

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENINGKATAN KUAT TEKAN BETON
TERHADAP UMUR BETON DENGAN
MENGUNAKAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN
SUBSTITUSI PARSIAL
(*ANALYSIS OF INCREASING THE COMPRESSIVE
STRENGTH OF CONCRETE ON THE AGE OF
CONCRETE USING FLY ASH AS A PARTIAL
SUBSTITUTION MATERIAL*)**

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



**Esha Muhammady
17511110**

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

2022

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENINGKATAN KUAT TEKAN BETON TERHADAP UMUR BETON DENGAN MENGUNAKAN *FLY ASH* SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PARSIAL (*ANALYSIS OF INCREASING THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE ON THE AGE OF CONCRETE USING FLY ASH AS A PARTIAL SUBSTITUTION MATERIAL*)

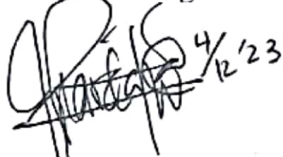
Disusun oleh
Esha Muhammady
17511110

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

Diuji pada tanggal 29 Desember 2022

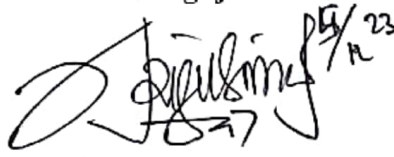
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



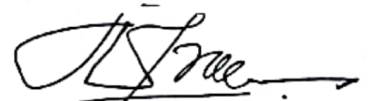
Astriana Hartawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji I



Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.
NIK: 185111304

Penguji II



Helmy Akbar Bale, Ir., M.T.
NIK: 885110105

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian 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 dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan 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, 29 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



Esha Muhammady

17511110

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Parsial. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan dari berbagai pihak, alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Ayahanda M.Israq dan Ibunda Herawati Meilani yang telah memberikan dukungan berupa doa, motivasi, dan fasilitas yang baik untuk penulis mengerjakan tugas akhir.
4. Semua teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 29 Desember 2022

Penulis,



Esha Muhammady

17511110

DAFTAR ISI

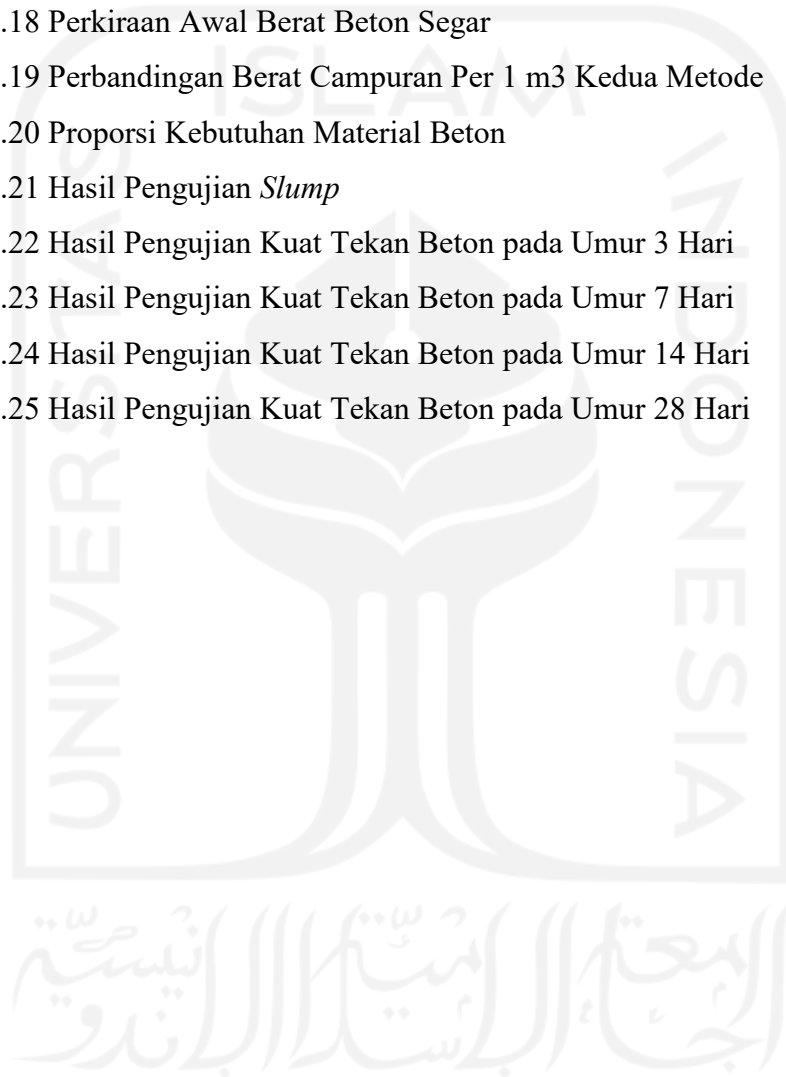
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
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
2.3 Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Beton	15
3.1.1 Pengertian Beton	15
3.1.2 Material-material Penyusun Beton	16
3.2 Perencanaan Desain Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	23
3.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Campuran Beton	23
3.2.2 Metode Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	26

3.3 Kuat Tekan Beton	29
BAB IV METODE PENELITIAN	32
4.1 Tinjauan Umum	32
4.2 Material benda uji	32
4.3 Peralatan Penelitian	33
4.4 Lokasi Penelitian	33
4.5 Keterangan Benda Uji	33
4.6 Pelaksanaan Penelitian	35
4.6.1 Pengujian Material Benda Uji	35
4.6.2 Pencetakan Benda Uji	39
4.6.3 Perawatan Benda Uji	40
4.6.4 Pengujian Kuat Tekan Beton	40
4.7 Alur Penelitian	40
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
5.1 Umum	43
5.2 Pengujian Agregat Kasar	43
5.3 Pengujian Agregat Halus	51
5.4 Perancangan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	58
5.5 Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji Beton	69
5.6 Pengujian <i>Slump</i> Beton	71
5.7 Pengujian Kuat Tekan Beton	74
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1 Kesimpulan	91
6.2 Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Rasio Kuat Tekan	7
Tabel 2.2	Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3.1	Komposisi Bahan Kimia Semen	17
Tabel 3.2	Persyaratan sifat kimiawi <i>fly ash</i>	22
Tabel 3.3	Persyaratan sifat fisik <i>fly ash</i>	22
Tabel 3.4	Nilai <i>Slump</i> yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi	26
Tabel 3.5	Perkiraan air pencampur dan kadar udara untuk berbagai <i>slump</i> dan ukuran nominal agregat maksimum batu pecah	26
Tabel 3.6	Hubungan antara rasio air-semen (w/c) atau rasio air-bahan bersifat semen ($(f/(c + p))$) dan kekuatan beton	27
Tabel 3.7	Volume agregat kasar per satuan volume beton	28
Tabel 3.8	Perkiraan awal berat beton segar	28
Tabel 4.1	Keterangan Benda Uji	34
Tabel 5.1	Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar Pengujian Pertama	45
Tabel 5.2	Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar Pengujian Kedua	46
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	48
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	49
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	49
Tabel 5.6	Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar	50
Tabel 5.7	Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus Pengujian Pertama	52
Tabel 5.8	Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus Pengujian Kedua	53
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	55
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	56
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	57
Tabel 5.12	Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus	58
Tabel 5.13	Standar Deviasi	59

Tabel 5.14 Nilai <i>Slump</i> yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi	60
Tabel 5.15 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai <i>Slump</i> dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah	60
Tabel 5.16 Hubungan Antara Rasio Air-semen	61
Tabel 5.17 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton	62
Tabel 5.18 Perkiraan Awal Berat Beton Segar	63
Tabel 5.19 Perbandingan Berat Campuran Per 1 m ³ Kedua Metode	64
Tabel 5.20 Proporsi Kebutuhan Material Beton	69
Tabel 5.21 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	71
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 3 Hari	75
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari	78
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari	81
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari	84



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	30
Gambar 4.1	Diagram <i>Flowchart</i> Alur Penelitian	42
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pengujian Pertama	47
Gambar 5.2	Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pengujian Kedua	47
Gambar 5.3	Grafik Gradasi Agregat Halus Pasir Agak Kasar Pengujian Pertama	54
Gambar 5.4	Grafik Gradasi Agregat Halus Pasir Agak Kasar Pengujian Kedua	55
Gambar 5.5	Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 3 Hari	77
Gambar 5.6	Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari	80
Gambar 5.7	Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari	83
Gambar 5.8	Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari	86
Gambar 5.9	Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Beton	85
Gambar 5.10	Grafik Rekapitulasi Peningkatan Kuat Tekan Beton	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan	96
Lampiran 2 Gambar Bahan yang Digunakan	102
Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji	105
Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Bahan	110
Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan Nilai <i>Slump</i>	127
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Beton	129



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A	= Luas penampang (mm ²)
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
CTM	= <i>Compressing Test Machine</i>
d	= Diameter tabung (mm)
DoE	= <i>Department of Environment</i>
F'c	= Kuat tekan beton (MPa)
F'cr	= Kuat tekan beton rencana (MPa)
M	= Nilai tambah (MPa)
MHB	= Modulus Halus Butir
n	= Banyaknya data dari kelompok nilai
P	= Beban maksimum (kN)
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
PLTU	= Pembangkit Listrik Tenaga Uap
S	= Standar deviasi (MPa)
SNI	= Standar Nasional Indonesia
S _a	= Berat Jenis Semu
S _d	= Berat Jenis Curah Kering
S _s	= Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan
S _w	= Penyerapan Air
t	= Tinggi tabung (mm)
v	= Volume tabung (mm ³)
x	= Suatu data dari kelompok nilai
σ	= Standar deviasi
μ	= Rata-rata suatu kelompok nilai

ABSTRAK

Fly ash merupakan salah satu material sisa akibat pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Berdasarkan penelitian sebelumnya, *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena *fly ash* memiliki beberapa kemiripan pada sifat-sifat semen seperti sifat fisik dan sifat kimia. *Fly ash* juga dapat meningkatkan mutu beton dengan berkurangnya penggunaan air pada semen dan berguna untuk mengurangi sebagian kadar semen pada campuran beton sehingga dari segi biaya akan lebih murah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proporsi penggantian semen dengan *fly ash* untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang optimum dan untuk mengetahui peningkatan nilai kuat tekan beton yang lebih cepat mencapai kuat tekan rencana berdasarkan lamanya umur beton.

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran menggunakan SNI 03-7656-2012 dengan kuat tekan rencana 20 MPa. Penelitian bertujuan untuk mengamati kuat tekan beton pada masing-masing variasi penggantian semen terhadap *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15% dari berat semen berdasarkan umur beton selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Kemudian membandingkan variasi *fly ash* mana yang lebih cepat mencapai kuat tekan rencananya berdasarkan lamanya umur beton. Benda uji berupa beton silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa proporsi dengan nilai kuat tekan yang optimum secara berturut-turut selama pengujian kuat tekan beton umur 3, 7, 14, dan 28 hari berada pada beton proporsi *fly ash* 12%. Variasi *fly ash* dengan peningkatan beton tercepat mencapai kuat tekan beton rencananya berada pada variasi 12% yaitu selama 16,35 hari. Dengan variasi tersebut dapat mempersingkat waktu selama 8,65 hari lebih awal apabila dibandingkan dengan beton dengan variasi *fly ash* 0% (beton normal). Hal tersebut menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dapat berpengaruh secara cukup signifikan terhadap nilai kuat tekan betonnya dan nilai peningkatan kuat tekan betonnya.

Kata kunci: beton, *fly ash*, umur beton, kuat tekan, peningkatan kuat tekan.

ABSTRACT

Fly ash is one of the residual materials resulting from burning coal from the Steam Power Plant. Based on previous research, fly ash can be used as a cement substitute because fly ash has some similarities in cement properties such as physical properties and chemical properties. Fly ash can also improve the quality of concrete by reducing the use of water in cement and is useful for reducing some of the cement content in the concrete mixture so that in terms of costs it will be cheaper. This research aims to determine the proportion of replacing cement with fly ash to obtain the optimum compressive strength of concrete and to determine the increase in the compressive strength of concrete which achieves the design compressive strength more quickly based on the age of concrete.

In this research, the mixed design used SNI 03-7656-2012 with a design compressive strength of 20 MPa. The aim of the study was to observe the compressive strength of concrete in each variation of cement replacement for fly ash as much as 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% and 15% by weight of cement based on concrete age for 3 days, 7 days, 14 days, and 28 days. Then compare which variation of fly ash achieves its design compressive strength faster based on concrete age. The test object is a cylindrical concrete with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm.

From this research, it was found that the proportion with the optimum compressive strength value respectively during the compressive strength test of concrete aged 3, 7, 14, and 28 days was in the proportion of 12% fly ash concrete. Variation of fly ash with the fastest increase in concrete to reach concrete compressive strength is planned to be at a variation of 12%, for 16.35 days. This variation shortens the time by 8.65 days earlier when compared to concrete with 0% fly ash variation (normal concrete). This shows that the partial replacement of cement with fly ash can have a significant effect on the value of the compressive strength of the concrete and the value of increasing the compressive strength of the concrete.

Keywords: concrete, fly ash, age of concrete, compressive strength, increasing the compressive strength.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di Indonesia semakin meningkat dari masa ke masa, khususnya di bidang teknologi bahan konstruksi. Perkembangan tersebut tentunya akan berpengaruh terhadap inovasi campuran bahan konstruksi yang salah satunya adalah beton. Inovasi-inovasi tersebut bertujuan untuk menciptakan beton yang memiliki mutu yang baik, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling populer di masyarakat. Keistimewaan beton adalah mudah dibentuk sesuai keinginan, memiliki nilai kuat tekan yang tinggi, memiliki ketahanan dalam jangka panjang dengan perawatan yang sederhana dan relatif murah karena menggunakan bahan dasar dari bahan lokal (Tjokrodinuljo, 1992). Beton adalah campuran yang terdiri dari semen, air, agregat kasar, agregat halus. Selain itu, beton juga dapat dicampurkan bahan tambah yang dapat menunjang kinerja beton contohnya pozolan seperti *fly ash*.

Fly ash merupakan salah satu material sisa akibat pembakaran batu bara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Dari tahun ke tahun, pembangunan infrastruktur dan tempat tinggal di Indonesia terus meningkat. Hal tersebut tentunya berpengaruh pada meningkatnya permintaan konsumsi listrik di daerah tersebut. Meningkatnya permintaan konsumsi listrik pada masyarakat akan berpengaruh pula terhadap jumlah sisa pembakaran batu bara. Semakin meningkatnya pembangunan di suatu daerah, maka semakin meningkat pula sisa pembakaran batu bara pada daerah tersebut.

Dari penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2020, didapatkan bahwa *fly ash* yang dihasilkan oleh PLTU berada pada tingkatan mutu tidak beracun dan berbahaya sehingga *fly ash* tersebut masuk ke dalam kategori limbah non B3. Limbah non B3 adalah istilah untuk

limbah yang tidak berbahaya dan beracun. Namun walaupun termasuk kategori limbah non B3, PLTU harus wajib memenuhi standar dan persyaratan teknis yang ditetapkan dalam persetujuan dokumen lingkungan.

Fly ash dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena *fly ash* memiliki beberapa kemiripan pada sifat-sifat semen seperti sifat fisik, sifat kimia dan sifat pozolan. *Fly ash* juga dapat meningkatkan mutu beton dengan berkurangnya penggunaan air pada semen dan berguna untuk mengurangi sebagian jumlah kadar semen pada campuran beton sehingga dari segi biaya akan lebih murah. Pengurangan sebagian kadar semen tersebut juga berguna untuk mengurangi panas hidrasi akibat dari reaksi semen. Panas hidrasi semen tersebut apabila terjadi berlebihan dapat menyebabkan keretakan pada beton sehingga dapat mengurangi mutu kekuatan beton.

Menurut Setiawati dan Imaduddin (2018), yang meneliti pengaruh *fly ash* terhadap campuran beton dengan variasi mulai dari 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5% dan 20% didapati bahwa campuran *fly ash* dengan variasi 12,5% menghasilkan kuat tekan maksimum dengan peningkatan kuat tekan sebesar 27,95% daripada beton normal pada umur beton usia 28 hari. Dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada variasi 15% terjadi penurunan kuat tekan beton sebesar 8,03% dan penurunan tersebut berbanding lurus dengan peningkatan variasi *fly ash* yang digunakan dalam campuran beton.

Dari hasil pengujian oleh Alfiandinata (2020), pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton, yaitu ditinjau terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser pada umur beton 28 hari dengan variasi penggantian *fly ash* sebanyak 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30% dari berat semen. Pada pengujian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan pada kuat tekan beton sebesar 6,757% pada variasi *fly ash* 20%. Penelitian tersebut juga memperkirakan proporsi optimum pada kuat tekan beton yang didapati pada variasi 12,727% yaitu sebesar 23,332 MPa

Menurut Afriandi (2018), perbandingan metode PBI N.I.-2 1971, SNI 03-2834-2000, SNI 03-3449-2002, dan SNI 7656-2012 menghasilkan nilai peningkatan kuat tekan beton normal yang berbeda pada hari yang sama terkecuali

pada hari ke-28. Pada penelitian lainnya, Setiawati dan Imaduddin (2018) serta Alfiandinata (2020) meneliti tentang perbandingan nilai kuat tekan beton normal dengan nilai kuat tekan beton yang sebagian semennya digantikan oleh *fly ash*. Dalam penelitian tersebut, diketahui bahwa adanya perbedaan penggunaan perencanaan campuran (*mix design*). Setiawati dan Imaduddin (2018) menggunakan *American Concrete Institute* (ACI) dan Alfiandinata (2020) menggunakan SNI 7656-2012. Dari kedua penelitian tersebut ditarik kesimpulan bahwa dengan variasi *fly ash* dan umur beton yang hampir sama menghasilkan nilai peningkatan kuat tekan beton yang berbeda. Hal ini dikarenakan penggunaan perencanaan campuran dari kedua penelitian tersebut berbeda.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pemilihan perencanaan campuran dan material yang berbeda juga akan berdampak pada nilai peningkatan kekuatan beton terhadap umur beton. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengamati peningkatan kuat tekan beton dengan campuran *fly ash* berdasarkan lamanya umur beton selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan menggunakan penggantian *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15% dari berat semen dengan menggunakan metode perencanaan campuran yaitu SNI 7656-2012. Adapun judul yang mempresentasikan penelitian tersebut yaitu Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan *Fly Ash* Sebagai Bahan Substitusi Parsial.

1.2 Rumusan Masalah

Identifikasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berapakah proporsi penggantian semen dengan *fly ash* untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang optimum?
2. Bagaimana peningkatan nilai kuat tekan beton yang lebih cepat mencapai kuat tekan rencana berdasarkan lamanya umur beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui proporsi penggantian semen dengan *fly ash* untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang optimum.
2. Untuk mengetahui peningkatan nilai kuat tekan beton yang lebih cepat mencapai kuat tekan rencana berdasarkan lamanya umur beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengurangi jumlah limbah *fly ash* pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).
2. Menjadi bahan referensi ilmu pengetahuan teknik sipil khususnya di bidang bahan tambah pada campuran beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 7656-2012.
2. Kuat tekan beton rencana ($f'c$) senilai 20 MPa
3. Benda uji yang digunakan sebanyak 140 buah dengan cetakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
4. Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan yang dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.
5. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement Composite* (PCC) merek Tiga Roda.
6. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 19 mm dan berasal dari tambang batu di Clereng, Kabupaten Kulon Progo.
7. Agregat halus yang digunakan berasal dari Gunung Merapi, Kabupaten Sleman.
8. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil

Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

9. *Fly ash* yang digunakan berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kabupaten Ketapang.
10. Persentase penambahan *fly ash* pada beton adalah sebesar 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15%.
11. Pengujian material, perawatan beton, dan pengujian kuat tekan beton akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton adalah hasil kombinasi antara semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (batu), air tanpa atau dengan bahan tambahan (*admixtures*) dengan persentase masing-masing. Bahan tambahan adalah bahan yang bukan semen, agregat, ataupun air yang ditambahkan ke dalam campuran beton. Penggunaan bahan tambahan dapat mempengaruhi kualitas dari suatu beton. Bahan tambahan dapat dibedakan menjadi dua macam seperti bahan tambahan dengan sifat kimiawi dan bahan tambahan lainnya. Contoh dari bahan tambahan lainnya tersebut salah satunya adalah *fly ash*. *Fly ash* memiliki sifat pozolan yang hampir mirip dengan sifat fisik dan sifat kimia dari semen sehingga dengan tambahan air maka akan mengeras menjadi suatu zat padat seperti semen. Oleh karena itu, *fly ash* menjadi salah satu pilihan sebagai bahan tambahan yang diharapkan dapat meningkatkan kekuatan beton sekaligus dapat mengurangi limbah sisa pembakaran batu bara.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pada tinjauan pustaka ini, penulis mencantumkan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang topik bahasannya cukup relevan untuk dijadikan referensi dan tolok ukur dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

1. Pengaruh Faktor Umur Terhadap Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal, Beton Mutu Tinggi, dan Beton Ringan

Riko Fachri Afriandi (2018), dalam artikelnya melakukan penelitian tentang pengaruh faktor umur terhadap perbandingan kuat tekan beton normal, beton mutu tinggi, dan beton ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh faktor umur terhadap kuat tekan beton pada usia 3, 7, 14, 21, 28, dan 90 hari dengan perbandingan beton normal, beton mutu tinggi, dan beton

ringan. *Mix design* yang digunakan untuk beton normal yaitu menggunakan SNI 7656-2012 dan untuk beton ringan yaitu SNI 3449-2002. Hasil rasio dari ketiga jenis beton tersebut kemudian dibandingkan dengan ketetapan perkiraan kuat tekan berdasarkan umur beton yang sudah ditetapkan oleh PBI N.I.-2 1971 dan SNI 03-2834-2000. Hasil dari penelitian tersebut secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Rasio Kuat Tekan

Umur Beton (hari)	0	3	7	14	21	28	90
PBI N.I.-2 1971	0	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20
SNI 03-2834-2000	0	0,51	0,73	-	-	1,00	1,22
Beton Normal	0	0,60	0,70	0,82	0,90	1,00	1,07
Beton Mutu Tinggi	0	0,73	0,81	0,88	0,92	1,00	1,12
Beton Ringan	0	0,48	0,58	0,76	0,89	1,00	1,07

(Sumber: Afriandi, 2018)

2. *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton

Setiawati dan Imaduddin (2018), dalam jurnalnya melakukan penelitian tentang *fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Dalam penelitian ini digunakan penambahan *fly ash* dengan variasi sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20%. Perhitungan *mix design* menggunakan *American Concrete Institute* (ACI) dengan benda uji berbentuk kubus. Hasil dari penelitian ini adalah didapati bahwa pengaruh campuran *fly ash* sebagai bahan tambah beton dengan variasi 12,5% menghasilkan peningkatan kekuatan beton sebesar 27,95% dengan nilai kuat tekan sebesar 404,73 Kg/cm². Dari penelitian ini didapati bahwa dengan variasi 15% peningkatan mutu beton mulai berkurang sebanyak 8,03% dari mutu beton normal. Pengurangan mutu beton tersebut juga semakin berkurang pada variasi yang lebih besar daripada 15% tersebut.

3. Analisis Penggunaan *Fly Ash* dan Limbah Karbit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton

Varit Henry Cahyo Wibowo (2019), dalam tugas akhirnya melakukan penelitian tentang analisis penggunaan *fly ash* dan limbah karbit sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap karakteristik beton. Alasan pencampuran *fly ash* dengan limbah karbit adalah karena *fly ash* tidak dapat bereaksi dengan air namun apabila dicampur dengan limbah karbit maka campuran tersebut dapat mengeras beberapa waktu. Dalam penelitian ini digunakan penggantian *fly ash* sebanyak 20%, 30%, dan 40% dari berat semen serta penggantian limbah karbit sebanyak 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% dari berat semen. Penelitian ini menguji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Penelitian ini menggunakan mutu rencana 25 MPa yang diuji pada umur 28 hari. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan bahwa pengaruh penggantian campuran *fly ash* dan limbah karbit terhadap berat semen untuk nilai tertinggi ditemukan pada campuran *fly ash* 20% dan limbah karbit 5% dengan kuat tekan sebesar 25,66 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,1 Mpa. Peneliti menyarankan bahwa penggantian semen terhadap material pengganti semen sebaiknya tidak lebih dari 25%. Peneliti juga menyarankan pengujian menggunakan satu material pengganti saja agar dapat diamati perilaku dari masing-masing material pengganti.

4. Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton

Alfiandinata (2020), dalam tugas akhirnya melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik beton. Dalam penelitian ini digunakan penambahan *fly ash* dengan persentase sebesar 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30%. Penelitian ini menguji kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat geser beton dengan perencanaan mix design menggunakan SNI 7656-2012. Kuat tekan rencana sebesar 20 MPa untuk beton umur 28 hari dengan benda uji berbentuk silinder. Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah kuat tekan beton maksimum terjadi pada *fly ash* variasi

20% yaitu sebesar 22,364 MPa dengan peningkatan sebesar 6,757% daripada beton normal. Dari penelitian tersebut peneliti juga menginterpolasikan nilai kuat tekan optimum yang didapati pada variasi 12.727% yaitu sebesar 23,332 MPa.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang ditemukan dari penelitian-penelitian sebelumnya maka dapat disimpulkan di Tabel 2.2 berikut ini.



Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Afriandi, Riko (2018)	Setiawati, Mira (2018)	Wibowo, Varit (2019)	Alfiandinata (2020)	Muhammady, Esha (2022)
Judul	Pengaruh Faktor Umur Terhadap Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal, Beton Mutu Tinggi, dan Beton Ringan	<i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton	Analisis Penggunaan <i>Fly Ash</i> dan Limbah Karbit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton	Pengaruh Penggunaan <i>Fly Ash</i> Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton	Analisis Peningkatan Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton Dengan Menggunakan <i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Substitusi Parsial

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Afriandi, Riko (2018)	Setiawati, Mira (2018)	Wibowo, Varit (2019)	Alfiandinata (2020)	Muhammady, Esha (2022)
Metode Pengujian	Pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan beton pada umur beton usia 3, 7, 14, 21, 28, 90 hari dengan perbandingan beton normal, beton mutu tinggi, dan beton ringan. Mix design yang digunakan untuk beton normal yaitu menggunakan SNI 7656-2012 dan	Perhitungan Mix Design menggunakan <i>American Concrete Institute (ACI)</i> dengan umur rencana 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan beton dengan penggantian <i>fly ash</i> sebesar 5%, 7,5%, 10%, dan	Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton pada umur rencana 28 hari dengan penggantian <i>fly ash</i> sebanyak 20%, 30%, dan 40% dari berat semen serta penggantian limbah karbit sebanyak 5%, 7,5%, 10%, 12,5%,	Perhitungan Mix Design menggunakan SNI 7656-2012 dengan umur rencana 28 hari. <i>Fly ash</i> yang digunakan yaitu <i>fly ash</i> kelas F. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat geser beton dengan penggantian <i>fly ash</i>	Perhitungan Mix Design menggunakan SNI 7656-2012 dengan umur rencana 3, 7, 14, dan 28 hari. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dengan penggantian <i>fly ash</i> sebesar 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15% daripada berat

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Afriandi, Riko (2018)	Setiawati, Mira (2018)	Wibowo, Varit (2019)	Alfiandinata (2020)	Muhammady, Esha (2022)
Metode Pengujian	untuk beton ringan yaitu SNI 03-3449-2002. Hasil rasio dari ketiga jenis beton tersebut kemudian dibandingkan dengan ketetapan perkiraan kuat tekan berdasarkan umur beton yang sudah ditetapkan oleh PBI N.I.-2 1971 dan SNI 03-2834-2000.	12,5% daripada berat semen.	dan 15% dari berat semen.	sebesar 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30% daripada berat semen.	semen.

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Afriandi, Riko (2018)	Setiawati, Mira (2018)	Wibowo, Varit (2019)	Alfiandinata (2020)	Muhammady, Esha (2022)
Hasil	Pada umur beton usia 3, 7, 14, 21 dan 90 hari, perbandingan rasio kuat tekan beton dari ketiga beton tersebut dengan PBI N.I.-2 1971 dan SNI 3-2834-2000 memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pada umur beton usia 28 hari, rasio	Penggantian <i>fly ash</i> sebesar 12,5% menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 404,73 Kg/cm ² dengan peningkatan kuat tekan beton sebesar 27,95% daripada beton normal pada umur beton 28 hari.	Penggantian campuran <i>fly ash</i> dan limbah karbit terhadap berat semen untuk nilai tertinggi ditemukan pada campuran <i>fly ash</i> 20% dan limbah karbit 5% dengan kuat tekan sebesar 25,66 MPa dan kuat tarik belah sebesar 2,1 Mpa.	Penggantian <i>fly ash</i> sebesar 20% menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu sebesar 22,364 MPa. Dari hasil interpolasi, didapati bahwa proporsi optimum penggunaan <i>fly ash</i> terletak pada variasi 12,727% yaitu sebesar 23,332 MPa	-

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian yang Akan Dilakukan Dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Afriandi, Riko (2018)	Setiawati, Mira (2018)	Wibowo, Varit (2019)	Alfiandinata (2020)	Muhammady, Esha (2022)
Hasil	kuat tekannya bernilai sama atau 1 karena pada umur 28 hari dijadikan acuan standar pengujian kuat tekan beton.				

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

3.1.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Tujuan dari penggunaan bahan tambahan adalah supaya mendapatkan kualitas beton yang lebih baik daripada beton yang tidak menggunakan bahan tambahan. Beton memiliki beberapa keunggulannya sendiri, antara lain yaitu :

1. Memiliki kuat tekan yang cukup tinggi, sehingga apabila digabungkan dengan tulangan baja maka kombinasi tersebut mampu digunakan untuk struktur berat. Karena beton dan tulangan baja memiliki koefisien yang hampir sama.
2. Merupakan bahan yang awet, tahan karat, tahan aus, dan tahan aus sehingga biaya perawatannya cukup murah.
3. Harganya yang relatif terjangkau karena menggunakan material-material dasar yang biasanya dapat ditemukan di sekitara lokasi pembangunan.
4. Campuran beton segar dapat dicetak dengan ukuran dan bentuk sesuai yang sesuai dengan keinginan. Cetakannya juga dapat digunakan berulang kali sehingga dari segi biaya dapat dikatakan cukup murah.

Walaupun memiliki keunggulan, namun beton juga memiliki kekurangannya sendiri, antara lain yaitu :

1. Memiliki kuat tarik yang rendah, sehingga mudah getas dan retak. Untuk menutupi kekurangan tersebut, diperlukan cara-cara untuk mengatasinya yaitu seperti menambahkan tulangan baja, bahan tambahan, dan sebagainya.
2. Material penyusun beton memiliki bentuk dan mutu yang berbeda-beda tergantung dari lokasi pengambilan materialnya, sehingga metode perencanaan dan pembuatannya dapat bervariasi pula.

3. Beton memiliki beberapa klasifikasi mutunya masing-masing yang harus disesuaikan dengan bagian-bagian bangunan yang diperlukan, sehingga metode perencanaan dan pembuatannya dapat bervariasi.

Material dasar yang begitu beragam untuk pembuatan beton juga banyak ditemukan di sekitar kita. Hal tersebut merupakan tantangan bagi peneliti untuk mempelajari metode mengolah material dasar yang beragam tersebut menjadi beton yang sesuai dengan klasifikasi mutu yang diinginkan. Pembuatan beton yang bermutu baik tentunya tidak sesederhana hanya mencampurkan material-material dasarnya saja, namun juga harus memenuhi persyaratan yang sesuai seperti metode-metode untuk mendapatkan adukan beton segar yang harus diperhitungkan dengan tepat. Beton segar yang baik adalah beton yang bisa diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Beton segar yang baik juga tidak memiliki kecenderungan untuk mengalami bleeding (keluarnya air dan semen dari campuran beton) dan segregasi (terpisahnya agregat dari campuran beton). Hal tersebut dikarenakan dapat membuat mutu beton menjadi kurang baik. Beton yang baik adalah beton yang kuat, awet, tahan air, tahan aus, dan memiliki kembang susut yang kecil.

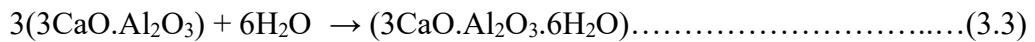
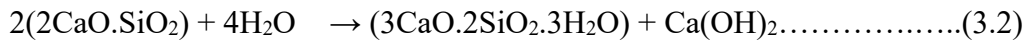
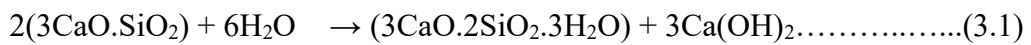
3.1.2 Material-material Penyusun Beton

Campuran beton memiliki beragam material dan bahan tambahan, antara lain :

1. Semen

Semen merupakan material perekat yang berfungsi untuk merekatkan material-material pengisi (agregat kasar dan agregat halus). Saat ini, semen portland merupakan salah satu semen yang banyak digunakan di bidang konstruksi. Menurut SNI 15-2049-2013, Semen portland adalah semen yang didapatkan dengan metode menggiling terak semen portland yang mengandung kalsium silikat (CaSiO_3) kemudian digiling bersamaan dengan bahan tambahan berbentuk kristal senyawa kalsium dan juga ditambahkan dengan bahan tambahan lainnya. Beton dapat mengeras dan terbentuk akibat dari proses reaksi hidrasinya. persamaan reaksi hidrasi semen adalah sebagai

berikut.



Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa semen ketika ditambahkan air (H_2O), maka terbentuklah senyawa ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Senyawa tersebut juga dapat disebut dengan nama *tobermorite*. *Tobermorite* inilah yang menyebabkan semen dapat mengeras ketika ditambahkan air. Semen portland memiliki klasifikasi jenis dan penggunaannya masing-masing. Adapun klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Jenis I, yaitu semen portland yang penggunaannya tidak membutuhkan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Jenis II, yaitu semen portland yang penggunaannya membutuhkan daya tahan terhadap sulfat atau kalor hidrasi tingkat sedang.
- c. Jenis III, yaitu semen portland yang penggunaannya membutuhkan kekuatan tinggi pada tahapan awal setelah terjadinya pengikatan.
- d. Jenis IV, yaitu semen portland yang penggunaannya membutuhkan kalor hidrasi tingkat rendah
- e. Jenis V, yaitu semen portland yang penggunaannya membutuhkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

Semen terdiri dari beberapa unsur kimiawi. Komposisi dari bahan-bahan kimiawi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Unsur Kimia Semen

No	Uraian	Nilai (%)
1	Silika, SiO_2	17 - 25
2	Alumina, Al_2O_3	3 - 8
3	Besi, Fe_2O_3	0,5 - 6
4	Kapur, CaO	60 - 65
5	Magnesia, MgO	0,5 - 4

Lanjutan Tabel 3.1 Komposisi Bahan Kimia Semen

No	Uraian	Nilai (%)
6	Sulfur, SO ₃	1 - 2
7	Soda / potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

(sumber : Tjokrodinuljo, 2007)

Dari unsur-unsur tersebut, terdapat 4 senyawa yang penting perihal mutu beton. Adapun senyawa yang dimaksud adalah sebagai berikut.

- a. Trikalsium Silikat (C₃S), yaitu senyawa yang berpengaruh pada kekuatan beton sebelum umur 14 hari. Senyawa tersebut dalam beberapa waktu mengeras dengan cara melepas sebagian panas hidrasi.
- b. Dikalsium Silikat (C₂S), yaitu senyawa yang berpengaruh pada kekuatan beton sesudah 14 hari. Senyawa tersebut bereaksi secara lambat dengan pelepasan panas hidrasi yang perlahan. Namun jumlah C₂S yang tinggi dapat membuat semen sulit untuk mengeras.
- c. Trikalsium Aluminat (C₃A), yaitu senyawa yang menyebabkan semen mengalami panas hidrasi yang tinggi. Jumlah senyawa C₃A yang tinggi dapat mengurangi ketahanan semen terhadap senyawa sulfat.
- d. Tetrakalsium Aluminoforit (C₄AF), yaitu senyawa yang berperan untuk mempercepat reaksi dan menurunkan panas hidrasi dalam reaksi hidrasi semen.

2. Agregat

Agregat adalah material alami yang berperan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat pada umumnya mengisi hampir 70-75% dalam suatu campuran beton, sehingga kualitas agregat juga merupakan salah satu faktor penting dalam hal kualitas beton. Agregat tidak hanya sekadar material pasif yang berfungsi sebagai bahan pengisi saja, namun harus disadari bahwa agregat juga memiliki peran positif terhadap sifat-sifat beton, contohnya seperti ketahanan abrasi, stabilitas volume, dan ketahanan (*durability*). Bahkan sejumlah sifat fisik beton juga dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat, contohnya

seperti kalor jenis, kepadatan campuran, dan modulus elastisitas. Secara gradasi, agregat dibagi menjadi dua macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

a. Agregat Halus

Menurut SII.0052, agregat halus adalah agregat yang seluruh ukuran butirnya kurang dari 4,8 mm. Modulus kehalusan agregat halus berada di kisaran 1,5 - 3,8. Kadar lumpur agregat halus tidak boleh lebih dari 5% dan tidak hancur akibat dari pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan. Agregat halus umumnya berupa pasir. Penggunaan jumlah pasir yang terlalu sedikit (*undersanded*), akan menyebabkan beton mengalami keropos (segregasi). Sebaliknya, penggunaan jumlah pasir yang terlalu berlebihan (*oversanded*) juga akan menyebabkan beton menjadi kurang padat dan lebih banyak membutuhkan air. Persentase volume pasir umumnya sebesar 25 - 65% daripada total agregat (Nugraha dan Antoni, 2007).

b. Agregat Kasar

Menurut SII.0052, agregat kasar adalah agregat yang sebagian besar ukuran butirnya lebih dari 4,8 mm. Modulus kehalusan agregat kasar berada di kisaran 6 - 7. Kadar lumpur agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% dan tidak hancur akibat dari pengaruh cuaca seperti terik matahari dan hujan. Ukuran butir agregat kasar memiliki batasan nilai maksimum yang tercantum dalam ACI 318,1989:2-1 dan PB,1989:9. Batasan tersebut dikarenakan beberapa faktor, contohnya seperti, jarak bersih antar tulangan baja, dimensi pelat beton, dan jarak bidang samping cetakan beton. Adapun batasan-batasan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- 1) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih dari $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan baja.
- 2) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih dari $\frac{1}{3}$ tebal pelat.
- 3) Ukuran butir agregat kasar tidak lebih dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Dari batasan-batasan di atas, umumnya ukuran butir agregat kasar yang digunakan untuk beton bertulang adalah sebesar 10 mm, 20 mm, atau 40

mm. Jika ukuran butir agregat kasar lebih dari 40 mm, ukuran agregat tersebut boleh saja dipakai, asalkan syarat sudah disetujui dengan memperhatikan cara pemadatan beton (*consolidation*), kemudahan pengerjaan beton (*workability*) dan tidak membuat lubang udara atau sarang kerikil. Apabila perancangan beton tidak menggunakan tulangan baja, umumnya dipakai ukuran butir agregat sebesar 75 mm atau 150 mm (Tjokrodilmuljo, 2007).

3. Air

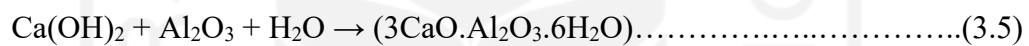
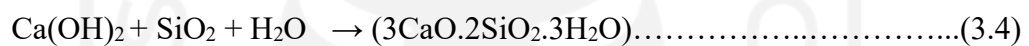
Air merupakan salah satu material yang mempengaruhi kualitas mutu beton sehingga dalam penggunaannya harus memenuhi persyaratan yang ada. Air berfungsi untuk melumasi material, memicu reaksi kimiawi semen, dan memudahkan pengerjaan beton (*workability*). Untuk mewujudkan terjadinya reaksi antara air dan semen, maka air yang dibutuhkan adalah sekitar 25-30 % dari berat semen, akan tetapi apabila nilai faktor air semennya di bawah dari 0,35 maka beton menjadi sulit dikerjakan. Sehingga biasanya patokan nilai faktor air-semen menggunakan nilai lebih dari 0,4. Penggunaan air yang terlalu banyak akan menyebabkan adanya gelembung air setelah proses hidrasi terjadi. Penggunaan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak sempurna yang nantinya akan memberi pengaruh terhadap kekuatan beton. Air yang direkomendasikan adalah air yang bersih dari alkali atau zat lain yang dapat merusak mutu beton dan atau tulangan baja. Adapun zat-zat lain yang masih diperbolehkan namun dibatasi tercantum pada SNI S-04-1989-F yaitu sebagai berikut:

- a. Tidak mengandung zat yang melayang secara visual seperti lumpur dan minyak lebih dari 2 gram/liter.
- b. Tidak mengandung garam yang larut dan merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
- c. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d. Tidak mengandung sulfat (SO₃) lebih dari 1 gram/liter.

4. Bahan Tambahan (*Fly Ash*)

Bahan tambahan adalah material yang dicampurkan ke dalam campuran beton

yang berfungsi sebagai bahan yang mempengaruhi sifat-sifat beton contohnya seperti untuk memperkuat beton, mempermudah pengerjaan, atau menghemat biaya. Bahan tambahan dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu bahan tambahan kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambahan mineral (*additive*). Pada kesempatan ini, penulis menggunakan bahan tambahan mineral yaitu *fly ash* sebagai bahan pengganti beberapa jumlah semen. Menurut ASTM C618, *fly ash* adalah zat sisa yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang berbentuk bubuk dan yang diangkut oleh gas pembuangan. *Fly ash* dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen karena *fly ash* memiliki beberapa kemiripan pada sifat-sifat semen seperti sifat fisik, sifat kimia dan sifat pozolan. Kemiripan tersebut juga ditemukan pada rumus reaksi hidrasinya, rumus tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa *fly ash* juga dapat menghasilkan *tobermorite* yang juga dihasilkan oleh semen ketika ditambahkan air, sehingga *fly ash* juga dapat digunakan sebagai bahan pengganti semen. Oleh karena itu, *fly ash* dapat berguna untuk mengurangi sebagian jumlah kadar semen pada campuran beton. Pengurangan sebagian kadar semen tersebut berguna untuk mengurangi panas hidrasi akibat dari reaksi semen. Panas hidrasi semen tersebut apabila terjadi berlebihan dapat menyebabkan keretakan pada beton sehingga dapat mengurangi mutu kekuatan beton. *Fly ash* memiliki klasifikasi dari sifatnya masing-masing. Adapun klasifikasi *fly ash* yang dimaksud adalah sebagai berikut.

- a. Kelas N, adalah *fly ash* yang dapat dikategorikan seperti tanah diatomik, tuff dan abu vulkanik, yang bisa diproses dengan pembakaran ataupun tanpa pembakaran. dan berbagai bahan yang membutuhkan kalsinasi untuk menghasilkan sifat yang memuaskan, seperti lempung (*clays*) dan *shales*.
- b. Kelas F, adalah *fly ash* yang biasanya dihasilkan dari pembakaran batu bara antrasit atau bituminus, tetapi juga dapat dihasilkan dari batu bara subbituminus dan lignit.

- c. Kelas C, adalah *fly ash* yang biasanya dihasilkan dari pembakaran batu bara lignit atau subbituminus, dan juga dapat dihasilkan dari batu bara antrasit atau bituminus. Kelas ini memiliki kandungan kalsium total, contohnya seperti kalsium oksida (CaO), yang lebih tinggi daripada *fly ash* kelas F. *Fly ash* memiliki persyaratan dari segi kimiawi maupun segi fisik yang tercantum pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.2 Persyaratan sifat kimiawi *fly ash*

Komponen	Kelas		
	N	F	C
Silikon dioksida (SiO ₂) ditambah aluminium oksida (Al ₂ O ₃) ditambah oksida besi (Fe ₂ O ₃), min, %	70,0	70,0	50,0
Sulfur trioksida (SO ₃), maks, %	4,0	5,0	5,0
Kadar air, maks, %	3,0	3,0	3,0
Kehilangan saat pembakaran, maks, %	10,0	6,0	6,0

(sumber : ASTM C618)

Tabel 3.3 Persyaratan sifat fisik *fly ash*

Komponen	Kelas		
	N	F	C
Kehalusan: Jumlah yang tertahan saat diayak basah pada ayakan no. 325, maks, %	34	34	34
Indeks aktivitas kekuatan: Dengan semen portland, pada 7 hari dan 28 hari, min, %	75	75	75
Kebutuhan air, maks, %	115	105	105
Ekspansi, maks, %	0,8	0,8	0,8

Lanjutan Tabel 3.3 Persyaratan sifat fisik *fly ash*

Komponen	Kelas		
	N	F	C
Persyaratan keseragaman: Kepadatan dan kehalusan sampel tidak boleh berbeda oleh rata-rata yang ditetapkan dari sepuluh pengujian sebelumnya, atau dari semua pengujian sebelumnya jika jumlahnya kurang dari sepuluh, lebih dari:			
Kepadatan, rata-rata maksimal, %	5	5	5
Persen dipertahankan pada ayakan no. 325, rata-rata maksimal, %	5	5	5

(sumber : ASTM C618)

3.2 Perencanaan Desain Campuran Beton (*Mix Design*)

Tujuan mempelajari sifat-sifat beton berguna untuk merencanakan campuran beton. Dengan pemilihan material-material yang baik dan pembagian proporsi pada masing-masing material yang tepat, tentunya akan berpengaruh pada kekuatan beton yang diinginkan. Tahapan perencanaan dapat dibagi menjadi tiga langkah. Langkah pertama yaitu mengumpulkan persyaratan dari pemakaian beton tersebut, ukuran penampangnya, kondisi lingkungan di sekitarnya, dan sebagainya. Setelah persyaratan tersebut diketahui maka dapat ditentukan langkah kedua yang berkaitan dengan dasar perencanaan campuran, seperti kuat rencana, ukuran agregat, *slump*, dan sebagainya. Dari langkah kedua tersebut maka dapat masuk ke langkah ketiga yaitu pemilihan metode yang dapat digunakan seperti dari SNI, ACI, DOE, dan lain-lain. Pemilihan metode perencanaan campuran tentunya memiliki persyaratan dan proporsi ideal materialnya masing-masing. Perbedaan tersebut juga memungkinkan terjadinya perbedaan peningkatan kekuatan beton.

3.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Campuran Beton

Kualitas mutu beton dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut I Gede Putu Joni (2017), faktor-faktor yang mempengaruhi proporsi campuran beton adalah

sebagai berikut.

1. Semen

Semen merupakan komponen penting dalam campuran beton karena berperan sebagai pengikat antara agregat-agregat. Oleh karena itu, semakin bagus kualitas semen maka semakin bagus pula kekuatan mutu betonnya. Berdasarkan ASTM, semen memiliki jenis dan keunggulannya masing-masing. Adapun jenis-jenis yang dimaksud dapat dilihat pada bagian **3.1.2 Material-material Penyusun Beton** sub bagian Semen. Banyaknya kadar semen akan meningkatkan kekuatan beton namun banyaknya kadar semen juga akan mengakibatkan penyusutan (*shrinkage*) yang besar sehingga akan muncul retakan pada beton. Jumlah minimum semen juga harus diperhatikan supaya dapat mengisi ruang di antara material pengisi. Apabila kadar semen minimumnya tidak tepat maka campuran beton akan berpori-pori dan tidak tahan lama sehingga kekuatan beton menjadi berkurang.

2. Agregat

Agregat yang memiliki kekerasan tinggi seperti batu pecah apabila digunakan dalam campuran beton, maka akan meningkatkan mutu beton. Jika agregat yang digunakan itu kurang keras dan berpori-pori, maka hal tersebut akan mengurangi mutu beton. Agregat juga harus memiliki permukaan yang kasar agar memudahkan daya lekat campuran semen pasir Beton yang terdiri dari gradasi agregat yang tepat, maka akan menghasilkan beton yang memiliki mutu baik. Beton dengan gradasi agregat yang kurang tepat akan membuat beton yang memiliki banyak pori-pori karena tidak masuknya agregat ke bagian kosong dari beton sehingga menghasilkan beton yang bermutu rendah. Agregat yang memiliki kotoran seperti debu dan lumpur, harus dihindari karena apabila digunakan akan mengurangi mutu beton. Kotoran tersebut biasanya berasal dari pecahan-pecahan alami yang tidak keras. Agregat yang berasal dari sungai biasanya mengandung kotoran-kotoran yang dapat merusak beton.

3. Metode pengadukan

Pengadukan beton yang baik adalah pada saat pengadukan, semua agregat

dapat mengisi bagian kosong sehingga tidak menimbulkan pori-pori pada campuran beton. Oleh karena itu, pengadukan yang baik juga akan meningkatkan mutu beton. Untuk mendapatkan adukan beton yang baik, umumnya digunakan mesin *mixer* atau molen. Selama proses pengadukan, kekentalan adukan beton juga harus diperhatikan dengan cara tes *slump* di setiap campuran baru. *Slump* akan menjadi parameter atas kecukupan jumlah air yang diberikan. Durasi adukan dipengaruhi oleh jenis agregat, banyak adukan, dan kapasitas mesin *mixer*.

