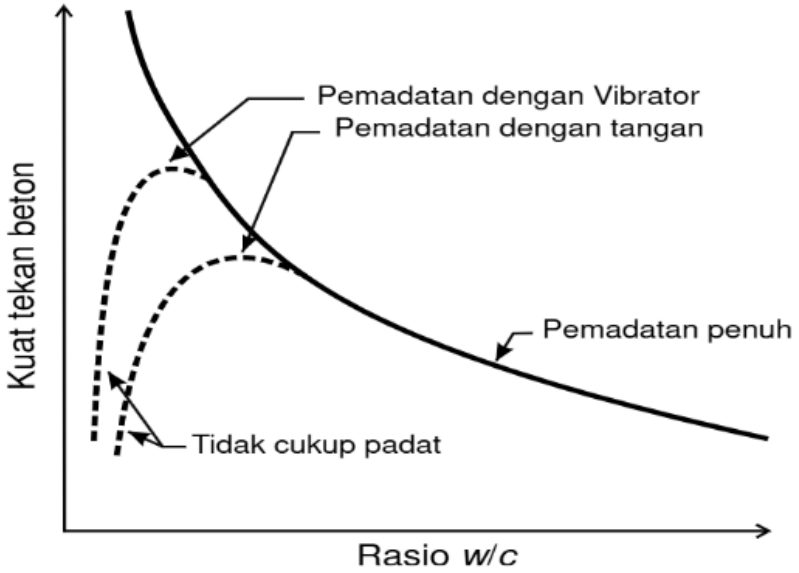
menggunakan ukuran agregat yang lebih kecil (<15 mm) dapat menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (De Larrard, 1990). Beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah seperti *Superplasticizer* yang bertujuan meningkatkan workabilitas, mengurangi pemakaian air, meningkatkan mutu dan kekentalan nilai *slump* (Handi Prajitno, 2007).

Menurut Pedoman atau Pd T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, beton mutu tinggi merupakan beton yang memiliki kuat tekan di antara 40 sampai dengan 80 MPa. Komposisi bahan-bahan penyusun beton perlu diperhatikan dengan teliti, agar komposisi bahan penyusunnya sesuai dengan kebutuhan. Beton mutu tinggi membutuhkan perbandingan air dan fas yang kecil. Dengan fas yang kecil, *workability* menjadi rendah, maka untuk mempermudah pengerjaannya ditambahkan *admixture* yang dapat mengencerkan campuran beton tersebut.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Pujianto, As'at, dkk. (2007), bila berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang tinggi, ada beberapa faktor utama yang bisa menentukan keberhasilan pengadaan beton dengan mutu tinggi, diantaranya sebagai berikut.

1. Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian air semen dapat diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan aditif *cementitious*, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Faktor air semen yang rendah, merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Dengan demikian semakin besar volume faktor air semen semakin rendah kuat tekan betonnya seperti pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Fas
(Sumber: Pujianto, As'at, dkk. 2007)

Dari Gambar 3.1 tampak bahwa idealnya semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan maka dibawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (vibrator) atau dengan bahan kimia tambahan (chemical admixture) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodimuljo, 1992). Untuk membuat beton mutu tinggi faktor air semen yang dipergunakan antara 0,28 sampai dengan 0,38. Sedangkan untuk beton mutu tinggi faktor air semen yang dipergunakan lebih kecil dari 0,2 (Jianxin Ma dan Jorg Dietz, 2002)

2. Kualitas Agregat Kasar

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah sebagai berikut.

a. Porositas rendah

   Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa porositas rendah akan menghasilkan suatu adukan yang seragam *(uniform),* dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai slumpnya. Akan sangat baik apabila digunakan agregat kasar dengan tingkat penyerapan air *(water absorption)* yang kurang dari 1%. Apabila tidak, hal ini dapat

menimbulkan kesulitan dalam mengontrol kadar air total pada beton segar, dan dapat mengakibatkan kekurangan teraturan *(irregularity)* dan deviasi yang besar pada mutu dan nilai *slump* beton yang dihasilkan. Karenanya, sensor kadar air secara ketat pada setiap group agregat yang akan dipakai merupakan suatu tahapan yang mutlak perlu dikerjakan,

b. Bentuk fisik agregat

   Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa batu pecah dengan bentuk kubikal dan tajam ternyata menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat (Larrad, 1990). Hal ini tidak lain adalah karena bentuk kubikal dan tajam dapat memberikan daya lekat mekanik yang lebih baik antara batuan dengan mortar.

c. Ukuran maksimum agregat

   Dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemakaian agregat yang lebih kecil (<15 mm) dapat menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (Larrad, 1990). Namun, pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang baik dalam produksi beton mutu tinggi.

d. Bersih dan kuat tekan hancur yang tinggi.

e. Gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

3. Kualitas Agregat Halus

Kualitas agregat halus yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah sebagai berikut.

a. Berbentuk bulat

b. Tekstur halus *(smooth texture)*

c. Modulus kehalusan *(fineness modulus),* menurut hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir dengan modulus kehalusan 2,5 sampai dengan 3,0 pada umumnya akan menghasilkan beton mutu tinggi (dengan fas yang rendah) yang mempunyai kuat tekan dan *workability* yang optimal (Larrard, 1990)

4. Penggunaan *admixture* dan aditif mineral dalam kadar yang tepat

Untuk menghasilkan beton mutu tinggi dibutuhkan *Superplasticizer* dan aditif mineral yang bersifat *cementitious* yaitu berupa: abu terbang dan *pozzofume*

dengan kadar yang tepat. Sebab bahan *admixture* dan aditif jika dicampur dengan kadar yang tidak tepat hasilnya akan sebaliknya, yaitu tidak meningkatkan kuat tekannya akan tetapi dapat menurunkan. *Superplasticizer* atau *high range water reducer* dalam hal ini mutlak diperlukan karena kondisi fas yang umumnya sangat rendah pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, untuk dapat mengontrol dan menghasilkan nilai *slump* yang optimal pada beton segar *(workable),* sehingga dapat menghasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. Namun dalam segala hal, penggunaan *Superplasticizer* perlu sesuai dengan standard ASTM-C 494-81 tipe F. Ketepatan dosis penambahan *Superplasticizer* umumnya perlu dibuktikan dengan membuat campuran coba dengan beberapa variasi dosis penambahan *Superplasticizer* hingga mendapatkan hasil yang optimum dalam memenuhi syarat kelecakan yang direncanakan. Hasil penelitian penggunaan *Superplasticizer* menunjukkan peningkatan nilai *slump* yang memuaskan pada fas yang rendah (dalam hal ini digunakan sikament-163, produk PT. Sika Nusa Pratama). Dengan fas sebesar 0,28, nilai *slump* sebesar 1,5 cm. Pada penambahan *Superplasticizer* dengan dosis 1,25% nilai *slump* mencapai 9,5 cm, sedangkan pada penambahan *Superplasticizer* dengan dosis 2% nilai *slump* menjadi 12,5 cm (Supartono, 1998)

5. Kontrol Kualitas

Untuk menghasilkan beton bermutu tinggi maka dibutuhkan prosedur yang benar dan cermat pada keseluruhan proses produksi beton yang meliputi sebagai berikut.

a. Uji material
b. Sensor dan pengelompokan material
c. Penakaran dan pencampuran
d. Pengadukan
e. Pengangkutan
f. Pengecoran
g. Perawatan

Disamping itu pengawasan dan pengendalian yang ketat pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan, yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal.

3.3 Bahan Penyusun Beton

Menurut Tjokrodimuljo (1992), beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara agregat halus, agregat kasar, air, semen dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Karena beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing material pembentuk. Setiap bahan penyusun beton mempunyai fungsi yang berbeda tergantung pada kegunaannya.

3.3.1 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70% volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar (Tjokrodimuljo, 2007). Berdasarkan ukuranya, agregat dibedakan menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus. Ukuran butir agregat kasar lebih dari 4,75 mm atau tertahan pada saringan No. 4 sedangkan agregat halus lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Berikut merupakan agregat yang dipakai dalam pembuatan beton.

Agregat kasar berguna sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Menurut SNI 03-2847-2002 agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu. Persyaratan agregat kasar menurut SK SNI S 04-1989-F adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori,
2. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan,
3. Butir-butir agregat kasar harus kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca,

4. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat keringnya, jika melebihi kadar lumpur agregat kasar melampaui 1% maka harus dicuci lebih dahulu sebelum digunakan,
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali, dan
6. Nilai modulus kehalusan agregat kasar berada pada rentang 6,0 sampai dengan 7,1.

Agregat halus berupa pasir alami atau pasir hasil pemecah batu (pasir buatan) yang lolos dari ayakan No. 4 (4,75 mm). Menurut peraturan SK SNI T-15-1990-03 kekerasan pasir dibedakan menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka ikatan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula,
2. Butiran harus bersifat kekal. Sifat kekal berarti pasir tidak mudah hancur atau kuat oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca,
3. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak, dan
4. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka yang dihasilkan akan berkualitas rendah.

3.3.2 *Portland Cement*

Portland cement adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker terutama terdiri dari atas silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gypsum sebagai bahan tambah. Menurut Tjokrodimuljo (1996), semen berfungsi untuk melekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang padat. Selain itu semen berguna untuk pengisi rongga-rongga diantara butiran agregat walaupun semen hanya mengisi 10% dari volume beton.

Bahan dasar untuk pembuatan semen adalah batu kapur dan tanah liat dari alam yang memiliki berbagai oksida. Menurut Tjokrodimuljo (1996), secara umum komposisi kimia senyawa-senyawa pada semen dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Susunan Unsur Semen *Portland*

No	Komposisi	Jumlah (%)
1.	Kapur (CaO)	60 - 65
2.	Silika (SiO_2O_3)	17 - 25
3.	Alumina (Al_2O_3)	3 – 8
4.	Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6,0
5.	Magnesia (MgO)	0,5 – 4,0
6.	Alkali (K_2O + Na2O)	0,5 – 1,0
7.	Sulfur (SO_3)	1 - 2

Sumber : Tjokrodimuljo, 1996

Semen yang digunakan untuk penelitian ini yaitu semen *portland.* Semen *portland* memiliki kandungan kalsium yang tinggi dan bersifat hidrolis. Semen hidrolis yang mempunyai fungsi sebagai bahan perekat bahan susun beton, dengan menggunakan jenis semen tersebut maka diperlukan air yang berguna untuk berlangsungnya reaksi kimia pada proses hidrasi. Pada saat proses hidrasi, semen akan mengeras dan mengikat bahan susun beton dan membentuk massa padat.

Menurut Mulyono (2004), Berikut merupakan pengelompokan semen *portland* sebagai berikut:

1. Tipe I, semen *portland* yang dalam penggunaanya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya,
2. Tipe II, semen *portland* yang penggunaanya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang,
3. Tipe III, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, semen *portland* yang dalam penggunaanya memerlukan kalor hidrasi rendah, dan
5. Tipe V, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.3.3 Air

Air merupakan bahan dasar yang penting dalam pembuatan beton karena harganya murah dan mudah untuk didapat. Pada campuran beton, air mempunyai fungsi menghasilkan reaksi hidrasi antar molekul pada semen sehingga dapat menghasilkan pasta semen yang digunakan untuk proses pengikatan. Selain itu air juga sebagai pelumas pada agregat sehingga mudah untuk dikerjakan.

Air yang diperlukan saat bereaksi dengan semen hanya sekitar 25% dari berat semen. Apabila kadar air berlebihan maka beton yang dihasilkan akan menjadi encer dan mengakibatkan kekuatan beton menjadi rendah. Apabila air terlalu sedikit dan nilai fas (faktor air semen) kurang dari 35% maka dalam proses pengadukan beton akan mengalami kesulitan. Ketika beton sudah mengeras, menghasilkan beton yang keropos yang dapat menyebabkan kekuatan beton menjadi rendah.

Menurut Tjokrodimuljo (1992), persyaratan air untuk bahan bangunan sebagai berikut:

1. Air harus bersih,
2. Air tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual, benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter,
3. Air tidak mengandung garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram per liter,
4. Air tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram per liter, khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih 0,05 gram per liter, dan
5. Air tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) lebih dari 1 gram per liter.

Air yang digunakan dalam penelitian biasanya dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, situ, dan lainnya), air limbah asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga mencapai 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton prategang ataupun beton bertulang karena akan mengakibatkan resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan (Mulyono, 2004).

3.3.4 Bahan Substitusi

Abu batu merupakan abu yang dihasilkan oleh pemecah batu secara mekanik. Abu batu ini memiliki kriteria lolos ayakan No. 4 (4.75 mm) dan tertahan pada ayakan 0,075 mm. Abu batu umumnya berwarna abu-abu kehitaman yang butirannya bertekstur kasar dan tajam. Menurut Afif (2018) kelebihan dari abu batu yaitu ukuran butirannya yang kecil seperti debu sehingga bisa dimanfaatkan sebagai filler dalam campuran beton, ukurannya yang cukup merata di setiap bagian sehingga tidak diperlukan lagi proses pengayakan. Kelebihan yang lainnya abu batu memiliki tekstur yang tajam karena abu batu berasal dari proses pemecah batu secara mekanik sehingga tekstur abu batu memiliki tekstur yang tajam dapat membuat ikatan yang cukup kuat. Permukaan agregat dengan tekstur yang kasar dapat meningkatkan lekatan antara agregat dengan semen sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton (Tjokrodimuljo, 1992).

Menurut Raswitaningrum dan Setiawan (2019), abu batu mengandung banyak silika, alumina dan mengandung senyawa alkali, besi dan kapur walaupun dalam kadar yang rendah. Abu batu mengandung senyawa silika yang sangat halus yang bersifat amorf sehingga mampu mengeras apabila dicampur dengan semen. Senyawa yang terjadi, antara silika amorf dan kapur adalah senyawa silikat kalsium yang sukar larut dalam air. Kemampuan pengerasan abu batu karena adanya bagian-bagian silika amorf yang halus.

3.3.5 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan bahan yang digunakan dalam campuran beton yang berfungsi untuk mengubah karakteristik beton seperti menambah *workability*, untuk mengurangi fas (faktor air semen), dan dapat memperlambat waktu pemadatan pada beton. Bahan tambah ini dapat ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat sebelum, segera atau selama pengadukan campuran beton berlangsung. Penggunaan bahan tambah ini perlu diperhatikan dengan teliti agar bahan tambah tersebut dapat bekerja dengan baik. Pemberian bahan tambah yang berlebihan menyebabkan kerusakan kualitas pada beton dan dapat mengakibatkan baja tulangan korosi.

Bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan beton dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah bersifat mineral *(additive)* dan bahan tambah bersifat kimia *(chemical admixture).* Bahan tambah mineral *(additive)* berfungsi untuk mengurangi suhu reaksi hidrasi, mengurangi pemakaian semen, meminimalisir *bleeding* atau menambah kelecakan pada beton. Bahan tambah mineral *(additive)* dapat berupa *fly ash*, serat kaca, *silica fume*, abu kulit sekam padi, dan abu batu. Bahan tambah kimia *(chemical admixture)* berupa cairan atau bubuk yang dicampur pada adukan beton. Berikut merupakan pengelompokan bahan tambah kimia *(chemical admixture)* menurut SNI 03-2495-1991 sebagai berikut:

1. Tipe A *(Water-Reducing Admixtures)* berfungsi untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan, sehingga faktor air semen lebih kecil, kuat tekan beton meningkat dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang sama atau dengan fas yang sama dan diperoleh beton dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang lebih baik.
2. Tipe B *(Retarding Admixtures)* berfungsi untuk memperlambat waktu pengikatan beton *(setting time),*
3. Tipe C *(Accelerating Admixture)* berfungsi untuk mempercepat waktu pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton,
4. Tipe D *(Water Reducing and Retarding Admixtures)* berfungsi untuk mengurangi campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan untuk memperlambat waktu pengikatan beton,
5. Tipe E *(Water Reducing and Accelerating Admixtures)* berfungsi untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton,
6. Tipe F *(Water Reducing High Range Admixtures)* berfungsi untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang diterapkan, dan
7. Tipe G *(Water Reducing, High Range Retarding Admixtures)* berfungsi untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% untuk menghasilkan beton

sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.

Superplasticizer merupakan bahan tambah *(admixture)* yang didefinisikan sebagai material selain air, agregat, semen dan fiber yang digunakan pada campuran beton atau mortar, yang ditambahkan dalam adukan sebelum, segera atau selama pengadukan dilakukan (Murdock dan Brook, 1986). *Superplasticizer* berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam jumlah besar dan memberikan kelecakan yang mempermudah proses pengadukan. Kelecakan dalam proses pengadukan akan membuat pengikatan antar molekul semakin baik, sehingga membentuk beton padat dan dapat memperkecil rongga udara pada beton.

Menurut Nawy (1985), *Superplasticizer* adalah bahan yang dapat disebut sebagai "bahan tambahan kimia pengurang air". Adapun tiga jenis *Superplasticizer* sebagai berikut:

1. Kondensasi *sulfonat melamin formaldehid* dengan kandungan klorida sebesar 0,005%.
2. *Sulfonat nafthalin formaldehid* dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
3. Modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini dibuat dari *sulfonat* organik dan disebut *Superplasticizer* karena bahan ini dapat mengurangi banyak air pada campuran beton sementara *slump* beton bertambah.

Sika Viscocrete 3115N merupakan salah satu jenis *Superplasticizer* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia. *Superplasticizer* yang berfungsi untuk meningkatkan kelecakan. Kelecakan yang baik akan memudahkan material untuk mengisi rongga-rongga udara bersamaan pada proses hidrasi dalam pengikatan awal beton. Penggunaan *Superplasticizer* pada campuran beton dapat meningkatkan nilai *slump*. Berdasarkan lembar data teknik *Sika Viscocrete 3115N*, dosis yang disarankan untuk beton biasa sebesar 0,3 sampai dengan 0,8% dari berat semen, sedangkan untuk beton *Self Compacting Concrete* (SCC) sebesar 0,8% sampai 2% dari berat semen.

Menurut Subakti (1995), secara umum terdapat keuntungan dalam menggunakan *Superplasticizer* pada campuran beton. Adapun keuntungannya sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan beton mutu tinggi, biasanya digunakan nilai fas 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 unggul.
3. Proses hidrasi semen dapat diperlambat dengan menghambat reaksi hidrasi silikat dan aluminat, yang pada gilirannya akan mengakibatkan penundaan dalam *setting time.*

Kadar *Superplasticizer* yang berlebih 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 dan berujung pada hilangnya kekuatan final pada beton.

3.4 Pemeriksaan Bahan Susun

3.4.1 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan pada agregat kasar ini bertujuan untuk memperoleh kualitas material yang akan digunakan sesuai dengan standar. Pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Menurut SNI 03-1969-1990 pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air ini bertujuan untuk menentukan berat jenis mutlak, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat kasar. Sebagai penjelasan pengertian sebagai berikut.

a. Berat Jenis Mutlak *(Bulk Specific Gravity)*

   Berat jenis mutlak merupakan perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada

kondisi suhu tertentu.

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

Berat jenis jenuh kering permukaan merupakan berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu.

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

Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu.

d. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Perhitungan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.4 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{Bj-Ba} \quad (3.1)$$

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{Bj}{Bj-Ba} \quad (3.2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{Bk-Ba} \quad (3.3)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \quad (3.4)$$

Keterangan:

Bk = Berat kerikil kering mutlak (gram),

Bj = Berat kerikil kondisi jenuh kering muka/SSD (gram), dan

Ba = Berat kerikil dalam air (gram).

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang digunakan untuk menunjukkan kehalusan atau kekasaran butiran agregat, semakin besar nilai modulus halus butir, maka semakin besar butir agregat. Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat kasar dengan menggunakan saringan. Adapun tujuan dari pemeriksaan analisa saringan ini sebagai berikut:

a. Untuk meningkatkan *workability* pada beton sehingga mudah untuk dikerjakan,
b. Untuk mendapatkan beton dengan kepadatan yang baik,
c. Untuk mendapatkan batas gradasi dari agregat halus ataupun agregat kasar,
d. Untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi, dan
e. Untuk mendapatkan campuran analisa agregat dengan proporsi yang ideal pada saat pencampuran beton.

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan agregat kasar berupa nilai modulus halus butir (MHB) dan susunan gradasi butiran. Nilai MHB berdasarkan SNI 03-2834-2000 dibagi ke dalam 3 daerah gradasi. Berikut merupakan batas gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Batas Daerah Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	**Persen Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum**		
	40 mm	**20 mm**	**10 mm**
40	95-100	100	-
20	30-70	95-100	100
10	10-35	25-55	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI-03-2834-2000

Menurut SNI 03-1968-1990 perhitungan analisa saringan pada agregat kasar menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$\text{Persentase berat hilang} = \frac{a-b}{a}\ x\ 100\% \quad (3.5)$$

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\Sigma\ (\%\ kumulatif)}{100} \quad (3.6)$$

Keterangan:

a = Berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),
b = Berat agregat setelah diayak (gram),
Σ (% kumulatif) = Berat tertinggal kumulatif (%)

3. Pemeriksaan Berat Volume

Pemeriksaan berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume pada agregat kasar. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingkan berat agregat

dalam keadaan padat dan volume silinder yang digunakan pada saat pemeriksaan. Menurut SNI 03-4804-1998 perhitungan berat volume agregat kasar menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\text{Berat volume} = \frac{W}{v} \quad (3.7)$$

Keterangan:

W = Berat agregat (gram), dan

v = Volume silinder (cm^3).

Pemeriksaan pada agregat halus ini bertujuan untuk memperoleh kualitas material yang akan digunakan sesuai dengan standar. Pemeriksaan agregat halus yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

Menurut SNI 1970:2008 pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air ini bertujuan untuk menentukan berat jenis mutlak, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Sebagai penjelasan pengertian adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Mutlak *(Bulk Specific Gravity)*

Berat jenis mutlak merupakan perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis mutlak menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.8)$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

Berat jenis jenuh kering permukaan merupakan berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis kering permukaan menggunakan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.9)$$

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

Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama degan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis semu permukaan menggunakan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \quad (3.10)$$

d. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Perhitungan yang digunakan dalam penyerapan air menggunakan Persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - Bk}{Bk}\ x\ 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan:

Bk = Berat pasir kering mutlak (gram),

Bt = Berat piknometer berisi air dan pasir (gram), dan

B = Berat piknometer berisi air (gram).

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang digunakan untuk menunjukkan kehalusan atau kekasaran butiran agregat, semakin kecil nilai modulus halus butir, maka semakin kecil butir agregat. Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi agregat halus dengan menggunakan saringan. Adapun tujuan dari pemeriksaan analisa saringan ini sebagai berikut:

a. Untuk meningkatkan *workability* pada beton sehingga mudah dikerjakan,
b. Untuk mendapatkan beton dengan kepadatan yang baik,
c. Untuk mendapatkan batas gradasi dari agregat halus ataupun agregat kasar,
d. Untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi, dan
e. Untuk mendapatkan campuran analisa agregat dengan proporsi yang ideal pada saat pencampuran beton.

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan agregat halus berupa nilai modulus halus butir (MHB) dan susunan gradasi butiran. Nilai MHB berdasarkan SNI 03-

2834-2000 dibagi ke dalam 4 daerah gradasi. Berikut merupakan batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Batas Daerah Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	**Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)**			
	Daerah I	**Daerah II**	**Daerah III**	**Daerah IV**
	Pasir Kasar	**Pasir Sedang**	**Pasir Agak Halus**	**Pasir Halus**
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI-03-2834-2000

Perhitungan analisa saringan pada agregat halus sama dengan perhitungan analisa saringan pada agregat kasar, sehingga analisa saringan pada agregat kasar menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6.

3. Pemeriksaan Berat Volume

Menurut SNI 03-4804-1998 pemeriksaan berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume pada agregat halus. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingkan berat agregat dalam keadaan padat dan volume silinder yang digunakan pada saat pemeriksaan. Perhitungan berat isi pada agregat halus menggunakan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \tag{3.12}$$

Keterangan:

W = Berat agregat (gram), dan

Vol = Volume silinder yang digunakan (cm^3).