4. Metode pemadatan

Kepadatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi agregat dan *workability* beton. Pemadatan yang baik adalah pemadatan yang merata masuk ke dalam tiap ruang kosong pada cetakan. Pemadatan dapat dilakukan dengan menggunakan alat, contohnya seperti palu karet. Penggetaran dihentikan apabila dirasa campuran beton sudah memasuki ruang kosong pada cetakan seluruhnya. Penggetaran yang berlebihan juga akan menyebabkan terjadinya segregasi. Segregasi tersebut dapat dilihat dengan timbulnya air pada permukaan beton yang digetarkan.

5. Pemeliharaan beton (*curing*)

Beton yang baru dicor akan mengalami penguapan sehingga air yang ada di dalam beton menjadi berkurang. Kekurangan air ini akan menyebabkan tidak sempurnanya proses hidrasi sehingga beton menjadi retak dan mengurangi mutu beton. Untuk menghindari dampak tersebut, dapat dilakukan tindakan yang berfungsi untuk menjaga kelembaban beton seperti menutup permukaan beton dengan terpal dan menyiram beton secara berkala disaat beton sudah mengeras.

6. Umur beton

Semakin bertambahnya umur beton, semakin bertambah pula kekerasan dan kekuatannya. Idealnya, beton diuji pada saat berumur 28 hari dikarenakan beton pada umur tersebut memiliki faktor konversi senilai 1 sehingga dapat dijadikan standar perhitungan kekuatan pada umur beton. Pada penelitian sebelumnya sudah ada penelitian tentang nilai faktor konversi terhadap umur

beton berdasarkan perbedaan perencanaan campuran. Adapun nilai tersebut dapat dilihat secara ringkas pada Tabel 2.1

3.2.2 Metode Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Mix design yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode SNI 7656-2012. Metode ini dipilih dikarenakan untuk mengembangkan penelitian terakhir yang hampir serupa (Alfiandinata, 2020) yang menggunakan metode SNI 7656-2012 dengan benda uji berupa beton normal. Adapun tahapan perencanaan campuran dengan metode tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tentukan *slump* yang diisyaratkan berdasarkan Tabel 3.4

Tabel 3.4 Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe Konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

2. Tentukan ukuran nominal maksimum agregat maksimum
3. Tentukan banyaknya air pencampur berdasarkan Tabel 3.5

Tabel 3.5 Perkiraan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai *Slump* dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113

Lanjutan Tabel 3.5 Perkiraan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai *Slump* dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

Air (kg/m³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

4. Tentukan rasio air-semen berdasarkan Tabel 3.6

Tabel 3.6 Hubungan antara Rasio Air-semen (w/c) atau Rasio Air-bahan Bersifat Semen ((f/(c + p)) dan Kekuatan Beton

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

5. Hitung kadar semen dengan cara air pencampur dibagi rasio air-semen
6. Hitung berat kering agregat dengan cara volume agregat kasar kering oven dibagi berat kering oven

Tabel 3.7 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus							
	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
19	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52
25	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61
50	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64
75	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68
150	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73

7. Perkirakan kadar agregat halus dari metode berdasarkan berat atau volume absolut. Bandingkan kedua metode tersebut kemudian gunakan nilai kadar agregat halus yang terbesar.

a) Berdasarkan berat

Perkiraan awal berat beton dapat dilihat pada Tabel 3.7 berdasarkan dari ukuran nominal maksimum agregat dan pengaruh udara pada campuran beton. Perkiraan awal tersebut digunakan untuk menentukan berat dari agregat halus yang didapat dari berat beton dikurangi dengan air, semen, dan agregat kasar.

Tabel 3.8 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

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

Lanjutan Tabel 3.8 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

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

b) Berdasarkan volume absolut

Satuan volume beton dikurangi dengan jumlah volume dari bahan-bahan yang telah diketahui seperti air, udara, dan agregat kasar. Volume beton sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

8. Sesuaikan kelembaban agregat, agregat-agregat harus diperhitungkan seberapa kandungan air yang ada di dalamnya. Umumnya agregat berada dalam kondisi lembab sehingga berat keringnya harus ditambah sesuai dengan banyaknya air yang di berada di dalam ataupun di permukaan agregat. Banyaknya jumlah air tersebut yang harus ditambahkan ke campuran harus dikurangi sejumlah air bebas yang ada di agregat yaitu jumlah air dikurang air yang terserap agregat.
9. Lakukan pengaturan campuran percobaan, proporsi hasil perhitungan harus diperiksa melalui pembuatan campuran percobaan yang diuji menurut SNI 03-2493-1991 atau sesuai dengan proporsi campuran di lapangan. Penggunaan air harus tepat menghasilkan *slump* yang disyaratkan disaat memilih proporsi percobaan. Perkirakan kembali berat beton segar untuk penyesuaian setara dengan berat beton segar dalam kg/m³ dari percobaan, ditambahi atau dikurangkan berdasarkan persentase perubahan kadar air campuran yang sudah disesuaikan.

3.3 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan

benda uji hancur apabila dibebani gaya tekan yang dihasilkan mesin uji tekan beton (SNI 03-1974-2011). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan :

F'_c = Kuat tekan beton, dalam satuan MPa atau N/mm²

P = Beban maksimum, dalam satuan N

A = Luas Penampang, dalam satuan mm²



Gambar 3.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-3403-1994, jumlah benda uji harus lebih dari 3 buah agar didapatkan data nilai kuat tekan yang bervariasi sehingga setelah dievaluasi, ditemukan kisaran nilai kuat tekan yang lebih tepat. Untuk mengevaluasi nilai kuat tekan beton digunakan metode perhitungan standar deviasi (σ). Dengan

metode standar deviasi akan didapatkan rentang nilai maksimum dan minimum dari rata-rata suatu kelompok nilai, sehingga didapatkan nilai yang cukup tepat untuk menyatakan nilai kuat tekan beton. Dari metode tersebut didapatkan nilai yang memasuki rentang nilai standar deviasi dan ada juga yang tidak memasuki rentang nilai standar deviasi. Apabila ditemukan jumlah nilai yang memasuki rentang nilai standar deviasi kurang dari 3 buah, maka rentang nilai standar deviasinya dinaikkan sampai jumlah nilai yang memasuki rentang nilai standar deviasi berjumlah 3 buah. Adapun rumus untuk menghitung standar deviasi adalah sebagai berikut.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan :

- σ = Standar deviasi
- x = Suatu data dari kelompok nilai
- μ = Rata-rata suatu kelompok nilai
- n = Banyaknya data dari kelompok nilai

Setelah diperoleh nilai kuat tekan beton, maka perhitungan peningkatan nilai kuat tekan beton dapat dilakukan dengan cara mencari titik singgung pada grafik antara garis nilai kuat tekan beton dan garis nilai kuat tekan rencananya sehingga diperoleh nilai variasi *fly ash* berapa yang mencapai kuat tekan rencana lebih cepat berdasarkan umur betonnya.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan oleh penulis untuk mengumpulkan dan menganalisis data-data yang berada dalam suatu ruang lingkup penelitian hingga mendapatkan hasil dari penelitian tersebut. Adapun uraian dari tahapan-tahapan penelitian yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Material benda uji
2. Peralatan penelitian
3. Lokasi penelitian
4. Keterangan benda uji
5. Pelaksanaan penelitian
6. Hasil penelitian

4.2 Material Benda Uji

Material yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Semen
Semen yang digunakan adalah Portland Cement Composite (PCC) merek Tiga Roda.
2. Agregat kasar
Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah yang berasal dari tambang batu di Clereng, Kabupaten Kulon Progo.
3. Agregat halus
Agregat halus yang digunakan adalah pasir yang berasal dari Gunung Merapi, Kabupaten Sleman.
4. Air
Air yang digunakan adalah air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

5. *Fly ash*

Fly ash yang digunakan berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kabupaten Ketapang.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Set ayakan/saringan
2. Oven
3. Timbangan
4. Mesin *Mixer*
5. Cetakan silinder berukuran 15 x 30 cm
6. Kerucut *Abrams*
7. Bak air
8. *Compression Testing Machine* (CTM)
9. Alat-alat pembantu seperti sekop, piknometer, penggaris, dan lain-lain

4.4 Lokasi Penelitian

Lokasi pengerjaan, perendaman, serta pengujian material dan benda uji beton akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

4.5 Keterangan Benda Uji

Pada penelitian ini terdapat tujuh variasi benda uji yang berbeda dengan jumlah masing-masing variasi yang sama berdasarkan besarnya persentase *fly ash* terhadap banyaknya volume semen yang digunakan ke dalam campuran beton. Variasi persentase *fly ash* yang digunakan untuk campuran beton adalah 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14% dan 15%. Adapun uraian keterangan dari masing-masing variasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji

Umur Beton (hari)	Kode Benda Uji	Penggantian <i>Fly Ash</i> Terhadap Berat Semen	Jumlah Benda (buah)
3	3 - 0%	0%	5
	3 - 10%	10%	5
	3 - 11%	11%	5
	3 - 12%	12%	5
	3 - 13%	13%	5
	3 - 14%	14%	5
	3 - 15%	15%	5
7	7 - 0%	0%	5
	7 - 10%	10%	5
	7 - 11%	11%	5
	7 - 12%	12%	5
	7 - 13%	13%	5
	7 - 14%	14%	5
	7 - 15%	15%	5
14	14 - 0%	0%	5
	14 - 10%	10%	5
	14 - 11%	11%	5
	14 - 12%	12%	5
	14 - 13%	13%	5
	14 - 14%	14%	5
	14 - 15%	15%	5

Lanjutan Tabel 4.1 Keterangan Benda Uji

Umur Beton (hari)	Kode Benda Uji	Penggantian <i>fly ash</i> terhadap berat semen	Jumlah Benda (buah)
28	28 - 0%	0%	5
	28 - 10%	10%	5
	28 - 11%	11%	5
	28 - 12%	12%	5
	28 - 13%	13%	5
	28 - 14%	14%	5
	28 - 15%	15%	5
Total			140

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan pada penelitian ini melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

4.6.1 Pengujian Material Benda Uji

Langkah-langkah pengujian material pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Agregat halus

Agregat halus harus dilakukan beberapa pengujian yang berguna untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang digunakan. Adapun beberapa pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

a. Analisis saringan

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1968-1990. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Ambil agregat halus seberat 1000 gram yang sebelumnya sudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 2) Masukkan agregat ke dalam satu set ayakan agregat dengan ukuran lubang ayakan yang paling besar berada paling atas berturut-turut hingga ayakan kecil berada paling bawah.

- 3) Getarkan ayakan dengan vibrator selama 15 menit.
- 4) Timbang agregat yang tertinggal pada setiap ayakan, lalu catat nilai berat agregat yang tertinggal pada ayakan.
- 5) Pastikan total berat agregat pada masing-masing ayakan harus kembali lagi kurang lebih seberat 1000 gram.

b. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1970-2008. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Siapkan agregat halus sekitar 1 kg lalu keringkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 2) Setelah dioven, rendam agregat ke dalam air selama 24 jam. Buang air tadi lalu keringkan di udara panas dengan cara membolak-balikkan agregat sampai kondisi kering permukaan jenuh.
- 3) Periksa kondisi kering permukaan jenuh dengan mengisikikan agregat ke dalam kerucut pancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali lalu rata permukaannya. Kondisi kering permukaan jenuh tercapai apabila kerucut diangkat, benda uji runtuh namun masih dalam kondisi tercetak.
- 4) Masukkan agregat dalam kondisi jenuh kering ke dalam piknometer sebanyak 500 gram lalu masukkan air sampai 90% isi piknometer. Putar-putar piknometer sampai gelembung udara didalamnya sudah tidak ada.
- 5) Timbang dan catat berat piknometer yang sudah berisi agregat dan air.
- 6) Keluarkan agregat tersebut lalu masukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 7) Keluarkan agregat tersebut dari oven lalu diamkan pada suhu ruangan selama kurang lebih 1 jam. Setelah suhu stabil, kemudian agregat tersebut ditimbang.
- 8) Isi penuh piknometer dengan air lalu timbang beratnya.

c. Kadar air

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1971-2011. Adapun

tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Ambil agregat halus dengan berat sesuai dengan ukuran maksimum agregat berdasarkan acuan dari SNI.
- 2) Masukkan agregat tersebut ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 3) Keluarkan agregat dari oven, kemudian timbang kembali agregat tersebut.

d. Berat Isi

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 4804-1998. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Siapkan cetakan beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian hitung volume dan timbang berat cetakan kosong tersebut.
- 2) Untuk kondisi padat, isi cetakan tersebut dengan agregat halus dalam kondisi jenuh kering muka, tiap $1/3$ volume lapisan ditusuk sebanyak 25 kali dengan batang besi hingga penuh, lalu timbang beratnya.
- 3) Untuk kondisi lepas, isi cetakan tersebut dengan agregat halus dalam kondisi jenuh kering muka hingga penuh tanpa ditusuk dengan batang penusuk, lalu timbang beratnya.

2. Agregat Kasar

Agregat kasar harus dilakukan beberapa pengujian yang berguna untuk mengetahui karakteristik agregat kasar yang digunakan. Adapun beberapa pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

a. Analisis saringan

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1968-1990. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Ambil agregat halus seberat 3000 gram yang sebelumnya sudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- 2) Masukkan agregat ke dalam satu set ayakan agregat dengan ukuran lubang ayakan yang paling besar berada paling atas berturut-turut hingga ayakan kecil berada paling bawah.
- 3) Getarkan ayakan dengan vibrator selama 15 menit.

- 4) Timbang agregat yang tertinggal pada setiap ayakan, lalu catat nilai berat agregat yang tertinggal pada ayakan.
- 5) Pastikan total berat agregat pada masing-masing ayakan harus kembali lagi kurang lebih seberat 3000 gram.

b. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1969-2008. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Saring agregat dengan ukuran ayakan yang direncanakan.
- 2) Bersihkan benda uji untuk menghilangkan kotoran dengan cara dicuci.
- 3) Keringkan agregat di dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 4) Keluarkan agregat dari oven dan diamkan pada suhu ruangan selama 1 jam kemudian ditimbang.
- 5) Sesuaikan beratnya dengan ketentuan yang ada di SNI berdasarkan ukuran maksimum agregatnya.
- 6) Rendam agregat di dalam air pada suhu ruangan selama 24 ± 4 jam.
- 7) Keluarkan dari air lalu lap dengan handuk sampai air pada permukaan menghilang dengan cara diguling-gulingkan.
- 8) Timbang agregat kering permukaan jenuh tersebut.
- 9) Masukkan agregat ke dalam keranjang kemudian goncangkan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan tentukan beratnya di dalam air.

c. Kadar air

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 1971-2011. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Ambil agregat kasar dengan berat sesuai dengan ukuran maksimum agregat berdasarkan acuan dari SNI.
- 2) Masukkan agregat tersebut ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 3) Keluarkan agregat dari oven, kemudian timbang kembali agregat tersebut.

d. Berat Isi

Pelaksanaan pengujian ini berdasarkan acuan dari SNI 4804-1998. Adapun tahapan pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

- 1) Siapkan cetakan beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kemudian hitung volume dan timbang berat cetakan kosong tersebut.
- 2) Untuk kondisi padat, isi cetakan tersebut dengan agregat kasar dalam kondisi jenuh kering muka, tiap 1/3 volume lapisan ditusuk sebanyak 25 kali dengan batang besi hingga penuh, lalu timbang beratnya.
- 3) Untuk kondisi lepas, isi cetakan tersebut dengan agregat kasar dalam kondisi jenuh kering muka hingga penuh tanpa ditusuk dengan batang penusuk, lalu timbang beratnya.

4.6.2 Pencetakan Benda Uji

Tahapan-tahapan pencetakan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Siapkan material benda uji seperti semen, *fly ash*, agregat kasar, agregat halus, dan air)
2. Siapkan alat-alat yang membantu pembetonan seperti loyang, timbangan, sekop, cetakan silinder, mesin *mixer*, dan lain-lain)
3. Masukkan agregat kasar dan halus ke dalam mesin *mixer* berdasarkan proporsi
4. Masukkan juga semen dan *fly ash* kemudian berikan air secara perlahan sesuai proporsi
5. Putar mesin mixer sampai campuran beton homogen
6. Keluarkan campuran beton tersebut dari *mixer* kemudian lakukan pengujian *slump*
7. Sebelum dimasukkan ke dalam cetakan, oleskan terlebih dahulu bagian permukaan dalam cetakan dengan menggunakan oli
8. Setelah dirasa sesuai dengan *slump* rencana, masukkan campuran beton setiap 1/3 bagian tinggi silinder dan lakukan perjokan sebanyak 25 kali pada tiap bagian tersebut untuk memadatkan beton
9. Pukul-pukul bagian luar cetakan dengan palu karet untuk menghilangkan rongga udara yang terperangkap di dalam cetakan
10. Lakukan tahap kedelapan dan kesembilan hingga campuran beton memenuhi

cetakan

11. Berikan keterangan benda uji pada cetakan tersebut
12. Diamkan hingga 24 jam, kemudian buka cetakan tersebut.

4.6.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji merupakan kegiatan untuk merawat beton dari beberapa kondisi yang mengurangi kekuatan beton. Perendaman ini berfungsi untuk mengurangi dampak panas hidrasi beton yang menyebabkan keretakan sehingga mengurangi kekuatan beton.

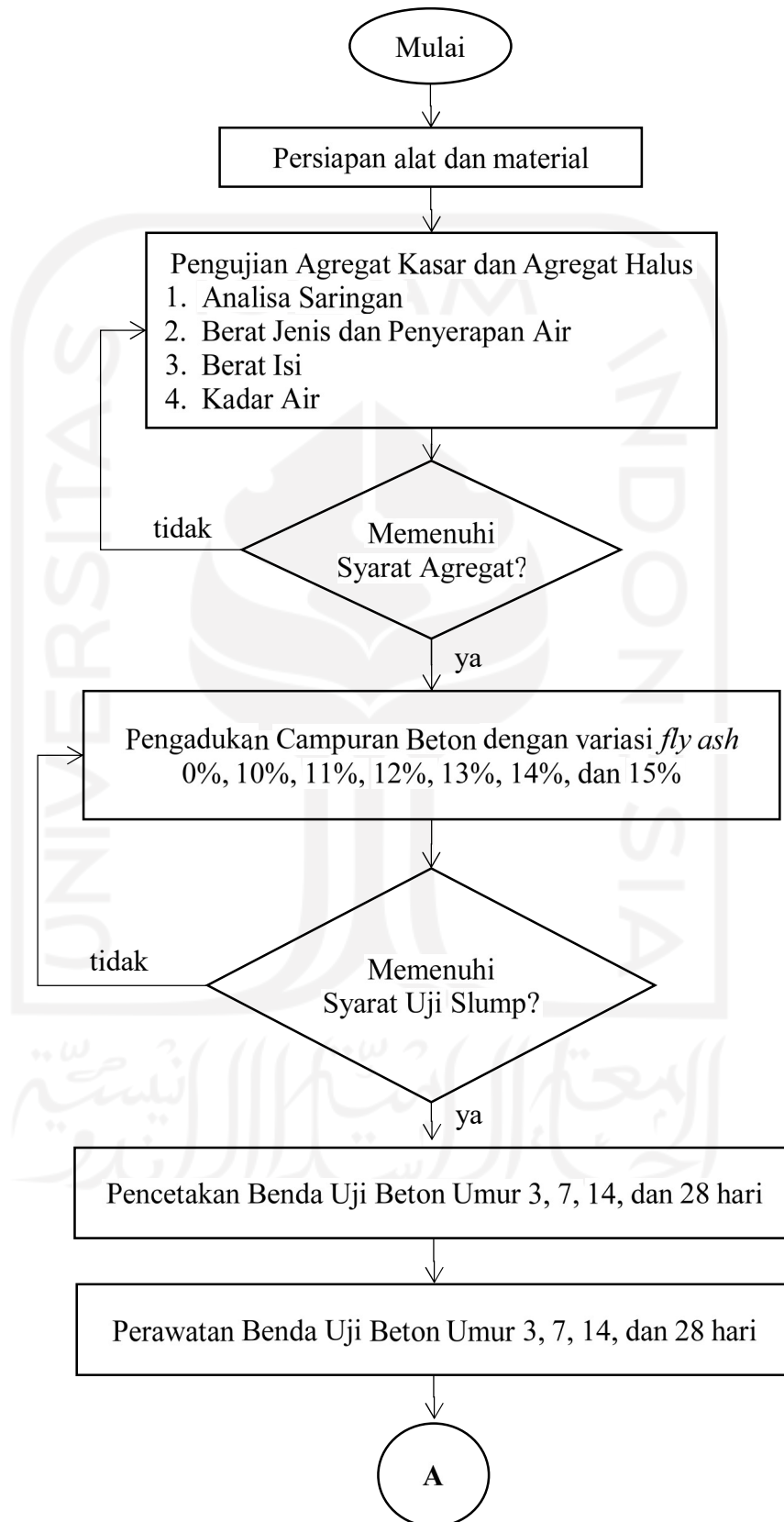
4.6.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

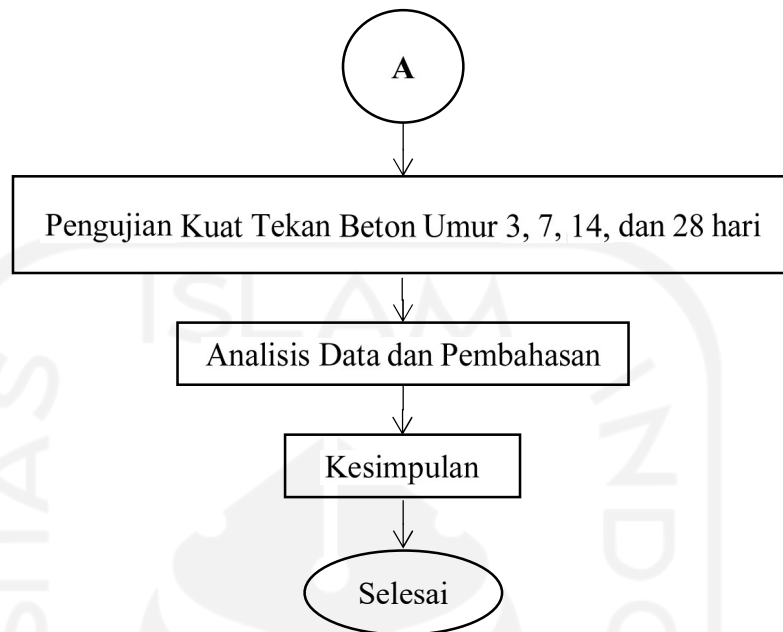
Tahapan-tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

1. Setelah beton direndam, keluarkan benda uji dari bak air kemudian lap permukaannya sampai kering
2. Timbang benda uji tersebut dan catat hasilnya
3. Letakkan benda uji ke dalam *compression testing machine*
4. Hidupkan mesinnya hingga dial pembacaan mesin berhenti atau benda uji sudah hancur
5. Catat nilai kuat tekan maksimumnya
6. Keluarkan benda uji

4.7 Alur Penelitian

Alur penelitian dapat diuraikan melalui Gambar 4.1 sebagai berikut.





Gambar 4.1 Diagram *Flowchart* Alur Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Proses pengujian secara menyeluruh dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun langkah-langkah pelaksanaan pengujian yang dilakukan guna mengetahui pengaruh *fly ash* pada kuat tekan beton berdasarkan umur betonnya adalah sebagai berikut :

1. Pengujian agregat kasar, meliputi analisa saringan, berat isi, kadar air, berat jenis dan penyerapan.
2. Pengujian agregat halus, meliputi analisa saringan, berat isi, kadar air, berat jenis dan penyerapan.
3. Pengujian *slump test* pada adonan beton sebagai acuan tingkat *workability*.
4. Pembuatan benda uji menggunakan cetakan silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
5. Perawatan benda uji dengan cara direndam ke dalam air (*curing*)
6. Pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.

5.2 Pengujian Agregat Kasar

Pada pengujian ini digunakan agregat kasar berupa batu pecah yang berasal dari tambang batu di Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Analisa agregat kasar yang dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Analisa Saringan Agregat Kasar

Dalam pengujian ini digunakan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm seberat 3000 gram berdasarkan SNI 03-1968-1990. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali guna mendapat data yang lebih valid. Adapun data yang didapatkan dalam pengujian analisa saringan agregat kasar ini adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal

Rumus Persentase tertinggal adalah sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Berat Total}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

$$\text{No. 19 mm, } (\%) \text{ Tertinggal} = \frac{121}{2992} \times 100\% = 4,04\%$$

$$\text{No. 9,6 mm, } (\%) \text{ Tertinggal} = \frac{1937}{2992} \times 100\% = 64,74\%$$

b. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Rumus Persentase berat tertinggal kumulatif adalah sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} = (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif Atas} + (\%) \text{ Berat Tertinggal}$$

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{No. 19 mm, } (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} &= 0\% + 4,04\% \\ &= 4,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{No. 9,6 mm, } (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} &= 4,04\% + 64,74\% \\ &= 68,78\% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Persentase Lolos Kumulatif

Rumus Persentase lolos kumulatif adalah sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif}$$

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

$$\text{No. 19 mm, } (\%) \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 4,04\% = 95,96\%$$

$$\text{No. 9,6 mm, } (\%) \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 68,78\% = 31,22\%$$

d. Perhitungan Modulus Halus Butir (MHB)

Rumus Modulus Halus Butir adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\text{Jumlah Tertinggal Kumulatif}}{100\%}$$

Data yang didapatkan pada pengujian pertama adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{664,51\%}{100\%} = 6,65$$

Data yang didapatkan pada pengujian kedua adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{654,64\%}{100\%} = 6,55$$

Adapun rekapitulasi dari keseluruhan perhitungan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 sebagai berikut.

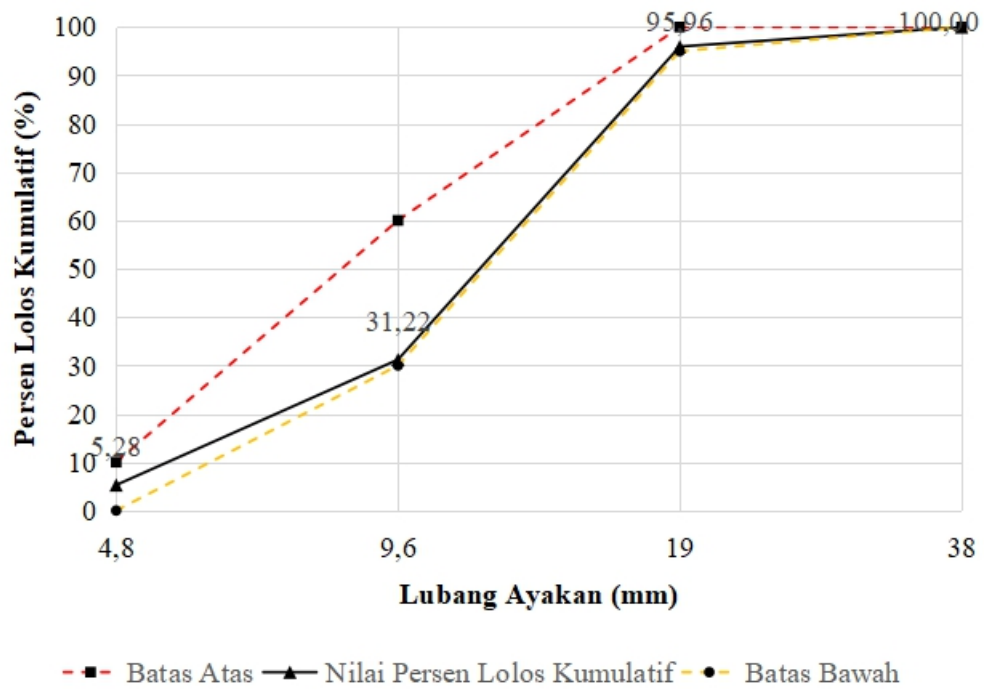
Tabel 5.1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar Pengujian Pertama

No. Saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas	Batas Bawah
38	0	0	0	100	100	100
19	121	4,04	4,04	95,96	100	95
9,6	1937	64,74	68,78	31,22	60	30
4,8	776	25,94	94,72	5,28	10	0
2,4	129	4,31	99,03	0,97	-	-
1,2	12	0,4	99,43	0,57	-	-
0,6	2	0,07	99,5	0,5	-	-
0,3	0	0	99,5	0,5	-	-
0,15	0	0	99,5	0,5	-	-
Sisa	15	0,5	100	0	-	-
Jumlah	2992	100	664,51	-	-	-
Modulus Halus Butir =			6,65			

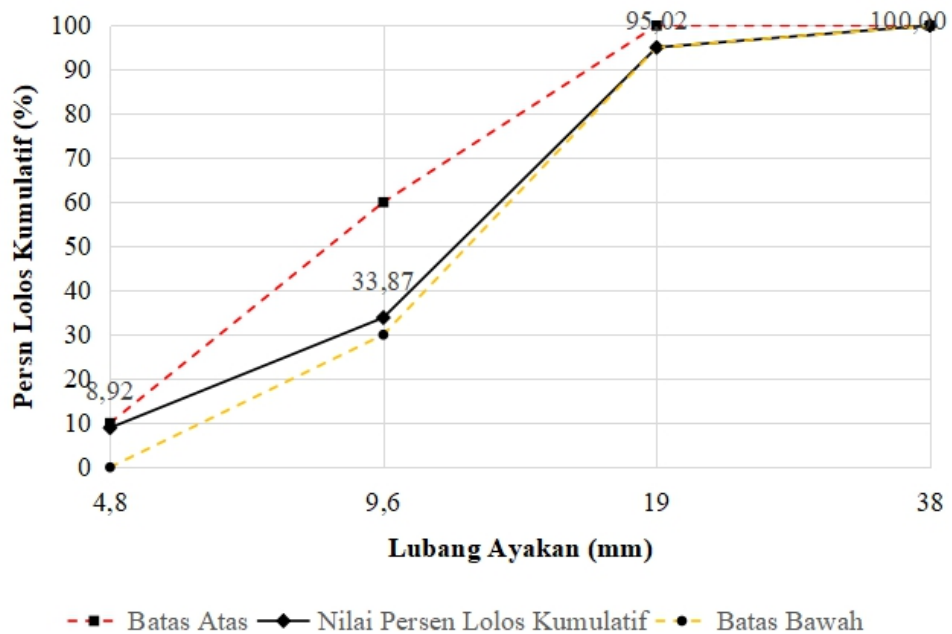
Tabel 5.2 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar Pengujian Kedua

No. Saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas	Batas Bawah
38	0	0	0	100	100	100
19	149	4,98	4,98	95,02	100	95
9,6	1831	61,16	66,13	33,87	60	30
4,8	747	24,95	91,08	8,92	10	0
2,4	171	5,71	96,79	3,21	-	-
1,2	46	1,54	98,33	1,67	-	-
0,6	15	0,5	99,83	1,17	-	-
0,3	11	0,37	99,2	0,8	-	-
0,15	3	0,1	99,3	0,7	-	-
Sisa	21	0,7	100	0	-	-
Jumlah	2994	100	654,64	-	-	-
Modulus Halus Butir =			6,55			

Dari kedua tabel tersebut didapatkan nilai modulus halus butir senilai 6,65 dan 6,55. Dari kedua nilai tersebut dapat dirata-ratakan untuk digunakan sebagai perwakilan nilai modulus halus butir yaitu sebesar 6,60. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir berkisar antara 6 - 7 dan nilai kadar lumpur tidak boleh lebih dari 1%, sehingga nilai-nilai yang telah didapatkan tersebut sudah memenuhi spesifikasi untuk dijadikan bahan campuran beton. Gradasi agregat kasar yang mengatur adanya batas atas dan batas bawah pada masing-masing ukuran maksimum agregat kasar mengacu pada SNI 03-2834-2000. Pada penelitian ini, digunakan batas atas dan batas bawah untuk ukuran agregat maksimum 20 mm. Untuk memperjelas batas atas, batas bawah, dan nilai persen lolos kumulatif yang diperoleh, dapat dilihat pada grafik di Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pengujian Pertama



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pengujian Kedua

2. Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi agregat kasar ini mengacu pada SNI 4804-1998 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

Uraian	Gembur		Padat	
	Pengujian		Pengujian	
	I	II	I	II
Berat Tabung (W1) (gram)	10837	6333	10837	6333
Berat Tabung + Agregat SSD (W2) (gram)	18685	14077	19236	14756
Berat Agregat (W3=W2-W1) (gram)	7848	7744	8399	8423
Volume Tabung (V) (cm ³)	5354,45	5372,36	5354,45	5372,36
Berat Isi (W3/V) (gram/cm ³)	1,47	1,44	1,57	1,57
Berat Isi Rata-rata	1,45		1,57	

Dari Tabel 5.3 diperoleh hasil nilai berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur yaitu sebesar 1,45 gram/cm³ dan nilai berat isi agregat kasar dalam kondisi padat yaitu sebesar 1,57 gram/cm³. Menurut SII 0052-80, nilai berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat yaitu minimal 1,2 gram/cm³ sehingga apabila dilihat dari nilai yang diperoleh dari Tabel 5.3, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai berat isi agregat kasar dalam kondisi gembur dan padat telah memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton.

3. Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air agregat kasar ini mengacu pada SNI 1971-2011 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Uraian	Pengujian	
	I	II
Massa Wadah + Benda Uji (gram)	3539	3552
Massa Wadah (gram)	339	352
Massa Benda Uji (W1) (gram)	3200	3200
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (gram)	3460	3490
Massa Benda Uji Kering Oven (W2) (gram)	3121	3138
Kadar Air Total ($P = ((W1 - W2) / W2) \times 100$) (%)	2,53	1,98
Kadar Air Total Rata-rata (%)	2,25	

Dari Tabel 5.4 diperoleh nilai kadar air agregat kasar yang akan digunakan ke dalam campuran beton yaitu senilai 2,25%

4. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini mengacu pada SNI 1969-2008 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	I	II	Rata-rata
Berat Benda Uji Kering Oven (A) (gram)	4892	4886	4889
Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan di Udara (B) (gram)	5000	5000	5000
Berat Benda Uji dalam Air (C) (gram)	3106	3077	3091.5
Berat Jenis Curah Kering ($S_d = A / (B - C)$)	2,58	2,54	2,56
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan ($S_s = B / (B - C)$)	2,64	2,60	2,62
Berat Jenis Semu ($S_a = A / (A - C)$)	2,74	2,70	2,72
Penyerapan Air ($S_w = ((B - A) / A) \times 100$) (%)	2,21	2,33	2,27

Dari Tabel 5.5 diperoleh hasil pengujian berat jenis curah kering senilai 2,56, berat jenis curah jenuh kering permukaan senilai 2,62, berat jenis semu senilai 2,72, dan penyerapan air senilai 2,27%. Menurut Tjokrodinuljo (2021), agregat normal memiliki nilai berat jenis antara 2,5 - 2,7 sehingga agregat kasar yang diuji secara keseluruhan dapat dikategorikan sebagai agregat normal.

Rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min	Maks		
1	Analisa Saringan Modulus Halus Butir	SNI 03-1968-1990	6	7	6,60	-
2	Berat Isi	SNI 4804-1998	1,2	-	1,45	gr/cm ³
	- Gembur				1,57	gr/cm ³
	- Padat					
3	Kadar Air	SNI 1971-2011	-	-	2,25	%
4	Berat Jenis	SNI 1969-2008	2,5	2,7	2,56	-
	- Curah Kering				2,62	-
	- Curah Jenuh Kering Permukaan				2,72	-
	- Semu				2,27	%
	- Penyerapan Air					

Berdasarkan Tabel 5.6 hasil rekapitulasi pengujian agregat kasar telah memenuhi spesifikasi untuk menjadi material campuran beton yang sudah ditentukan.

5.3 Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian ini digunakan agregat halus berupa pasir yang berasal dari Gunung Merapi, Kabupaten Sleman. Analisa agregat halus yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Analisa Saringan Agregat Halus

Dalam pengujian ini digunakan agregat halus seberat 1000 gram berdasarkan SNI 03-1968-1990. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali guna mendapat data yang lebih valid. Adapun data yang didapatkan dalam pengujian analisa saringan agregat halus ini adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal

Rumus Persentase tertinggal adalah sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\text{Berat Total}} \times 100\%$$

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

$$\text{No. 4,8 mm, } (\%) \text{ Tertinggal} = \frac{48}{996} \times 100\% = 4,82\%$$

$$\text{No. 2,4 mm, } (\%) \text{ Tertinggal} = \frac{79}{996} \times 100\% = 7,93\%$$

b. Perhitungan Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Rumus Persentase berat tertinggal kumulatif adalah sebagai berikut:

$$(\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} = (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif Atas} + (\%) \text{ Berat Tertinggal}$$

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{No. 4,8 mm, } (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} &= 0\% + 4,82\% \\ &= 4,82\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{No. 2,4 mm, } (\%) \text{ Berat Tertinggal Kumulatif} &= 4,82\% + 7,93\% \\ &= 12,75\% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Persentase Lolos Kumulatif

Rumus Persentase lolos kumulatif adalah sebagai berikut:

(%) Lolos Kumulatif = 100% - (%) Berat Tertinggal Kumulatif

Contoh perhitungan secara berurutan berdasarkan nomor saringannya adalah sebagai berikut:

No. 4,8 mm, (%) Lolos Kumulatif = 100% - 4,82% = 95,18%

No. 2,4 mm, (%) Lolos Kumulatif = 100% - 12,75% = 87,25%

d. Perhitungan Modulus Halus Butir (MHB)

Rumus Modulus Halus Butir adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\text{Jumlah Tertinggal Kumulatif}}{100\%}$$

Data yang didapatkan pada pengujian pertama adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{279,92\%}{100\%} = 2,80$$

Data yang didapatkan pada pengujian kedua adalah sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{281,49\%}{100\%} = 2,81$$

Adapun rekapitulasi dari keseluruhan perhitungan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus Pengujian Pertama

No. Saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas	Batas Bawah
10	0	0	0	100	100	100
4,8	48	4,82	4,82	95,18	100	90
2,4	79	7,93	12,75	87,25	100	75
1,2	201	20,18	32,93	67,07	90	55
0,6	241	24,20	57,13	42,87	59	35
0,3	197	19,78	76,91	23,09	30	8
0,15	184	18,47	95,38	4,62	10	0
Sisa	46	4,62	100	0	-	-

Tabel 5.7 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus Pengujian Pertama

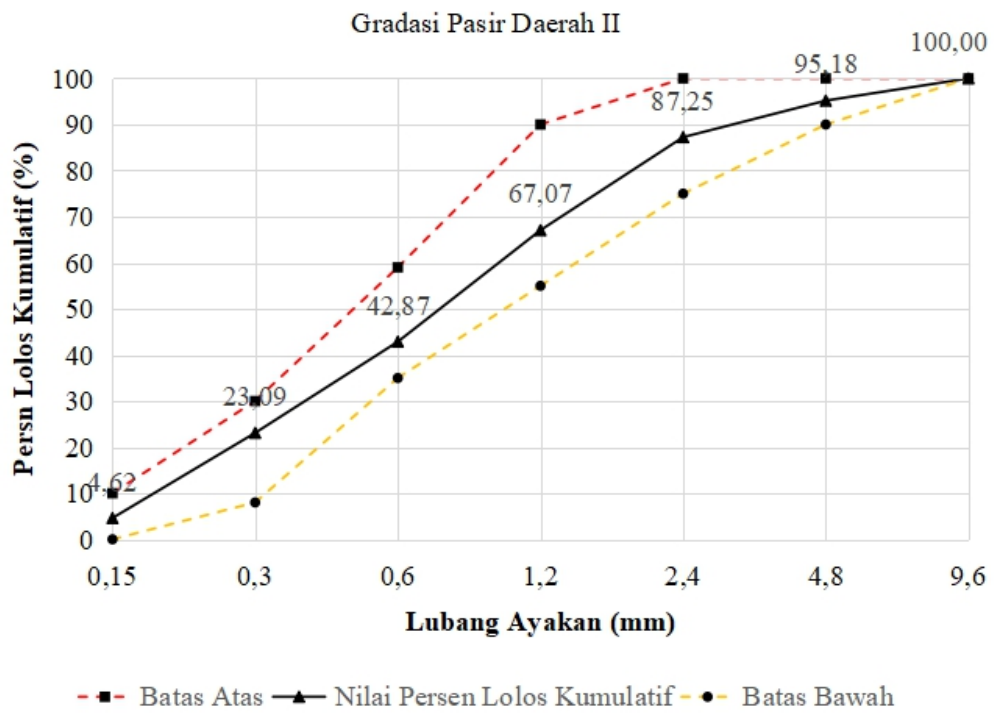
No. Saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas	Batas Bawah
Jumlah	996	100	279,92	-	-	-
Modulus Halus Butir =			2,80			

Tabel 5.8 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus Pengujian Kedua

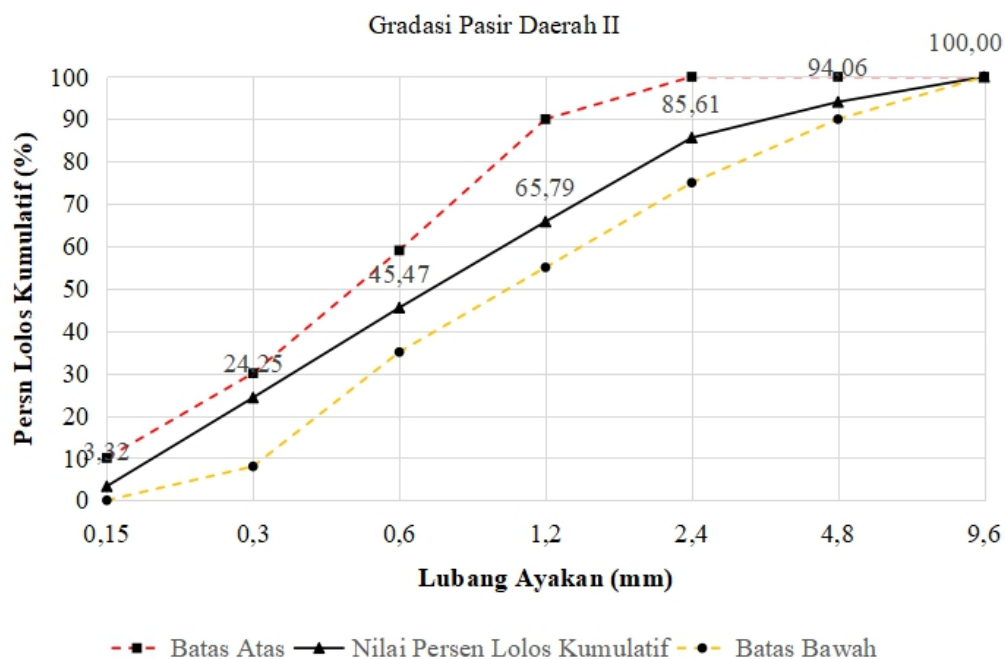
No. Saringan	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Atas	Batas Bawah
10	0	0	0	100	100	100
4,8	59	5,94	5,94	94,06	100	90
2,4	84	8,45	14,39	85,61	100	75
1,2	197	19,82	34,21	65,79	90	55
0,6	202	20,32	54,53	45,47	59	35
0,3	211	21,23	75,75	24,25	30	8
0,15	208	20,93	96,98	3,32	10	0
Sisa	33	3,32	100	0	-	-
Jumlah	994	100	281,49	-	-	-
Modulus Halus Butir =			2,81			

Dari kedua tabel tersebut didapatkan nilai modulus halus butir senilai 2,80 dan 2,81. Dari kedua nilai tersebut dapat dirata-ratakan untuk digunakan sebagai perwakilan nilai modulus halus butir yaitu sebesar 2,81. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir harus berada antara 1,5 - 3,8 dan nilai kadar lumpur tidak boleh lebih dari 5%, sehingga nilai-nilai yang telah didapatkan tersebut sudah memenuhi spesifikasi untuk dijadikan bahan campuran beton. Di dalam SNI 03-2834-2000 sendiri mengatur adanya batas

atas dan batas bawah pada masing-masing ukuran lubang ayakan agregat halus. Untuk memperjelas batas atas, batas bawah, dan nilai persen lolos kumulatif yang diperoleh, dapat dilihat pada grafik di Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Halus Pasir Agak Kasar Pengujian Pertama



Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Halus Pasir Agak Kasar Pengujian Kedua

Menurut Gambar 5.3 dan Gambar 5.4, daerah gradasi pasir yang tepat untuk agregat halus yang digunakan adalah gradasi pasir daerah II dan termasuk kategori pasir agak kasar.

2. Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi agregat kasar ini mengacu pada SNI 4804-1998 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Uraian	Gembur		Padat	
	Pengujian		Pengujian	
	I	II	I	II
Berat Tabung (W1) (gram)	10837	6333	10837	6333
Berat Tabung + Agregat SSD (W2) (gram)	18660	14181	19963	15413
Berat Agregat (W3=W2-W1) (gram)	7823	7848	9126	9080

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Uraian	Gembur		Padat	
	Pengujian		Pengujian	
	I	II	I	II
Volume Tabung (V) (cm ³)	5354,45	5372,36	5354,45	5372,36
Berat Isi (W ₃ /V) (gram/cm ³)	1,46	1,46	1,7	1,69
Berat Isi Rata-rata	1,46		1,7	

Dari Tabel 5.9 diperoleh hasil nilai berat isi agregat halus dalam kondisi gembur yaitu sebesar 1,46 gram/cm³ dan nilai berat isi agregat halus dalam kondisi padat yaitu sebesar 1,7 gram/cm³. Berdasarkan SII 0052-80, nilai berat isi dalam keadaan gembur dan padat yaitu minimal 1,2 gram/cm³ sehingga apabila dilihat dari nilai yang diperoleh dari Tabel 5.9, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai berat isi agregat halus dalam keadaan gembur dan padat telah memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton.

3. Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air agregat halus ini mengacu pada SNI 1971-2011 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Uraian	Pengujian	
	I	II
Massa Wadah + Benda Uji (gram)	1150	1207
Massa Wadah (gram)	150	207
Massa Benda Uji (W ₁) (gram)	1000	1000
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (gram)	1104	1162
Massa Wadah (gram)	150	207
Massa Benda Uji Kering Oven (W ₂) (gram)	954	955
Kadar Air Total ($P = ((W_1 - W_2) / W_2) \times 100$) (%)	4,82	4,71
Kadar Air Total Rata-rata (%)	4,77	

Dari Tabel 5.10 diperoleh nilai kadar air agregat halus yang akan digunakan ke dalam campuran beton yaitu senilai 4,77%

4. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus ini mengacu pada SNI 1970-2008 dan didapatkan nilai yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	I	II	Rata-rata
Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan (S) (gram)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (A) (gram)	489	483	486
Berat Piknometer yang Berisi Air (B) (gram)	734	711	723
Berat Piknometer dengan Benda Uji dan Air sampai Batas Pembacaan (C) (gram)	1054	1023	1039
Berat Jenis Curah Kering ($S_d=A/(B+S-C)$)	2,72	2,57	2,64
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan ($S_s=S/(B+S-C)$)	2,78	2,66	2,72
Berat Jenis Semu ($S_a=A/(B+A-C)$)	2,89	2,82	2,86
Penyerapan Air ($S_w=((S-A)/A) \times 100$) (%)	2,25	3,52	2,88

Dari Tabel 5.11 diperoleh hasil pengujian berat jenis curah kering senilai 2,64, berat jenis curah jenuh kering permukaan senilai 2,72, berat jenis semu senilai 2,86, dan penyerapan air senilai 2,88%. Menurut Tjokrodinuljo (2007), agregat normal memiliki nilai berat jenis antara 2,5 - 2,7. Untuk nilai berat jenis curah jenuh kering permukaan yang tidak memenuhi spesifikasi masih dapat ditoleransikan karena memiliki nilai yang berselisih tipis dengan spesifikasi sehingga agregat halus yang diuji masih dapat dikategorikan sebagai agregat normal.