4. Pemeriksaan Lolos Saringan No. 200

Pemeriksaan lolos saringan No. 200 ini bertujuan untuk menentukan banyaknya agregat yang lolos saringan No. 200 atau 0.075 mm setelah agregat

dicuci hingga jernih. Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang lolos saringan No. 200 dan terkandung pada agregat halus. Menurut (Mulyono, 2004), kadar lumpur yang masih diperbolehkan dalam syarat menurut SII 0052-80 maksimum 5%. Kandungan lumpur yang melebihi batas maksimum mengakibatkan gangguan pada ikatan antara agregat halus dengan semen. Menurut SNI 03-4142-1996 perhitungan yang digunakan dalam pemeriksaan lolos saringan No. 200 menggunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\% \quad (3.13)$$

Keterangan:

W1 = Berat agregat halus kering oven (gram), dan

W2 = Berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram)

3.4.2 Pemeriksaan *Portland Cement*

Pemeriksaan semen merupakan proses penting dalam pembuatan beton karena untuk memastikan kualitas dan kesesuaian semen dengan standar yang telah ditetapkan. Semen yang baik adalah dasar dari campuran beton yang kuat dan tahan lama, sehingga pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa semen mampu memenuhi kebutuhan struktural serta kondisi lingkungan di lapangan. Menurut PBI 1971, salah satu pemeriksaan semen untuk beton mutu K175 dan mutu lebih tinggi yaitu dengan jumlah semen yang dipakai dalam setiap campuran harus ditentukan dengan campuran beton yang direncanakan. Campuran tersebut dapat dibuktikan dengan data otentik dari pengalaman-pengalaman pelaksanaan beton di waktu yang lalu atau dengan data dari hasil percobaan yang telah dilakukan bahwa kekuatan karakteristik yang diisyaratkan dapat tercapai. Pengukuran semen tidak boleh mempunyai kesalahan lebih dari ± 2,5%.

3.4.3 Pemeriksaan Air

Pemeriksaan air adalah tahap penting dalam pembuatan beton, karena air berperan sebagai komponen utama yang memicu reaksi hidrasi pada semen. Air yang digunakan dalam campuran beton tidak hanya berfungsi untuk melarutkan bahan bahan campuran, tetapi juga sangat menentukan kualitas, kekuatan, dan daya

tahan beton yang dihasilkan, pemeriksaan ini untuk memastikan bahwa air yang digunakan memenuhi standar kualitas tertentu. Menurut PBI 1971, pemeriksaan air untuk pembuatan dan perawatan beton tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, dan garam. Apabila terdapat keraguan mengenai air, dianjurkan untuk mengirimkan contoh air ke lembaga pemeriksaan bahan bahan yang diakui untuk diselidiki sampai seberapa jauh air itu mengandung zat-zat yang dapat merusak beton. Apabila pemeriksaan itu tidak dapat dilakukan, maka dalam hal adanya keraguan mengenai air harus diadakan percobaan perbandingan antara kekuatan mortar semen dan pasir dengan memakai air itu dengan memasukan air suling. Air tersebut dianggap dapat dipakai, apabila kekuatan tekan mortar dengan memakai air itu pada umur 7 dan 28 hari paling sedikit adalah 90% dari kekuatan tekan mortar dengan memakai air suling pada umur yang sama. Jumlah air yang dipakai untuk membuat adukan beton dapat ditentukan dengan ukuran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan setepat-tepatnya.

3.4.4 Pemeriksaan Bahan Substitusi

Pemeriksaan pada abu batu ini bertujuan untuk memperoleh kualitas material yang akan digunakan sesuai dengan standar. Pemeriksaan abu batu yang dilakukan sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Menurut SNI 1970:2008 pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air ini bertujuan untuk menentukan berat jenis mutlak, berat jenis kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus. Sebagai penjelasan pengertian adalah sebagai berikut.

   a. Berat Jenis Mutlak *(Bulk Specific Gravity)*

      Berat jenis mutlak merupakan perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis mutlak menggunakan Persamaan 3.8.

   b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan *(Saturated Surface Dry)*

      Berat jenis jenuh kering permukaan merupakan berat abu batu kering

permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan abu batu dalam keadaan jenuh pada kondisi suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis kering permukaan menggunakan Persamaan 3.9.

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

   Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat abu batu kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi abu batu dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Perhitungan yang digunakan dalam berat jenis semu permukaan menggunakan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

d. Penyerapan Air

   Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat abu batu kering. Perhitungan yang digunakan dalam penyerapan air menggunakan Persamaan 3.11.

2. Pemeriksaan Analisa Saringan

Modulus halus butir adalah suatu indeks yang digunakan untuk menunjukkan kehalusan atau kekasaran butiran abu batu, semakin kecil nilai modulus halus butir, maka semakin kecil butir abu batu. Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan pembagian butir atau gradasi abu batu dengan menggunakan saringan. Adapun tujuan dari pemeriksaan analisa saringan ini sebagai berikut.

a. Untuk meningkatkan *workability* pada beton sehingga mudah untuk dikerjakan,
b. Untuk mendapatkan beton dengan kepadatan yang baik,
c. Untuk mendapatkan batas gradasi dari abu batu,
d. Untuk mendapatkan beton dengan kekuatan tinggi, dan
e. Untuk mendapatkan campuran analisa agregat dengan proporsi yang ideal pada saat pencampuran beton.

Hasil dari pemeriksaan analisa saringan abu batu berupa nilai modulus halus butir (MHB) dan susunan gradasi butiran. Nilai MHB berdasarkan SNI 03-2834-2000 dibagi ke dalam 4 daerah gradasi. Berikut merupakan batas gradasi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Perhitungan analisa saringan pada abu batu sama dengan perhitungan analisa saringan pada agregat kasar, sehingga analisa saringan pada agregat kasar menggunakan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6.

3. Pemeriksaan Berat Volume

Pemeriksaan berat volume bertujuan untuk menentukan berat volume pada abu batu. Pemeriksaan ini dilakukan dengan membandingkan berat abu batu dalam keadaan padat dan volume silinder yang digunakan pada saat pemeriksaan. Perhitungan berat isi pada agregat halus menggunakan Persamaan 3.12.

4. Pemeriksaan Lolos Saringan No. 200

Pemeriksaan lolos saringan No. 200 ini bertujuan untuk menentukan banyaknya abu batu yang lolos saringan No. 200 atau 0.075 mm setelah abu batu dicuci hingga jernih. Pada pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang lolos saringan No. 200 dan terkandung pada abu batu. Menurut (Mulyono, 2004), kadar lumpur yang masih diperbolehkan dalam syarat menurut SII 0052-80 maksimum 5%. Kandungan lumpur yang melebihi batas maksimum mengakibatkan gangguan pada ikatan antara abu batu dengan semen. Perhitungan yang digunakan dalam pemeriksaan lolos saringan No. 200 menggunakan Persamaan 3.13.

3.4.5 Pemeriksaan Bahan Tambah

Pemeriksaan pada *Superplasticizer* ini bertujuan untuk memperoleh kualitas material yang akan digunakan sesuai dengan standar. Berdasarkan lembar dari produk *Sika Viscocrete 3115N*, penggunaan *Superplasticizer* pada beton plastis konvensional berada pada kisaran 0,3% sampai 0,8% dari berat semen. Ketepatan dosis penambahan *Superplasticizer* perlu dibuktikan dengan membuat campuran percobaan dengan beberapa variasi dosis penambahan *Superplasticizer* hingga mendapatkan hasil yang optimum dalam memenuhi syarat kelecakan yang direncanakan. Pemberian dosis yang berlebih akan mengakibatkan penundaan *setting* yang lama sehingga beton akan kehilangan kekuatan akhir, selain itu juga kurang ekonomis karena harga *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N* relatif

mahal.

3.5 Perencanaan Campuran Beton *(Mix Design)*

Pada perencanaan campuran beton *(mix design)* adalah perhitungan teoritis yang dilakukan untuk menentukan proporsi pada setiap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton menggunakan acuan yang berlaku untuk beton berkekuatan tinggi sesuai SNI 03-6468-2000. Adapun tata cara dalam perencanaan beton berkekuatan tinggi dengan SNI 03-6468-2000 sebagai berikut.

1. Menentukan nilai *slump*

   Slump untuk beton kekuatan tinggi tanpa *Superplasticizer* dapat diambil sebesar 50 mm sampai 100 mm. Nilai *slump* awal untuk beton kekuatan tinggi dengan *Superplasticizer* dapat diambil sebesar 25 mm sampai 50 mm.

2. Menentukan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan

   Kuat desak beton yang ditargetkan diperlukan karena nilai kuat desak yang akan dicapai nantinya melebihi nilai kuat desak beton yang disyaratkan. Terdapat dua cara dalam menghitung kuat desak yang dicapai. Apabila sampel yang dibuat lebih dari 30 buah, maka kuat tekan rata rata yang ditargetkan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14, akan tetapi apabila sampel dibuat kurang dari 30 maka kuat tekan rata rata yang ditargetkan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15.

$$f'cr = \frac{\text{f'c+9,66 MPa}}{0,90} \tag{3.14}$$

$$f'cr = f'c + 1,34\ x\ s \tag{3.15}$$

Keterangan:

$f'cr$ = Kuat desak rata-rata yang ditargetkan (MPa),

$f'c$ = Kuat desak rata-rata yang disyaratkan (MPa),

s = Deviasi standar.

3. Menentukan ukuran agregat kasar

   Ukuran agregat kasar untuk kuat tekan rata-rata kurang dari 62,1 MPa maka menggunakan ukuran agregat maksimum 20 mm sampai 25 mm sedangkan ukuran agregat kasar untuk kuat tekan rata-rata lebih dari 62,1 MPa maka menggunakan ukuran agregat maksimum 10 mm sampai 15 mm. Berikut merupakan agregat kasar maksimum sesuai dengan SNI 03-2947-1992 yaitu:

   a. 1/5 lebar minimum acuan,
   b. 1/3 tebal pelat beton, atau
   c. 3/4 jarak bersih minimum antara batang tulangan, bundel tulangan, atau kabel prategang

4. Menentukan kadar agregat kasar optimum

   Kadar agregat kasar optimum digunakan bersama-sama dengan agregat halus yang mempunyai nilai modulus kehalusan antara 2,5 sampai 3,2. Berat agregat kasar padat kering oven per-m^3 beton adalah besarnya fraksi volume padat kering oven dikali dengan berat isi padat kering oven (kg/m^3). Besarnya fraksi volume agregat pada kering oven yang disarankan berdasarkan besarnya ukuran agregat maksimum terdapat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Fraksi Volume Agregat Kasar yang Disarankan

No.	Ukuran (mm)	Fraksi Volume Padat Kering Oven
1.	10	0,65
2.	15	0,68
3.	20	0,72
4.	25	0,75

Sumber: SNI 03-6468-2000

5. Menentukan estimasi kadar air dan kadar udara

   Dalam menentukan estimasi kebutuhan air dan kadar udara untuk beton segar berdasarkan pasir 35% rongga udara terdapat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Estimasi Kebutuhan Air dan Kadar Udara Beton Segar

Air Pencampur (liter/m³)					**Keterangan**
Slump	**Ukuran Agregat Kasar Maksimum (mm)**				
(mm)	**10**	**15**	**20**	**25**	
25-50	184	175	169	166	
50-75	190	184	175	172	
75-100	196	190	181	178	
Kadar udara (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	Tanpa S*uperplasticizer*
	2,5	2.0	1,5	1,0	Dengan S*uperplasticizer*

Sumber: SNI 03-6468-2000

Bentuk butiran dan tekstur permukaan agregat halus berpengaruh pada kadar rongga udara pasir, oleh karena itu kadar rongga udara yang aktual dan kadar air harus dikoreksi dengan menggunakan Persamaan 3.16 dan Persamaan 3.17.

$$V = (1 - (\frac{\text{Berat isi padat kering oven}}{\text{berat jenis relatif (kering)}}))\ x\ 100\% \quad (3.16)$$

$$\text{Koreksi, liter/m}^3 = [V - 35]\ x\ 4{,}75 \quad (3.17)$$

Keterangan:

V = Kadar rongga udara

Sehingga untuk kebutuhan air total dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$\text{Kebutuhan air total} = estimasi\ kebutuhan\ air + koreksi\ kadar\ air \quad (3.18)$$

Apabila menggunakan Persamaan 3.18 mengakibatkan penyesuaian air sebanyak 4,75 liter/m³ untuk setiap persen penyimpanan kadar udara dari 35%.

6. Menentukan rasio air dengan bahan bersifat semen $\frac{\text{W}}{\text{c + p}}$

   Nilai faktor air semen ditentukan dengan interpolasi berdasarkan kuat desak rata-rata rencana, umur rencana, dan ukuran butiran agregat kasar maksimum. Apabila menggunakan *Superplasticizer*, maka nilai faktor air semen berbeda karena penggunaan *Superplasticizer* mempengaruhi kadar air yang akan digunakan. Perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan disebut dengan rasio $\frac{\text{W}}{\text{c + p}}$. Sebelum menentukan rasio $\frac{\text{W}}{\text{c + p}}$ harus menghitung

terlebih dahulu kekuatan tekan lapangan dengan menggunakan Persamaan 3.19.

Kekuatan tekan lapangan $= 0{,}9\ x\ f'cr$ (3.19)

Setelah menghitung kekuatan tekan lapangan, selanjutnya melakukan peninjauan hasil dari Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. Apabila hasil kekuatan lapangan tidak berada pada tabel atau berada diantara hasil tabel, maka hasil kekuatan lapangan harus di interpolasi dengan data tabel menggunakan Persamaan 3.20.

$$Y = Y1 + \frac{(X - X1)}{(X2 - X1)}\ x\ (Y2 - Y1) \quad (3.20)$$

Keterangan:

Y = Hasil perhitungan kuat tekan lapangan,

Y1 = Batas atas kekuatan lapangan pada tabel,

Y2 = Batas bawah kekuatan lapangan pada tabel,

X = Nilai hasil interpolasi,

X1 = Batas atas berdasarkan ukuran agregat maksimum, dan

X2 = Batas bawah berdasarkan ukuran agregat maksimum.

Rasio $\frac{W}{c + p}$ untuk beton tanpa *Superplasticizer* dihitung dengan menggunakan Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Rasio W/(c + p) Beton Tanpa *Superplasticizer*

Kekuatan Lapangan $f'cr$ (MPa)		**$\frac{W}{c + p}$**			
		Ukuran Agregat Maksimum (mm)			
		10	**15**	**20**	**25**
48,3	28 hari	0,42	0,41	0,40	0,39
	56 hari	0,46	0,45	0,44	0,43
55,2	28 hari	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 hari	0,38	0,37	0,36	0,35
62,1	28 hari	0,30	0,29	0,29	0,28
	56 hari	0,33	0,32	0,32	0,30
69,0	28 hari	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,29	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI 03-6468-2000

Sedangkan jika campuran beton menggunakan bahan bahan *Superplasticizer* maka nilai $\frac{W}{c+p}$ dengan menggunakan Tabel 3.7 Rasio $\frac{W}{c+p}$ beton dengan *Superplasticizer* sebagai berikut.

Tabel 3.7 Rasio W/(c + p) Beton Dengan *Superplasticizer*

Kekuatan Lapangan $f'cr$ (MPa)		**$\frac{W}{c+p}$**			
		Ukuran Agregat Maksimum (mm)			
		10	**15**	**20**	**25**
48,3	28 hari	0,50	0,48	0,45	0,43
	56 hari	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 hari	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 hari	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 hari	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 hari	0,42	0,39	0,37	0,36
69,0	28 hari	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 hari	0,37	0,35	0,33	0,32
75,9	28 hari	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 hari	0,33	0,31	0,29	0,29
82,8	28 hari	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 hari	0,30	0,28	0,27	0,26

Sumber: SNI 03-6468-2000

7. Menghitung kadar bahan bersifat semen

   Kadar bahan yang bersifat semen per m³ beton dapat ditentukan dengan Persamaan 3.21.

   $$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio } (\frac{w}{c})} \quad (3.21)$$

   Dari Persamaan 3.21 dapat diketahui bila kadar bahan bersifat semen yang dibutuhkan lebih dari 594 kg/m³, maka proporsi campuran beton disarankan dibuat dengan menggunakan bahan bersifat semen alternatif atau metode perancangan proporsi beton lain.

8. Menghitung proporsi campuran dasar dengan analisis pada langkah-langkah yang telah dilakukan.

Langkah-langkah komposisi campuran beton tersebut adalah cara untuk mengetahui jumlah proporsi pada campuran beton mutu tinggi yang direncanakan.

Untuk menentukan jumlah komposisi *Superplasticizer* dan abu batu yang digunakan, sehingga perlu dilakukan perhitungan berdasarkan berat semen dari analisis komposisi campuran beton.

3.6 Pengujian Campuran Beton

Pengujian campuran beton meliputi pengujian *slump*. Pengujian *slump* adalah pengujian kekentalan beton segar agar beton yang diproduksi dapat mencapai kekuatan mutu beton yang direncanakan. Pengujian *slump* bertujuan untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton. *Workability* pada campuran beton dapat dilihat dari nilai *slump* yang diperoleh. Nilai *slump* yang tinggi artinya campuran beton lebih mudah mengalir sehingga membuat beton lebih mudah untuk dikerjakan. Terdapat 3 kategori nilai *slump*, yaitu sangat rendah, rendah, dan tinggi. Nilai *slump* sangat rendah memiliki rentang nilai 0 mm sampai 25 mm, nilai *slump* rendah memiliki rentang 25 mm sampai 50 mm, dan nilai *slump* tinggi memiliki rentang 100 mm sampai 175 mm (Neville & Brook, 1987). Dalam penelitian ini, pengujian *slump* menggunakan acuan yang berlaku sesuai SNI 1972-2008.

3.7 Pembuatan Sampel Beton Uji

Pada proses pembuatan sampel beton harus dilakukan dengan mendesain dan menghitung terlebih dahulu komposisi campuran beton yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Menurut SNI 6468:2000, benda uji minimal yang harus disiapkan berjumlah dua buah untuk setiap umur dan kondisi uji.

Pada tahap ini komposisi bahan penyusun beton yang diperoleh dari tahap *mix design* dicampur dengan alat *mixer*. Menurut Al mufid, A (2020) untuk menghasilkan beton bermutu tinggi maka dibutuhkan prosedur yang benar dan cermat pada keseluruhan proses pembuatan beton yang meliputi:

1. Persiapan

   Pada tahap persiapan meliputi persiapan alat dan bahan.

2. Penakaran dan pencampuran

   Pencampuran bahan harus dilakukan dengan benar untuk memastikan distribusi yang merata dari setiap material campuran. Pencampuran dapat dilakukan secara manual atau dengan menggunakan mesin pengaduk untuk menghasilkan beton yang homogen.

3. Pengadukan

   Secara umum, pengadukan dengan mesin harus dilakukan menggunakan mesin yang telah disetujui penggunaannya. Mesin pengaduk harus berputar sesuai dengan kecepatan yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya.

4. Pengecoran

Pengecoran harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari segregasi atau pemisahan antara agregat dan pasta semen. Beton harus dituangkan dan diratakan dengan benar ke dalam cetakan.

5. Perawatan

Perawatan beton atau *curing* berguna untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang optimum. Perawatan beton yang digunakan yaitu dengan *water curing*. Perawatan beton ini bertujuan untuk menghambat penguapan air pada adukan beton. Menurut Mulyati & Arkis (2020), langkah yang dilakukan adalah menaruh beton segar di dalam air, sedangkan untuk cara lainnya adalah dengan menyelimuti beton dengan plastik hitam yang berguna untuk menjaga kelembaban, menyelimuti permukaan beton dengan karung goni basah, dan membasahi dengan permukaan beton.

Menurut SNI 03-4810-1998, perawatan benda uji harus memenuhi ketentuan sebagai berikut ini.

1. Penutupan setelah penyelesaian, yaitu benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif dan dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan.
2. Perawatan untuk pemeriksaan proporsi campuran untuk kekuatan atau sebagai dasar untuk penerimaan atau pengendalian mutu sebagai berikut.

a. Perawatan awal sesudah pencetakan sebagai berikut:
    1) Benda uji harus disimpan dalam suhu antara 16ºC sampai 27ºC dan dalam lingkungan yang lembab selama 48 jam, harus terlindungi dari sinar matahari langsung atau alat yang memancarkan panas,
    2) Benda uji dilepas dari cetakan dan diberi perawatan standar,
    3) Jika benda uji tidak akan diangkut selama 48 jam, cetakan harus dilepas dalam waktu 24 jam kurang lebih 8 jam dan diberi perawatan standar sampai tiba waktu pengangkutan.
b. Perawatan standar sebagai berikut.
    1) Benda uji silinder sebagai berikut:
        a) Dalam waktu 30 menit sesudah dilepas dari cetakan, harus disimpan dalam keadaan lembab pada suhu 23ºC kurang lebih 1,7ºC,
        b) Tidak lebih dari 3 jam sebelum pengujian pada suhu antara 20ºC sampai 30ºC,
        c) Benda uji tidak boleh terkena tetesan atau aliran air.
        d) Penyimpanan benda uji dalam keadaan basah yaitu dengan perendaman dalam air kapur jenuh atau dengan ditutupi kain yang basah.

Disamping itu perlu pengawasan dan pengendalian yang ketat pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal.

3.8 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal

Pengujian *trial mix* beton normal bertujuan untuk memastikan bahwa rencana campuran beton tersebut memenuhi target kuat tekan rencana sebelum pembuatan beton sampel. Pengujian *trial mix* beton normal pada umumnya dilakukan sebelum beton berumur 28 hari untuk mempersingkat waktu, sehingga diperlukan faktor konversi untuk memperkirakan kuat tekan pada umur 28 hari. Berikut merupakan perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur

Umur Beton (Hari)	Semen *Portland* Biasa	Semen *Portland* Dengan Kekuatan Awal yang Tinggi
3	0,40	0,55
7	0,65	0,75
14	0,88	0,90
21	0,95	0,95
28	1,00	1,00
90	1,20	1,15
365	1,35	1,20

(Sumber: Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971)

3.9 Pengujian Sampel Beton

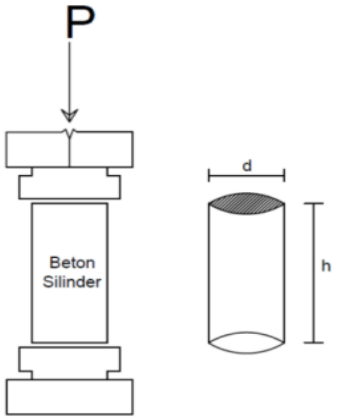
3.9.1 Pengujian Berat Volume Beton

Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton tergantung pada proses pemadatan beton segar dan komposisi material. Menurut SNI 03-2847-2002, beton dapat diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya sebagai berikut:

a. Beton ringan = Berat jenis kurang dari 1900 kg/m³,
b. Beton normal = Berat jenis 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³, dan
c. Beton berat = Berat jenis lebih dari 2500 kg/m³

3.9.2 Pengujian Kuat Tekan

Menurut Mulyono (2004), kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Menurut Tjokrodimuljo (1996), faktor – faktor yang sangat berpengaruh kekuatan beton yaitu faktor air semen, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat. Berikut merupakan Gambar 3.2 sketsa pengujian kuat tekan beton.



Gambar 3.2 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.22 sebagai berikut.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.22)$$

Keterangan:

F'c = Kuat tekan beton (MPa),

P = Beban maksimum (N), dan

A = Luas penampang yang menerima beban (mm²).

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umur dan biasanya ditentukan oleh waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan mencapai 70% dan pada 14 hari kuat tekan mencapai 85% sampai 90% dari kuat tekan beton umur hari ke 28 (Dipohusodo, 1999).