Rekapitulasi hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus

No.	Pengujian	Standar Pengujian	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min	Maks		
1	Analisa Saringan Modulus Halus Butir	SNI 03-1968-1990	1,5	3,8	2,81	-
2	Berat Isi	SNI 4804-1998	1,2	-	1,46	gr/cm ³
	- Gembur - Padat		1,2	-	1,7	gr/cm ³
3	Kadar Air	SNI 1971-2011	-	-	4,77	%
4	Berat Jenis	SNI 1970-2008				
	- Curah Kering		2,5	2,7	2,64	-
	- Curah Jenuh Kering		2,5	2,7	2,72	-
	Permukaan					
	- Semu		2,5	2,7	2,82	-
	- Penyerapan Air		-	-	2,88	%

Berdasarkan Tabel 5.12 hasil rekapitulasi pengujian agregat halus telah memenuhi spesifikasi untuk menjadi material campuran beton yang sudah ditentukan.oleh pengetah

5.4 Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton ini mengacu pada SNI 7656-2012. Adapun langkah-langkah perancangan campuran beton tersebut adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan ($f'c$) rata-rata ditetapkan sebesar 20 MPa
2. Nilai standar deviasi (S) adalah 7 MPa. Pengambilan nilai tersebut dikarenakan peneliti belum mempunyai pengalaman lapangan, sehingga nilai tambah diambil dari Tabel 5.13 berikut ini:

Tabel 5.13 Standar Deviasi

Kuat Tekan yang Disyaratkan, f'_c (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata perlu (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 < f'_c < 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,10 f'_c + 5,0$

3. Perhitungan nilai tambah (M) = $1,64 \times S = 1,64 \times 7 = 11,48$ MPa
4. Perhitungan nilai kuat tekan beton yang direncanakan menggunakan dengan rumus $f'_{cr} = f'_c + M = 20 + 11,48 = 31,48$ MPa ≈ 32 MPa
5. Jenis semen yang digunakan adalah semen PCC (Portland Cement Composite) merk Tiga Roda dengan berat jenis senilai 3,15
6. Dari pengujian agregat didapatkan data spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Spesifikasi agregat kasar yang digunakan yaitu:
 - Modulus Halus Butir (MHB) : 6,60
 - Berat Isi : 1570 kg/m³
 - Kadar Air : 2,25 %
 - Berat Jenis (SSD) : 2,62
 - Penyerapan Air : 2,27 %
 - b. Spesifikasi agregat halus yang digunakan yaitu:
 - Modulus Halus Butir (MHB) : 2,81
 - Berat Isi : 1700 kg/m³
 - Kadar Air : 4,77 %
 - Berat Jenis (SSD) : 2,72
 - Penyerapan Air : 2,88 %
7. Nilai *slump* yang digunakan adalah 75 - 100 mm (untuk balok dan dinding bertulang) berdasarkan Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Nilai *Slump* yang Dianjurkan untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi

Tipe Konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

8. Kebutuhan air untuk campuran beton tanpa tambahan udara dengan *slump* 75 - 100 mm dan ukuran agregat maksimum 19 mm adalah 205 kg/m³ berdasarkan Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara untuk Berbagai *Slump* dan Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah

Air (kg/m ³) untuk ukuran nominal agregat maksimum batu pecah								
<i>Slump</i> (mm)	9,5 (mm)	12,7 (mm)	19 (mm)	25 (mm)	37,5 (mm)	50 (mm)	75 (mm)	150 (mm)
Beton tanpa tambahan udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	130	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyaknya udara dalam beton (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

9. Rasio air semen untuk beton dengan kuat tekan f'_c : 32 MPa adalah senilai 0,498. Nilai tersebut diperoleh dari hasil interpolasi dari nilai yang berdekatan dengan nilai yang didapatkan berdasarkan Tabel 5.16. Adapun perhitungan interpolasi yang dimaksud adalah sebagai berikut.

diketahui $x = 32$ MPa, $x_1 = 30$, $x_2 = 35$, $y_1 = 0,47$, $y_2 = 0,54$

$$y = y_1 + ((x - x_1)/(x_2 - x_1)) \times (y_2 - y_1)$$

$$y = 0,47 + ((32 - 30)/(35 - 30)) \times (0,54 - 0,47)$$

$$y = 0,498$$

Tabel 5.16 Hubungan Antara Rasio Air-semen

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

10. Banyaknya kadar semen = $\frac{\text{Banyaknya Air}}{\text{Rasio Air Semen}} = \frac{205}{0,498} = 411,647 \text{ kg/m}^3$
11. Nilai volume agregat kasar yang diperoleh adalah $0,619 \text{ m}^3$. nilai tersebut diperoleh dari nilai modulus halus butir agregat halus senilai 2,81 dan ukuran nominal agregat maksimum 19 mm. Karena nilai modulus halus butir agregat halus tidak ada di tabel, maka nilai yang ingin diperoleh harus diinterpolasi. Adapun data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Volume Agregat Kasar Per Satuan Volume Beton

Ukuran nominal maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus							
	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
19	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52
25	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61
50	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64
75	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68
150	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,73

12. Nilai berat kering agregat kasar yang diperoleh adalah 971,830 kg. Nilai tersebut didapat dari perkalian nilai volume agregat kasar sebesar 0,619 m³ dan nilai berat kering oven agregat kasar sebesar 1570 kg/m³.
13. Nilai perkiraan agregat halus dapat diperoleh dengan dua metode kemudian nilai dari kedua metode tersebut dibandingkan dan diambil nilai yang tertinggi.
- a. Atas dasar berat material

Metode atas dasar berat material adalah metode dengan cara nilai perkiraan awal berat beton yang diperoleh dari Tabel 5.18 dikurangi dengan jumlah semua berat material yang telah diketahui seperti berat semen, air, dan agregat kasar.

Berat material yang telah diketahui:

Semen : 411,647 kg

Air : 205 kg

Agregat kasar : 971,830 kg +

Jumlah : 1588,477 kg

Jadi, berat agregat halus = Perkiraan berat beton - Berat semua material

$$= 2345 - 1588,477 = 756,523 \text{ kg}$$

Tabel 5.18 Perkiraan Awal Berat Beton Segar

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

b. Atas dasar volume absolut

Metode atas dasar volume absolut adalah metode dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Volume Air} = \frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Jenis Air}} = \frac{205}{1000} = 0,205 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Padat Semen} &= \frac{\text{Berat Semen}}{\text{Berat Jenis Semen} \times 1000} \\ &= \frac{411,647}{3,15 \times 1000} \\ &= 0,131 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Absolut Agregat Kasar} &= \frac{\text{Berat Agregat Kasar}}{\text{Berat Jenis Agregat Kasar} \times 1000} \\ &= \frac{971,830}{2,62 \times 1000} \\ &= 0,371 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Udara Terperangkap} &= \text{Banyaknya udara terperangkap} \times 1000 \\ &= 0,02 \times 1000 \\ &= 0,020 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Volume Material} &= \text{Volume Air} + \text{Volume Semen} + \\
 &\quad \text{Volume Agregat Kasar} + \\
 &\quad \text{Volume Udara Terperangkap} \\
 &= 0,205 + 0,131 + 0,371 + 0,020 \\
 &= 0,727 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Agregat Halus} &= 1 - \text{Total Volume Material} \\
 &= 1 - 0,727 \\
 &= 0,273 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat Halus Kering} &= \text{Volume Agregat Halus} \times \text{Berat Jenis} \\
 &\quad \text{Agregat Halus} \\
 &= (SSD) \text{ Agregat Halus} \\
 &= 0,273 \times 2,72 \times 1000 \\
 &= 743,624 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- c. Perbandingan berat campuran per 1 m³ beton dengan kedua metode perhitungan di atas dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut:

Tabel 5.19 Perbandingan Berat Campuran Per 1 m³ Kedua Metode

Uraian	Berdasarkan Perkiraan Berat Material, kg	Berat Perkiraan Volume Absolut Material, kg
Air (berat bersih)	205	205
Semen	411,647	411,647
Agregat Kasar (kering)	971,830	971,830
Agregat Halus (kering)	756,523	743,624

14. Koreksi Terhadap Kadar Air

- Kadar air agregat kasar = 2,25 %
- Kadar air agregat halus = 4,77 %

Maka berat penyesuaian dari agregat menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{- Agregat kasar (basah)} &= \text{Berat agregat kasar kering} + (\text{Berat agregat kasar} \\
 &\quad \text{kering} \times \text{Kadar air agregat kasar}) \\
 &= 971,830 + (971,830 \times 2,25\%) \\
 &= 993,696 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Agregat halus (basah)} &= \text{Berat agregat halus kering} + (\text{Berat agregat} \\
 &\quad \text{halus kering} \times \text{Kadar air agregat halus}) \\
 &= 756,523 + (756,523 \times 4,77\%) \\
 &= 792,610 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Air yang diserap oleh agregat bukan bagian dari air pencampur sehingga harus dikeluarkan dari penyesuaian air yang ditambahkan. Oleh karena itu, air permukaan yang diberikan oleh agregat kasar dan agregat halus menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{- Air yang diberikan agregat kasar} &= \text{Kadar air agregat kasar} - \text{Penyerapan} \\
 &\quad \text{air agregat kasar} \\
 &= 2,25\% - 2,27\% \\
 &= -0,02\% \\
 \text{- Air yang diberikan agregat halus} &= \text{Kadar air agregat halus} - \text{Penyerapan} \\
 &\quad \text{air agregat halus} \\
 &= 4,77\% - 2,88\% \\
 &= 1,89\%
 \end{aligned}$$

Sehingga, perkiraan kebutuhan air yang ditambahkan menjadi sebesar:

$$\begin{aligned}
 \text{- Air} &= \text{Berat bersih air} - (\text{Berat agregat kasar kering} \times \text{Air dari agregat kasar}) \\
 &\quad - (\text{Berat agregat halus kering} \times \text{Air dari agregat halus}) \\
 &= 205 - (971,830 \times (-0,02\%)) - (756,523 \times 1,89\%) \\
 &= 190,896 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

15. Perkiraan berat campuran per 1 m³ beton:

Dari tahapan perhitungan di atas didapat susunan campuran beton per m³ sebagai berikut:

- Air = 190,896 kg
- Semen = 411,647 kg
- Agregat Kasar = 993,696 kg
- Agregat Halus = 792,610 kg +
- Jumlah = 2388,848 kg

16. Volume Silinder

Diketahui:

- Diameter silinder (d) = 0,15 m
- Tinggi silinder (t) = 0,3 m
- Volume silinder (v) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 0.15^2 \times 0.3$
 $= 0,0053 \text{ m}^3$

17. Proporsi campuran per 1 silinder

- Air = Berat air x Volume silinder
 $= 190,896 \times 0,0053$
 $= 1,012 \text{ kg}$
- Semen = Berat semen x Volume silinder
 $= 411,647 \times 0,0053$
 $= 2,182 \text{ kg}$
- Agregat Kasar = Berat agregat kasar x Volume silinder
 $= 993,696 \times 0,0053$
 $= 5,268 \text{ kg}$
- Agregat Halus = Berat agregat halus x Volume silinder
 $= 792,610 \times 0,0053$
 $= 4,202 \text{ kg}$

18. Proporsi berat *fly ash* per 1 silinder

- Variasi *fly ash* 0% = 0% x Berat semen per 1 silinder
= 0% x 2,182
= 0 kg
- Variasi *fly ash* 10% = 10% x Berat semen per 1 silinder
= 10% x 2,182
= 0,218 kg
- Variasi *fly ash* 11% = 11% x Berat semen per 1 silinder
= 11% x 2,182
= 0,240 kg
- Variasi *fly ash* 12% = 12% x Berat semen per 1 silinder
= 12% x 2,182
= 0,262 kg
- Variasi *fly ash* 13% = 13% x Berat semen per 1 silinder
= 13% x 2,182
= 0,284 kg
- Variasi *fly ash* 14% = 14% x Berat semen per 1 silinder
= 14% x 2,182
= 0,306 kg
- Variasi *fly ash* 15% = 15% x Berat semen per 1 silinder
= 15% x 2,182
= 0,327 kg

19. Proporsi kebutuhan material dalam pembuatan benda uji silinder per umur beton

Diketahui :

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

Dalam penelitian ini digunakan 5 silinder dalam satu variasi campuran *fly ash* sehingga menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Volume 5 silinder} &= \text{Banyaknya silinder} \times \text{Volume silinder} \\ &= 5 \times 0,0053 \\ &= 0,0265 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume total silinder ditambah 30% dari volumenya sendiri agar meminimalisir kemungkinan campuran beton berkurang akibat adanya campuran beton yang menempel di *mixer* ataupun terbuang dengan tidak sengaja, adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume total silinder} &= \text{Volume 5 silinder} + (30\% \times \text{Volume 5 silinder}) \\ &= 0,0265 + (30\% \times 0,0265) \\ &= 0,0345 \text{ m}^3\end{aligned}$$

20. Proporsi kebutuhan material dalam 0,0345 m³

$$\begin{aligned}\text{Berat air akhir} &= \text{Berat air per 1 silinder} \times \text{Volume total silinder} \\ &= 190,896 \times 0,0345 \\ &= 6,578 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat semen akhir} &= \text{Berat semen per 1 silinder} \times \text{Volume total silinder} \\ &= 411,647 \times 0,0345 \\ &= 14,185 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat kasar akhir} &= \text{Berat agregat kasar per 1 silinder} \times \text{Volume total silinder} \\ &= 993,696 \times 0,0345 \\ &= 34,242 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat agregat halus akhir} &= \text{Berat agregat halus per 1 silinder} \times \text{Volume total silinder} \\ &= 792,610 \times 0,0345 \\ &= 27,313 \text{ kg}\end{aligned}$$

21. Proporsi kebutuhan fly ash dalam 0,0345 m³

$$\begin{aligned}\text{- Variasi fly ash 0\%} &= 0\% \times \text{Berat semen akhir} \\ &= 0\% \times 14,185 \\ &= 0 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{- Variasi fly ash 10\%} &= 10\% \times \text{Berat semen akhir} \\ &= 10\% \times 14,185 \\ &= 1,419 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Variasi *fly ash* 11% = 11% x Berat semen akhir
= 11% x 14,185
= 1,560 kg
- Variasi *fly ash* 12% = 12% x Berat semen akhir
= 12% x 14,185
= 1,702 kg
- Variasi *fly ash* 13% = 13% x Berat semen akhir
= 13% x 14,185
= 1,844 kg
- Variasi *fly ash* 14% = 14% x Berat semen akhir
= 14% x 14,185
= 1,986 kg
- Variasi *fly ash* 15% = 15% x Berat semen akhir
= 15% x 14,185
= 2,128 kg

22. Proporsi kebutuhan material beton secara keseluruhan per umur beton dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut:

Tabel 5.20 Proporsi Kebutuhan Material Beton Per Umur Beton

Variasi	Air (kg)	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	<i>Fly ash</i> (kg)
0%	6,578	14,185	27,313	34,242	0,000
10%	6,578	12,767	27,313	34,242	1,419
11%	6,578	12,625	27,313	34,242	1,560
12%	6,578	12,483	27,313	34,242	1,702
13%	6,578	12,341	27,313	34,242	1,844
14%	6,578	12,199	27,313	34,242	1,986
15%	6,578	12,057	27,313	34,242	2,128
Total	46,047	88,657	191,190	239,695	10,639

5.5 Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji Beton

Pelaksanaan pembuatan benda uji beton menggunakan alat mesin molen (*concrete mixer*) untuk mencampurkan seluruh material beton agar didapatkan

campuran yang homogen. Material yang dicampurkan berupa semen *portland*, air, agregat kasar, agregat halus dan *fly ash* yang ditimbang untuk kebutuhan 5 cetakan silinder pada setiap variasi substitusi *fly ash* terhadap sebagian semen. Benda uji beton yang dibuat adalah sebanyak 140 buah dengan 7 kali pengadukan setiap umur betonnya.

Sebelum pelaksanaan pencampuran material dilakukan, bagian sisi dalam *concrete mixer* dibasahi dengan air keran terlebih dahulu kemudian *concrete mixer* diarahkan ke bawah dan didiamkan beberapa menit hingga tidak terlihat tetesan air yang keluar dari *concrete mixer*. Tahapan ini dilakukan agar terciptanya kondisi sisi dalam *concrete mixer* yang sedikit lembab. Tujuan sisi dalam *concrete mixer* dibuat sedikit lembab saat sebelum pelaksanaan pencampuran adalah agar pencampuran pertama dilakukan dengan *concrete mixer* dengan kondisi sedikit lembab karena pada pengadukan kedua dan seterusnya dilakukan dengan *concrete mixer* yang sisi dalamnya sedikit lembab akibat pengadukan dan pembersihan yang dilakukan saat pengadukan sebelumnya. Sehingga untuk mendapatkan perlakuan beton yang setara, maka pada saat sebelum pelaksanaan pencampuran material dilakukan, *concrete mixer*nya harus dibasahi terlebih dahulu.

Material berupa agregat kasar dan agregat halus yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam *concrete mixer* yang sedang berputar. Sambil menunggu agregat kasar dan agregat halus tercampur secara homogen, semen portland dan *fly ash* dicampurkan dan diadukan secara manual di dalam baskom dengan hati-hati sampai kedua material tersebut tercampur secara homogen. Setelah itu, material yang telah tercampur tersebut dimasukkan ke dalam *concrete mixer*. Sebagian kecil air yang telah ditimbang, diberikan ke baskom yang sudah menjadi wadah untuk menimbang semen *portland* dan *fly ash* kemudian air tersebut dimasukkan ke dalam *concrete mixer*. Pemberian sebagian air tersebut berguna untuk mengembalikan berat semen portland dan *fly ash* yang masih menempel di baskom agar meminimalisir kemungkinan berat material yang dimasukkan ke dalam *concrete mixer* tersebut berkurang. Sebagian air yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam *concrete mixer* secara perlahan sampai campuran menjadi

homogen.

Setelah campuran beton sudah tercampur secara homogen. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang sisi dalamnya sebelumnya telah diolesi oli. Oli tersebut berguna agar campuran beton tersebut ketika pembukaan cetakan silinder, tidak menempel pada sisi dalam cetakannya. Campuran tersebut dimasukkan dan ditusuk-tusuk sebanyak 25 kali dengan besi penusuk di setiap 1/3 volume cetakan hingga penuh. Selama penusukkan campuran tersebut, cetakan silinder juga di pukul-pukul menggunakan palu karet agar didapatkan beton yang padat. Permukaan campuran beton diratakan secara datar karena permukaan beton yang tidak rata secara mendatar maka akan mengurangi nilai kuat tekan pada pengujian kuat tekan itu sendiri.

5.6 Pengujian *Slump* Beton

Metode pelaksanaan pengujian *slump* pada penelitian ini mengacu pada SNI 1972-2008. Pengujian dilakukan pada beton normal dengan variasi substitusi *fly ash* sebanyak 0%, 10%, 11%, 12%, 13%, 14%, dan 15% terhadap berat semen *portland*. Adapun hasil pengujian *slump* tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini:

Tabel 5.21 Hasil Pengujian *Slump*

Variasi <i>Fly Ash</i> (%)	Umur Beton (hari)	<i>Slump</i> Rencana (mm)	<i>Slump</i> yang Diperoleh (mm)	<i>Slump</i> Rata-rata (mm)
0	3	75 - 100	96,5	95,4
	7		93	
	14		97,5	
	28		94,5	
10	3	75 - 100	80	79,1
	7		79,5	
	14		78	
	28		79	
11	3	75 - 100	77,5	77,0
	7		76,5	

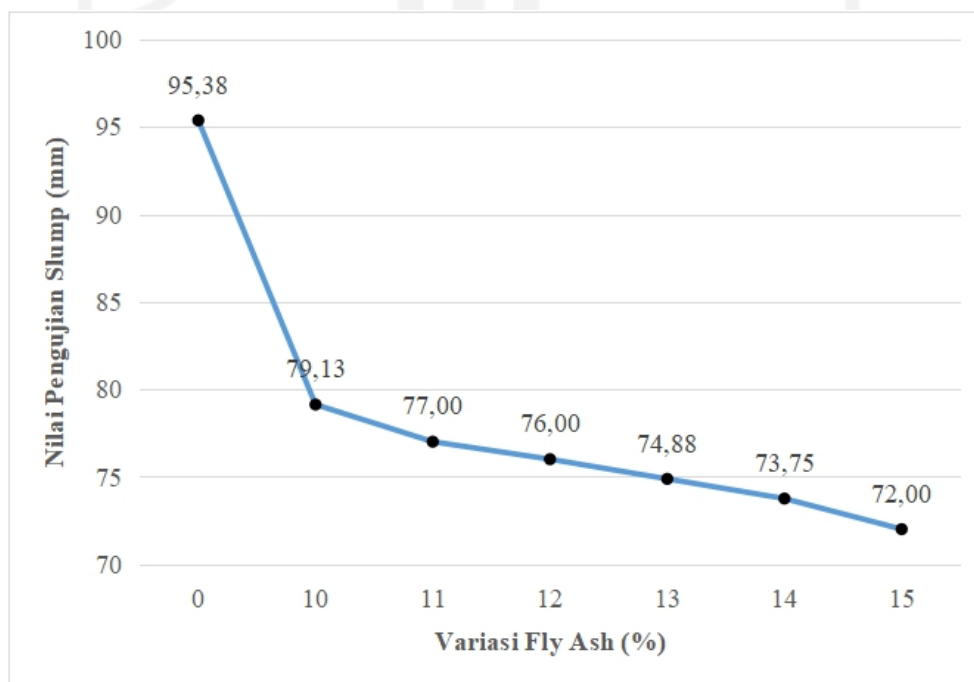
Lanjutan Tabel 5.21 Hasil Pengujian *Slump*

Variasi <i>Fly Ash</i> (%)	Umur Beton (hari)	<i>Slump</i> Rencana (mm)	<i>Slump</i> yang Diperoleh (mm)	<i>Slump</i> Rata-rata (mm)
11	14	75 - 100	77	77,0
	28		77	
12	3	75 - 100	77	76,0
	7		74,5	
	14		75,5	
	28		77	
13	3	75 - 100	75	74,9
	7		75	
	14		75	
	28		74,5	
14	3	75 - 100	72,5	73,8
	7		74	
	14		75	
	28		73,5	
15	3	75 - 100	72,5	72,0
	7		72	
	14		70,5	
	28		73	

Nilai pengujian *slump* dari Tabel 5.21 diambil dari pengamatan di setiap proporsi *fly ash* dan umur betonnya kemudian dirata-ratakan sehingga didapatkan nilai pengujian *slump* yang mewakili setiap proporsi penggantian *fly ash* terhadap sebagian semen. Dari Tabel tersebut diperoleh nilai pengujian *slump* pada campuran beton dengan proporsi *fly ash* variasi 0% senilai 95,4 mm, variasi 10% senilai 79,1 mm, variasi 11% senilai 77 mm, variasi 12% senilai 76 mm, variasi 13% senilai 74,9 mm, variasi 14% senilai 73,8, dan variasi 15% senilai 72 mm. Nilai *slump* tertinggi berada pada beton tanpa *fly ash* dengan nilai sebesar 95,4 mm. Sedangkan nilai *slump* terendah berada beton dengan proporsi *fly ash* 15% sebesar 72 mm. Proporsi *fly ash* variasi 0%, 10%, 11%, dan 12% telah memenuhi nilai yang direncanakan. Sedangkan pada proporsi *fly ash* variasi 13%, 14% dan 15% belum memenuhi nilai yang direncanakan. Nilai yang direncanakan tersebut

berasal dari SNI 7656-2012.

Dari nilai-nilai yang diperoleh tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi proporsi penggantian semen terhadap sebagian *fly ash* maka semakin rendah nilai pengujian *slump*-nya. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi *fly ash* yang digunakan akan mengurangi nilai pengujian *slump*-nya (Alfiandinata, 2020). Penurunan nilai *slump* berdasarkan tingginya proporsi *fly ash* yang ditambahkan dapat terjadi akibat dari perbedaan komposisi kimia yang dimiliki oleh semen dan *fly ash* sehingga terjadi perbedaan reaksi hidrasi awal pada masing-masing campuran beton. *Fly ash* membuat reaksi hidrasi lebih lambat dikarenakan *fly ash* memiliki panas hidrasi yang lebih dingin dibandingkan dengan semen sehingga lambatnya reaksi hidrasi awal *fly ash* membuat campuran beton lebih lama tercampur. Proses pencampuran yang lama tersebut mungkin menjadi alasan bahwa semakin tinggi proporsi penggantian semen terhadap sebagian *fly ash* maka semakin rendah nilai pengujian *slump*-nya. Adapun grafik hubungan antara banyaknya proporsi *fly ash* dan nilai pengujian *slump* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan Nilai Pengujian *Slump* dan Proporsi *Fly Ash*

5.7 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui seberapa besar beban per satuan luas yang mengakibatkan benda uji hancur apabila mencapai suatu nilai gaya tekan tertentu yang diberikan oleh mesin uji kuat tekan beton. Pengujian tersebut dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hal ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kuat tekan beton berdasarkan lamanya umur beton dan mengetahui proporsi penggantian *fly ash* yang tepat terhadap berat semen untuk mendapatkan kuat tekan beton dengan campuran *fly ash* yang optimum. Perhitungan nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.6. Untuk mengevaluasi nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.7. Hasil pengujian kuat tekan beton di umur 3 hari pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

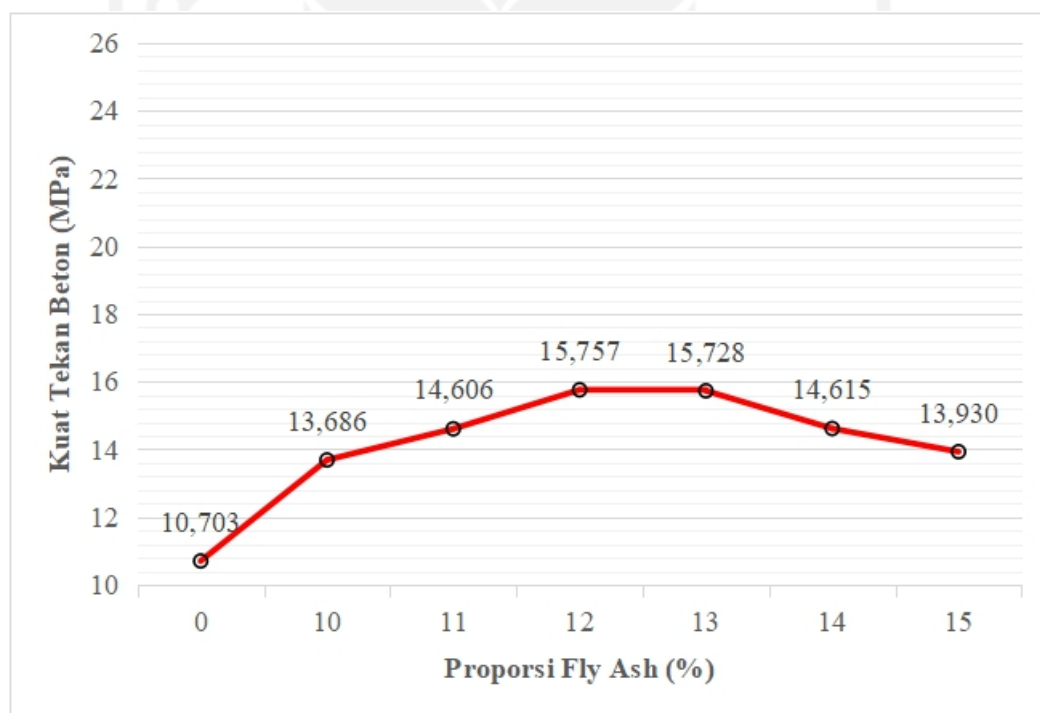
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 3 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	3 - 0%	150,5	300	17789,5	12926	190	10,680	10,786	10,703	0,604	10,182	11,390	masuk
b		151	302	17907,9	12990	209	11,671						tidak masuk
c		151,5	301	18026,7	13017	183	10,152						tidak masuk
d		150,5	303	17789,5	12977	200	11,243						masuk
e		150	300	17671,5	12797	180	10,186						masuk
a	3 - 10%	152	298	18145,8	13028	238	13,116	13,825	13,686	1,161	12,664	14,986	masuk
b		151,8	298	18098,1	12869	225	12,432						tidak masuk
c		150,8	300	17860,5	12804	262	14,669						masuk
d		153	299	18385,4	12879	244	13,271						masuk
e		151	301	17907,9	12828	280	15,636						tidak masuk
a	3 - 11%	152,8	299	18337,4	12826	254	13,852	14,674	14,606	1,022	13,652	15,695	masuk
b		153,3	298	18457,6	12603	269	14,574						masuk
c		150,5	304	17789,5	12826	288	16,189						tidak masuk
d		150	301	17671,5	12296	272	15,392						masuk
e		149	302	17436,6	12819	233	13,363						tidak masuk

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 3 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	3 - 12%	150,7	292	17836,8	12659	276	15,474	15,636	15,757	0,810	14,826	16,446	masuk
b		152,2	302	18193,6	13071	288	15,830						masuk
c		151,8	298	18098,1	12862	289	15,969						masuk
d		150,5	301	17789,5	12918	253	14,222						tidak masuk
e		151,3	303	17979,1	12917	300	16,686						tidak masuk
a	3 - 13%	151,8	300	18098,1	12918	269	14,863	15,625	15,728	0,432	15,193	16,057	tidak masuk
b		150,4	301	17765,8	12983	283	15,929						masuk
c		154	304	18626,5	13011	288	15,462						masuk
d		150,25	296	17730,4	12498	280	15,792						masuk
e		151,8	304	18098,1	12835	291	16,079						tidak masuk
a	3 - 14%	151,1	296	17931,6	12650	310	17,288	15,149	14,615	1,119	14,031	16,268	tidak masuk
b		151,8	302	18098,1	13027	260	14,366						masuk
c		151,5	301	18026,7	12763	255	14,146						masuk
d		150,7	298	17836,8	12705	267	14,969						masuk
e		151,5	300	18026,7	13095	270	14,978						masuk
a	3 - 15%	150,5	299	17789,5	12680	252	14,166	13,302	13,930	1,431	11,871	14,733	masuk
b		152	300	18145,8	12794	258	14,218						masuk
c		150,5	298	17789,5	12879	225	12,648						masuk
d		151,3	296	17979,1	12593	194	10,790						tidak masuk
e		151	297	17907,9	12500	263	14,686						masuk

Pada Tabel 5.22 diperoleh hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 3 hari dengan nilai kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% sebesar 10,703 MPa, variasi 10% sebesar 13,686 MPa, variasi 11% sebesar 14,606 MPa, variasi 12% sebesar 15,757 MPa, variasi 13% sebesar 15,728 MPa, variasi 14% sebesar 14,615 MPa, dan variasi 15% sebesar 13,930 MPa. Berdasarkan Tabel 5.22 nilai kuat tekan beton tertinggi pada umur 3 hari berada di beton dengan substitusi *fly ash* variasi 12% yaitu sebesar 15,757 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton terendah berada pada beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% yaitu sebesar 10,703 MPa. Pada hasil pengujian tersebut dilakukan pembesaran nilai standar deviasi terhadap beton variasi *fly ash* 0%, dikarenakan jumlah benda uji yang nilai kuat tekan betonnya memasuki standar deviasi pada variasi tersebut berjumlah dibawah 3 buah. Adapun grafik hubungan antara masing-masing nilai kuat tekan beton pada umur 3 hari dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 3 Hari

Hasil pengujian kuat tekan beton di umur 7 hari pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

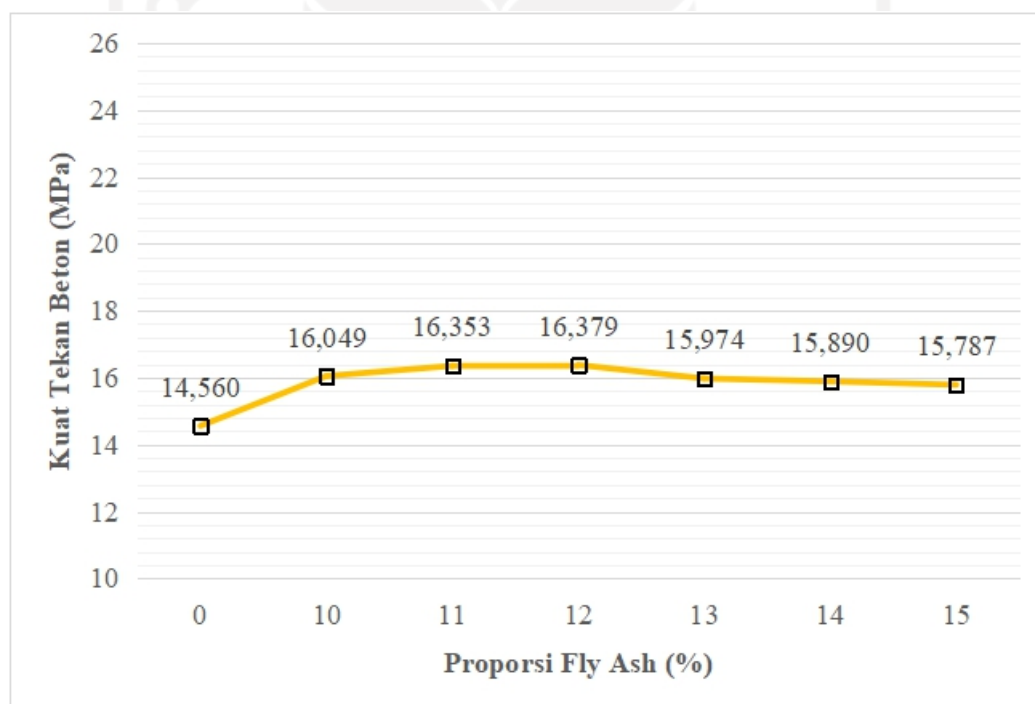
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	7 - 0%	153	300	18385,4	13115	284	15,447	14,729	14,560	1,080	13,650	15,809	masuk
b		149,75	301	17612,6	12989	290	16,465						tidak masuk
c		152	298	18145,8	12931	245	13,502						tidak masuk
d		151,5	304	18026,7	12944	257	14,257						masuk
e		149,4	301	17530,4	12815	245	13,976						masuk
a	7 - 10%	151,5	304	18026,7	12776	263	14,590	15,911	16,049	1,388	14,523	17,299	masuk
b		150,7	298	17836,8	12767	300	16,819						masuk
c		149,8	295	17624,4	12740	295	16,738						masuk
d		151	303	17907,9	12712	313	17,478						tidak masuk
e		150,25	300	17730,4	12885	247	13,931						tidak masuk
a	7 - 11%	150,4	301	17765,8	12659	235	13,228	16,111	16,353	1,879	14,232	17,990	tidak masuk
b		150,5	301	17789,5	12878	325	18,269						tidak masuk
c		150,1	303	17695,0	12938	312	17,632						masuk
d		149,6	296	17577,3	12534	294	16,726						masuk
e		151,5	300	18026,7	12765	265	14,700						masuk

Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	7 - 12%	150,7	302	17836,8	12835	289	16,202	16,272	16,379	0,957	15,315	17,229	masuk
b		150,1	299	17695,0	12766	305	17,236						tidak masuk
c		150,6	297	17813,1	12724	267	14,989						tidak masuk
d		150,7	301	17836,8	12728	281	15,754						masuk
e		154	298	18626,5	12780	320	17,180						masuk
a	7 - 13%	151,4	299	18002,9	12873	280	15,553	16,372	15,974	0,836	15,536	17,209	masuk
b		150,3	301	17742,2	13007	290	16,345						masuk
c		150,2	299	17718,6	12776	285	16,085						masuk
d		150,6	298	17813,1	12766	320	17,964						tidak masuk
e		151	303	17907,9	12649	285	15,915						masuk
a	7 - 14%	150,2	298	17718,6	12904	300	16,931	15,908	15,890	1,064	14,844	16,972	masuk
b		152,7	299	18313,4	12747	280	15,289						masuk
c		149,6	298	17577,3	12335	305	17,352						tidak masuk
d		151	296	17907,9	12904	260	14,519						tidak masuk
e		150	302	17671,5	12815	273	15,449						masuk
a	7 - 15%	150	300	17671,5	12817	280	15,845	15,399	15,787	1,514	13,885	16,913	masuk
b		149,9	300	17647,9	12527	222	12,579						tidak masuk
c		149,65	298	17589,1	12644	300	17,056						tidak masuk
d		149,9	299	17647,9	12630	285	16,149						masuk
e		150,4	298	17765,8	12526	273	15,367						masuk

Pada Tabel 5.23 diperoleh hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari dengan nilai kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% sebesar 14,560 MPa, variasi 10% sebesar 16,049 MPa, variasi 11% sebesar 16,353 MPa, variasi 12% sebesar 16,379 MPa, variasi 13% sebesar 15,974 MPa, variasi 14% sebesar 15,890 MPa, dan variasi 15% sebesar 15,787 MPa. Berdasarkan Tabel 5.23 nilai kuat tekan beton tertinggi pada umur 7 hari berada di beton dengan substitusi *fly ash* variasi 12% yaitu sebesar 16,379 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton terendah berada pada beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% yaitu sebesar 14,560 MPa. Pada hasil pengujian tersebut dilakukan pembesaran nilai standar deviasi terhadap beton variasi *fly ash* 12%, dikarenakan jumlah benda uji yang nilai kuat tekan betonnya memasuki standar deviasi pada variasi tersebut berjumlah dibawah 3 buah. Adapun grafik hubungan antara masing-masing nilai kuat tekan beton pada umur 7 hari dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari

Hasil pengujian kuat tekan beton di umur 14 hari pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

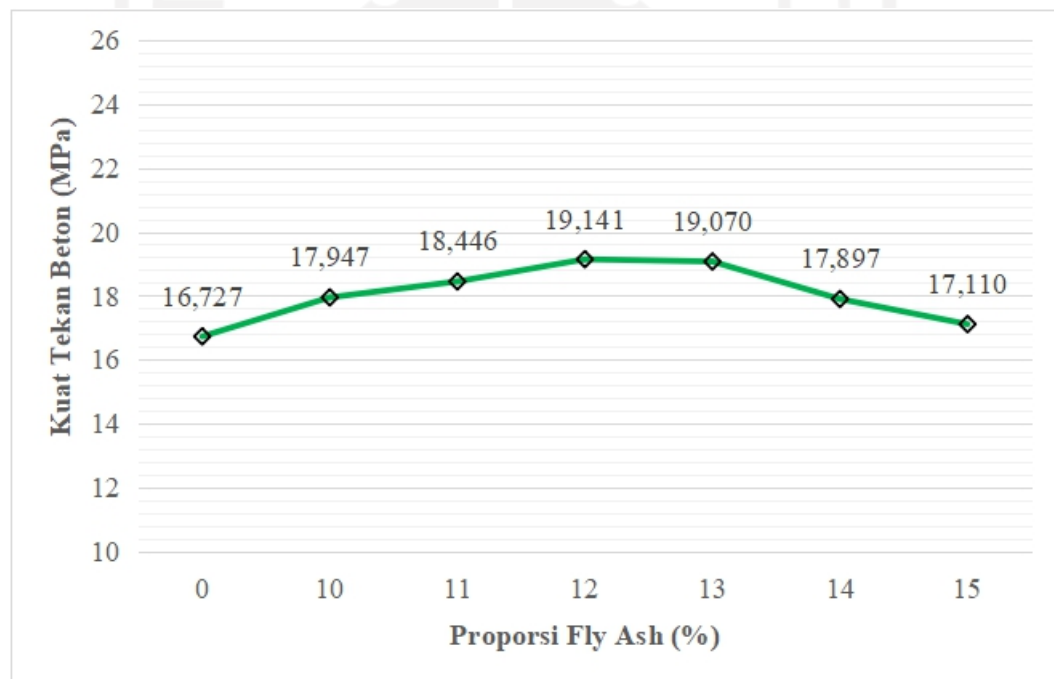
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	14 - 0%	151,6	297	18050,5	12712	300	16,620	16,761	16,727	0,616	16,145	17,376	masuk
b		150,8	300	17860,5	13163	283	15,845						tidak masuk
c		151	301	17907,9	12948	300	16,752						masuk
d		150,2	296	17718,6	12582	315	17,778						tidak masuk
e		150,75	300	17848,6	12826	300	16,808						masuk
a	14 - 10%	153,3	300	18457,6	12812	330	17,879	18,118	17,947	0,778	17,340	18,895	masuk
b		149,9	304	17647,9	13043	345	19,549						tidak masuk
c		151,5	301	18026,7	12982	310	17,197						tidak masuk
d		152	298	18145,8	12841	324	17,855						masuk
e		150	299	17671,5	12826	320	18,108						masuk
a	14 - 11%	151,4	303	18002,9	12865	317	17,608	18,245	18,446	1,388	16,856	19,633	masuk
b		149,9	304	17647,9	12999	345	19,549						masuk
c		151,1	302	17931,6	12795	326	18,180						masuk
d		149,8	301	17624,4	12801	350	19,859						tidak masuk
e		151	302	17907,9	12998	287	16,026						tidak masuk

Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	14 - 12%	151,3	301	17979,1	12898	345	19,189	18,877	19,141	1,141	17,736	20,017	masuk
b		150,6	302	17813,1	13042	360	20,210						tidak masuk
c		149,5	303	17553,8	12822	335	19,084						masuk
d		151	304	17907,9	13031	300	16,752						tidak masuk
e		150,8	298	17860,5	13008	342	19,148						masuk
a	14 - 13%	151,4	298	18002,9	12657	350	19,441	18,926	19,070	0,598	18,328	19,524	masuk
b		149,9	301	17647,9	12652	345	19,549						tidak masuk
c		150,4	298	17765,8	12718	337	18,969						masuk
d		149,5	303	17553,8	13096	330	18,799						masuk
e		151	300	17907,9	12746	320	17,869						tidak masuk
a	14 - 14%	150,6	299	17813,1	12928	345	19,368	17,471	17,897	1,693	15,778	19,164	tidak masuk
b		152,1	299	18169,7	12885	330	18,162						masuk
c		150,4	300	17765,8	12943	315	17,731						masuk
d		150,7	302	17836,8	13026	255	14,296						tidak masuk
e		151,3	299	17979,1	12837	320	17,798						masuk
a	14 - 15%	149,6	304	17577,3	12948	325	18,490	17,150	17,110	0,866	16,284	18,016	tidak masuk
b		154,4	305	18723,4	13056	310	16,557						masuk
c		149,6	303	17577,3	13017	280	15,930						tidak masuk
d		152	301	18145,8	12881	315	17,359						masuk
e		148,1	301	17226,6	13007	300	17,415						masuk

Pada Tabel 5.24 diperoleh hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari dengan nilai kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% sebesar 16,727 MPa, variasi 10% sebesar 17,947 MPa, variasi 11% sebesar 18,446 MPa, variasi 12% sebesar 19,141 MPa, variasi 13% sebesar 19,070 MPa, variasi 14% sebesar 17,897 MPa, dan variasi 15% sebesar 17,110 MPa. Berdasarkan Tabel 5.24, nilai kuat tekan beton tertinggi pada umur 14 hari berada di beton dengan substitusi *fly ash* variasi 12% yaitu sebesar 19,141 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton terendah berada pada beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% yaitu sebesar 16,727 MPa. Adapun grafik hubungan antara masing-masing nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 14 Hari

Hasil pengujian kuat tekan beton di umur 28 hari pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

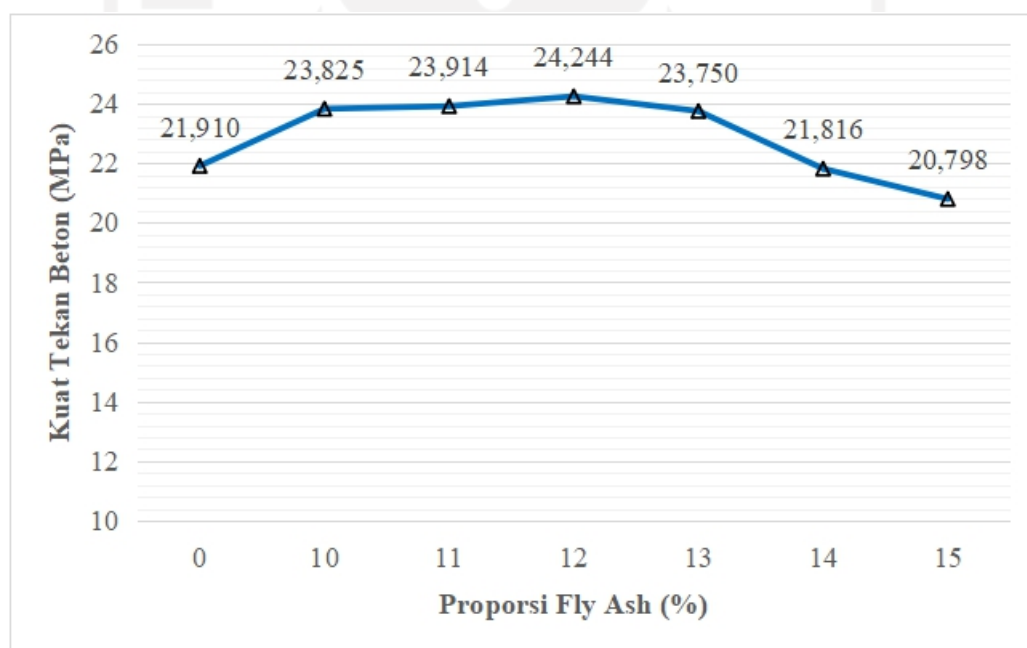
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	28 - 0%	150,2	300	17718,6	13159	400	22,575	21,236	21,910	1,550	19,686	22,786	masuk
b		150,75	296	17848,6	13154	365	20,450						masuk
c		150,65	304	17824,9	13442	400	22,440						masuk
d		152,5	297	18265,4	13048	405	22,173						masuk
e		149,4	301	17530,4	13123	325	18,539						tidak masuk
a	28 - 10%	151,8	300	18098,1	13048	430	23,759	22,895	23,825	2,193	20,702	25,088	masuk
b		152,45	303	18253,4	13144	350	19,174						tidak masuk
c		152,45	298	18253,4	12930	455	24,927						masuk
d		150,55	300	17801,3	13043	443	24,886						masuk
e		150,2	300	17718,6	13154	385	21,729						masuk
a	28 - 11%	152,2	299	18193,6	12946	445	24,459	23,165	23,914	1,532	21,633	24,696	masuk
b		149,5	305	17553,8	13030	420	23,926						masuk
c		152,7	301	18313,4	12986	430	23,480						masuk
d		151,7	300	18074,3	13119	430	23,791						masuk
e		151,8	299	18098,1	12889	365	20,168						tidak masuk

Lanjutan Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

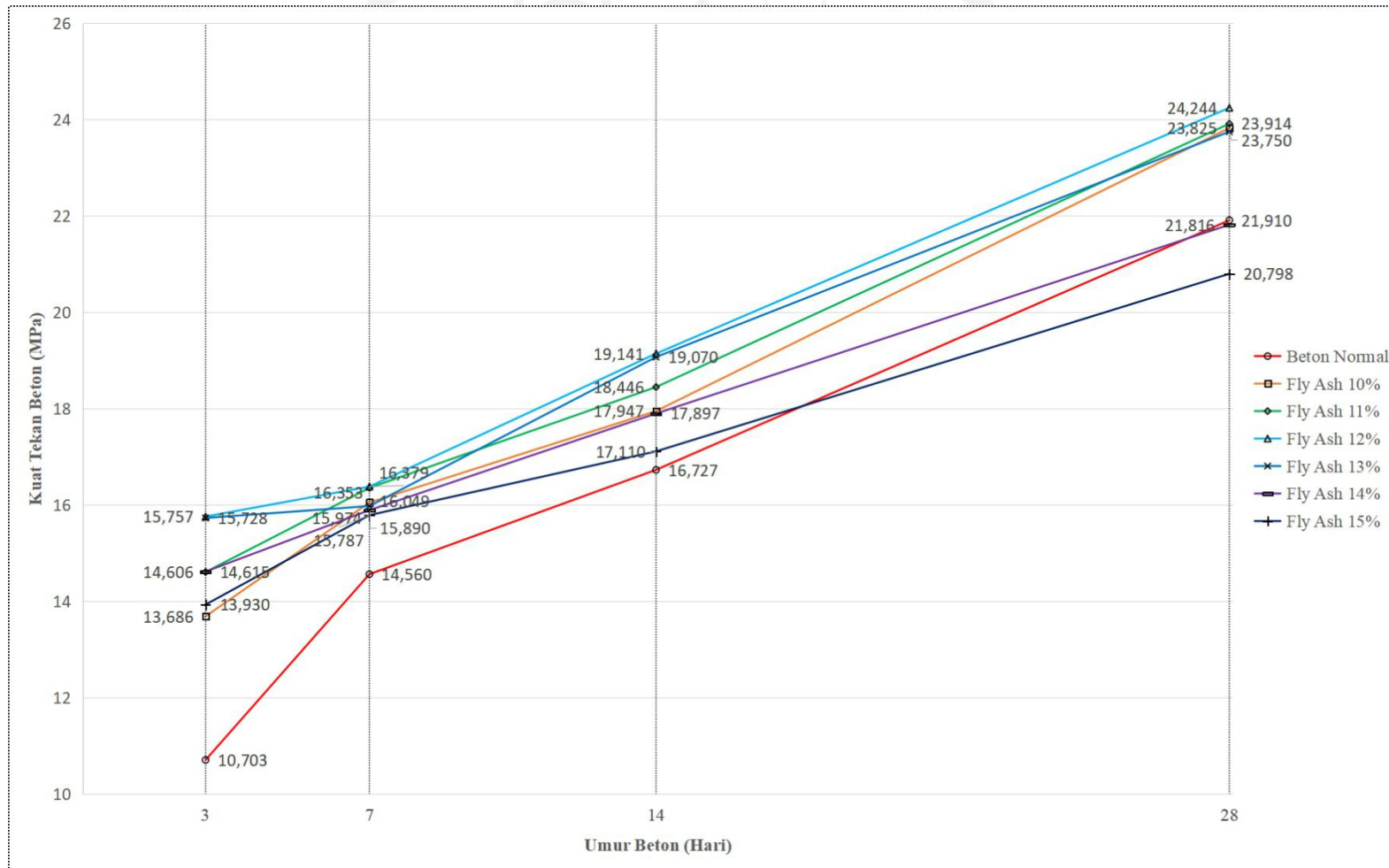
No	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Sebelum Terevaluasi (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata Setelah Terevaluasi (MPa)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Minimum	Standar Deviasi Maksimum	Keterangan
a	28 - 12%	150	300	17671,5	12825	385	21,787	24,065	24,244	1,324	22,741	25,390	tidak masuk
b		149	297	17436,6	12732	450	25,808						tidak masuk
c		151,1	299	17931,6	12863	425	23,701						masuk
d		151,9	303	18122,0	13214	445	24,556						masuk
e		153	302	18385,4	12815	450	24,476						masuk
a	28 - 13%	150	297	17671,5	12832	425	24,050	23,643	23,750	0,478	23,165	24,122	masuk
b		151,4	300	18002,9	12942	435	24,163						tidak masuk
c		151,3	298	17979,1	12836	410	22,804						tidak masuk
d		151	300	17907,9	12737	423	23,621						masuk
e		150,6	299	17813,1	12704	420	23,578						masuk
a	28 - 14%	152,9	300	18361,4	12976	355	19,334	21,953	21,816	1,817	20,136	23,770	tidak masuk
b		151	300	17907,9	12836	400	22,337						masuk
c		150,5	297	17789,5	12698	385	21,642						masuk
d		151,1	300	17931,6	13051	385	21,470						masuk
e		150,6	297	17813,1	12864	445	24,982						tidak masuk
a	28 - 15%	150,9	301	17884,2	12803	385	21,527	21,026	20,798	1,053	19,973	22,079	masuk
b		149,4	305	17530,4	13217	400	22,818						tidak masuk
c		149,8	300	17624,4	12842	365	20,710						masuk
d		151,7	302	18074,3	12785	360	19,918						tidak masuk
e		150,8	303	17860,5	13180	360	20,156						masuk