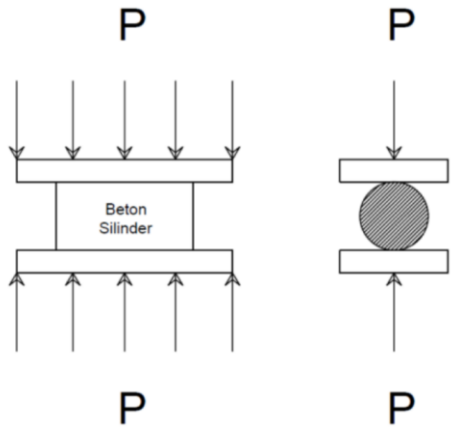
Dalam melakukan perhitungan kuat tekan, perlu dicatat pengukuran dimensi dari silinder beton yang diuji. Berikut Persamaan 3.23 untuk memperoleh luas alas.

$$\text{Luas alas} = \frac{1}{4}\,\pi\,d^2 \quad (3.23)$$

3.9.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kuat tarik adalah salah satu parameter penting kekuatan beton yang digunakan dalam mendesain elemen struktur beton. Menurut SNI (2491:2014), kuat tarik mempunyai fungsi untuk mengevaluasi ketahanan geser beton dan untuk menentukan panjang penyaluran dari tulangan. Nilai kuat tarik diperoleh dari pengujian di laboratorium dengan cara membebani pada setiap benda uji silinder

secara lateral sampai mencapai kekuatan yang maksimum. Berikut merupakan gambar ilustrasi pengujian kuat tarik beton dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi Pengujian Kuat Tarik Beton

Menurut Rahamudin (2016), Kekuatan tarik belah beton relatif rendah, kira–kira 10% sampai 15% dari kekuatan tekan beton, pada kondisi tertentu bisa mencapai 20%. Kekuatan ini lebih sulit untuk diprediksi karena hasil yang didapatkan bervariasi dari satu bahan percobaan ke bahan percobaan yang lain dibandingkan untuk silinder tekan. Penelitian ini menggunakan SNI 03-2491-2002 tentang pengujian kuat tarik beton, nilai kuat tarik beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$ft = \frac{2\,P}{\pi\,L\,D} \tag{3.24}$$

Keterangan:

ft = Kuat tarik belah (MPa),

P = Beban maksimum (N),

L = Panjang benda uji (mm), dan

D = Diameter benda uji (mm)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen merupakan jenis penelitian bersifat kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan.

4.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga jenis variabel yang digunakan pada penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Variabel bebas atau independen meliputi kadar abu batu
2. Variabel terikat atau dependen meliputi kuat tekan dan kuat tarik belah beton.
3. Variabel tetap meliputi semen, agregat kasar, agregat halus, *Superplasticizer* bentuk benda uji, umur benda uji, dan kuat tekan rencana.

4.3 Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk penelitian ini berupa silinder dengan ukuran 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik pada umur beton 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 60 buah dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

No	Kode	Kadar Abu Batu	Kadar *Superplasticizer*	Benda Uji		Jumlah
		(%)	(%)	Kuat Tekan	Kuat Tarik	(Buah)
1	BNS-0	0	0,5	5	5	10
2	ABS-15	15	0,5	5	5	10
3	ABS-17,5	17,5	0,5	5	5	10
4	ABS-20	20	0,5	5	5	10
5	ABS-22,5	22,5	0,5	5	5	10
6	ABS-25	25	0,5	5	5	10
					Total	**60**

Keterangan : Kadar Abu batu menunjukan persen terhadap berat agregat halus.
Kadar *Superplasticizer* menunjukan persen terhadap berat semen.

4.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia mulai dari persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

4.5 Persiapan

Persiapan merupakan tahapan awal yang dilakukan sebelum memulai proses pelaksanaan penelitian. Persiapan bertujuan untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan penelitian. Tahap persiapan meliputi sebagai berikut.

4.5.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan hal yang pertama dilakukan sebelum memulai suatu penelitian. Pada tahap ini, dilakukan identifikasi topik dan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan data akademis, jurnal ilmiah atau perpustakaan digital untuk mencari sumber-sumber yang relevan dengan topik penelitian yang akan diambil. Dalam proses studi literatur, peneliti menetapkan kriteria jurnal atau data akademis yang spesifik terhadap fokus peneliti yang akan dilakukan. Selain itu, studi literatur yang digunakan berguna untuk mengidentifikasi latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, landasan teori,

dan metode yang akan digunakan dalam penelitian ini.

4.5.2 Persiapan Laboratorium

Persiapan laboratorium dilakukan untuk memastikan bahwa laboratorium yang digunakan sudah siap dan memenuhi standar yang diperlukan dalam penelitian ini. Setelah itu, peneliti mengajukan perizinan pemakaian laboratorium sesuai ketentuan prosedur yang berlaku pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, kemudian melakukan koordinasi dengan pihak laboran terkait pelaksanaan penelitian seperti peraturan tata tertib, pengaturan alat dan pengaturan area kerja yang sesuai dengan prosedur keamanan.

4.5.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap persiapan alat dan bahan, hal yang dilakukan adalah mencari ketersediaan alat dan bahan penelitian, melakukan pengadaan dan pengkondisian. Pada persiapan alat, hal yang pertama yang digunakan adalah mengecek ketersediaan alat yang digunakan. Alat yang digunakan untuk pembuatan sampel ini sudah tersedia di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Setelah melakukan pengecekan ketersediaan alat, selanjutnya memastikan bahwa alat yang digunakan berada dalam kondisi baik dan siap digunakan untuk pembuatan sampel. Pada penelitian ini peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dan pengujian beton mutu tinggi adalah sebagai berikut:

1. Timbangan

   Timbangan digunakan untuk menimbang berat agregat uji yang digunakan agar sesuai dengan kebutuhan *mix design.*

2. Piknometer

   Piknometer digunakan untuk menguji berat jenis pada agregat halus. Piknometer yang digunakan memiliki kapasitas 500 ml.

3. Gelas Ukur

   Gelas ukur digunakan untuk menakar kebutuhan material cair. Dalam penelitian ini, gelas ukur digunakan untuk menakar bahan tambah *Superplasticizer* jenis *Sika Viscocrete 3115N.*

4. Ayakan *Mesh*

   Ayakan *mesh* atau saringan digunakan untuk menyaring agregat sesuai ukuran ayakan untuk pengujian modulus halus butir (MHB) dan pengujian analisa lolos saringan agregat halus dan kasar.

5. Cetakan Silinder

   Cetakan silinder digunakan untuk sebagai media tempat untuk membentuk beton segar sehingga terbentuk menjadi silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi silinder 30 cm.

6. Alat Ukur

   Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat ukur dimensi yang berupa kaliper atau penggaris. Alat ukur berfungsi untuk mengukur dimensi dari suatu benda contohnya seperti cetakan dan benda uji.

7. Oven

   Oven digunakan untuk agregat kasar dan agregat halus. Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar lumpur, berat jenis agregat, kadar udara dan kadar air pada agregat.

8. Ember

   Ember digunakan untuk tempat menampung material dan sebagai peralatan pembantu yang digunakan untuk memasukan material ke dalam mesin pengaduk.

9. Mesin Pengaduk Beton *(Mixer)*

   Mesin pengaduk beton atau *mixer* digunakan untuk mencampurkan bahan bahan penyusun beton yang komposisinya telah diperoleh dari *mix design.*

10. Kerucut Abrams

    Kerucut abrams digunakan untuk pengujian *slump* pada beton segar yang telah di buat, sebelum beton segar tersebut dimasukan kedalam cetakan. Kerucut abrams mempunyai diameter bawah 20 cm, diameter atas 10 cm, dan tinggi 30 cm.

11. Sekop

    Sekop digunakan untuk mengambil beton segar yang telah dibuat untuk dituangkan ke dalam cetakan silinder.

12. *Compressing Test Machine*

    Compressing Test Machine digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik benda uji yang telah dibuat.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa agregat kasar, agregat halus, semen, air, abu batu, dan *Superplasticizer*. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Celereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berukuran maksimum 10 mm yang diperoleh dengan cara membeli. Dalam melakukan pengadaan bahan, agregat kasar yang digunakan di kirim dari Clereng ke Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Agregat kasar yang datang berada dalam kondisi kering di dalam karung. Pada tahap pengkondisian, agregat kasar dicuci untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Setelah bersih, agregat kasar dihamparkan ke tempat yang teduh. Setelah kering agregat kasar disimpan kembali ke dalam karung. Berikut merupakan gambar agregat kasar dengan ukuran maksimum 10 mm terdapat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Agregat Kasar

Agregat halus atau pasir yang digunakan berupa pasir Sungai Progo yang berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengkondisian pasir dilakukan dengan cara menyiapkan pasir yang digunakan, lalu diayak menggunakan ayakan ukuran 4,75 mm. Pasir yang lolos ayakan tersebut di

simpan ke dalam karung dan diletakan ke tempat yang teduh. Pasir yang lolos saringan tersebut digunakan dalam pembuatan campuran beton. Berikut merupakan gambar agregat halus terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Agregat Halus

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portland Composite Cement* (PCC) jenis 1 merek Semen Gresik. Semen tersebut didapatkan dengan cara membeli di toko bangunan terdekat. Setelah itu, dilakukan pemindahan bahan ke Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia untuk dilakukan pengkondisian. Semen yang datang berada di dalam karung yang tertutup rapat, tidak lembab, dan tidak menggumpal. Pengkondisian semen dilakukan dengan cara menyiapkan semen yang dipakai ke dalam ember sebelum dimasukkan ke dalam *mixer*. Berikut merupakan gambar Semen Gresik terdapat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Semen

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan harus tampak jernih, tidak berwarna, dan tidak berbau. Pengkondisian air dilakukan dengan cara menyiapkan air yang dipakai ke dalam ember sebelum dimasukkan ke dalam *mixer*.

Abu batu yang digunakan berasal dari pemecah batu yang diambil dari Penggilingan Batu *Quartcon Stone Crusher* di Jl. Pakem – Kalasan, Kragilan, Bimomartani, Kec. Ngemplak, Kab. Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584. Abu batu diperoleh dengan cara membeli. Untuk melakukan pengadaan bahan, abu batu yang digunakan dikirim dari Penggilingan Batu *Quartcon Stone Crusher* ke Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Abu batu yang datang berada dalam kondisi kering di dalam karung. Pada tahap pengkondisian, abu batu dari karung tersebut lalu diayak menggunakan saringan ukuran 4,75 mm. Hal tersebut dilakukan untuk memisahkan antara abu batu dan kerikil. Setelah itu abu batu yang lolos saringan tersebut kembali disimpan ke dalam karung dan diletakan di tempat yang teduh. Abu batu yang lolos saringan tersebut digunakan dalam pembuatan campuran beton. Berikut merupakan gambar abu batu terdapat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Abu Batu

Dalam penelitian ini menggunakan *Superplasticizer* jenis S*ika Viscocrete 3115N* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia dan diperoleh dengan membeli.

Dalam melakukan pengadaan bahan. *Superplasticizer* yang datang berada dalam kondisi tertutup rapat. Pada tahap pengkondisian, *Superplasticizer* dilakukan dengan cara menyiapkan *Superplasticizer* yang dipakai ke dalam gelas ukur sebelum dimasukkan ke dalam *mixer*. Berikut merupakan gambar *Superplasticizer* terdapat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 *Superplasticizer*

4.6 Pemeriksaan Bahan Susun

Sebelum melakukan pembuatan benda uji maka harus melakukan pemeriksaan material terlebih dahulu seperti pemeriksaan agregat. Adapun tahapan pemeriksaan agregat sebagai berikut.

4.6.1 Pemeriksaan Agregat

Dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat kasar meliputi pemeriksaan berat jenis dan daya serap air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur dan pemeriksaan berat volume padat.

Pemeriksaan berat jenis dan daya serap air terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Berikut merupakan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat kasar terdapat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Kasar

Adapun tahapan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat kasar sebagai berikut:

1. Benda uji dicuci agar terbebas dari debu atau bahan lainnya pada permukaan.
2. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.
3. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 2 jam pada suhu kamar. Selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram. Diperoleh nilai Bk= 4923 gram.
4. Benda uji direndam pada air selama (24 ± 4) jam dengan suhu ruang.
5. Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap dengan kain hingga permukaan benda uji terbebas dari selaput air.
6. Benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh ditimbang. Didapatkan nilai Bj= 5000 gram
7. Benda uji diletakan di dalam keranjang kemudian diguncangkan agar udara yang terperangkap didalamnya dapat keluar. Kemudian berat benda uji dalam air didapatkan. Diperoleh nila Ba= 3110 gram.
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan Persamaan 3.1, Persamaan 3.2, Persamaan 3.3, dan Persamaan 3.4. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah $= \frac{Bk}{(Bj-Ba)}$

$= \frac{4923}{(5000-3110)}$

= 2,605

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{Bj}{(Bj-Ba)}$

$= \frac{5000}{(5000-3110)}$

= 2,646

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{(Bk-Ba)}$

$= \frac{4923}{(4923-3110)}$

= 2,715

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(Bj-Bk)}{Bk}\ x\ 100\%$

$= \frac{(5000-4923)}{4923}\ x\ 100\%$

= 1,564%

Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4923
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3110
Berat jenis curah (Bk/(5000-Ba))	2,605
Berat jenis jenuh kering muka (5000/(5000-Ba))	2,646
Berat jenis semu (Bk/(Bk-Ba))	2,715
Penyerapan air (%), ((5000-Bk)/Bk x 100%)	1,564

Pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Adapun tahapan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)^{o}C hingga berat tetap.
2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram. Ditentukan nilai berat benda uji = 5000 gram masing-masing pada kedua sampel.
3. Saringan diatur dengan lubang terbesar pada bagian atas dan lubang terkecil pada bagian bawah. Kemudian benda uji dimasukkan ke dalam saringan dan saringan diguncang menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Benda uji dikeluarkan dari setiap ukuran saringan dan diletakkan pada talam sesuai dengan ukurannya. Selanjutnya benda uji pada setiap talam ditimbang.
5. Data yang telah didapatkan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6. Adapun perhitungan analisa saringan sebagai berikut.
   a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma\ Berat\ Tertinggal}$ x 100%

Lubang ayakan 40 mm $= \frac{0}{4998}$ x 100%

= 0%

Lubang ayakan 20 mm $= \frac{0}{4998}$ x 100%

= 0%

Lubang ayakan 10 mm $= \frac{1470}{4998}$ x 100%

= 29,412%

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{3104}{4998}$ x 100%

= 62,105%

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{359}{4998}$ x 100%

= 7,183%

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{0}{4998}$ x 100%

= 0%

Pan $= \frac{65}{4998}$ x 100%

= 1,301%

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 0%

Lubang ayakan 20 mm = 0% + 0%

= 0%

Lubang ayakan 10 mm = 0% + 29,412%

= 29,412%

Lubang ayakan 4,8 mm = 29,412% + 62,105%

= 91,517%

Lubang ayakan 2,4 mm = 91,517% + 7,183%

= 98,699%

Lubang ayakan 1,2 mm = 98,699% + 0%

= 98,699%

Pan = 98,699% + 1,301%

= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 20 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 10 mm = 100% - 29,412%

= 70,588%

Lubang ayakan 4,8 mm = 100%- 91,517%

= 8,483%

Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 98,699%

= 1,301%

Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 98,699%

= 1,301%

Pan = 100% - 100%

= 0%

Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Kasar

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	1470	29,412	29,412	70,588
4,8	3104	62,105	91,517	8,483
2,4	359	7,183	98,699	1,301
1,2	0	0	98,699	1,301
0,6	0	0	98,699	1,301
0,3	0	0	98,699	1,301
0,15	0	0	98,699	1,301
Pan	65	1,301	100	0
Jumlah	4998	100	614,426	-

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \, Persentase\ berat\ tertinggal\ kumulatif}{100}$$

$$\text{MHB} = \frac{614{,}426}{100}$$

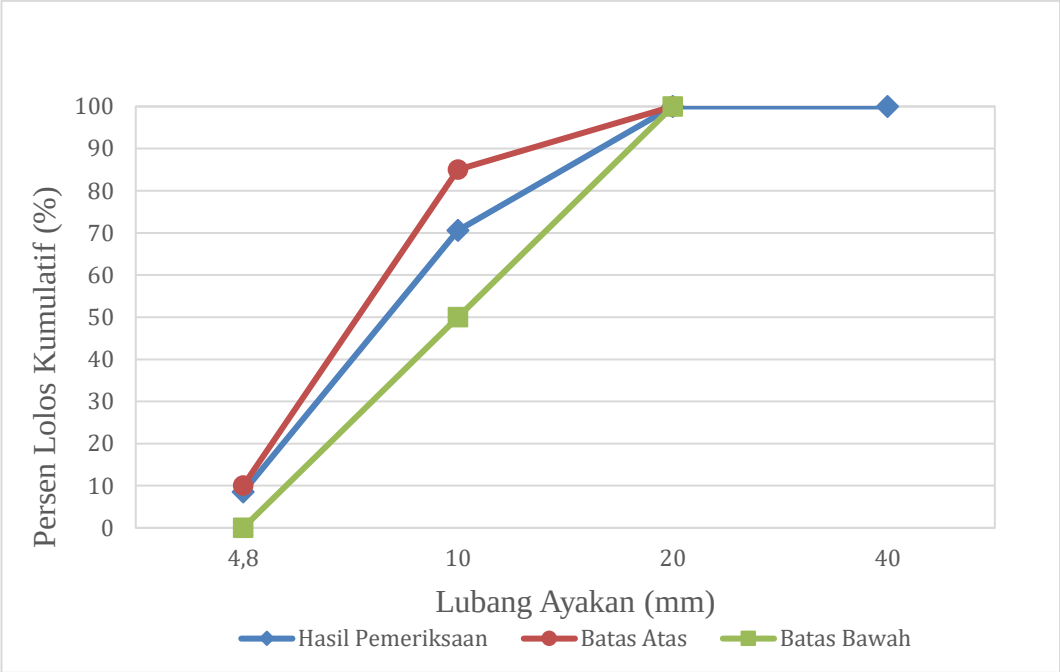
= 6,144

Data modulus halus butir yang didapatkan digunakan untuk menentukan ukuran maksimum agregat kasar dengan menggunakan nilai persen lolos kumulatif. Penentuan ukuran agregat maksimum berdasarkan persentase berat butir agregat lolos dapat dilihat pada Tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Besar Butiran Maksimum	Hasil Pemeriksaan
(mm)	**10 mm**	**(%)**
40	-	100
20	100	100
10	50-85	70,588
4,8	0-10	8,483

Sesuai hasil persen lolos kumulatif, didapatkan agregat kasar memiliki ukuran maksimum sebesar 10 mm. Berikut ini grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase butiran yang lolos saringan dapat dilihat pada Gambar 4.7 sebagai berikut.



Gambar 4.7 Analisa Saringan Agregat Kasar Gradasi Maksimum 10 mm

Pemeriksaan berat volume padat dan gembur terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998 dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)^{o}C hingga berat tetap.

2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram dengan kapasitas 10000 gram masing masing untuk kedua sampel.
3. Berat tabung dihitung. Diperoleh nilai W1 = 10050 gram untuk tabung 1 dan 11334 gram.
4. Silinder/tabung diletakkan pada tempat dengan permukaan datar. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan dua kondisi yakni volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa dilakukannya pemadatan, kemudian permukaan diratakan. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 17400 gram.
6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji per 1/3 bagian dan setiap bagiannya dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, kemudian pekerjaan tersebut dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 19600 gram.
7. Volume tabung dihitung. Diperoleh nilai V = 5301,438 cm³.
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai. Adapun perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 – W1
      = 17400 - 10050
      = 7350 gram

      Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$
      $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$
      = 5301,438 cm³

      Berat volume gembur $= \frac{W3}{volume\ tabung}$
      $= \frac{7350}{5301,438}$

= 1,386 gram/cm³

b. Berat Volume Padat

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 19600 - 11334

= 8266 gram

Volume tabung (V) = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$

= $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$

= 5301,438 cm³

Berat volume gembur = $\frac{W3}{volume\ tabung}$

= $\frac{8266}{5301,438}$

= 1,559 gram/cm³

Dari perhitungan diatas, diperoleh rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.5 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

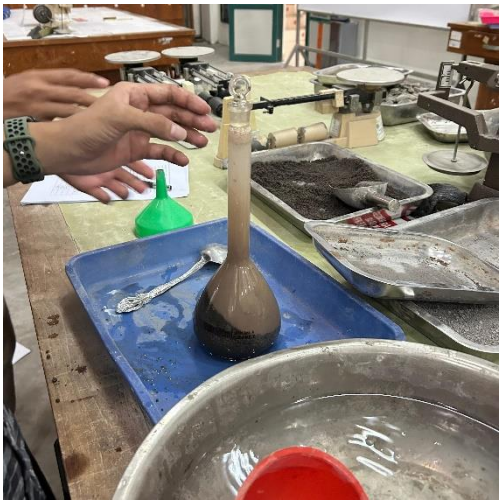
Uraian	**Hasil Pengamatan**
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	10050
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17400
Berat agregat (W3), gram	7350
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,438
Berat volume gembur ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,386

Tabel 4.6 Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	11334
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19600
Berat agregat (W3), gram	8266
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,4376
Berat volume padat ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,559

Pemeriksaan terhadap agregat halus meliputi pemeriksaan berat jenis dan daya serap air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur dan pemeriksaan volume pada, serta pemeriksaan kadar lumpur.

Pemeriksaan berat jenis dan serapan air terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008. Berikut merupakan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat halus terdapat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Halus

Adapun tahapan pemeriksaan berat jenis dan daya serap agregat halus sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu (110 ± 5)ºC hingga berat benda uji tetap. Berat benda uji tetap didapatkan dengan 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven berturut dengan jangka waktu 2 jam dan tidak

menunjukkan adanya perubahan kadar air yang lebih besar dari 0,1%. Selanjutnya benda uji didinginkan dalam suhu ruang dan direndam dalam air selama (24 ± 4) jam.

2. Air perendaman dibuang dengan perlahan dan diperhatikan agar tidak ada butiran yang terbuang, selanjutnya agregat disebarkan pada atas talam dan dikeringkan dengan cara dibalik-balikkan pada udara panas hingga mencapai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
3. Keadaan kering permukaan jenuh (SSD) diperiksa menggunakan kerucut terpancung, pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan benda uji kedalam kerucut terpancung dan dilakukan pemadatan sebanyak 25 kali menggunakan batang penumbuk, selanjutnya permukaannya diratakan. Setelah itu, kerucut terpancung diangkat, apabila benda uji runtuh namun tetap dalam kondisi tercetak maka keadaan kering permukaan jenuh telah tercapai.
4. Benda uji sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam piknometer kemudian dilanjutkan dengan pengisian air suling hingga mencapai 90% isi piknometer. Lalu piknometer diputar dan diguncangkan hingga gelembung udara didalamnya tidak terlihat.
5. Piknometer direndam di dalam air dan suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu air standar yakni 25ºC.
6. Air ditambahkan hingga mencapai tanda batas.
7. Piknometer berisi benda uji dan air ditimbang dengan ketelitian timbangan 0,1 gram, diperoleh nilai Bt = 1010 gram.
8. Benda uji dikeluarkan dari piknometer dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)ºC hingga mencapai berat tetap, selanjutnya benda uji didinginkan menggunakan desikator.
9. Benda uji yang telah dingin ditimbang, diperoleh nilai Bk = 487 gram.
10. Piknometer diisi air penuh dan ditimbang untuk menentukan berat piknometer berisi air penuh, diperoleh nilai B = 708 gram.

9. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data hasil berat jenis jenuh dan serapan air. Adapun perhitungan berat jenis dan serapan air sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

$= \frac{487}{708+500-1010}$

= 2,460

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{500}{B+500-Bt}$

$= \frac{500}{708+500-1010}$

= 2,525

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$

$= \frac{487}{708+487-1010}$

= 2,632

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{500-Bk}{Bk} x\ 100\%$

$= \frac{500-487}{487} x\ 100\%$

= 2,669%

Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	1010
Berat piknometer berisi air (B), gram	708
Berat jenis curah ($\frac{Bk}{B+500-Bt}$)	2,460
Berat jenis jenuh kering muka ($\frac{500}{B+500-Bt}$)	2,525
Berat jenis semu ($\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$)	2,632
Penyerapan air ($\frac{500-Bk}{Bk}\ x\ 100\%$)	2,669

Pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Berikut merupakan hasil pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat halus terdapat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Adapun tahapan pemeriksaan analisa saringan agregat halus sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.
2. Benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram sebanyak 2000 gram.