Pada Tabel 5.25 diperoleh hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan nilai kuat tekan beton dengan substitusi *fly ash* variasi 0% sebesar 21,910 MPa, variasi 10% sebesar 23,825 MPa, variasi 11% sebesar 23,914 MPa, variasi 12% sebesar 24,244 MPa, variasi 13% sebesar 23,750 MPa, variasi 14% sebesar 21,816 MPa, dan variasi 15% sebesar 20,798 MPa. Berdasarkan Tabel 5.25, nilai kuat tekan beton tertinggi pada umur 28 hari berada di beton dengan substitusi *fly ash* variasi 12% yaitu sebesar 24,244 MPa, sedangkan nilai kuat tekan beton terendah berada pada beton dengan substitusi *fly ash* variasi 15% yaitu sebesar 20,798 MPa. Adapun grafik hubungan antara masing-masing nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

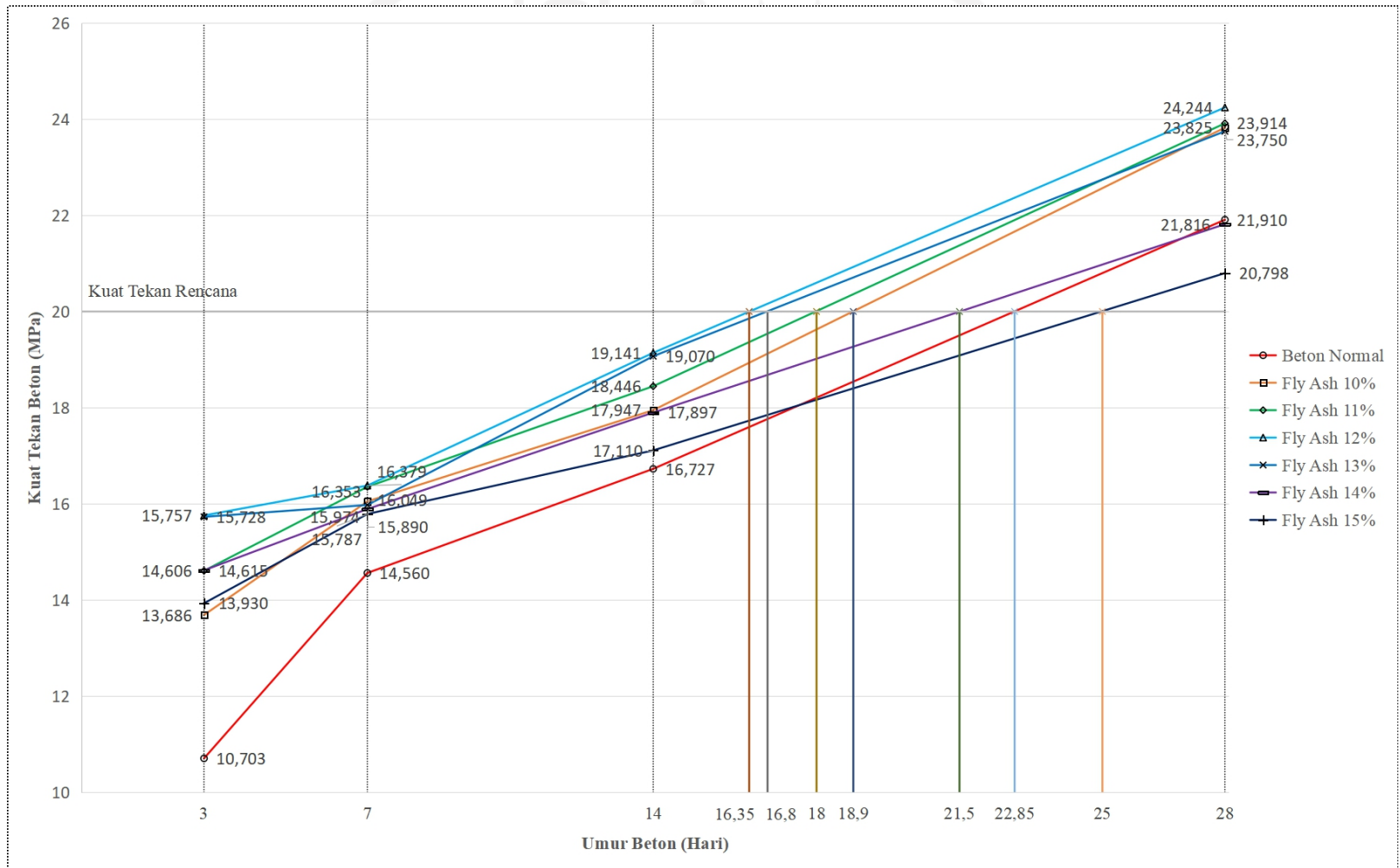
Untuk melihat gambar grafik kuat tekan berdasarkan umur beton secara keseluruhan telah direkapitulasikan pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Grafik Rekapitulasi Kuat Tekan Beton

Dari Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan tertinggi di umur 3, 7, 14, dan 28 hari berada pada beton variasi *fly ash* 12%. Sedangkan nilai kuat tekan terendah di umur 3, 7, dan 14 hari berada pada beton variasi *fly ash* 0% (beton normal). Lalu di umur 28 hari nilai kuat tekan terendah berada pada beton variasi *fly ash* 15%. Dari beberapa pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa pada beton umur 28 hari, beton variasi *fly ash* 14% dan 15% memiliki nilai kuat tekan yang lebih rendah daripada beton normal. Hal tersebut selaras dengan penelitian sebelumnya yang mengalami penurunan kuat tekan beton pada beton variasi *fly ash* 15% terhadap kuat tekan beton normal pada umur beton 28 hari (Setiawati, 2018).

Setelah diperoleh nilai kuat tekan beton, maka perhitungan peningkatan nilai kuat tekan beton dapat dilakukan dengan cara mencari titik singgung pada grafik antara garis nilai kuat tekan beton dan garis nilai kuat tekan rencananya sehingga diperoleh nilai variasi *fly ash* berapa yang mencapai kuat tekan rencana lebih cepat berdasarkan umur betonnya. Untuk melihat gambar grafik peningkatan kuat tekan berdasarkan umur beton secara keseluruhan telah direkapitulasikan pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.10 Grafik Rekapitulasi Peningkatan Kuat Tekan Beton

Dari Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai peningkatan kuat tekan beton tercepat berturut-turut berada pada beton variasi *fly ash* 12% dengan umur beton selama 16,35 hari, beton variasi *fly ash* 13% dengan umur beton selama 16,8 hari, beton variasi *fly ash* 11% dengan umur beton selama 18 hari, beton variasi *fly ash* 10% dengan umur beton selama 18,9 hari, beton variasi *fly ash* 14% dengan umur beton selama 21,5 hari, beton variasi *fly ash* 0% dengan umur beton selama 22,85 hari, beton variasi *fly ash* 15% dengan umur beton selama 25 hari. Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa beton variasi *fly ash* 12% memiliki nilai peningkatan kuat tekan beton yang paling cepat dibandingkan variasi yang lainnya sedangkan beton variasi *fly ash* 15% memiliki nilai peningkatan kuat tekan beton yang paling lambat dibandingkan variasi yang lainnya. Beton dengan penggantian *fly ash* 12% mampu memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih cepat 8,65 hari dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*.

Perbedaan nilai peningkatan kuat tekan beton berdasarkan umur beton tersebut dapat terjadi akibat dari senyawa C_3S dari masing-masing campuran beton berdasarkan variasi *fly ash* yang menggantikan sebagian jumlah semen. Masing-masing campuran beton memiliki jumlah kandungan senyawa C_3S yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat terjadi akibat perbedaan proporsi semen dan *fly ash* pada masing-masing campuran beton sehingga memiliki jumlah senyawa C_3S yang berbeda pula. Fungsi senyawa C_3S ini berfungsi sebagai pemberi kekuatan beton pada umur sesudah 14 hari sehingga banyaknya senyawa C_3S yang terkandung dalam suatu campuran beton dapat berpengaruh pada peningkatan kuat tekan beton. Semakin banyak jumlah senyawa C_3S yang terkandung maka semakin tinggi peningkatan kuat tekan beton. Dari Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa campuran beton pada variasi *fly ash* 12% memiliki kandungan senyawa C_3S yang tinggi dibanding variasi yang lainnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan perhitungan tentang pengaruh proporsi *fly ash* sebagai material substitusi parsial terhadap kuat tekan beton pada umur tertentu dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Proporsi penggantian semen dengan *fly ash* yang memiliki nilai kuat tekan optimum berada pada beton proporsi *fly ash* 12%. Beton tersebut memiliki nilai kuat tekan yang optimum secara berturut-turut selama pengujian kuat tekan beton umur 3, 7, 14, dan 28 hari dibandingkan beton proporsi *fly ash* yang lainnya.
2. Beton variasi *fly ash* 12% memiliki nilai peningkatan kuat tekan beton yang paling cepat mencapai nilai kuat tekan rencananya apabila dibandingkan variasi yang lainnya yaitu selama 16,35 hari. Beton dengan penggantian *fly ash* 12% mampu memberikan peningkatan kuat tekan yang lebih cepat 8,65 hari apabila dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*.

6.2 Saran

Dari hasil pengujian dan perhitungan tentang pengaruh proporsi *fly ash* sebagai material substitusi parsial terhadap kuat tekan beton pada umur tertentu dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh klasifikasi *fly ash* terhadap kuat tekan beton, karena pengaruh sifat kimiawi *fly ash* yang berbeda memungkinkan untuk diperoleh nilai kuat beton yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh substitusi parsial *fly ash* kepada sebagian semen terhadap peningkatan kuat tarik beton dan kuat geser beton berdasarkan umur beton agar dipeuan yang luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriandi, Riko., 2018. *Pengaruh Faktor Umur Terhadap Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal, Beton Mutu Tinggi, dan Beton Ringan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram. Mataram.
- Alfiandinata, 2020. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Sifat Mekanik Beton*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Mataram.
- Joni, Gede., 2017. *Faktor yang Mempengaruhi Mutu Beton*. Jurnal Program Studi Teknik Sipil Universitas Udayana. Bali.
- Mulyono, T., 2004. *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Nugraha, P dan Antoni, 2007. *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- PBI 1971 N.I.-2, 1979, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*, Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- Setiawati, M., 2018. *Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Palembang. Palembang.
- SK SNI S-04-1989-F. 1989. *Perencanaan Campuran dan Pengendalian Mutu Beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-1968-1990. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-3403-1994 *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton Inti Pemboran*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 03-4804-1998. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1969-2008. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1970-2008. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1971-2011. 2011. *Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1972-2008. 2008. *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 1974-2011. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional.

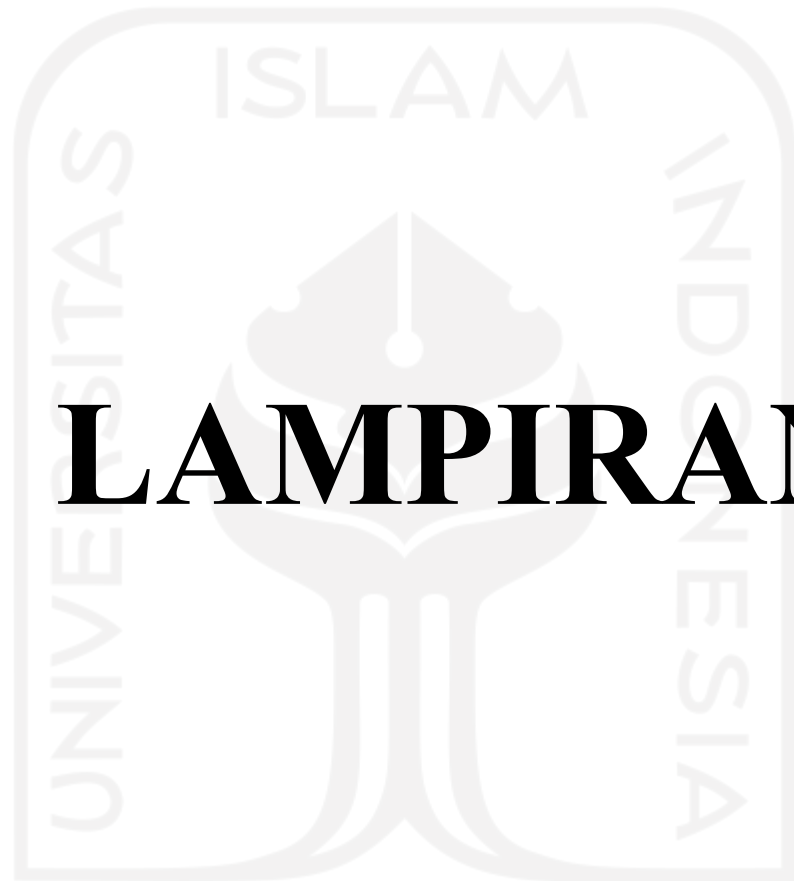
SNI 7656-2012. 2012. *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional.

SNI 15-2049-2013. 2013. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional.

Tjokrodimuljo, K., 2007. *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Jurusan Teknik. Yogyakarta.

Wibowo, V., 2019. *Analisis Penggunaan Fly Ash dan Limbah Karbit Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Karakteristik Beton*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.





LAMPIRAN

الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan



Gambar L-1.1 Saringan Agregat



Gambar L-1.2 Piknometer



Gambar L-1.3 Jangka Sorong



Gambar L-1.4 Timbangan



Gambar L-1.5 Pan



Gambar L-1.6 Cetakan *Capping*



Gambar L-1.7 Cetakan Silinder



Gambar L-1.8 Alat Pengujian Slump



Gambar L-1.9 Oven



Gambar L-1.10 *Compressing Testing Machine (CTM)*



Gambar L-1.11 Sieve Shaker



Gambar L-1.12 Mixer

Lampiran 2 Gambar Bahan yang Digunakan**Gambar L-2.1 Semen****Gambar L-2.2 Fly Ash**



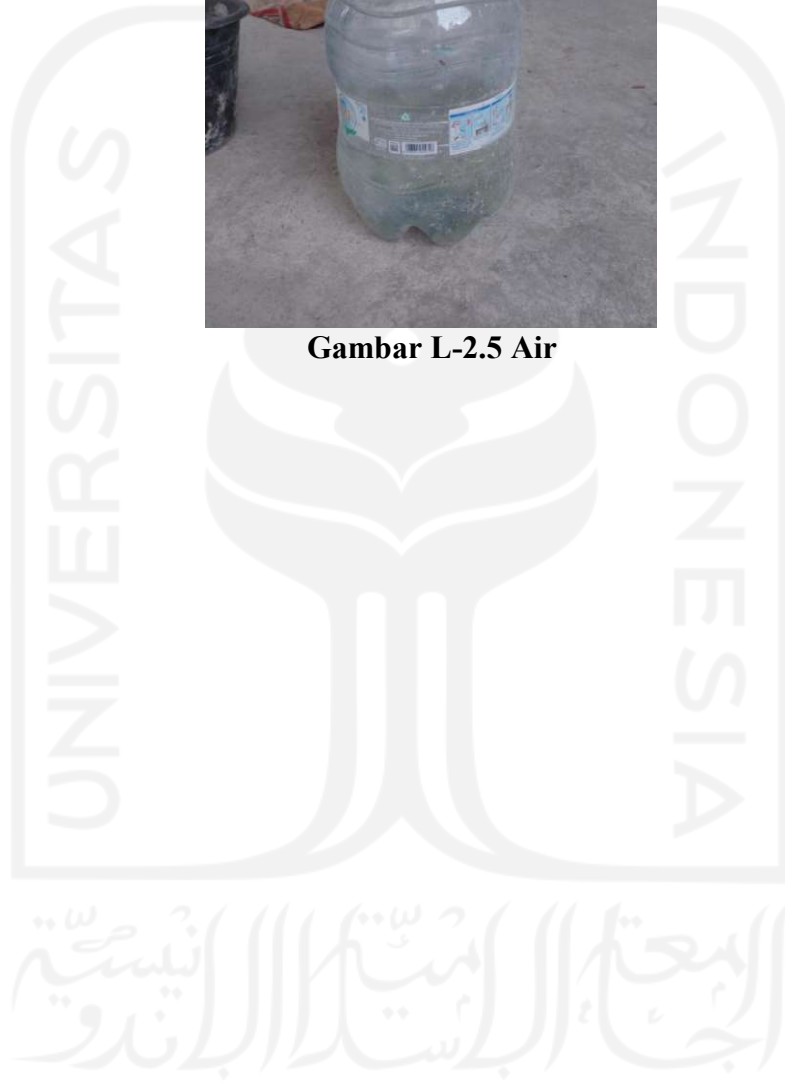
Gambar L-2.3 Agregat Kasar



Gambar L-2.4 Agregat Halus



Gambar L-2.5 Air



Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan dan Pengujian Benda Uji**Gambar L-3.1 Penimbangan Bahan****Gambar L-3.2 Persiapan Cetakan**



Gambar L-3.3 Pengadukan Campuran Beton



Gambar L-3.4 Pengujian *Slump*



Gambar L-3.5 Penamaan Kode Beton



Gambar L-3.6 Perendaman Beton



Gambar L-3.7 Hasil *Capping* Silinder Beton



Gambar L-3.8 Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-3.9 Hasil Pengujian Kuat Tekan

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

Lampiran 4 Data Hasil Pemeriksaan Bahan

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

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
38	0	0,00	0,00	100,00
19	121	4,04	4,04	95,96
9,6	1937	64,74	68,78	31,22
4,8	776	25,94	94,72	5,28
2,4	129	4,31	99,03	0,97
1,2	12	0,40	99,43	0,57
0,6	2	0,07	99,50	0,50
0,3	0	0,00	99,50	0,50
0,15	0	0,00	99,50	0,50
Sisa	15	0,50
Jumlah	2992	100	664,51	

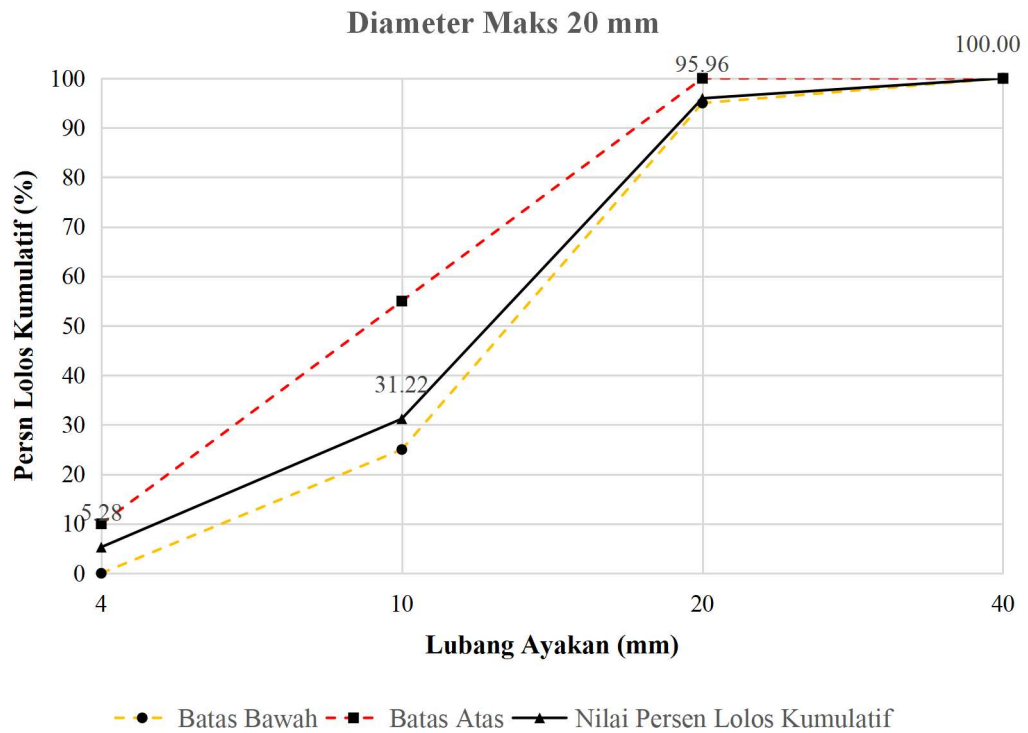
$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{664,51}{100} = 6,65$$

GRADASI KERIKIL

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
38	95 - 100	100	100
19	35 - 70	95 - 100	100
9,6	10 - 35	25 - 55	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

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

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR



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

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Sampel : 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
38	0	0,00	0,00	100,00
19	149	4,98	4,98	95,02
9,6	1831	61,16	66,13	33,87
4,8	747	24,95	91,08	8,92
2,4	171	5,71	96,79	3,21
1,2	46	1,54	98,33	1,67
0,6	15	0,50	98,83	1,17
0,3	11	0,37	99,20	0,80
0,15	3	0,10	99,30	0,70
Sisa	21	0,70
Jumlah	2994	100	654,64	

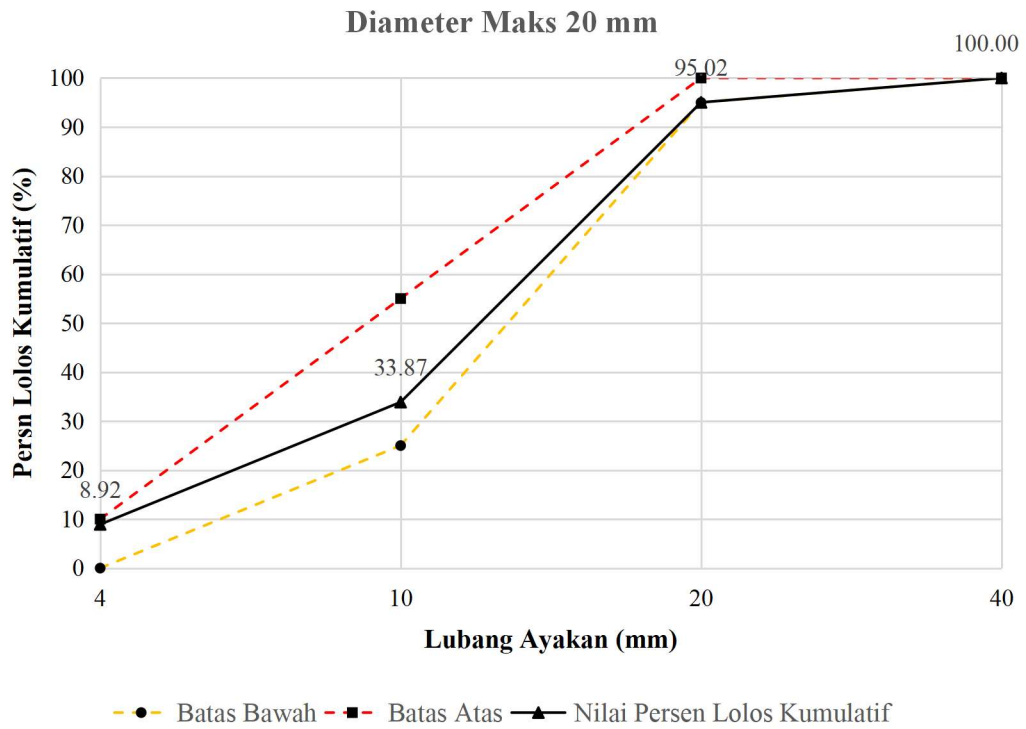
$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{654,64}{100} = 6,55$$