3. Saringan diatur dengan lubang terbesar pada bagian atas dan lubang terkecil pada bagian bawah. Kemudian benda uji dimasukkan ke dalam saringan dan saringan diguncang menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Benda uji dikeluarkan dari setiap ukuran saringan dan diletakkan pada talam. Selanjutnya benda uji pada setiap talam ditimbang.
5. Data yang telah didapatkan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6. Adapun perhitungan analisa saringan agregat halus adalah sebagai berikut.
   a. Persentase Berat Tertinggal

      Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma\ Berat\ Tertinggal}$ x 100%

      Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{1996}$ x 100%
      = 0%

      Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{82}{1996}$ x 100%
      = 4,108%

      Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{351}{1996}$ x 100%
      = 17,585%

      Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{471}{1996}$ x 100%
      = 20,892%

      Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{508}{1996}$ x 100%
      = 25,451%

      Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{345}{1996}$ x 100%
      = 17,285%

      Pan $= \frac{293}{1996}$ x 100%
      = 14,679%

   b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

      Lubang ayakan 4,8 mm = 0%

      Lubang ayakan 2,4 mm = 0% + 4,108%
      = 4,108%

Lubang ayakan 1,2 mm = 4,108% + 17,585%
= 21,693%
Lubang ayakan 0,6 mm = 21,693% + 20,892%
= 42,585%
Lubang ayakan 0,3 mm = 42,585% + 25,451%
= 68,036%
Lubang ayakan 0,15 mm = 68,036% + 17,285%
= 85,321%
Pan = 85,321% + 14,679%
= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 0%
= 100%
Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 4,108%
= 95,892%
Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 21,693%
= 78,307%
Lubang ayakan 0,6 mm = 100% - 42,585%
= 57,415%
Lubang ayakan 0,3 mm = 100% - 68,036%
= 31,964%
Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 85,321%
= 14,679%
Pan = 100% - 100%
= 0%

Adapun rekapitulasi hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Analisa Saringan Agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	82	4,108	4,108	95,892
1,2	351	17,585	21,693	78,307
0,6	417	20,892	42,585	57,415
0,3	508	25,451	68,321	31,964
0,15	345	17,285	85,321	14,679
Pan	293	14,679	100	0
Jumlah	1996	100	221,743	-

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{ Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB} = \frac{221{,}743}{100}$$

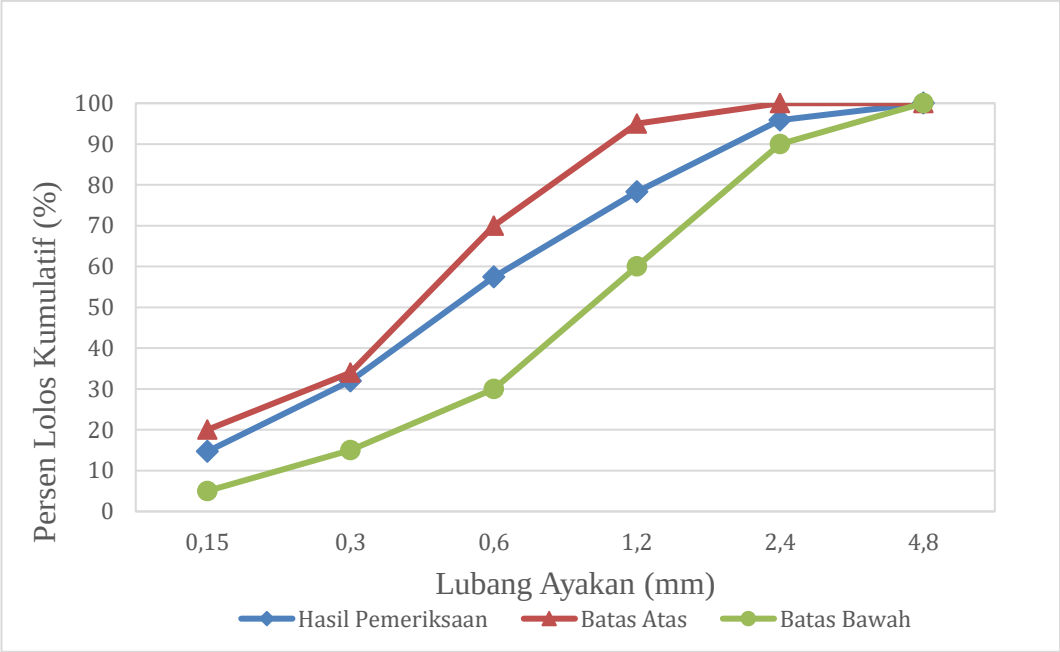
$$= 2{,}217$$

Data modulus halus butir yang didapatkan digunakan untuk menentukan ukuran maksimum agregat halus dengan menggunakan nilai persen lolos kumulatif. Penentuan ukuran agregat maksimum berdasarkan persentase berat butir agregat lolos dapat dilihat pada Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Batas Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan	Daerah I	Hasil Pemeriksaan
(mm)	Pasir Kasar	(%)
10,00	100	-
4,80	90-100	100
2,40	60-95	95,892
1,20	30-70	78,307
0,60	15-34	57,415
0,30	5-20	31,964
0,15	0-10	14,679

Berdasarkan hasil persen lolos kumulatif, didapatkan agregat halus masuk kedalam jenis gradasi daerah I. Berikut ini grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase butiran yang lolos saringan dapat dilihat pada Gambar 4.10 sebagai berikut.



Gambar 4.10 Analisa Saringan Agregat Halus Gradasi Daerah I

Pengujian berat volume padat dan gembur terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.

2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram dengan kapasitas 10000 gram masing masing untuk kedua sampel.
3. Berat tabung dihitung. Diperoleh nilai W1 = 10050 gram untuk tabung 1 dan 11232 gram untuk tabung 2.
4. Silinder/tabung diletakkan pada tempat yang permukaannya datar. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan dua kondisi yakni volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa dilakukannya pemadatan, kemudian permukaan diratakan. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 17500 gram.
6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji per 1/3 bagian dan setiap bagiannya dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, kemudian pekerjaan tersebut dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 19532 gram.
7. Volume tabung dihitung. Diperoleh nilai V = 5301,438 cm³
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai. Adapun perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 – W1
      = 17500 - 10050
      = 7450 gram

      Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$
      $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$
      = 5301,438 cm³

      Berat volume gembur $= \frac{W3}{volume\ tabung}$
      $= \frac{7450}{5301,438}$

= 1,405 gram/ cm³

b. Berat Volume Padat

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 19532 - 11232

= 8300 gram

Volume tabung (V) = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$

= $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$

= 5301,438 cm³

Berat volume gembur = $\frac{W3}{volume\ tabung}$

= $\frac{8300}{5301,438}$

= 1,566 gram/ cm³

Dari perhitungan diatas, diperoleh rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.10 Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	10050
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17500
Berat agregat (W3), gram	7450
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,438
Berat volume gembur ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,405

Tabel 4.11 Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	11232
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19532
Berat agregat (W3), gram	8300
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,4376
Berat volume padat ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,566

Pemeriksaan kadar lumpur terhadap agregat halus (lolos saringan No. 200) dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996, dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai W1 = 500 gram.
2. Benda uji diletakkan pada saringan kemudian air dialirkan diatasnya.
3. Benda uji pada saringan digerakkan menggunakan aliran air hingga bagian halus dari benda uji dapat lolos saringan No. 200 dan bagian kasar tertahan pada saringan.
4. Pekerjaan pada poin 3 dilakukan dan diulangi hingga air dari pencucian tetap jernih.
5. Setelah air dari pencucian dapat dipastikan jernih, benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai W2 = 495 gram.
6. Data yang didapatkan diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai. Adapun perhitungan pengujian lolos saringan No. 200 atau uji kadar lumpur adalah sebagai berikut.

   Kadar lumpur $= \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$

   $= \frac{500-495}{500}\ x\ 100\%$

   = 1 %

Adapun rekapitulasi hasil pengujian lolos saringan No. 200 atau uji kadar lumpur dalam pasir dapat dilihat pada Tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.12 Uji Kadar Lumpur Dalam Pasir

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat kering oven (W1), gram	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	495
Persentase yang lolos ayakan No. 200 ($\frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$)	1%

4.6.2 Pemeriksaan *Portland Cement*

Pada pemeriksaan kemasan dan label semen, terlihat bahwa kantong semen tertutup rapat dan masih dalam masa pakai. Secara visual, semen yang digunakan dalam penelitian ini tidak terdapat gumpalan. Oleh karena itu, pemeriksaan semen dinyatakan memenuhi syarat sehingga dapat digunakan dalam pengujian.

4.6.3 Pemeriksaan Air

Secara visual, air yang digunakan dalam penelitian ini terlihat air yang bersih, tidak mengandung lumpur, tidak terdapat bau, tidak berwarna dan tidak berasa. Oleh karena itu, pemeriksaan air dinyatakan memenuhi syarat sehingga dapat digunakan dalam pengujian.

4.6.4 Pemeriksaan Bahan Substitusi

Pemeriksaan abu batu dilakukan karena abu batu sebagai bahan pengganti agregat halus. Pemeriksaan abu batu yang meliputi pemeriksaan berat jenis dan daya serap air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur dan pemeriksaan volume pada, serta pemeriksaan kadar lumpur.

Pemeriksaan berat jenis dan serapan air terhadap abu batu dilakukan berdasarkan SNI 1970:2008, dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu (110 ± 5)ºC hingga berat benda uji tetap. Berat benda uji tetap didapatkan dengan 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven berturut dengan jangka waktu 2 jam dan tidak menunjukkan adanya perubahan kadar air yang lebih besar dari 0,1%.

Selanjutnya benda uji didinginkan dalam suhu ruang dan direndam dalam air selama (24 ± 4) jam.

2. Air perendaman dibuang dengan perlahan dan diperhatikan agar tidak ada butiran yang terbuang, selanjutnya agregat disebarkan pada atas talam dan dikeringkan dengan cara dibalik-balikkan pada udara panas hingga mencapai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
3. Keadaan kering permukaan jenuh (SSD) diperiksa menggunakan kerucut terpancung, pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan benda uji kedalam kerucut terpancung dan dilakukan pemadatan sebanyak 25 kali menggunakan batang penumbuk, selanjutnya permukaannya diratakan. Setelah itu, kerucut terpancung diangkat, apabila benda uji runtuh namun tetap dalam kondisi tercetak maka keadaan kering permukaan jenuh telah tercapai.
4. Benda uji sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam piknometer kemudian dilanjutkan dengan pengisian air suling hingga mencapai 90% isi piknometer. Lalu piknometer diputar dan diguncangkan hingga gelembung udara didalamnya tidak terlihat.
5. Piknometer direndam di dalam air dan suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu air standar yakni 25ºC.
6. Air ditambahkan hingga mencapai tanda batas.
7. Piknometer berisi benda uji dan air ditimbang dengan ketelitian timbangan 0,1 gram, diperoleh nilai Bt = 1020 gram.
8. Benda uji dikeluarkan dari piknometer dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu (110 ± 5)ºC hingga mencapai berat tetap, selanjutnya benda uji didinginkan menggunakan desikator.
9. Benda uji yang telah dingin ditimbang, diperoleh nilai Bk = 484 gram.
10. Piknometer diisi air penuh dan ditimbang untuk menentukan berat piknometer berisi air penuh, diperoleh nilai B = 715 gram.
11. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data hasil berat jenis jenuh dan serapan air. Adapun perhitungan berat jenis dan serapan air sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B + 500 - Bt}$

$= \frac{484}{715 + 500 - 1020}$

= 2,491

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$

$= \frac{500}{715 + 500 - 1020}$

= 2,573

c. Berat Jenis Semu

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$

$= \frac{484}{715 + 484 - 1020}$

= 2,714

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{500 - Bk}{Bk}\ x\ 100\%$

$= \frac{500 - 484}{484} x\ 100\%$

= 3,306%

Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.13 sebagai berikut.

Tabel 4.13 Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	484
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (Bj), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	1020
Berat piknometer berisi air (B), gram	715
Berat jenis curah ($\frac{Bk}{B+500-Bt}$)	2,491
Berat jenis jenuh kering muka ($\frac{500}{B+500-Bt}$)	2,573
Berat jenis semu ($\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$)	2,714
Penyerapan air ($\frac{500-Bk}{Bk}\ x\ 100\%$)	3,306

Pemeriksaan analisa saringan terhadap abu batu dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990, dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.
2. Benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram sebanyak 2000 gram.
3. Saringan diatur dengan lubang terbesar pada bagian atas dan lubang terkecil pada bagian bawah. Kemudian benda uji dimasukkan ke dalam saringan dan saringan diguncang dengan menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Benda uji dikeluarkan dari setiap ukuran saringan dan diletakkan pada talam. Selanjutnya benda uji pada setiap talam ditimbang.
5. Data yang telah didapatkan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7. Adapun perhitungan analisa saringan abu batu adalah sebagai berikut.
   a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\Sigma\ Berat\ Tertinggal}$ x 100%

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{1999}$ x 100%

= 0%

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{148}{1999}$ x 100%

= 7,404%

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{296}{1999}$ x 100%

= 14,807%

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{394}{1999}$ x 100%

= 19,710%

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{415}{1999}$ x 100%

= 20,760%

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{445}{1999}$ x 100%

= 22,261%

Pan $= \frac{301}{1999}$ x 100%

= 15,058%

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 0%

Lubang ayakan 2,4 mm = 0% + 7,404%

= 7,404%

Lubang ayakan 1,2 mm = 7,404% + 14,807%

= 22,211%

Lubang ayakan 0,6 mm = 22,211% + 19,710%

= 41,921%

Lubang ayakan 0,3 mm = 41,921%+ 20,760%

= 62,681%

Lubang ayakan 0,15 mm = 62,681% + 22,261%

= 84,942%

Pan = 84,942% + 15,058%

= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 7,404%

= 92,596%

Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 22,211%

= 77,789%

Lubang ayakan 0,6 mm = 100% - 41,921%

= 58,079%

Lubang ayakan 0,3 mm = 100% - 62,681%

= 37,319%

Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 84,942%

= 15,058%

Pan = 100% - 100%

= 0%

Adapun rekapitulasi hasil pemeriksaan analisa saringan abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.14 sebagai berikut.

Tabel 4.14 Analisa Saringan Abu Batu

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	148	7,404	7,404	92,596
1,2	296	14,807	22,211	77,789
0,6	394	19,710	41,921	58,079
0,3	415	20,760	62,681	37,319
0,15	445	22,261	84,942	15,058
Pan	301	15,058	100	0
Jumlah	1999	100	219,160	-

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan abu batu dapat dihitung nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{ Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB} = \frac{219{,}160}{100}$$

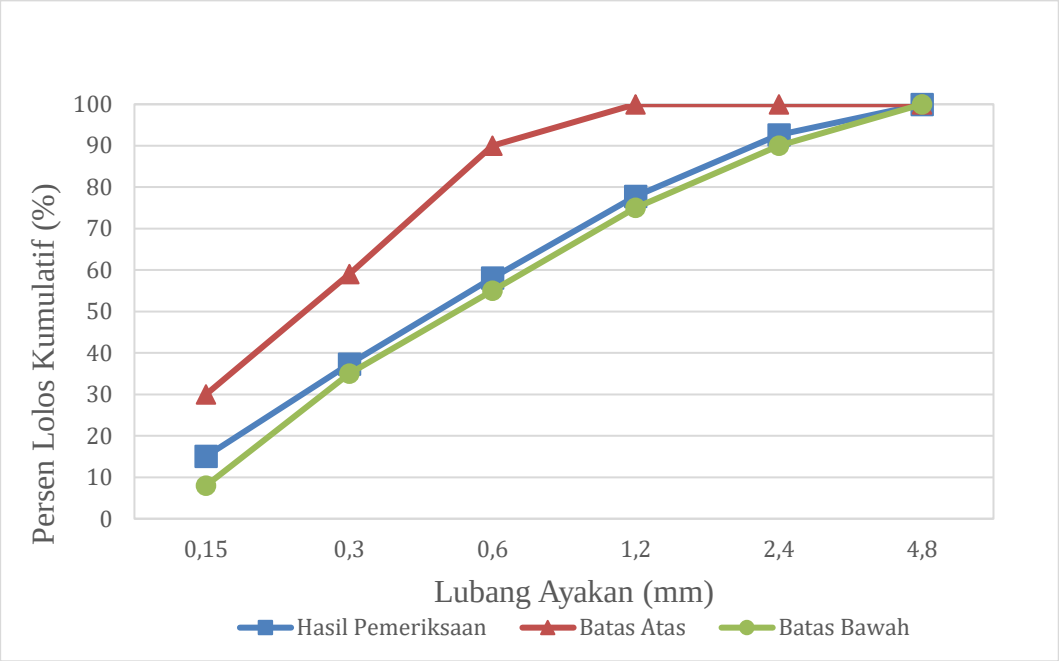
$$= 2{,}192$$

Data modulus halus butir yang didapatkan digunakan untuk menentukan ukuran maksimum abu batu dengan menggunakan nilai persen lolos kumulatif. Penentuan ukuran agregat maksimum berdasarkan persentase berat butir agregat lolos dapat dilihat pada Tabel 4.15 sebagai berikut.

Tabel 4.15 Batas Gradasi Abu Batu

Lubang Ayakan (mm)	Daerah II Pasir Sedang	Hasil Pemeriksaan (%)
10,00	100	-
4,80	90-100	100
2,40	75-100	92,596
1,20	55-90	77,789
0,60	35-59	58,079
0,30	8-30	37,319
0,15	0-10	15,058

Sesuai hasil persen lolos kumulatif, didapatkan abu batu masuk ke dalam jenis gradasi daerah II. Berikut ini grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase butiran yang lolos saringan dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4.11 Analisa Saringan Abu Batu Gradasi Daerah II

Pemeriksaan berat volume padat dan gembur terhadap abu batu dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap.
2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram dengan kapasitas 10000 gram masing masing untuk kedua sampel.
3. Berat tabung dihitung. Diperoleh nilai W1 = 10262 gram.
4. Silinder/tabung diletakkan pada permukaan yang datar. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan dua kondisi yakni volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa dilakukannya pemadatan, kemudian permukaan

diratakan. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 17250 gram.

6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji per 1/3 bagian dan setiap bagiannya dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, kemudian pekerjaan tersebut dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai W2 = 18308 gram.
7. Volume tabung dihitung. Diperoleh nilai V = 5301,438 cm³
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai. Adapun perhitungan berat volume gembur dan berat volume padat sebagai berikut.
   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 – W1
      = 17250 - 10262
      = 6988 gram

      Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$
      $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$
      = 5301,438 cm³

      Berat volume gembur $= \frac{W3}{volume\ tabung}$
      $= \frac{6988}{5301,438}$
      = 1,318 gram/cm³

   b. Berat Volume Padat

      Berat agregat (W3) = W2 – W1
      = 18308 - 10262
      = 8046 gram

      Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$
      $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$
      = 5301,438 cm³

      Berat volume gembur $= \frac{W3}{volume\ tabung}$

$$= \frac{8046}{5301{,}438}$$

= 1,518 gram/cm³

Dari perhitungan diatas, diperoleh rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume gembur dan berat volume padat abu batu yang dapat dilihat pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17 sebagai berikut.

Tabel 4.16 Berat Volume Gembur Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	10262
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17250
Berat agregat (W3), gram	6988
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,438
Berat volume gembur ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,318

Tabel 4.17 Berat Volume Padat Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter silinder (d), cm	15
Tinggi silinder (t), cm	30
Berat tabung (W1), gram	10262
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18308
Berat agregat (W3), gram	8046
Volume tabung (V = $\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$), cm³	5301,4376
Berat volume padat ($\frac{W3}{V}$), gram/cm³	1,518

Pemeriksaan kadar lumpur terhadap abu batu (lolos saringan No. 200) dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996 dilaksanakan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai W1 = 500 gram.

2. Benda uji diletakkan pada saringan kemudian air dialirkan diatasnya.
3. Benda uji pada saringan digerakkan menggunakan aliran air hingga bagian halus dari benda uji dapat lolos saringan No. 200 dan bagian kasar tertahan pada saringan.
4. Pekerjaan pada poin 3 dilakukan dan diulangi hingga air dari pencucian tetap jernih.
5. Setelah air dari pencucian dapat dipastikan jernih, benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu (110 ± 5)ºC hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai W2 = 477 gram.
6. Data yang didapatkan diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai. Adapun perhitungan pengujian lolos saringan No. 200 atau uji kadar lumpur adalah sebagai berikut.

Kadar lumpur $= \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$

$= \frac{500-477}{500}\ x\ 100\%$

$= 4{,}6\ \%$

Adapun rekapitulasi hasil pengujian lolos saringan No. 200 atau uji kadar lumpur dalam abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.18 sebagai berikut.

Tabel 4.18 Uji Kadar Lumpur Dalam Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat kering oven (W1), gram	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	477
Persentase yang lolos ayakan No. 200 ($\frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$)	4,6%

4.6.5 Pemeriksaan Bahan Tambah

Pada pemeriksaan kemasan dan label *Superplasticizer*, terlihat bahwa *Superplasticizer* tertutup rapat, tidak bocor atau rusak, dan masih dalam masa pakai. Secara visual, *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini tidak terdapat gumpalan. Oleh karena itu, pemeriksaan *Superplasticizer* dinyatakan memenuhi syarat sehingga dapat digunakan dalam pengujian.

4.7 Rencana Campuran

Desain campuran beton mutu tinggi *(mix design)* perlu dilakukan dengan teliti agar dapat menghasilkan kekuatan yang direncanakan. Proses desain campuran beton mutu tinggi juga dapat menentukan proporsi masing-masing material yang digunakan. Desain campuran beton mutu tinggi ini menggunakan metode beton mutu tinggi SNI 03-6468-2000. Mutu beton yang direncanakan sebesar 41,4 MPa. Setiap variasi beton ditambahkan *Superplasticizer Sika Viscocrete 3115N* sebesar 0,5% terhadap berat semen. Setiap variasi terdiri dari 10 benda uji, masing-masing terdiri dari 5 silinder untuk pengujian kuat tekan dan 5 silinder untuk pengujian kuat tarik belah yang akan diuji pada umur 28 hari. Adapun langkah-langkah desain campuran beton mutu tinggi tersebut sebagai berikut.

1. Data awal untuk proses *mix design.*

   Dalam pengujian ini menggunakan kuat tekan beton rencana *f'c* = 41,4 Mpa. Syarat kuat tekan beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000 adalah 41,4 MPa pada umur 28 hari. Agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan sifat sebagai berikut ini.

   a. Modulus halus butir = 2,22
   b. Berat jenis curah = 2,525
   c. Penyerapan air = 2,669%
   d. Berat volume padat = 1565,613 kg/cm³

   Sedangkan untuk agregat kasar, digunakan batu pecah berukuran maksimal 10 mm yang berasal dari Celereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun sifat agregat kasar adalah sebagai berikut:

   a. Modulus halus butir = 6,144
   b. Berat jenis curah = 2,715
   c. Penyerapan air = 1,564 %
   d. Berat volume padat = 1559,200 kg/cm³

   Semen *Portland* yang digunakan merupakan semen *portland* tipe I bermerek Semen Gresik dengan berat jenis 3,15. Bahan tambah yang digunakan meliputi

abu batu dan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* dari PT. Sika Indonesia.