GRADASI KERIKIL

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
38	95 - 100	100	100
19	35 - 70	95 - 100	100
9.6	10 - 35	25 - 55	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

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

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR



**PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian Berat Isi Kerikil Gembur			Satuan
	I	II	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10837	6333	8585	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18685	14077	16381	gram
Berat Agregat (W3)	7848	7744	7796	gram
Volume Tabung (V)	5354,45	5372,36	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,47	1,44	1,45	gram/cm ³

**PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian Berat Isi Kerikil Padat			Satuan
	I	II	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10837	6333	8585	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19236	14756	16996	gram
Berat Agregat (W3)	8399	8423	8411	gram
Volume Tabung (V)	5354,45	5372,36	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,57	1,57	1,57	gram/cm ³

**PEMERIKSAAN KADAR AIR AGREGAT KASAR
(SNI 1971-2011)**

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian	
	I	II
Massa Wadah + Benda Uji (gram)	3539	3552
Massa Wadah (gram)	339	352
Massa Benda Uji (W1) (gram)	3200	3200
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (gram)	3460	3490
Massa Wadah (gram)	339	352
Massa Benda Uji Kering Oven (W2) (gram)	3121	3138
Kadar Air Total ($P = ((W1 - W2) / W2) \times 100$) (%)	2,53	1,98
Kadar Air Total Rata-rata (%)	2,25	

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN
AGREGAT KASAR
(SNI 1969-2008)**

Asal Agregat : Daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian		
	I	II	Rata-rata
Berat Benda Uji Kering Oven (A) (gram)	4892	4886	4889
Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan di Udara (B) (gram)	5000	5000	5000
Berat Benda Uji dalam Air (C) (gram)	3106	3077	3091,5
Berat Jenis Curah Kering ($S_d=A/(B-C)$)	2,58	2,54	2,56
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan ($S_s=B/(B-C)$)	2,64	2,60	2,62
Berat Jenis Semu ($S_a=A/(A-C)$)	2,74	2,70	2,72
Penyerapan Air ($S_w=((B-A)/A) \times 100$) (%)	2,21	2,33	2,27

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 1968-1990)**

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Sampel : 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
9,6	0	0	0	100
4,8	48	4,82	4,82	95,18
2,4	79	7,93	12,75	87,25
1,2	201	20,18	32,93	67,07
0,6	241	24,20	57,13	42,87
0,3	197	19,78	76,91	23,09
0,15	184	18,47	95,38	4,62
Sisa	46	4,62	-	-
Jumlah	996	100	279,92	-

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{279,92}{100} = 2,80$$

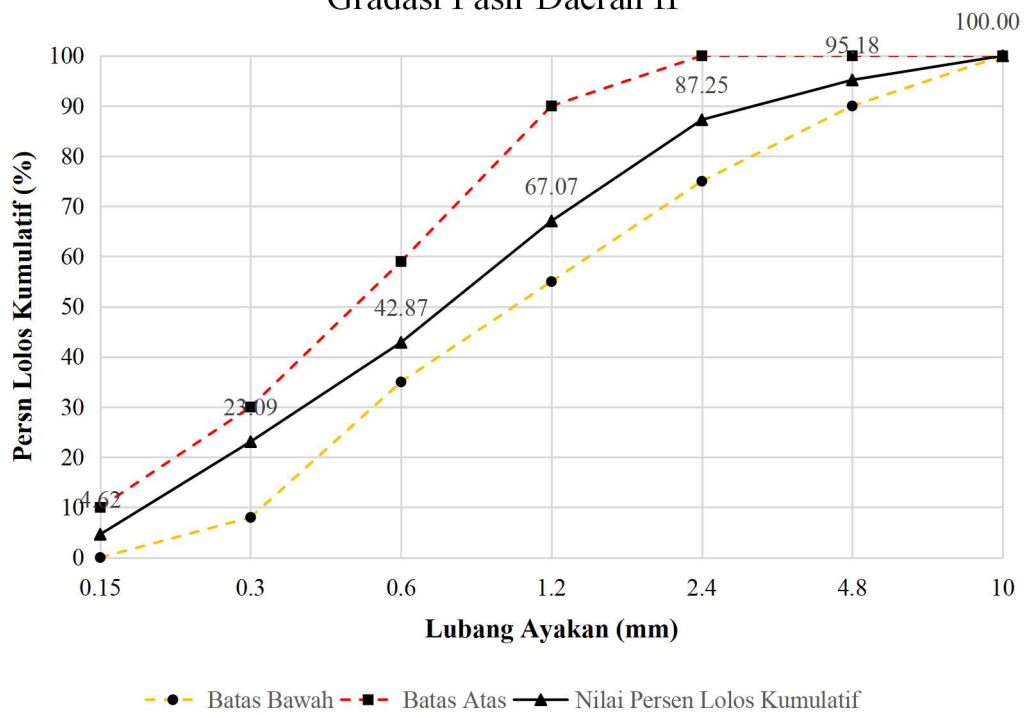
GRADASI PASIR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
9,6	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

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

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

Gradasi Pasir Daerah II



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

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Sampel : 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
9,6	0	0	0	100
4,8	59	5,94	5,94	94,06
2,4	84	8,45	14,39	85,61
1,2	197	19,82	34,21	65,79
0,6	202	20,32	54,53	45,47
0,3	211	21,23	75,75	24,25
0,15	208	20,93	96,98	3,32
Sisa	33	3,32	-	-
Jumlah	994	100	281,49	-

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{281,49}{100} \\ &= 2,81 \end{aligned}$$

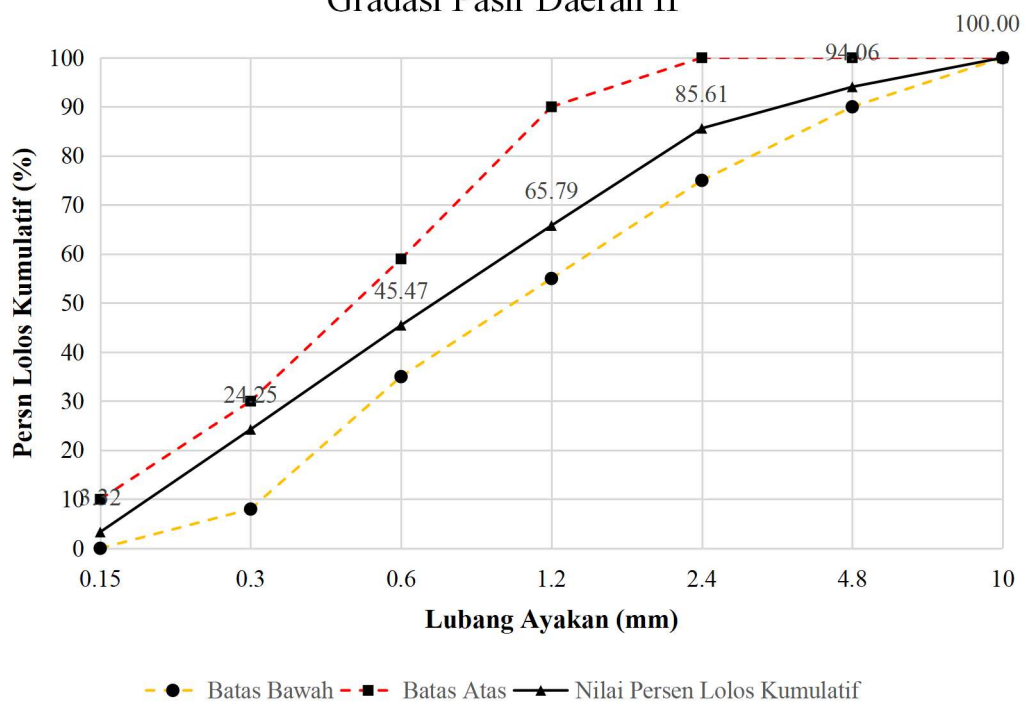
GRADASI PASIR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
9,6	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

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

GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS

Gradasi Pasir Daerah II



**PEMERIKSAAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian Berat Isi Pasir Gembur			Satuan
	I	II	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10837	6333	8585	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18660	14181	16420,5	gram
Berat Agregat (W3)	7823	7848	7835,5	gram
Diameter Tabung (d)	15	15,1	15,05	cm
Tinggi Tabung (t)	30,3	30	30,15	cm
Volume Tabung (V)	5354,45	5372,36	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,46	1,46	1,46	gram/cm ³

**PEMERIKSAAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)**

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian Berat Isi Pasir Padat			Satuan
	I	II	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10837	6333	8585	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19963	15413	17688	gram
Berat Agregat (W3)	9126	9080	9103	gram
Diameter Tabung (d)	15	15,1	15,05	cm
Tinggi Tabung (t)	30,3	30	30,15	cm
Volume Tabung (V)	5354,45	5372,36	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,70	1,69	1,70	gram/cm ³

**PEMERIKSAAN KADAR AIR AGREGAT HALUS
(SNI 1971-2011)**

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian	
	I	II
Massa Wadah + Benda Uji (gram)	1150	1207
Massa Wadah (gram)	150	207
Massa Benda Uji (W1) (gram)	1000	1000
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven (gram)	1104	1162
Massa Wadah (gram)	150	207
Massa Benda Uji Kering Oven (W2) (gram)	954	955
Kadar Air Total ($P = \frac{W1 - W2}{W2} \times 100$) (%)	4,82	4,71
Kadar Air Total Rata-rata (%)	4,77	

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN
AGREGAT HALUS
(SNI 1970-2008)**

Asal Agregat : Gunung Merapi, Kabupaten Sleman

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Uraian	Pengujian		
	I	II	Rata-rata
Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan (S) (gram)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (A) (gram)	489	483	486
Berat Piknometer yang Berisi Air (B) (gram)	734	711	723
Berat Piknometer dengan Benda Uji dan Air sampai Batas Pembacaan (C) (gram)	1054	1023	1039
Berat Jenis Curah Kering ($S_d=A/(B+S-C)$)	2,72	2,57	2,64
Berat Jenis Curah Jenuh Kering Permukaan ($S_s=S/(B+S-C)$)	2,78	2,66	2,72
Berat Jenis Semu ($S_a=A/(B+A-C)$)	2,89	2,82	2,86
Penyerapan Air ($S_w=((S-A)/A) \times 100$) (%)	2,25	3,52	2,88



PT. ANUGRAH ANALISIS SEMPURNA

One Line Laboratory Services

Jl. Raya Jakarta Bogor KM. 37, RT 005/04, Giladong, Depok, Jawa Barat 16412.

Telp.: 021- 29629393-94, Fax.: 021- 29629395. Website: www.aaslaboratory.com, Email: marketing@aaslaboratory.com.

A Member Of Saraswanti Group.

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No: AAS.LHP.IX.2021.2171

Nama Pelanggan: PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian
Customer Name: Pembangkitan Kapuas - ULPLTU Ketapang

Parameter Analisa: Komposisi Limbah Non B3 Terdaftar
Parameter

No	No. Sample	Kode Sample	Parameter Uji	HASIL	Satuan	Metode Pengukuran	Keterangan
1	08.1678	Fly Ash (Ash)	SiO ₂	58,60	%	12-13/SMM-AAS	
			Al ₂ O ₃	7,55	%	12-13/SMM-AAS	
			Fe ₂ O ₃	8,27	%	12-13/SMM-AAS	
			CaO	10,40	%	12-13/SMM-AAS	
			MgO	1,37	%	12-13/SMM-AAS	
			SO ₃	1,26	%	12-13/SMM-AAS	
			Na ₂ O ₃	1,31	%	12-13/SMM-AAS	
			K ₂ O	0,21	%	12-13/SMM-AAS	
			Loss of Ignition (LOI)	0,78	%	20-008/IK/SMM-AAS	
			Unburned Carbon	24,08	%	12-13/SMM-AAS	
			Moisture Content	0,76	%	18-NON-12/MU/SMM-AAS	

Depok, 06 September 2021
Manajer Teknis Pengujian
INDONESIA
D P O K
Sorly H. Saragih



PT. ANUGRAH ANALISIS SEMPURNA
One Line Laboratory Services

Jl. Raya Jakarta Bogor KM. 37, RT 005/04, Gilidong, Depok, Jawa Barat 16412.
Telp.: 021- 29629393-94, Fax.: 021- 29629395. Website: www.aaslaboratory.com, Email: marketing@aaslaboratory.com.
A Member Of Saraswanti Group.

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No: AAS.LHP.IX.2021.2171

Nama Pelanggan: PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian
Customer Name: Pembangkitan Kapuas - ULPLTU Ketapang

Parameter Analisa: Komposisi Limbah Non B3 Terdaftar
Parameter

No	No. Sample	Kode Sample	Parameter Uji	HASIL	Satuan	Metode Pengukuran	Keterangan
1	08.1678	Fly Ash	Strength Activity Index	91,00	%	ASTM C311	
			Water Requirement Ratio	111	%	ASTM C311	
			Soundness (Autoclave Method)	0,01	%	ASTM C311	
			Fineness	857	m ² /g	SNI 2049 : 2015	



Depok, 06 September 2021
Manajer Teknis Pengujian

Sonly H. Saragih



PT. ANUGRAH ANALISIS SEMPURNA

One Line Laboratory Services

Jl. Raya Jakarta Bogor KM. 37, RT 005/04, Cilodang, Depok, Jawa Barat 16412.
Telp.: 021- 29629393-94, Fax.: 021- 29629395. Website: www.aaslaboratory.com, Email: marketing@aaslaboratory.com.
A Member Of Saraswanti Group.

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No: AAS.LHP.IX.2021.2171

Nama Pelanggan: PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian
Customer Name: Pembangkitan Kapuas - ULPLTU Ketapang

Parameter Analisa: Komposisi Limbah Non B3 Terdaftar
Parameter

No	No. Sample	Kode Sample	Parameter Uji	HASIL	Satuan	Metode Pengukuran	Keterangan	
1	08.1678	Fly Ash	Particle Size					
			>0,85 mm	0,00	%	GL2059		
			>0,50 mm	0,10	%	GL2059		
			>0,30 mm	0,82	%	GL2059		
			>0,18 mm	7,89	%	GL2059		
			<0,18 mm	92,11	%	GL2059		



Depok, 06 September 2021
Manajer Teknis Pengujian

Sony H. Saragih

Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan Nilai *Slump*

**PEMERIKSAAN UJI *SLUMP* BETON
(SNI 1972-2008)**

Umur Beton (hari)	Variasi <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Slump</i> Rencana (mm)	<i>Slump</i> yang Diperoleh (mm)	<i>Slump</i> Rata-rata (mm)
3	0	75 - 100	95	96.5
			98	
	10		80	80
			80	
	11		77	77.5
			78	
	12		76	77
			78	
	13		77	75
			73	
	14		72	72.5
			73	
15	73	72.5		
	72			
7	0	75 - 100	90	93
			96	
	10		79	79.5
			80	
	11		75	76.5
			78	
	12		74	74.5
			75	
	13		74	75
			76	
	14		75	74
			73	
15	74	72		
	70			

**PEMERIKSAAN UJI *SLUMP* BETON
(SNI 1972-2008)**

Umur Beton (hari)	Variasi <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Slump</i> Rencana (mm)	<i>Slump</i> yang Diperoleh (mm)	<i>Slump</i> Rata-rata (mm)
14	0	75 - 100	98	97.5
			97	
	10		79	78
			77	
	11		76	77
			78	
	12		77	75.5
			74	
	13		74	75
			76	
	14		74	75
			76	
15	71	70.5		
	70			
28	0	75 - 100	93	94.5
			96	
	10		80	79
			78	
	11		76	77
			78	
	12		76	77
			78	
	13		73	74.5
			76	
	14		75	73.5
			72	
15	74	73		
	72			

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Beton

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON (SNI 03-1974-2011)

Nama : Esha Muhammady
NIM : 17 511 110
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (kg)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	3 - 0%	3	150.5	300	17789.5	12926	190	10.680
b			151	302	17907.9	12990	209	11.671
c			151.5	301	18026.7	13017	183	10.152
d			150.5	303	17789.5	12977	200	11.243
e			150	300	17671.5	12797	180	10.186
a	3 - 10%		152	298	18145.8	13028	238	13.116
b			151.8	298	18098.1	12869	225	12.432
c			150.8	300	17860.5	12804	262	14.669
d			153	299	18385.4	12879	244	13.271
e			151	301	17907.9	12828	280	15.636
a	3 - 11%		152.8	299	18337.4	12826	254	13.852
b			153.3	298	18457.6	12603	269	14.574
c			150.5	304	17789.5	12826	288	16.189
d			150	301	17671.5	12296	272	15.392
e			149	302	17436.6	12819	233	13.363
a	3 - 12%	150.7	292	17836.8	12659	276	15.474	
b		152.2	302	18193.6	13071	288	15.830	
c		151.8	298	18098.1	12862	289	15.969	
d		150.5	301	17789.5	12918	253	14.222	
e		151.3	303	17979.1	12917	300	16.686	


LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	3 - 13%	3	151.8	300	18098.1	12918	269	14.863
b			150.4	301	17765.8	12983	283	15.929
c			154	304	18626.5	13011	288	15.462
d			150.25	296	17730.4	12498	280	15.792
e			151.8	304	18098.1	12835	291	16.079
a	3 - 14%		151.1	296	17931.6	12650	310	17.288
b			151.8	302	18098.1	13027	260	14.366
c			151.5	301	18026.7	12763	255	14.146
d			150.7	298	17836.8	12705	267	14.969
e			151.5	300	18026.7	13095	270	14.978
a	3 - 15%		150.5	299	17789.5	12680	252	14.166
b			152	300	18145.8	12794	258	14.218
c			150.5	298	17789.5	12879	225	12.648
d			151.3	296	17979.1	12593	194	10.790
e			151	297	17907.9	12500	263	14.686

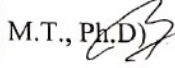
Yogyakarta, 6 Oktober 2022

Diperiksa,
Laboran

Disetujui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil


(Daru Salam, A.Md.)




M.T., Ph.D.

**LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)**

Nama : Esha Muhammady
NIM : 17 511 110
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	7 - 0%	7	153	300	18385.4	13115	284	15.447
b			149.75	301	17612.6	12989	290	16.465
c			152	298	18145.8	12931	245	13.502
d			151.5	304	18026.7	12944	257	14.257
e			149.4	301	17530.4	12815	245	13.976
a	7 - 10%		151.5	304	18026.7	12776	263	14.590
b			150.7	298	17836.8	12767	300	16.819
c			149.8	295	17624.4	12740	295	16.738
d			151	303	17907.9	12712	313	17.478
e			150.25	300	17730.4	12885	247	13.931
a	7 - 11%		150.4	301	17765.8	12659	235	13.228
b			150.5	301	17789.5	12878	325	18.269
c			150.1	303	17695.0	12938	312	17.632
d			149.6	296	17577.3	12534	294	16.726
e			151.5	300	18026.7	12765	265	14.700
a	7 - 12%	150.7	302	17836.8	12835	289	16.202	
b		150.1	299	17695.0	12766	305	17.236	
c		150.6	297	17813.1	12724	267	14.989	
d		150.7	301	17836.8	12728	281	15.754	
e		154	298	18626.5	12780	320	17.180	

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	7 - 13%	7	151.4	299	18002.9	12873	280	15.553
b			150.3	301	17742.2	13007	290	16.345
c			150.2	299	17718.6	12776	285	16.085
d			150.6	298	17813.1	12766	320	17.964
e			151	303	17907.9	12649	285	15.915
a	7 - 14%		150.2	298	17718.6	12904	300	16.931
b			152.7	299	18313.4	12747	280	15.289
c			149.6	298	17577.3	12335	305	17.352
d			151	296	17907.9	12904	260	14.519
e			150	302	17671.5	12815	273	15.449
a	7 - 15%	150	300	17671.5	12817	280	15.845	
b		149.9	300	17647.9	12527	222	12.579	
c		149.65	298	17589.1	12644	300	17.056	
d		149.9	299	17647.9	12630	285	16.149	
e		150.4	298	17765.8	12526	273	15.367	

Yogyakarta, 6 Oktober 2022

Diperiksa,
Laboran

Disetujui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Daru Salam, A.Md.)



**LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)**

Nama : Esha Muhammady
NIM : 17 511 110
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	14 - 0%	14	151.6	297	18050.5	12712	300	16.620
b			150.8	300	17860.5	13163	283	15.845
c			151	301	17907.9	12948	300	16.752
d			150.2	296	17718.6	12582	315	17.778
e			150.75	300	17848.6	12826	300	16.808
a	14 - 10%		153.3	300	18457.6	12812	330	17.879
b			149.9	304	17647.9	13043	345	19.549
c			151.5	301	18026.7	12982	310	17.197
d			152	298	18145.8	12841	324	17.855
e			150	299	17671.5	12826	320	18.108
a	14 - 11%		151.4	303	18002.9	12865	317	17.608
b			149.9	304	17647.9	12999	345	19.549
c			151.1	302	17931.6	12795	326	18.180
d			149.8	301	17624.4	12801	350	19.859
e			151	302	17907.9	12998	287	16.026
a	14 - 12%	151.3	301	17979.1	12898	345	19.189	
b		150.6	302	17813.1	13042	360	20.210	
c		149.5	303	17553.8	12822	335	19.084	
d		151	304	17907.9	13031	300	16.752	
e		150.8	298	17860.5	13008	342	19.148	

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	14 - 13%	14	151.4	298	18002.9	12657	350	19.441
b			149.9	301	17647.9	12652	345	19.549
c			150.4	298	17765.8	12718	337	18.969
d			149.5	303	17553.8	13096	330	18.799
e			151	300	17907.9	12746	320	17.869
a	14 - 14%		150.6	299	17813.1	12928	345	19.368
b			152.1	299	18169.7	12885	330	18.162
c			150.4	300	17765.8	12943	315	17.731
d			150.7	302	17836.8	13026	255	14.296
e			151.3	299	17979.1	12837	320	17.798
a	14 - 15%		149.6	304	17577.3	12948	325	18.490
b			154.4	305	18723.4	13056	310	16.557
c			149.6	303	17577.3	13017	280	15.930
d			152	301	18145.8	12881	315	17.359
e			148.1	301	17226.6	13007	300	17.415

Yogyakarta, 6 Oktober 2022

Diperiksa,
Laboran

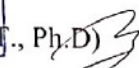
Disetujui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Daru Salam, A.Md.)



(Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.) 

**LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)**

Nama : Esha Muhammady
NIM : 17 511 110
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	28 - 0%	28	150.2	300	17718.6	13159	400	22.575
b			150.75	296	17848.6	13154	365	20.450
c			150.65	304	17824.9	13442	400	22.440
d			152.5	297	18265.4	13048	405	22.173
e			149.4	301	17530.4	13123	325	18.539
a	28 - 10%		151.8	300	18098.1	13048	430	23.759
b			152.45	303	18253.4	13144	350	19.174
c			152.45	298	18253.4	12930	455	24.927
d			150.55	300	17801.3	13043	443	24.886
e			150.2	300	17718.6	13154	385	21.729
a	28 - 11%		152.2	299	18193.6	12946	445	24.459
b			149.5	305	17553.8	13030	420	23.926
c			152.7	301	18313.4	12986	430	23.480
d			151.7	300	18074.3	13119	430	23.791
e			151.8	299	18098.1	12889	365	20.168
a	28 - 12%	150	300	17671.5	12825	385	21.787	
b		149	297	17436.6	12732	450	25.808	
c		151.1	299	17931.6	12863	425	23.701	
d		151.9	303	18122.0	13214	445	24.556	
e		153	302	18385.4	12815	450	24.476	

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 03-1974-2011)

No	Kode	Umur Beton (hari)	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (Kg)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Desak Aktual (MPa)
a	28 - 13%	28	150	297	17671.5	12832	425	24.050
b			151.4	300	18002.9	12942	435	24.163
c			151.3	298	17979.1	12836	410	22.804
d			151	300	17907.9	12737	423	23.621
e			150.6	299	17813.1	12704	420	23.578
a	28 - 14%		152.9	300	18361.4	12976	355	19.334
b			151	300	17907.9	12836	400	22.337
c			150.5	297	17789.5	12698	385	21.642
d			151.1	300	17931.6	13051	385	21.470
e			150.6	297	17813.1	12864	445	24.982
a	28 - 15%		150.9	301	17884.2	12803	385	21.527
b			149.4	305	17530.4	13217	400	22.818
c			149.8	300	17624.4	12842	365	20.710
d			151.7	302	18074.3	12785	360	19.918
e			150.8	303	17860.5	13180	360	20.156

Yogyakarta, 6 Oktober 2022

Diperiksa,
Laboran

Disetujui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil



(Daru Salam, A.Md.)



(M. Ghani Raziah, S.T., M.T., Ph.D.) 