2. Perhitungan komposisi campuran beton normal mutu tinggi
   a. Menentukan nilai *slump* dan kuat tekan rata-rata yang diinginkan. Nilai *slump* awal untuk beton kekuatan tinggi dengan *Superplasticizer* dapat diambil sebesar 25-50 mm. Namun, pada penelitian ini menggunakan nilai *slump* awal yang digunakan adalah sebesar 75-100 mm. Hal ini dikarenakan bila menggunakan *slump* yang terlalu rendah beton menjadi terlalu kaku dan sulit untuk di padatkan sehingga menyebabkan rongga udara terjebak dan berpotensi menurunkan kuat tekan. Jika penelitian menggunakan *slump* 75-100 mm dapat memastikan beton tetap homogen tanpa adanya segregasi ataupun *bleeding*. Oleh karena itu, dengan menggunakan *slump* 75-100 mm beton lebih mudah untuk dikerjakan.

      Nilai kuat tekan rata-rata yang diinginkan dihitung menggunakan Persamaan 3.14.

      Kuat tekan rencana *f'c* = 41,4 MPa.

      $$f'cr = \frac{f'c+9{,}66\ MPa}{0{,}90}$$
      $$= \frac{41{,}4+9{,}66\ MPa}{0{,}90}$$
      $$= 56{,}733 \text{ MPa}$$

   b. Menentukan ukuran agregat kasar maksimum.

      Karena nilai kuat tekan yang ditargetkan sebesar 56,733 MPa < 62,1 MPa, maka ukuran agregat kasar diperbolehkan dalam rentang 20-25 mm. Namun, pada penelitian menggunakan kerikil ukuran maksimum 10 mm karena dapat meningkatkan kepadatan beton dan dapat menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi. Agregat kasar dengan ukuran kecil juga dapat memberikan distribusi partikel yang merata sehingga dapat mengurangi rongga udara di dalam beton.

   c. Menentukan kadar agregat kasar optimum.

      Berdasarkan Tabel 3.4 dan ukuran agregat kasar maksimum sebesar 10 mm, maka fraksi volume agregat kasar optimum adalah 0,65. Kadar agregat kasar dapat dihitung sebagai berikut.

Kadar agregat kasar = 0,65 x 1559,200

= 1013,480 kg/cm³

d. Menentukan estimasi kadar air dan udara

Berdasarkan nilai *slump* rencana sebesar 75-100 mm dan ukuran agregat kasar maksimum 10 mm, menurut Tabel 3.3 didapatkan estimasi kebutuhan air awal sebesar 196 liter/m³ dan kadar udara 2,5%. Selanjutnya kadar rongga udara dan koreksi kadar air dihitung menggunakan Persamaan 3.16 dan Persamaan 3.17.

$$V = \frac{[1-\text{Berat isi kering oven}]}{\text{berat jenis relatif (kering)}} x100\%$$

$$= (1 - \left(\frac{1565,613}{2,525 \text{ x } 1000}\right)) \; x \; 100\%$$

= 38,002%

Koreksi, liter/m³ $= [V - 35] \; x \; 4,75$

= (38,002 -35) x 4,75

= 14,258 liter/m³

Sehingga kebutuhan air total adalah = 196 + 14,258

= 210,258 liter/m³

e. Menentukan faktor air semen (rasio $\frac{W}{c+p}$)

Berdasarkan kuat tekan rata-rata, kuat tekan beton dilapangan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

Kuat tekan lapangan = 0,9 x 56,733

= 51,060 MPa

Dari hasil kuat tekan lapangan, selanjutnya mencari nilai faktor air semen berdasarkan Tabel 3.5. Nilai faktor air semen dicari dengan interpolasi pada Tabel 3.5 dengan menggunakan Persamaan 3.20 sebagai berikut:

Y = 51,06

Y1 = 48,3

Y2 = 55,2

X = ?

X1 = 0,5

X2 = 0,44

$$Y = Y1 + \frac{(X - X1)}{(X2 - X1)} \; x \; (Y2 - Y1)$$

$$51{,}06 = 48{,}3 + \frac{(X - 0{,}5)}{(0{,}44 - 0{,}5)} \; x \; (55{,}2 - 48{,}3)$$

X = 0,476

Berdasarkan perhitungan, nilai faktor air semen didapatkan 0,476. Nilai ini kemudian digunakan sebagai acuan untuk membuat sampel beton trial. Berdasarkan hasil trial, pembuatan sampel benda uji dengan faktor air semen 0,476 kuat tekan rencana umur 7 hari tidak tercapai, sehingga untuk meningkatkan kuat tekan beton maka kadar air harus dikurangi secara bertahap. Semakin berkurang kadar air, maka nilai faktor air semen akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut, dibuat sampel trial dengan nilai faktor air semen yang lebih kecil hingga memenuhi kuat tekan rencana umur 7 hari. Dengan mencoba-coba, pada akhirnya nilai faktor air semen yang memenuhi kuat tekan rencana pada umur 7 hari berdasarkan sampel beton trial adalah 0,35. Berdasarkan hasil pembuatan dan pengujian sampel trial beton umur 7 hari, digunakan nilai faktor air semen sebesar 0,35.

f. Menghitung kadar bahan bersifat semen.

Kadar bahan bersifat semen dihitung menggunakan Persamaan 3.21.

$$\text{Kadar bahan bersifat semen} = \frac{\text{kebutuhan air total}}{\text{rasio } (\frac{w}{c})}$$

$$= \frac{210{,}258}{0{,}350}$$

$$= 600{,}738 \text{ kg/m}^3$$

g. Menentukan proporsi campuran beton mutu tinggi.

Proporsi semua bahan campuran beton mutu tinggi per-m³ yang didapatkan adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Semen } \textit{portland} = \frac{600{,}738}{3{,}150}$$

$$= 190{,}710 \text{ liter}$$

$$\text{Agregat kasar} = \frac{1013{,}480}{2{,}715}$$

$$= 373{,}236 \text{ liter}$$

Air = 210,258 liter

Kadar udara = 25 liter

Kemudian, semua nilai tersebut dijumlahkan dan didapatkan nilai 799,204 liter. Untuk mendapatkan proporsi agregat halus, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Agregat halus = 1000 – 799,204

= 200,796 liter

$= \frac{200,796}{1000}\ x\ (2,525\ x\ 1000)$

= 507,060 kg

Sehingga didapatkan proporsi campuran beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000 per-m³ pada Tabel 4.19 sebagai berikut ini.

Tabel 4.19 Proporsi *Mix Design* per-m³

No	Material	Nilai (kg)	Perbandingan Terhadap Semen
1	Semen	601	1
2	Pasir	508	0,85
3	Kerikil	1014	1,69
4	Air	211	0,35

Dalam penelitian ini, membuat beton normal dengan menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* dan beton variasi dengan menggunakan bahan tambah abu batu dan *Superplasticizer Viscocrete 3115N*. Kadar abu batu yang digunakan adalah sebesar 0% (beton normal mutu tinggi), 15% (variasi 1), 17,5% (variasi 2), 20%(variasi 3), 22,5% (variasi 4), dan 25% (variasi 5). Perhitungan abu batu yang digunakan diambil berdasarkan berat agregat halus. *Superplasticizer Viscocrete 3115N* digunakan 0,5% dari berat semen. Setiap proses *mixing*, dilakukan untuk 5 buah sampel dengan 6 jumlah variasi campuran sehingga proses *mixing* dilakukan sebanyak 12 kali. Proporsi campuran beton mutu tinggi ditambah penyusutan 20% per-m³ yang digunakan dalam penelitian ini dan proporsi campuran *trial* dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20 sebagai berikut.

Tabel 4.20 Proporsi Campuran Benda Uji

No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Volume	Semen	Pasir	Kerikil	Air	Abu Batu		Superplasticizer	
			(m^3)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	%	(kg)	%
1	BNS-0	10	0,053	38,234	32,234	64,508	13,423	0	0	0,191	0,5
2	ABS-15	10	0,053	38,234	27,470	64,508	13,423	4,848	15	0,191	0,5
3	ABS-17,5	10	0,053	38,234	26,662	64,508	13,423	5,656	17,5	0,191	0,5
4	ABS-20	10	0,053	38,234	25,854	64,508	13,423	6,464	20	0,191	0,5
5	ABS-22,5	10	0,053	38,234	25,046	64,508	13,423	7,271	22,5	0,191	0,5
6	ABS-25	10	0,053	38,234	24,234	64,508	13,423	8,079	25	0,191	0,5

Tabel 4.21 Proporsi Campuran *Trial* Beton Normal

No	Kode Sampel	Jumlah Sampel	Volume	Semen	Pasir	Kerikil	Air	Abu Batu		Superplasticizer	
			(m^3)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	%	(kg)	%
1	Beton Normal	3	0,0159	11,470	9,695	19,352	4,027	0	0	0,057	0,5

4.8 Pengujian *Slump*

Pengujian campuran beton dilakukan pada saat sebelum campuran dimasukan ke dalam cetakan. Pengujian *slump* bertujuan untuk menentukan kekentalan/kelecakan beton segar, agar beton yang diproduksi dapat mencapai mutu beton yang direncana. Adapun contoh pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pengujian *Slump*

Pengujian nilai *slump* diuji berdasarkan acuan SNI 1972-2008. Adapun prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. Kerucut abrams dibasahi terlebih dahulu dan diletakkan di atas permukaan yang datar, kaku, tidak menyerap air, lembab. Cetakan ditahan dengan kokoh oleh operator dengan menginjakan kaki pada bagian injakan kerucut abrams selama pengisian beton segar.
2. Kerucut abram diisi dalam tiga lapis, untuk setiap lapisnya sepertiga dari volume cetakan.
3. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang penusuk. penusukan dilakukan secara merata di permukaan lapisan dan lapisan bawah pada bagian miring kerucut abram penusukan dilakukan secara miring.

4. Pengisian adukan beton segar lapisan bagian atas diisi secara berlebih kemudian ditusuk 25 kali. Adukan beton ditambahkan apabila pemadatan menghasilkan beton segar turun di bawah ujung atas kerucut abram.
5. Permukaan beton segar diratakan di bagian atas kerucut dengan metode batang penusuk digelindingkan di atasnya.
6. Kerucut dilepaskan segera dari beton segar dengan mengangkat ke arah vertikal secara hati-hati dengan jarak 300 mm dalam waktu 5±2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Seluruh pekerjaan pengujian *slump* diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 ½ menit.
7. Setelah beton menunjukkan terjadi penurunan pada permukaan, tingginya diukur bandingkan tinggi kerucut kemudian dicatat hasil pengukurannya.

Adapun hasil pengujian *slump* di lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.22 sebagai berikut.

Tabel 4.22 Nilai *Slump*

No	Nama Benda Uji	Nilai *Slump* (mm)
1	BNS-0	100
2	ABS-15	93,75
3	ABS-17,5	89,50
4	ABS-20	85,50
5	ABS-22,5	81,50
6	ABS-25	76,50

4.9 Pembuatan Sampel Benda Uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

1. Persiapan Material
   a. Agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi SSD *(Saturated Surface Dry)* agar dalam pengerjaan pembuatan adukan beton tidak mengurangi penggunaan air.

b. Untuk agregat halus dan abu batu dalam kondisi SSD *(Saturated Surface Dry)* dengan cara pendiaman di dalam karung yang sebelumnya telah diayak terlebih dahulu.
c. Untuk agregat kasar dikondisikan dengan cara pendiaman di dalam karung yang sebelumnya telah dibersihkan dari seluruh kotoran menggunakan ayakan pencuci dan air.
d. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan campuran beton *(Mix Design)* serta ditambahkan 20% setiap bahan untuk antisipasi bahan kurang akibat penempelan bahan pada *mixer* dan lainnya.

2. Persiapan Alat
   a. Mesin pengaduk di cek terlebih dahulu apabila terdapat kotoran maka dibersihkan dahulu menggunakan air, kemudian mesin pengaduk dibiarkan sampai dalam kondisi kering.
   b. Setiap cetakan silinder diolesi pelumas seperti oli.
3. Pencampuran Material dan Pengadukan
   a. Mesin pengaduk dihidupkan.
   b. Dalam kondisi mesin berputar agregat kasar dimasukan terlebih dahulu.
   c. Setelah 5 menit, agregat halus dan abu batu dimasukkan ke mesin pengaduk berputar sampai 5 menit.
   d. Semen dimasukan ke mesin pengaduk berputar sampai 5 menit.
   e. Air dituangkan sesuai volume yang telah direncanakan secara bertahap.
   f. *Superplasticizer* dimasukkan ke mesin pengaduk dan berputar sampai 3 menit.
   g. Pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.
   h. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang kering dan segera dilaksanakan pengujian *slump*.
   i. Setelah nilai *slump* telah sesuai rencana, beton segar segera dimasukkan kedalam cetakan silinder yang telah disiapkan.
4. Pencetakan
   a. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan dipukul-pukul pada bagian dinding

cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat sehingga tidak memiliki rongga udara.

b. Permukaan beton diratakan dengan perata.
c. Setelah cetakan silinder yang berisi campuran beton segar disimpan di dalam ruangan selama 24 jam.
d. Beton keras sebagai benda uji dikeluarkan dari cetakan silinder dan diberikan kode identitas kemudian dimasukkan ke dalam bak perendaman. Berikut merupakan pencetakan benda uji silinder terdapat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pencetakan Benda Uji Silinder

4.10 Perawatan

Perawatan benda uji berdasarkan SNI-2493-2011 mengenai tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan metode perendaman benda uji dalam air setelah dikeluarkan dari cetakan silinder. Lama perawatan beton dilakukan sampai 1 hari sebelum pengujian dilakukan agar beton tersebut kering. Setelah beton berumur 28 hari maka dilakukan pengujian pada beton. Berikut merupakan perawatan benda uji silinder terdapat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perawatan Benda Uji Silinder

4.11 Pengujian *Trial Mix* Beton Normal

Umur beton untuk sampel *trial* yaitu 7 hari. Berdasarkan hasil kuat tekan beton *trial* pada umur 7 hari tersebut, diperkirakan mutu beton pada umur 28 hari diperoleh dengan membagi nilai *f'c* aktual dengan angka konversi umur uji pada umur 7 hari. Berikut merupakan perhitungan kuat tekan beton *trial* pada sampel 1.

f'c aktual $= \frac{P\ (Kn)}{A\ (mm^2)}$

$= \frac{478.641\ x\ 1000}{\frac{1}{4} x\ \pi\ x\ 150^2}$

= 27,086 MPa

f'c konversi = *f'c aktual x* $\frac{1}{angka\ konversi}$

= 27,086 *x* $\frac{1}{0,65}$

= 41,67 MPa

Adapun hasil pengujian sampel beton *trial* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23 sebagai berikut.

Tabel 4.23 Beton *Trial*

Kode	Luas Penampang	Beban Maks	Kuat Tekan Aktual	Faktor Konversi	Kuat Tekan Konversi
	(cm²)	(Kn)	(MPa)		(MPa)
BT 1	176,715	478,64	27,086	0,65	41,67
BT 2	176,715	556,64	31,499	0,65	48,46
BT 3	176,715	550,66	31,161	0,65	47,94

4.12 Pengujian Sampel Beton

Pengujian benda uji dilakukan pada umur beton telah mencapai umur 28 hari. Jenis pengujian benda uji meliputi pengujian berat volume beton, pengujian kuat tekan, dan pengujian kuat tarik belah beton. Adapun tahapan pelaksanaannya sebagai berikut.

4.12.1 Pengujian Berat Volume Beton

Adapun tahapan pengujian berat volume beton adalah sebagai berikut:

a. Mengangkat benda uji dari perendaman dan membiarkan selama ± 24 jam,
b. Mengukur dimensi benda uji dengan menggunakan jangka sorong,
c. Mencatat dimensi benda uji dalam satuan cm,
d. Menimbang berat benda uji dengan menggunakan timbangan dengan akurasi minimal 0,1 gram
e. Mencatat berat benda uji dalam satuan kg.

Berikut merupakan perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 4.24 sebagai berikut.

1. Berat volume beton variasi BNS-0%

Volume benda uji sampel 1 $= \left(\left(\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2\right) x\ \mathrm{t}\right)$

$= \left(\left(\frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15{,}200^2\right) x\ 30{,}317\right) x\ 10^{-6}$

$= 0{,}00550\ \mathrm{m^3}$

Berat volume benda uji sampel 1 $= \frac{Berat\ silinder}{Volume\ benda\ uji}$

$= \frac{12{,}953}{0{,}00550}$

$= 2354{,}571\ \mathrm{kg/m^3}$

Tabel 4.24 Berat Volume Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m^3)	(kg)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
0	BNS-0%	1	15,200	30,317	0,00550	12,953	2354,571	2377,514
		2	15,167	30,283	0,00547	12,955	2367,901	
		3	15,177	30,367	0,00549	12,999	2366,302	
		4	15,000	30,300	0,00535	13,139	2453,846	
		5	15,267	30,267	0,00554	12,992	2344,947	
		6	15,203	30,417	0,00552	12,985	2351,597	
		7	15,080	30,317	0,00541	12,985	2398,104	
		8	15,213	30,227	0,00549	12,956	2357,990	
		9	15,250	30,183	0,00551	13,152	2385,586	
		10	15,030	30,400	0,00539	12,927	2396,715	
15	ABS-15%	1	15,200	30,367	0,00551	13,125	2381,909	2374,522
		2	15,000	30,250	0,00535	12,799	2394,298	
		3	15,233	30,283	0,00552	12,929	2342,510	
		4	15,233	30,333	0,00553	13,090	2367,771	
		5	15,110	30,233	0,00542	12,933	2385,582	
		6	15,133	30,427	0,00547	13,142	2401,309	
		7	15,083	30,400	0,00543	12,568	2313,705	
		8	15,200	30,333	0,00550	12,962	2354,913	
		9	15,107	30,383	0,00545	13,107	2406,804	

Lanjutan Tabel 4.24

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/m³)
		10	15,120	30,433	0,00546	13,095	2396,418	
17,5	ABS-17,5%	1	15,117	30,167	0,00541	12,956	2392,994	2373,668
		2	15,200	30,200	0,00548	12,785	2333,011	
		3	15,217	30,200	0,00548	12,867	2342,833	
		4	15,133	30,067	0,00541	12,875	2380,690	
		5	15,000	30,127	0,00532	12,873	2418,000	
		6	15,167	30,417	0,00550	12,756	2321,308	
		7	15,100	30,433	0,00545	12,956	2377,265	
		8	15,100	30,333	0,00543	12,895	2373,873	
		9	15,033	30,333	0,00538	12,985	2411,689	
		10	15,050	30,077	0,00535	12,761	2385,021	
20	ABS-20%	1	15,067	30,100	0,00537	12,873	2385,772	2371,123
		2	15,067	30,183	0,00540	12,604	2333,893	
		3	15,093	30,167	0,00536	12,559	2344,416	
		4	15,037	30,230	0,00534	12,812	2398,316	
		5	15,080	30,233	0,00540	12,877	2384,713	
		6	15,020	30,083	0,00533	12,715	2385,397	
		7	15,047	30,180	0,00537	12,861	2396,542	
		8	15,080	30,237	0,00540	12,815	2372,969	
		9	15,047	30,267	0,00538	12,743	2367,754	

Lanjutan Tabel 4.24

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/m³)
		10	15,197	30,270	0,00549	12,784	2328,455	
22,5	ABS-22,5%	1	15,043	30,117	0,00535	12,703	2373,129	2370,415
		2	15,117	30,100	0,00540	12,685	2348,129	
		3	15,000	30,333	0,00536	12,900	2406,563	
		4	15,150	30,050	0,00542	12,711	2346,497	
		5	15,017	30,133	0,00534	12,700	2379,686	
		6	15,133	30,067	0,00541	12,786	2364,159	
		7	14,967	30,050	0,00529	12,785	2418,334	
		8	15,177	30,117	0,00545	12,751	2340,425	
		9	15,067	30,133	0,00537	12,700	2363,917	
		10	15,113	30,000	0,00538	12,719	2363,313	
25	ABS-25	1	15,317	30,013	0,00553	12,685	2293,812	2348,479
		2	15,050	30,083	0,00535	12,785	2388,977	
		3	15,233	29,987	0,00547	12,685	2321,039	
		4	15,087	30,100	0,00538	12,657	2352,273	
		5	15,000	30,333	0,00536	12,781	2384,363	
		6	15,017	30,407	0,00539	12,619	2343,253	
		7	15,150	30,400	0,00548	12,654	2309,081	
		8	15,033	30,333	0,00538	12,715	2361,543	
		9	15,083	30,420	0,00544	12,758	2347,139	

Lanjutan Tabel 4.24

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/m³)
		10	15,023	30,193	0,00535	12,756	2383,312	

4.12.2 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan merupakan pengujian dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) yang bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh substitusi agregat halus dengan abu batu terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Pada pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta total sampel pada pengujian tekan beton adalah 30 sampel silinder. Sebelum dilakukan pengujian pada silinder beton, terlebih dahulu dilakukan proses *capping* pada bagian permukaan atas dengan menggunakan belerang. *Capping* bertujuan untuk meratakan permukaan atas beton agar beban dari *Compression Testing Machine* (CTM) terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Berikut merupakan proses *capping* pada benda uji silinder terdapat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Proses *Capping* Pada Benda Uji Silinder

Pengujian kuat tekan silinder dilakukan sampai benda uji mengalami hancur, yang berarti benda uji tidak mampu lagi menahan beban yang diberi oleh *Compression Testing Machine (CTM).* Berdasarkan SNI 1974-2011, Adapun tahapan pengujian kuat tekan sebagai berikut:

a. Mengangkat benda uji dari perendaman dan membiarkan selama ± 24 jam,
b. Mengukur dimensi dan berat benda uji,

c. Meletakan benda uji pada landasan tekan bawah lalu memastikan penunjuk beban sudah menunjukan nol,
d. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/detik,
e. Melakukan pembebanan sampai benda uji hancur,
f. Mencatat pembebanan maksimum yang terjadi selama pengujian.

Adapun perhitungan kuat tekan beton menggunakan Persamaan 3.22 sebagai berikut.

2. Kuat Tekan Beton variasi BNS-0%

$$F'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{752{,}123\ x\ 10^3}{181{,}458\ x\ 10^2}$$
$$= 41{,}449 \text{ MPa}$$

3. Kuat Tekan Beton variasi BNS-0%

$$F'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{763{,}215\ x\ 10^3}{180{,}663\ x\ 10^2}$$
$$= 42{,}245 \text{ MPa}$$

4. Kuat Tekan Beton variasi BNS-0%

$$F'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{815{,}654\ x\ 10^3}{180{,}663\ x\ 10^2}$$
$$= 45{,}088 \text{ MPa}$$

5. Kuat Tekan Beton variasi BNS-0%

$$F'c = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{734{,}830\ x\ 10^3}{176{,}715\ x\ 10^2}$$
$$= 41{,}583 \text{ MPa}$$

Dengan cara yang sama dihitung kuat tekan beton untuk sampel pada variasi lainnya, sehingga diperoleh perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.25 sebagai berikut.

Tabel 4.25 Kuat Tekan Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
0	BNS-0%	1	15,200	30,317	18145,839	752123	41,449	42,810
		2	15,167	30,283	18066,339	763215	42,245	
		3	15,177	30,367	18090,171	815654	45,088	
		4	15,000	30,300	17671,459	734830	41,583	
		5	15,267	30,267	18305,362	799654	43,684	
15	ABS-15%	1	15,200	30,367	18145,839	748364	41,242	43,263
		2	15,000	30,250	17671,459	741800	41,977	
		3	15,233	30,283	18225,513	795635	43,655	
		4	15,233	30,333	18225,513	815655	44,753	
		5	15,110	30,233	17931,590	801357	44,690	
17,5	ABS-17,5%	1	15,117	30,167	17947,417	796627	44,387	44,452
		2	15,200	30,200	18145,839	751640	41,422	
		3	15,217	30,200	18185,654	804987	44,265	
		4	15,133	30,067	17987,014	798021	44,367	
		5	15,000	30,127	17671,459	845080	47,822	
20	ABS-20%	1	15,067	30,100	17828,887	799548	44,846	46,576
		2	15,067	30,183	17892,054	878256	49,086	
		3	15,093	30,167	17757,958	745025	41,954	
		4	15,037	30,230	17671,459	852130	48,221	
		5	15,080	30,233	17860,457	871145	48,775	

Lanjutan Tabel 4.25

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
22,5	ABS-22,5%	1	15,043	30,117	17773,708	895210	50,367	48,831
		2	15,117	30,100	17947,417	856147	47,703	
		3	15,000	30,333	17671,459	923890	52,281	
		4	15,150	30,050	18026,655	875125	48,546	
		5	15,017	30,133	17710,750	801547	45,258	
25	ABS-25%	1	15,317	30,013	18425,463	799150	43,372	45,135
		2	15,050	30,083	17789,465	813520	45,730	
		3	15,233	29,987	18225,513	825874	45,314	
		4	15,087	30,100	17876,252	820210	45,883	
		5	15,000	30,333	17671,459	801840	45,375	

Berikut merupakan gambar pengujian kuat tekan dan contoh benda uji dari hasil pengujian kuat tekan terdapat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17.



Gambar 4.16 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 4.17 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan

4.12.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tarik maksimum yang diterima dan seberapa besar pengaruh substitusi agregat halus dengan abu batu terhadap kuat tekan beton mutu tinggi. Pada pengujian kuat tekan menggunakan benda uji silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan SNI 03-2491-2002, adapun tahapan pengujian kuat tarik sebagai berikut:

a. Menyiapkan alat dan benda uji,
b. Memberikan tanda pada benda uji dengan cara menarik garis tengah pada setiap ujung benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, sehingga untuk memastikan bahwa kedua garis tersebut berada dalam bidang aksial yang sama,
c. Meletakan bantalan bantu pembebanan diatas meja tekan bagian bawah mesin uji pada bagian tengah-tengah,
d. Meletakan benda uji di atas bantalan dengan sedemikian rupa sehingga tanda garis tengah benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan tersebut,
e. Mengatur posisi pengujian sampai tercapai posisi proyeksi dari bidang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat sejajar dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji,
f. Menjalankan mesin uji dengan pemberian beban dilakukan secara konstan yang berkisar 0,7 MPa/menit sampai dengan 1,4 MPa/menit hingga benda uji hancur,
g. Mencatat pembebanan maksimum yang terjadi selama pengujian.

Adapun perhitungan kuat tarik belah beton menggunakan Persamaan 3.24 sebagai berikut:

1. Kuat tarik beton variasi BNS 0%

$$ft = \frac{2\,P}{\pi\,L\,D}$$

$$= \frac{2 \text{ x } (182 \text{ x } 10^3)}{\pi \text{ x } (30{,}417 \text{ x } 10) \text{x } (15{,}203 \text{ x } 10)}$$

= 2,506 MPa

2. Kuat tarik beton variasi BNS 0%

$$ft = \frac{2\,P}{\pi\,L\,D}$$

$$= \frac{2 \text{ x } (268 \text{ x } 10^3)}{\pi \text{ x } (30{,}317 \text{ x } 10) \text{x } (15{,}080 \text{ x } 10)}$$

= 3,732 MPa

3. Kuat tarik beton variasi BNS 0%

$$ft = \frac{2\,P}{\pi\,L\,D}$$

$$= \frac{2 \text{ x } (208 \text{ x } 10^3)}{\pi \text{ x } (30{,}227 \text{ x } 10) \text{x } (15{,}213 \text{ x } 10)}$$

= 2,880 MPa

4. Kuat tarik beton variasi BNS 0%

$$ft = \frac{2\,P}{\pi\,L\,D}$$

$$= \frac{2 \text{ x } (202 \text{ x } 10^3)}{\pi \text{ x } (30{,}183 \text{ x } 10) \text{x } (15{,}250 \text{ x } 10)}$$

= 2,794 MPa

Dengan cara yang sama dihitung kuat tarik beton untuk sampel pada variasi lainnya, sehingga diperoleh perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 4.26 sebagai berikut.

Tabel 4.26 Kuat Tarik Belah Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tarik	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
0	BNS-0%	6	15,203	30,417	18153,799	182000	2,506	2,775
		7	15,080	30,317	17860,457	268000	3,723	
		8	15,213	30,227	18177,688	208000	2,880	
		9	15,250	30,183	18265,416	202000	2,794	
		10	15,030	30,400	17742,215	141000	1,965	
15	ABS-15%	6	15,133	30,427	17987,014	257000	3,553	2,954
		7	15,083	30,400	17868,354	253000	3,513	
		8	15,200	30,333	18145,839	248000	3,424	
		9	15,107	30,383	17923,680	146000	2,025	
		10	15,120	30,433	17955,333	163000	2,255	
17,5	ABS-17,5%	6	15,756	30,417	18066,339	211000	2,912	3,088
		7	15,100	30,433	17907,864	233000	3,228	
		8	15,100	30,333	17907,864	243000	3,377	
		9	15,033	30,333	17750,086	238000	3,323	
		10	15,050	30,077	17789,465	185000	2,602	
20	ABS-20%	6	15,020	30,083	17718,614	206000	2,902	3,130
		7	15,047	30,180	17781,585	212000	2,972	
		8	15,080	30,237	17860,457	210000	2,932	
		9	15,047	30,267	17781,585	244000	3,411	

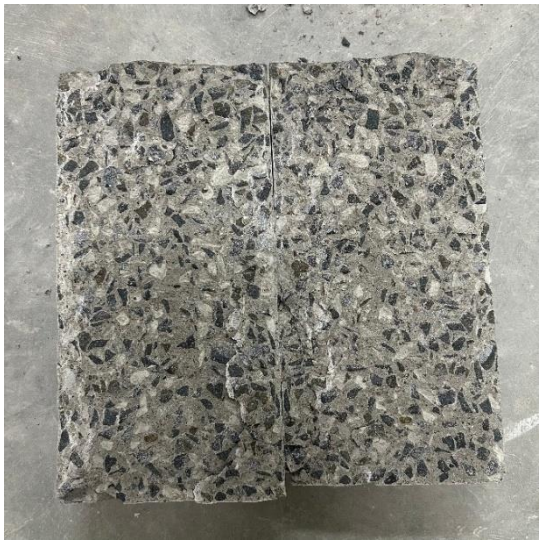
Lanjutan Tabel 4.26

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tarik	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
		10	15,197	30,270	18137,881	248000	3,432	
22,5	ABS-22,5%	6	15,133	30,067	17987,014	225000	3,148	3,142
		7	14,967	30,050	17593,006	224000	3,171	
		8	15,177	30,117	18090,171	212000	2,953	
		9	15,067	30,133	17828,887	248000	3,478	
		10	15,113	30,000	17939,503	211000	2,963	
25	ABS-25%	6	15,017	30,407	17710,750	180000	2,510	2,943
		7	15,150	30,400	18026,655	185000	2,557	
		8	15,033	30,333	17750,086	200000	2,792	
		9	15,083	30,420	17868,354	223000	3,094	
		10	15,023	30,193	17726,479	268000	3,761	

Berikut merupakan gambar pengujian kuat tarik belah dan contoh benda uji dari hasil pengujian kuat tarik belah terdapat pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar 4.19 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

4.13 Analisis Hasil Pengujian Benda Uji

Analisis pengujian benda uji dilakukan dengan menggunakan data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian yang diolah berdasarkan penamaan benda uji dan landasan teori yang digunakan untuk memperoleh hasil pengujian benda uji beton. Pada tahap analisis data, data yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan

dan kuat tarik dianalisis dengan bantuan program *Microsoft Excel* untuk mendapatkan hubungan antara variabel yang diteliti dalam penelitian. Analisis yang dilakukan meliputi analisis sebab-akibat yang berkaitan dengan pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik, sehingga hasil dari pengujian tersebut dipaparkan ke dalam bentuk grafik.

4.14 Pembahasan

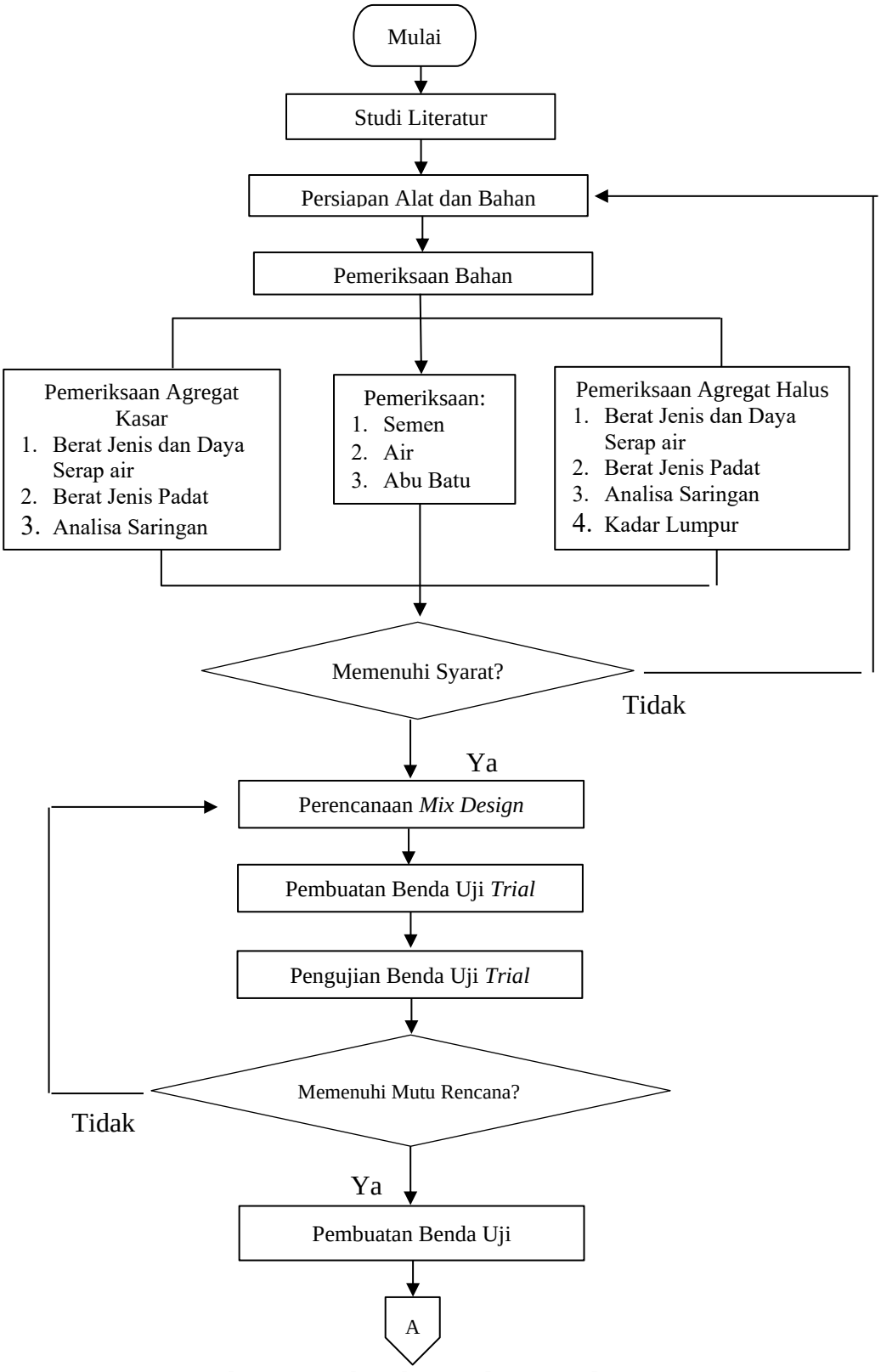
Dalam tahap ini hasil dari analisis dibahas untuk memberikan jawaban dan penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai yang ditemui pada tahapan analisis data.

4.15 Kesimpulan dan Saran

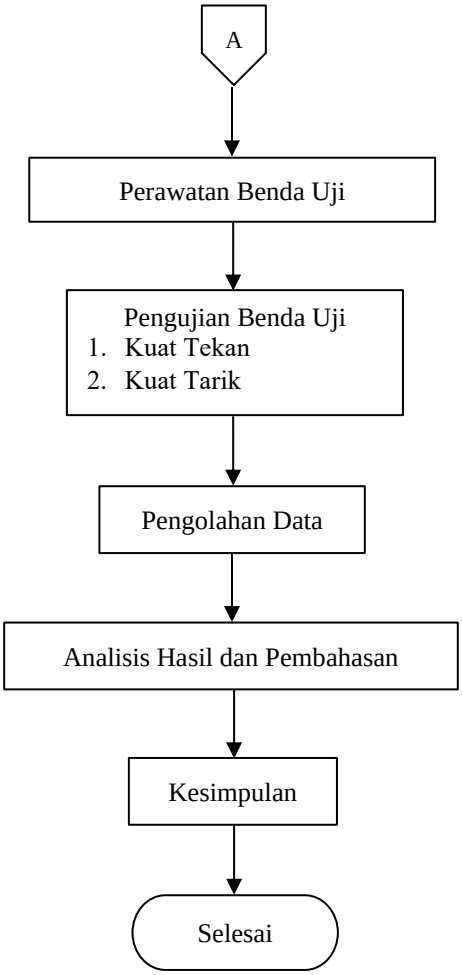
Dalam tahap kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan dibuat kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini juga dibuat saran untuk penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang diperoleh.

4.16 Kerangka Konsep Penelitian

Adapun kerangka konsep penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.20 sebagai berikut.



Gambar 4.20 *Flowchart* Tahap Penelitian



Lanjutan Gambar 4.20

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Data hasil penelitian kemudian dilakukan analisis dan pembahasan untuk memperoleh hasil tujuan penelitian yang direncanakan. Data hasil pengujian yang diperoleh meliputi hasil pemeriksaan agregat, pengujian berat volume beton, pengujian kuat tekan dan pengujian kuat tarik belah pada beton mutu tinggi.

5.2 Agregat Kasar

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, didapatkan hasil berat jenis curah sebesar 2,605, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,646, berat jenis semu sebesar 2,715 dan nilai penyerapan air yang diperoleh dalam pengujian ini sebesar 1,564%. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat kasar menurut SNI 03-1969-1990 bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar berada di antara 1,6 sampai 3,3 dan penyerapan air agregat kasar maksimal 4%.

2. Analisa Saringan

   Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.3. Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus sebesar 6,144. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat kasar menurut SNI 03-1968-1990 yakni persyaratan modulus halus butir agregat kasar berada di antara 6,0 sampai dengan 7,1. Berdasarkan Gambar 4.7 dapat ditentukan bahwa sampel agregat kasar berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi butiran agregat kasar dengan ukuran maksimum 10 mm. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa butiran agregat kasar tersebut memenuhi persyaratan agregat kasar dengan ukuran maksimum sebesar 10 mm.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.5 Berat Volume Gembur dan Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat, didapatkan nilai berat volume gembur sebesar 1,386 gram/cm³ dan nilai berat volume padat sebesar 1,559 gram/cm³. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat kasar menurut SNI 03-4804-1998 yaitu dalam kondisi gembur berkisar 1,2 sampai 1,5 kg/m³ dan dalam kondisi padat berkisar 1,4 sampai 1,7 kg/m³.

5.3 Agregat Halus

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.7 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, didapatkan hasil berat jenis curah sebesar 2,460, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,525, berat jenis semu sebesar 2,632, dan penyerapan air sebesar 2,669%. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat halus menurut SNI 1970:2008 bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat halus berada diantara 1,6 sampai 3,3 dan penyerapan air agregat halus maksimal 4%.

2. Analisa Saringan

   Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8. Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus sebesar 2,217. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat halus menurut SNI 03-1968-1990 bahwa persyaratan modulus halus butir agregat halus berada di antara 1,5 sampai dengan 3,8. Berdasarkan Gambar 4.10 dapat ditentukan bahwa sampel agregat halus berada diantara batas atas dan batas bawah gradasi daerah I. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa butiran agregat halus tersebut termasuk dalam kategori pasir kasar.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.10 Berat Volume Gembur dan Tabel 4.11 Berat Volume Padat, didapatkan nilai berat volume gembur sebesar 1,405 gram/cm³ dan nilai berat volume padat sebesar 1,566 gram/cm³. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat halus menurut SNI 03-4804-

1998 yaitu dalam kondisi gembur berkisar 1,2 sampai 1,5 kg/m³ dan dalam kondisi padat berkisar 1,4 sampai 1,7 kg/m³.

4. Lolos Saringan No. 200

   Dari Tabel 4.12 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, didapatkan hasil 1%. Menurut SNI 03-4142-1996, nilai tersebut memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus karena persyaratan kadar lumpur agregat halus maksimal sebesar 5%. Dengan demikian, pengujian agregat halus ini dapat langsung digunakan tanpa harus dicuci terlebih dahulu.

5.4 Abu Batu

1. Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Dari Tabel 4.13 Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu, didapatkan hasil berat jenis curah sebesar 2,491, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,573, berat jenis semu sebesar 2,714, dan penyerapan air sebesar 3,306%. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat halus menurut SNI 1970:2008 bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat halus berada diantara 1,6 sampai 3,3 dan penyerapan air agregat halus maksimal 4%.

2. Analisa Saringan

   Rekapitulasi hasil perhitungan pemeriksaan analisa saringan abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.14. Hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat halus sebesar 2,192. Nilai tersebut memenuhi standar pengujian karakteristik material agregat halus menurut SNI 03-1968-1990 bahwa persyaratan modulus halus butir agregat halus berada diantara 1,5 sampai dengan 3,8. Berdasarkan Gambar 4.11 dapat ditentukan bahwa sampel abu batu berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi daerah II. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa butiran abu batu tersebut termasuk dalam kategori pasir agak kasar.

3. Berat Volume Gembur dan Padat

   Dari Tabel 4.16 Berat Volume Gembur dan Tabel 4.17 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Padat, didapatkan nilai berat volume gembur sebesar 1,318 gram/cm³ dan nilai berat volume padat sebesar 1,518 gram/cm³. Hasil tersebut

memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat halus menurut SNI 03-4804-1998 yaitu dalam kondisi gembur berkisar 1,2 sampai 1,5 kg/m^3 dan dalam kondisi padat berkisar 1,4 sampai 1,7 kg/m^3.

4. Lolos Saringan No. 200

   Dari Tabel 4.18 Lolos Saringan No. 200 atau kadar Kadar Lumpur Agregat Abu Batu, didapatkan hasil 4,6%. Menurut SNI 03-4142-1996, nilai tersebut memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus karena persyaratan kadar lumpur agregat halus maksimal sebesar 5%. Dengan demikian, pengujian abu batu ini dapat langsung digunakan tanpa harus dicuci terlebih dahulu.

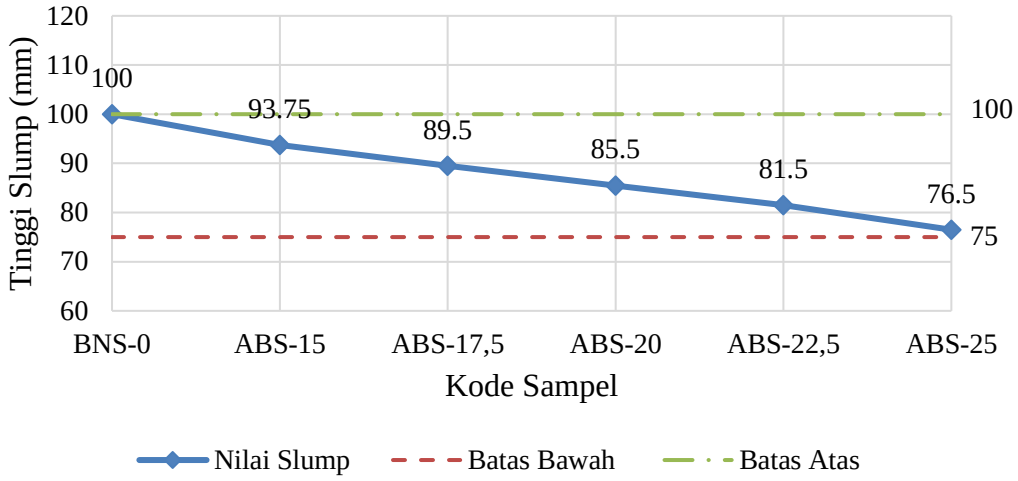
5.5 *Slump*

Sesuai dengan *mix-design* menurut SNI 03-6468-2000, maka nilai *slump* yang direncanakan 75-100 mm. Adapun hasil pengujian *slump* di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Nilai *Slump*

No	Nama Benda Uji	Nilai *Slump* (mm)	Syarat *Slump* (75-100 mm)	Persentase Perubahan (%)
1	BNS-0	100	Memenuhi	0,000
2	ABS-15	93,75	Memenuhi	-0,063
3	ABS-17,5	89,50	Memenuhi	-0,105
4	ABS-20	85,50	Memenuhi	-0,145
5	ABS-22,5	81,50	Memenuhi	-0,185
6	ABS-25	76,50	Memenuhi	-0,235

Berdasarkan Tabel 5.1, pada persentase abu batu 0% didapatkan nilai *slump* tertinggi yaitu sebesar 100 mm, sedangkan pada penambahan persentase abu batu 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% didapatkan nilai *slump* menurun secara berturut turut yaitu sebesar 93,75 mm, 89,50 mm, 85,50 mm, 81,50 mm, dan 76,50 mm. Nilai-nilai tersebut dapat di plot menjadi grafik nilai *slump* dan dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Nilai *Slump* Setiap Variasi

Pada Gambar 5.1 Nilai *Slump* Setiap Variasi, dapat dilihat pada BNS-0% didapatkan nilai slump 100 mm. Hal tersebut terjadi karena tidak ada substitusi material halus yang menyerap air, sehingga lebih banyak air bebas yang tersedia untuk meningkatkan kelenturan campuran hingga menghasilkan *slump* 100 mm. Pada BNS-15% sampai dengan BNS-25% mengalami penurunan karena seiring dengan bertambahnya kadar substitusi limbah abu batu. Penurunan paling tinggi terjadi pada variasi ABS-25% dengan persentase perubahan sebesar -0,235%. Hal ini terjadi karena sifat abu batu yang menyerap air. Kenaikan persentase abu batu meningkat 25%, material halus menjadi lebih banyak maka semakin banyak juga air yang diserap oleh material halus tersebut sehingga dapat mengurangi jumlah air bebas yang mengakibatkan campuran menjadi lebih kental sehingga *slump* menurun. Penurunan nilai *slump* ini juga mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*) dikarenakan dengan turunnya nilai *slump* berarti kelecakan beton berkurang, sehingga beton semakin kental dan sulit untuk dikerjakan.

Pada proses *mixing*, semua proporsi material yang digunakan sesuai dengan *mix design* yang telah direncanakan sehingga berdasarkan Tabel 5.1 dan Gambar 5.1, didapatkan nilai *slump* terkecil 76,50 mm dan terbesar 100 mm. Nilai tersebut telah sesuai dengan nilai rencana *slump* yang telah ditetapkan dalam *mix-design* yaitu sebesar 75-100 mm.

5.6 Benda Uji Beton Trial

Pada Tabel 4.23, digunakan faktor konversi sebesar 0,65 sesuai dengan PBI 1971 untuk beton normal. Nilai konversi ini kurang relevan jika digunakan untuk beton dengan bahan-tambah. Namun, belum ada penelitian lain yang bisa digunakan sebagai acuan nilai konversi, sehingga digunakan nilai konversi 0,65 sebagai acuan. Perkiraan umur beton pada umur 28 hari diperoleh sebesar 41,671 MPa, 48,460 MPa, 47,940 MPa dan didapatkan rerata sebesar 46,024 MPa. Dengan demikian nilai ini sudah melebihi kuat tekan rencana yaitu sebesar 41,4 MPa sehingga hasil perhitungan perencanaan campuran beton *(mix design)* yang telah dibuat dapat digunakan untuk membuat sampel benda uji selanjutnya.

5.7 Berat Volume Beton

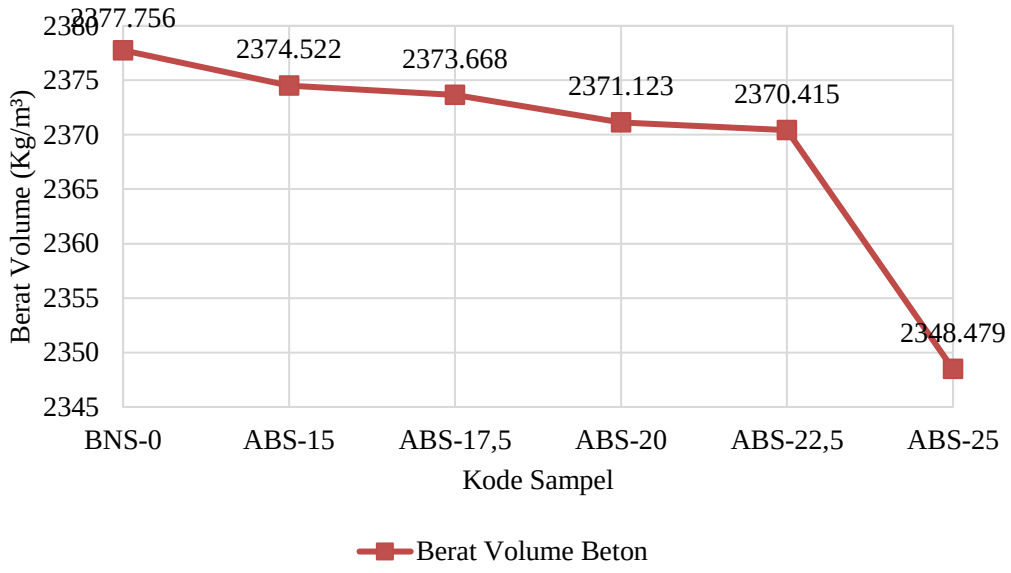
Berikut merupakan perhitungan dan hasil rekapitulasi pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Berat Volume Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji	Rerata Berat Volume	Persentase Perubahan
(%)		(kg/m³)	(%)
0	BNS-0	2377,756	0%
15	ABS-15	2374,522	-0,14%
17,5	ABS-17,5	2373,668	-0,17%
20	ABS-20	2371,123	-0,28%
22,5	ABS-22,5	2370,415	-0,31%
25	ABS-25	2348,479	-1,23%

Berdasarkan Tabel 5.2 diatas, diperoleh nilai berat volume terkecil pada variasi abu batu 25% sebesar 2348,479 kg/cm³ dan dengan persentase perubahan sebesar -1,23%. Hal tersebut terjadi karena pemadatan yang kurang maksimal. Pemadatan yang kurang baik mengakibatkan banyak rongga udara yang terjebak dalam campuran. Udara ini tidak memiliki berat, sehingga mengurangi berat volume beton. Beton dengan rongga yang lebih banyak mengakibatkan kepadatan yang lebih rendah sehingga mengurangi berat volume beton secara signifikan.

Berdasarkan hasil berat volume beton rata-rata pada Tabel 5.2 diatas didapatkan nilai berat volume beton rerata pada persentase abu batu sebanyak 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% secara berturut turut sebesar 2377,756 kg/m³, 2374,522 kg/m³, 2373,668 kg/m³, 2371,123 kg/m³, 2370,415 kg/m³, dan 2348,479 kg/m³. Nilai-nilai tersebut dapat di plot menjadi grafik nilai rerata berat volume beton dan dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Berat Volume Beton Setiap Variasi

Berdasarkan Tabel 5.2 dan Gambar 5.2 diatas, dapat diketahui bahwa penambahan persentase abu batu pada campuran beton menyebabkan penurunan pada nilai rerata berat volume beton. Hal ini terjadi karena nilai penyerapan air pada abu batu lebih tinggi dari pada nilai penyerapan agregat halus yaitu sebanyak 3,306%. Karena persentase penyerapan abu batu lebih tinggi dibandingkan agregat halus, maka menyebabkan berat volume beton menjadi ringan. Oleh karena itu, bertambahnya persentase abu batu dapat menurunkan berat volume beton secara keseluruhan. Dalam penelitian yang dilakukan Raditya (2022), menyatakan bahwa berat volume beton dengan penyerapan air saling berkaitan, apabila angka penyerapan air rendah maka berat volume beton menjadi tinggi. Namun, apabila penyerapan airnya tinggi maka berat volume beton akan semakin menurun.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, nilai rerata tersebut memenuhi beton yang diklasifikasikan berdasarkan berat jenis menurut SNI 03-2847-2002, bahwa masuk kedalam klasifikasi berat beton normal karena berada diantara 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa nilai rerata berat beton yang diperoleh dalam penelitian ini termasuk dalam kategori beton normal.

5.8 Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari dengan kuat desak yang direncanakan *(f'c*) sebesar 41,4 MPa sebanyak 30 sampel silinder. Adapun hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

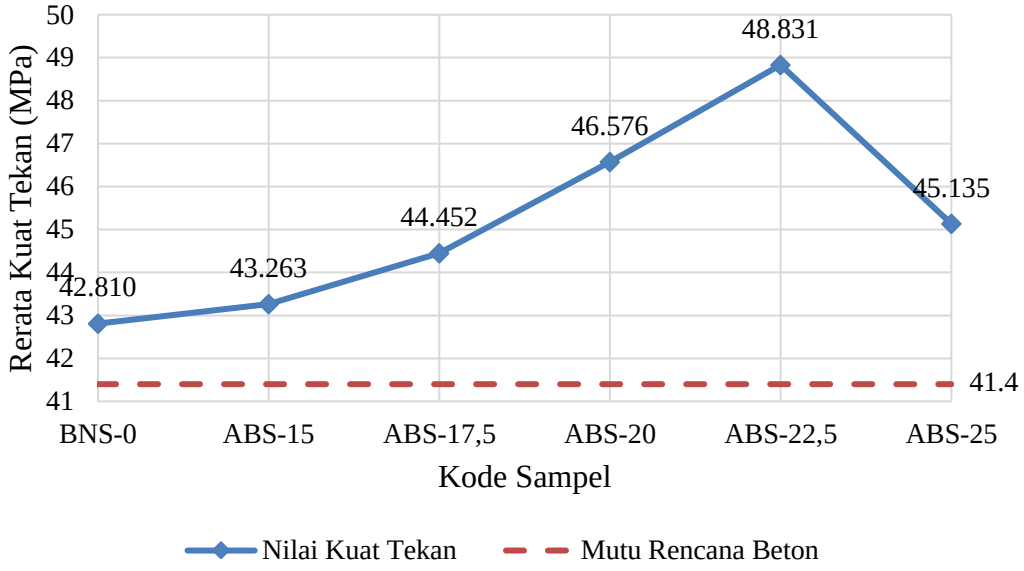
Tabel 5.3 Kuat Tekan

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji	Rerata Kuat Tekan	Persentase Perubahan
(%)		(MPa)	(%)
0	BNS-0	42,810	0%
15	ABS-15	43,263	1,06%
17,5	ABS-17,5	44,452	3,84%
20	ABS-20	46,576	8,80%
22,5	ABS-22,5	48,831	14,07%
25	ABS-25	45,135	5,43%

Berdasarkan Tabel 4.25 diatas didapatkan kuat desak yang memiliki nilai yang sangat kecil yaitu pada benda uji ABS-15-1 sebesar 41,242 MPa. Hal ini disebabkan kesalahan dalam proses pemadatan saat beton baru dicetak, dikarenakan alat pemadatan yang tidak konstan *(human error)* sehingga terdapat beton yang kualitasnya rendah. Sampel tersebut tidak dieliminasi karena masih dalam batas toleransi. Batas toleransi tersebut diperoleh dari 10% terhadap kuat desak rencana yaitu 41,4 MPa (Ivanov Pratama, 2020).

Berdasarkan hasil kuat tekan rata-rata pada Tabel 5.3 diatas, didapatkan nilai kuat tekan beton *(f'c)* rata-rata pada persentase abu batu sebanyak 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% secara berturut turut sebesar 42,810 MPa, 43,263 MPa,

44,452 MPa, 46,576 MPa, 48,831 MPa, dan 45,135 MPa. Nilai-nilai tersebut dapat di plot menjadi grafik nilai rerata kuat tekan beton dan dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Kuat Tekan Beton Setiap Variasi

Pada Gambar 5.3 diatas dapat dilihat bahwa benda uji ABS-15% dengan persentase perubahan sebesar 1,06%, mengalami peningkatan nilai kuat tekan dari beton normal dikarenakan akibat dari penambahan variasi abu batu. Penambahan kadar abu batu mengalami peningkatan optimum pada variasi beton ABS-22,5% sebesar 48,831 MPa dengan persentase perubahan sebesar 14,07%. Hal ini menunjukan bahwa abu batu bereaksi dengan semen sebagai bahan ikat yang dapat mengisi rongga-rongga yang ada. Pada variasi ABS-25% sebesar 45,135 MPa terjadi penurunan dengan persentase perubahan sebesar 5,43%, hal ini terjadi karena beton sudah melebihi dari kapasitas optimumnya untuk penambahan kadar abu batu dalam pembuatan beton sehingga menyebabkan kekuatan beton pada variasi ABS-25% mengalami penurunan. Kadar yang optimum disebabkan oleh nilai modulus halus butir abu batu lebih kecil dari pada pasir yaitu sebesar 2,192. Karena ukuran butir abu batu kecil maka luas permukaan agregat secara keseluruhan semakin banyak, sehingga membutuhkan banyak semen. Hal tersebut mengakibatkan jumlah semen yang telah direncanakan tidak mampu melapisi

permukaan agregat yang semakin banyak. Penurunan kuat tekan ABS-25% tidak hanya karena penambahan persentase maksimumnya saja, tetapi juga karena pemadatan yang kurang maksimal. Oleh karena itu, kombinasi antara kelebihan persentase abu batu dan pemadatan yang kurang maksimal menyebabkan struktur dalam beton menjadi berongga dan ikatan antar agregat melemah, sehingga kuat tekan menurun dari 48,831 MPa (ABS-22,5%) menjadi 45,135 MPa (ABS-25%).

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Gambar 5.3, nilai rerata yang diperoleh pada penelitian ini melebihi kuat tekan rencana yaitu sebesar 41,4 MPa. Dengan demikian, telah memenuhi persyaratan kuat tekan beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000.

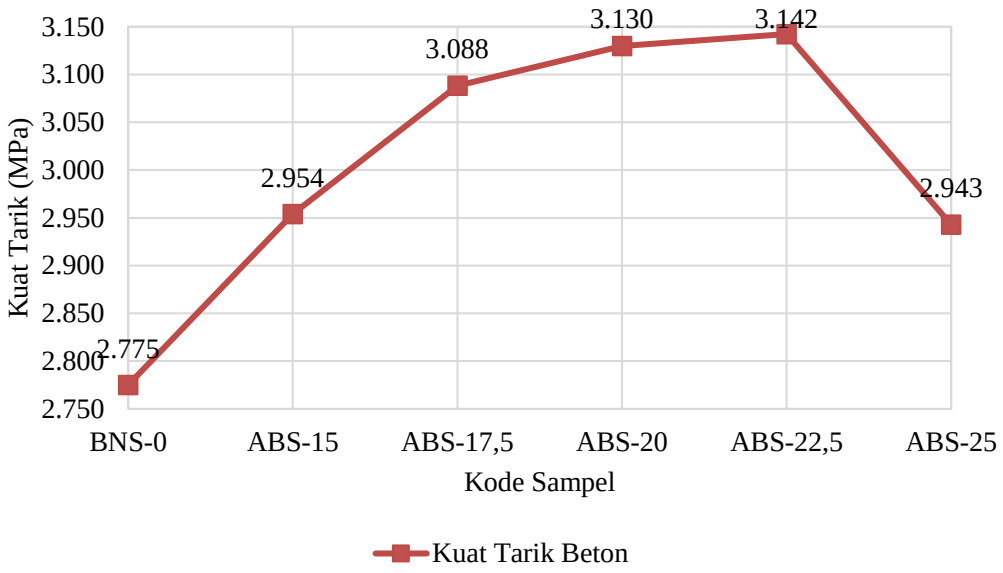
5.9 Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 28 hari. Terdapat 30 total sampel beton yang dibuat dengan 6 variasi. Adapun hasil rekapitulasi pengujian kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Kuat Tarik Belah Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji	Rerata Kuat Tarik Belah	Persentase Perubahan
(%)		(MPa)	(%)
0	BNS-0	2,775	0%
15	ABS-15	2,954	6,45%
17,5	ABS-17,5	3,088	11,29%
20	ABS-20	3,130	12,79%
22,5	ABS-22,5	3,142	13,23%
25	ABS-25	2,943	6,05%

Berdasarkan hasil kuat tarik rerata pada Tabel 5.4 diatas, didapatkan nilai rerata kuat tarik pada persentase abu batu sebanyak 0%, 15%, 17,5%, 20%, 22,5%, dan 25% secara berturut turut sebesar 2,775 MPa, 2,954 MPa, 3,088 MPa, 3,130 MPa, 3,142 MPa, dan 2,943 MPa. Nilai-nilai tersebut dapat di plot menjadi grafik nilai rerata kuat tarik beton dan dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

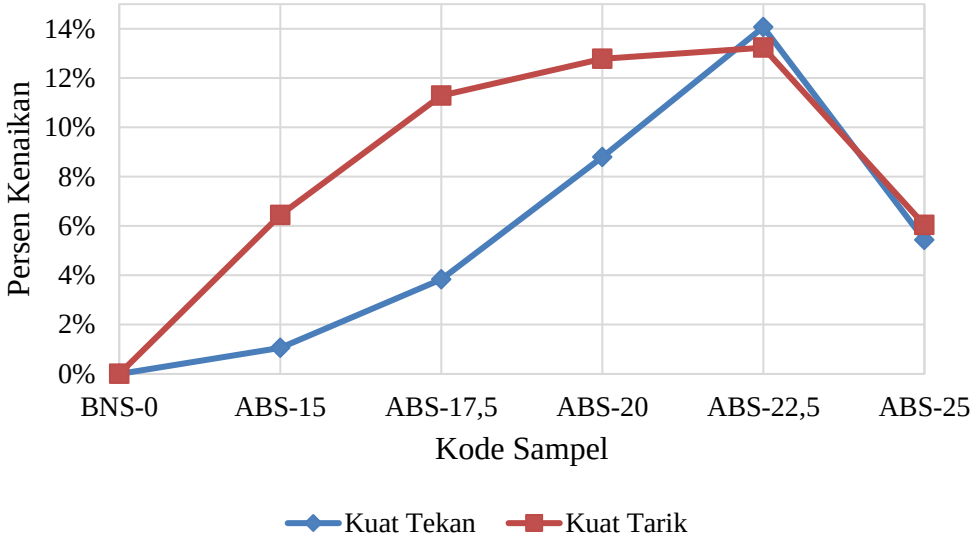


Gambar 5.4 Kuat Tarik Beton Setiap Variasi

Berdasarkan Gambar 5.4 diatas dapat dilihat bahwa benda uji ABS-15% dengan persentase perubahan sebesar 6,45%, mengalami peningkatan nilai kuat tarik belah dari beton normal dikarenakan akibat dari penambahan variasi abu batu. Penambahan kadar abu batu mengalami peningkatan optimum pada variasi ABS-22,5% sebesar 3,142 MPa dengan persentase perubahan sebesar 13,23%. Hal ini menunjukan bahwa abu batu berperan optimal sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat dengan baik sehingga dapat memperkuat ikatan antar partikel. Pada persentase abu batu ABS-25% sebesar 2,943 MPa dengan persentase perubahan 6,05%, mengalami penurunan yang disebabkan oleh agregat kasar yang tidak terikat kuat dengan pasta semen sehingga mudah terlepas pada saat menerima beban tarik. Selain itu, Letak dari agregat kasar tidak merata yang diakibatkan pemadatan yang kurang maksimal pada saat proses pembuatan beton. Oleh karena itu, dalam pengujian kuat tarik retakan lebih mudah menyebar melalui zona-zona lemah ini, sehingga kuat tarik dapat menurun secara signifikan.

5.10 Pembahasan Menyeluruh

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, didapatkan persentase perubahan masing-masing pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Persentase Kenaikan Hasil Pengujian Keseluruhan

Berdasarkan Gambar 5.5 diatas, terbukti bahwa hasil pengujian kuat tekan berbanding lurus dengan pengujian kuat tarik belah beton. Meskipun seluruh pengujian mengalami penurunan pada persentase ABS-25%, persentase kenaikan kuat tekan dan kuat tarik beton belah dengan bahan substitusi cenderung meningkat terhadap beton normal dengan kata lain tidak mengurangi mutu beton yang direncanakan.

Pada penelitian ini, ditemukan bahwa kadar persentase abu batu yang optimum yaitu pada kadar ABS-22,5%. Hal ini telah sesuai dengan tujuan penelitian yaitu substitusi agregat halus menggunakan abu batu dan penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebesar 0,5%, dapat meningkatkan kinerja beton $f'c$ = 41,4 MPa sehingga telah memenuhi persyaratan beton mutu tinggi sesuai dengan SNI 03-6468-2000.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdapat kesimpulan dari hasil penelitian benda uji dan saran terhadap hal-hal yang terkait dengan penggunaan substitusi abu batu dan bahan tambah *Superplasticizer* terhadap kuat tekan dan kuat tarik yang dijadikan sebagai anjuran bagi peneliti selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada interval 2,5%, nilai rerata kuat tekan optimum substitusi agregat halus dengan abu batu pada campuran beton yang menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen yaitu pada kadar 22,5% sebesar 48,831 MPa. Sedangkan nilai rerata kuat tarik optimum pada kadar 22,5% sebesar 3,142 MPa.
2. Pada interval 2,5%, kadar optimum substitusi agregat halus dengan abu batu pada campuran beton yang menggunakan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* sebanyak 0,5% dari berat semen adalah 22,5%.

6.2 Saran

Dari pembahasan dan kesimpulan yang telah didapatkan, masih terdapat kekurangan dan perlu adanya pengembangan dari penelitian selanjutnya agar mendapat hasil yang baik. Terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan interval kadar abu batu lebih rapat, seperti 1% atau 1,5% di sekitar kadar 22,5% untuk mendapatkan nilai kekuatan optimum dengan konsentrasi abu batu yang lebih spesifik.
2. Proses pemadatan beton perlu dilakukan secara konsisten dengan menggunakan alat vibrator untuk mengurangi potensi kesalahan yang dapat

menurunkan kekuatan beton.

3. Penelitian ini perlu ditambahkan dengan memperhitungkan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan campuran beton.
4. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan menggunakan agregat dengan jenis yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Al mufid, A. (2020). Perencanaan Beton Mutu Tinggi (Kuat Tekan Besar) dengan Bahan Tambahan. *Jurnal Teknik, 1(2).*

Afif, A. (2018). *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004: Semen Portland. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990: Metode Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804-1998: Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1970-2008). SNI 1970:2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996: Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm). *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-6468-2000: Tata Cara Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abu Terbang. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1972-2008). SNI 1972-2008: Cara Uji Slump Beton. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-4810-1998: Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Lapangan. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (1974-2011). SNI 1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2491:2014). SNI 2491:2014: Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2491-2002: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *BSN. Jakarta.*

Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011: Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *BSN. Jakarta.*

Departemen Pekerjaan Umum. (1989). SK SNI T-15-1990-03: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. *Yayasan LPMP. Bandung.*

Departemen Pekerjaan Umum. (1991). SNI 03-2495-1991: Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton. *Yayasan LPMP. Bandung.*

Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971: N. I – 2. *Yayasan LPMP. Bandung.*

Dipohusodo, Istimawan. (1994). Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

Ivanov, P. (2020). *Pengaruh Waktu Perawatan Terhadap Kuat Desak Beton Mutu Tinggi.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Jianxin Ma dan Jörg Dietz. (2002). *Ultra High Performance Self Compacting Concrete.* Institut Für Massivbau und Baustofftechnologie, Universität Leipzig.

Larrad, De. (1990). *A Method For Proportioning High Strength Concrete. Cement Concrete And Agregat*. Vol. 12 No,2 1990, pp.47-52

Martonagoro, Whisnu (2023). *Pengaruh Penggantian Agregat Halus dengan Debu Batu dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kemudahan Kerja, Serapan, dan Kuat Tekan Beton.* Universitas Islam Indonesia,

Yogyakarta.

Murdock, L. J. and Brook, K. M. (1991). Bahan dan Praktek Beton (Terjemahan Stephanus Hendarko). *Penerbit Erlangga.* Jakarta.

Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Andi Yogyakarta

Murdock, L., & Brook, K. M. (1986). Bahan dan Praktik Beton (Terjemahan Stephanus Hendarko). *Jakarta: Erlangga.*

Mulyati., dan Arkis, Z. 2020. Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*. 7(2). 78-84.

Nawy, E.G., (1985). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Refika Aditama. Bandung.

Neville, A. M., dan Brook, M. M. 1987. *Concrete Technology*. 2^{nd}ed. Pearson. Essex.

Pradhipta, R. (2022). *Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 Mpa.* Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Prajitno, Handi. (2007). *Sika Viscocrete Sebagai Disperan Sebagai Compacting Concrete*. Konferensi Nasional Teknik Sipil.

Permana, Iqbal. (2023). *Analisis Pengaruh Abu Batu sebagai Pengganti Agregat Halus dan Penambahan Damdex Terhadap Karakteristik Beton Keras*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Pujianto, A., Putro, T. R. Y. S., & Ariska, O. (2007). *Beton Mutu Tinggi Dengan Admixture Superplasticizer Dan Aditif Silicafume*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Rahamudin, R. H., Manalip, H., dan Mondoringin, M. 2006. Pengujian Kuat Tarik Belah dan Kuat Tarik Lentur Beton Ringan Beragregat Kasar (Batu Apung) dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Parsial Semen. Jurnal *Teknik Sipil Statik*. 4(3). 255-231.

Raswitaningrum, T. R., & Setiawan, R. F. A. (2019). *Pengaruh Abu Batu Terhadap Kuat Tekan Beton Pasca Pembakaran*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Sitorus, Lukas. (2022). *Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan Admixture Superplasticizer Viscocrete 3115N*. Universitas Sumatera Utara, Sumatra.

Supartono, F.X. (1998). *Mengenal dan Mengetahui Permasalahan Pada Produksi Beton Berkinerja Tinggi.* Artikel Ilmiah, Universitas Indonesia. Jakarta.

Subakti, A. (1994). *Teknologi Beton Dalam Praktek*. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.

Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton.* Teknologi Beton. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K. (1996). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Zakinah, Miftah Nur., Abidah, Andi., Rahman, Muhammad Junaedy. (2023). *Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Kombinasi Abu Batu Dan Fly Ash Sebagai Pengganti Agregat Halus*. Universitas Negeri Makassar, Makassar.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 075/Sek. Prodi PSTS/20/TA/IV/2024
Hal : **Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium**

Kepada Yth:
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Melalui surat ini kami memohon kepada pimpinan Jurusan Teknik Sipil untuk dapat memberikan bantuan memberikan izin penelitian yang akan digunakan untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

NO	NAMA MAHASISWA	NIM	JUDUL TUGAS AKHIR	NO CP MHS
1.	Devi Ekawati	20511348	Pengaruh Substitusi Parsial Agregat Halus Menggunakan Abu Batu Dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton Mutu Tinggi	088232722101
2.	Muhammad Angger Pangestu	20511086	Pengaruh Substitusi Agregat Kasar Dengan Limbah Keramik Pada Kuat Tekan Dan Tarik Beton	0898 4832 384

Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjamaan peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 26 April 2024

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN YOGYAKARTA

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

AGREGAT KASAR

(SNI 03-1969-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4923
Berat kerikil kondisi (SSD), gram	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3110
Berat jenis curah Bk / (5000 – Ba)	2,605
Berat jenis jenuh (SSD) 5000 / (5000 – Ba)	2,646
Berat jenis semu Bk / (Bk – Ba)	2,715
Penyerapan air (5000 – Bk) / Bk x 100%	1,564

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR

(SNI 03-1968-1990)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	1470	29,412	29,412	70,588
4,80	3104	62,105	91,517	8,483
2,40	359	7,183	98,699	1,301
1,20	0	0	98,699	1,301
0,60	0	0	98,699	1,301
0,30	0	0	98,699	1,301
0,15	0	0	98,699	1,301
Sisa	65	1,301	100	0
Jumlah	4998	100	614,426	-

Modulus Halus Butir $= \frac{614,426}{100}$

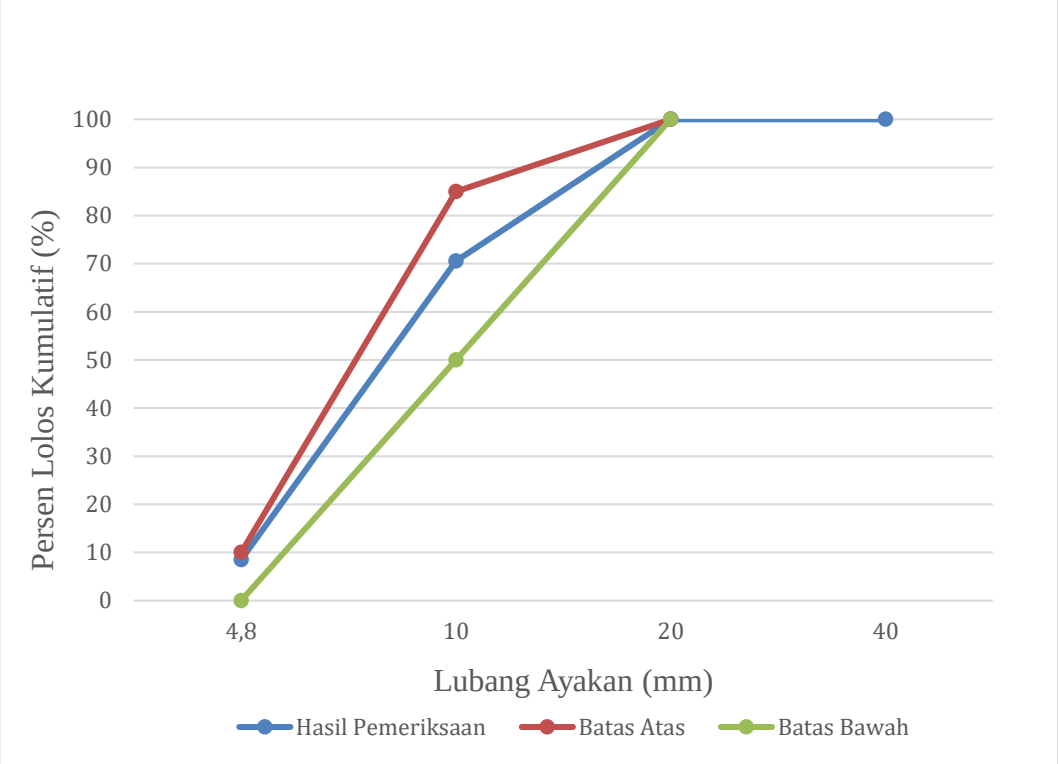
$= 6,144$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan		
	40 mm	20 mm	10 mm
40	95-100	100	-
20	30-70	95-100	100
10	10-35	25-100	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI-03-2834-2000

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10050	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	17400	gram
Berat agregat (W3)	7350	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,438	cm^3
Berat volume gembur	1,386	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Celereng, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	11334	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	19600	gram
Berat agregat (W3)	8266	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4376	cm^3
Berat volume padat	1,559	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

AGREGAT HALUS

(SNI 1970:2008)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	487
Berat pasir kondisi (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708
Berat jenis curah Bk / (B + 500 – Bt)	2,460
Berat jenis jenuh (SSD) 500 / (B + 500 – Bt)	2,525
Berat jenis semu Bk / (B + Bk – Bt)	2,632
Penyerapan air (500 – Bk) / Bk x 100%	2,669

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40,00				
20,00				
10,00				
4,80	0	0	0	100
2,40	82	4,108	4,108	95,892
1,20	351	17,585	21,693	78,307
0,60	417	20,892	42,585	57,415
0,30	508	25,451	68,321	31,964
0,15	345	17,285	85,321	14,679
Sisa	293	14,679	100	0
Jumlah	1996	100	221,743	-

Modulus Halus Butir $= \frac{221,743}{100}$

$= 2,217$

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI-03-2834-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

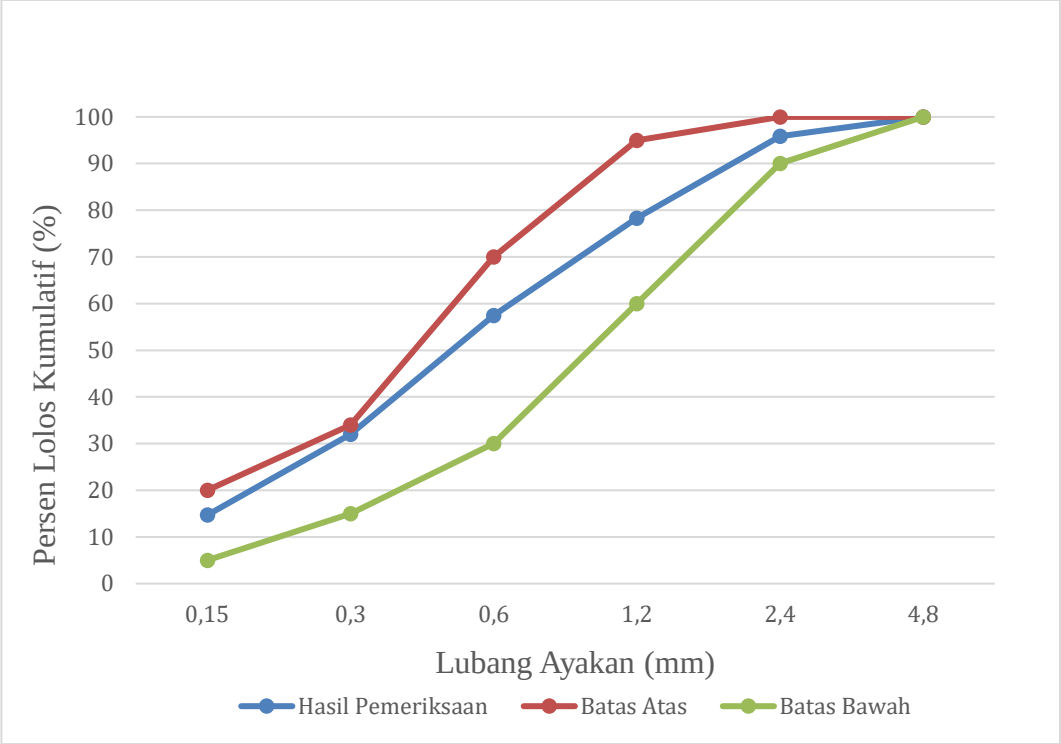
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah I

Jenis pasir : Pasir kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10050	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	17500	gram
Berat agregat (W3)	7450	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,438	cm^3
Berat volume gembur	1,405	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	11232	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	19532	gram
Berat agregat (W3)	8300	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4376	cm^3
Berat volume padat	1,566	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

(SNI 03-4142-1996)

Asal Pasir	Sungai Progo, Kulon Progo, DIY
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat kering awal (W1)	500	gram
Berat kering setelah dicuci (W2)	495	gram
Kadar lumpur	1	%

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR

ABU BATU

(SNI 1970:2008)

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	484
Berat pasir kondisi (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1020
Berat piknometer berisi air, gram (B)	715
Berat jenis curah Bk / (B + 500 – Bt)	2,491
Berat jenis jenuh (SSD) 500 / (B + 500 – Bt)	2,573
Berat jenis semu Bk / (B + Bk – Bt)	2,714
Penyerapan air (500 – Bk) / Bk x 100%	3,306

Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat tertinggal kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40,00				
20,00				
10,00				
4,80	0	0	0	100
2,40	148	7,404	7,404	92,596
1,20	296	14,807	22,211	77,789
0,60	394	19,710	41,921	58,079
0,30	415	20,760	62,681	37,319
0,15	445	22,261	84,942	15,058
Sisa	301	15,058	100	0
Jumlah	1999	100	219,160	-

Modulus Halus Butir $= \frac{219,160}{100}$

$= 2,192$

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI-03-2834-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

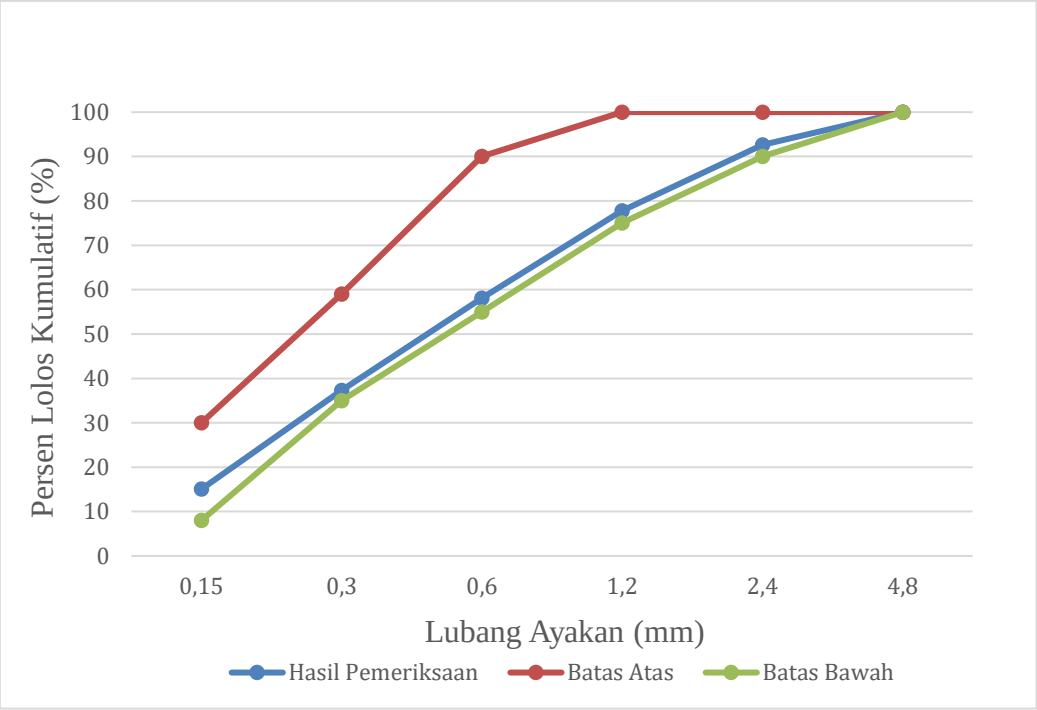
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah II

Jenis pasir : Pasir agak kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN ABU BATU



Diperiksa Oleh:

Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024

Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR ABU BATU

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10262	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	17250	gram
Berat agregat (W3)	6988	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,438	cm^3
Berat volume gembur	1,318	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT ABU BATU

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat tabung (W1)	10262	gram
Berat tabung + agregat SSD (W2)	18308	gram
Berat agregat (W3)	8046	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,4376	cm^3
Berat volume gembur	1,518	$gram/cm^3$

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM ABU BATU

(SNI 03-4142-1996)

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	**Berat Minimum**	**Keterangan**
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat kering awal (W1)	500	gram
Berat kering setelah dicuci (W2)	477	gram
Kadar lumpur	4,6	%

Diperiksa Oleh:
Laboran

(.....)

Yogyakarta, 03 Juni 2024
Dikerjakan Oleh:

(Devi Ekawati)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m^3)	(kg)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
0	BNS-0%	1	15,200	30,317	0,00550	12,953	2354,571	2377,514
		2	15,167	30,283	0,00547	12,955	2367,901	
		3	15,177	30,367	0,00549	12,999	2366,302	
		4	15,000	30,300	0,00535	13,139	2453,846	
		5	15,267	30,267	0,00554	12,992	2344,947	
		6	15,203	30,417	0,00552	12,985	2351,597	
		7	15,080	30,317	0,00541	12,985	2398,104	
		8	15,213	30,227	0,00549	12,956	2357,990	
		9	15,250	30,183	0,00551	13,152	2385,586	
		10	15,030	30,400	0,00539	12,927	2396,715	
15	ABS-15%	1	15,200	30,367	0,00551	13,125	2381,909	2374,522
		2	15,000	30,250	0,00535	12,799	2394,298	
		3	15,233	30,283	0,00552	12,929	2342,510	
		4	15,233	30,333	0,00553	13,090	2367,771	
		5	15,110	30,233	0,00542	12,933	2385,582	
		6	15,133	30,427	0,00547	13,142	2401,309	
		7	15,083	30,400	0,00543	12,568	2313,705	
		8	15,200	30,333	0,00550	12,962	2354,913	
		9	15,107	30,383	0,00545	13,107	2406,804	
		10	15,120	30,433	0,00546	13,095	2396,418	

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/m³)
17,5	ABS-17,5%	1	15,117	30,167	0,00541	12,956	2392,994	2373,668
		2	15,200	30,200	0,00548	12,785	2333,011	
		3	15,217	30,200	0,00548	12,867	2342,833	
		4	15,133	30,067	0,00541	12,875	2380,690	
		5	15,000	30,127	0,00532	12,873	2418,000	
		6	15,167	30,417	0,00550	12,756	2321,308	
		7	15,100	30,433	0,00545	12,956	2377,265	
		8	15,100	30,333	0,00543	12,895	2373,873	
		9	15,033	30,333	0,00538	12,985	2411,689	
		10	15,050	30,077	0,00535	12,761	2385,021	
20	ABS-20%	1	15,067	30,100	0,00537	12,873	2385,772	2371,123
		2	15,067	30,183	0,00540	12,604	2333,893	
		3	15,093	30,167	0,00536	12,559	2344,416	
		4	15,037	30,230	0,00534	12,812	2398,316	
		5	15,080	30,233	0,00540	12,877	2384,713	
		6	15,020	30,083	0,00533	12,715	2385,397	
		7	15,047	30,180	0,00537	12,861	2396,542	
		8	15,080	30,237	0,00540	12,815	2372,969	
		9	15,047	30,267	0,00538	12,743	2367,754	
		10	15,197	30,270	0,00549	12,784	2328,455	

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/m³)
22,5	ABS-22,5%	1	15,043	30,117	0,00535	12,703	2373,129	2370,415
		2	15,117	30,100	0,00540	12,685	2348,129	
		3	15,000	30,333	0,00536	12,900	2406,563	
		4	15,150	30,050	0,00542	12,711	2346,497	
		5	15,017	30,133	0,00534	12,700	2379,686	
		6	15,133	30,067	0,00541	12,786	2364,159	
		7	14,967	30,050	0,00529	12,785	2418,334	
		8	15,177	30,117	0,00545	12,751	2340,425	
		9	15,067	30,133	0,00537	12,700	2363,917	
		10	15,113	30,000	0,00538	12,719	2363,313	
25	ABS-25%	1	15,317	30,013	0,00553	12,685	2293,812	2348,479
		2	15,050	30,083	0,00535	12,785	2388,977	
		3	15,233	29,987	0,00547	12,685	2321,039	
		4	15,087	30,100	0,00538	12,657	2352,273	
		5	15,000	30,333	0,00536	12,781	2384,363	
		6	15,017	30,407	0,00539	12,619	2343,253	
		7	15,150	30,400	0,00548	12,654	2309,081	
		8	15,033	30,333	0,00538	12,715	2361,543	
		9	15,083	30,420	0,00544	12,758	2347,139	
		10	15,023	30,193	0,00535	12,756	2383,312	

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
0	BNS-0%	1	15,200	30,317	18145,839	752123	41,449	42,810
		2	15,167	30,283	18066,339	763215	42,245	
		3	15,177	30,367	18090,171	815654	45,088	
		4	15,000	30,300	17671,459	734830	41,583	
		5	15,267	30,267	18305,362	799654	43,684	
15	ABS-15%	1	15,200	30,367	18145,839	748364	41,242	43,263
		2	15,000	30,250	17671,459	741800	41,977	
		3	15,233	30,283	18225,513	795635	43,655	
		4	15,233	30,333	18225,513	815655	44,753	
		5	15,110	30,233	17931,590	801357	44,690	
17,5	ABS-17,5%	1	15,117	30,167	17947,417	796627	44,387	44,452
		2	15,200	30,200	18145,839	751640	41,422	
		3	15,217	30,200	18185,654	804987	44,265	
		4	15,133	30,067	17987,014	798021	44,367	
		5	15,000	30,127	17671,459	845080	47,822	
20	ABS-20%	1	15,067	30,100	17828,887	799548	44,846	46,576
		2	15,067	30,183	17892,054	878256	49,086	
		3	15,093	30,167	17757,958	745025	41,954	
		4	15,037	30,230	17671,459	852130	48,221	
		5	15,080	30,233	17860,457	871145	48,775	

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
22,5	ABS-22,5%	1	15,043	30,117	17773,708	895210	50,367	48,831
		2	15,117	30,100	17947,417	856147	47,703	
		3	15,000	30,333	17671,459	923890	52,281	
		4	15,150	30,050	18026,655	875125	48,546	
		5	15,017	30,133	17710,750	801547	45,258	
25	ABS-25%	1	15,317	30,013	18425,463	799150	43,372	45,135
		2	15,050	30,083	17789,465	813520	45,730	
		3	15,233	29,987	18225,513	825874	45,314	
		4	15,087	30,100	17876,252	820210	45,883	
		5	15,000	30,333	17671,459	801840	45,375	

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tarik	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm²)	(N)	(MPa)	(MPa)
0	BNS-0%	6	15,203	30,417	18153,799	182000	2,506	2,775
		7	15,080	30,317	17860,457	268000	3,723	
		8	15,213	30,227	18177,688	208000	2,880	
		9	15,250	30,183	18265,416	202000	2,794	
		10	15,030	30,400	17742,215	141000	1,965	
15	ABS-15%	6	15,133	30,427	17987,014	257000	3,553	2,954
		7	15,083	30,400	17868,354	253000	3,513	
		8	15,200	30,333	18145,839	248000	3,424	
		9	15,107	30,383	17923,680	146000	2,025	
		10	15,120	30,433	17955,333	163000	2,255	
17,5	ABS-17,5%	6	15,756	30,417	18066,339	211000	2,912	3,088
		7	15,100	30,433	17907,864	233000	3,228	
		8	15,100	30,333	17907,864	243000	3,377	
		9	15,033	30,333	17750,086	238000	3,323	
		10	15,050	30,077	17789,465	185000	2,602	
20	ABS-20%	6	15,020	30,083	17718,614	206000	2,902	3,130
		7	15,047	30,180	17781,585	212000	2,972	
		8	15,080	30,237	17860,457	210000	2,932	
		9	15,047	30,267	17781,585	244000	3,411	
		10	15,197	30,270	18137,881	248000	3,432	

Variasi Kadar Abu Batu	Kode Benda Uji		Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tarik	Rerata
(%)			(cm)	(cm)	(mm^2)	(N)	(MPa)	(MPa)
22,5	ABS-22,5%	6	15,133	30,067	17987,014	225000	3,148	3,142
		7	14,967	30,050	17593,006	224000	3,171	
		8	15,177	30,117	18090,171	212000	2,953	
		9	15,067	30,133	17828,887	248000	3,478	
		10	15,113	30,000	17939,503	211000	2,963	
25	ABS-25%	6	15,017	30,407	17710,750	180000	2,510	2,943
		7	15,150	30,400	18026,655	185000	2,557	
		8	15,033	30,333	17750,086	200000	2,792	
		9	15,083	30,420	17868,354	223000	3,094	
		10	15,023	30,193	17726,479	268000	3,761	

Lampiran 6 Dokumentasi Laboratorium



Gambar L-6.1 Alat Pengujian Kuat Tekan



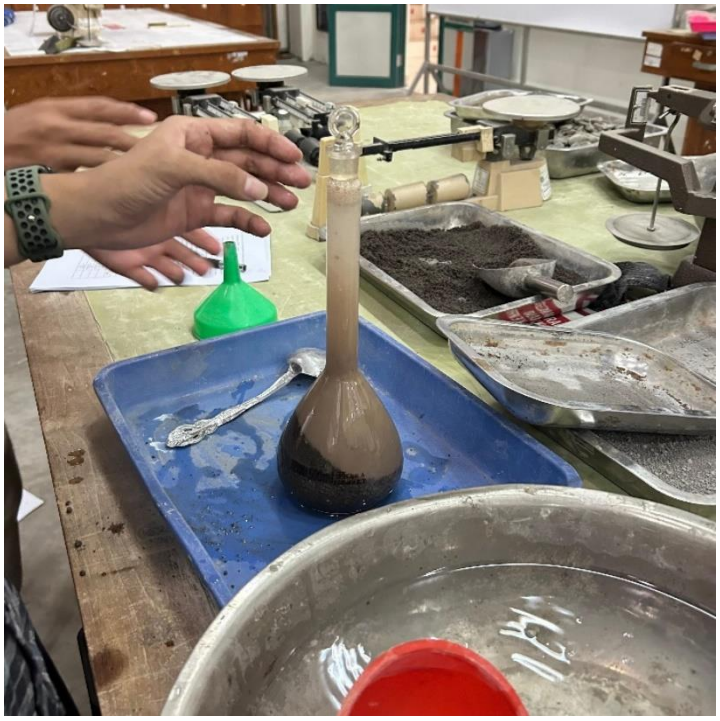
Gambar L-6.2 Alat Pengujian Kuat Tarik



Gambar L-6.3 Peralatan *Capping*



Gambar L-6.4 Proses Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Kasar



Gambar L-6.5 Proses Pemeriksaan Berat Jenis dan Daya Serap Air Agregat Halus



Gambar L-6.6 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus



Gambar L-6.7 Hasil Pengujian *Slump*



Gambar L-6.8 Pencetakan Benda Uji Silinder



Gambar L-6.9 Perawatan Benda Uji Silinder



Gambar L-6.10 Penimbangan Benda Uji Silinder Umur 28 Hari



Gambar L-6.11 Proses *Capping* Benda Uji Silinder



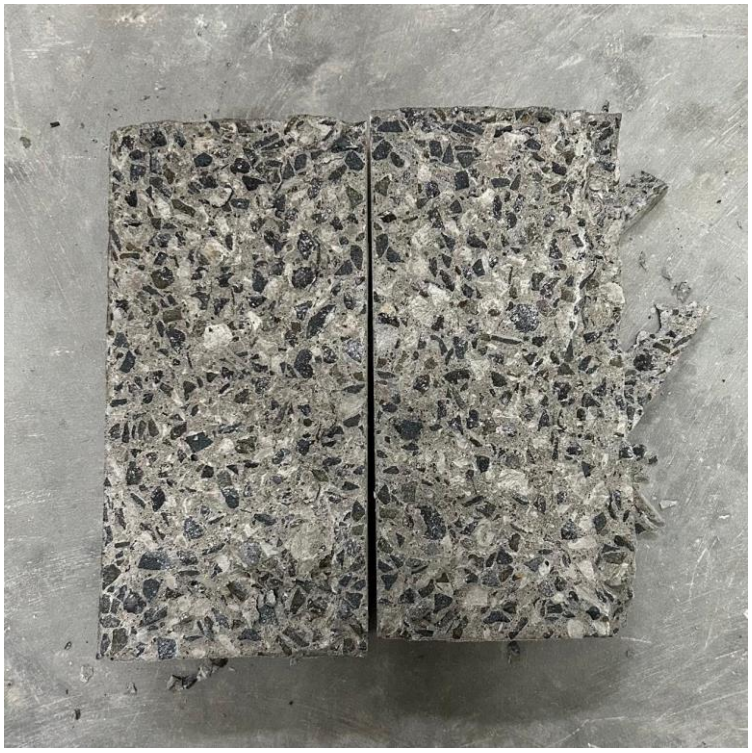
Gambar L-6.12 Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-6.13 Hasil Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-6.14 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar L-6.15 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Lampiran 7 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 126 / Ka.Lab/60/LBKT/X/2024

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama	: Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK	: 165111301
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama	: Devi Ekawati
N I M	: 20511348
Program Studi	: S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Ir. Helmy Akbar Bale, M. T.
Instansi	: Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS MENGGUNAKAN ABU BATU DAN PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON MUTU TINGGI"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya *).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 11 Oktober 2024

Disahkan oleh :
Kepala Laboratorium BKT

Astriana Hardawati, S. T., M. Eng

Didata oleh :
PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

*) Kwitansi/bukti transfer terlampir