

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KEKUATAN BETON DENGAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN (COMPARISON OF CONCRETE STRENGTH WITH *FLY ASH* AND *SILICA FUME* AS A PARTIAL CEMENT SUBSTITUTIONS)

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



**Mukhamad Riski Maulana
18511195**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KEKUATAN BETON DENGAN *FLY ASH* DAN *SILICA FUME* SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN (COMPARISON OF CONCRETE STRENGTH WITH *FLY ASH* AND *SILICA FUME* AS A PARTIAL CEMENT SUBSTITUTIONS)

Disusun oleh

Mukhamad Riski Maulana
18511195

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

Diuji pada tanggal 17 Agustus 1945

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

Ir. Suharyatma, M.T.
NIK: 865110201

Penguji II

Jafar, S.T., M.T., MURP.
NIK: 185111305

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.
NIK: 885110101



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 saya 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, 02 Agustus 2022

Penulis,



Mukhamad Riski Maulana
(18511195)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Kekuatan Beton dengan Fly Ash dan Silica Fume sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen*. 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 banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan membantu penulis dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Suharyatma, M.T. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir.
4. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir.
5. Bapak Darussalam dan Bapak Suwarno selaku Laboran Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik UII yang telah membantu dalam proses penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik.
6. Orang tua penulis yang telah mendukung dan berkorban baik materi maupun spiritual hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
7. Alfina yang telah menemani dan memberi dukungan dari awal hingga akhir dalam penelitian Tugas Akhir.
8. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2018 (Dani, Dayu, Adhi, Zaneta, Zhazha, Bagus, Miqdad, Firza) yang telah membantu selama proses penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.

9. Semua Pihak yang telah membantu menyelesaikan dalam penyusunan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna sehingga segala kritik dan saran dari pembaca sangat dibutuhkan. Besar harapan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 02 Agustus 2022
Penulis,



Mukhamad Riski Maulana
(18511195)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete</i>	5
2.2 <i>Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan</i>	5
2.3 <i>Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton</i>	6
2.4 <i>Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Fly Ash sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycle Coarse Aggregate)</i>	6
2.5 <i>Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Silica Fume terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi</i>	7

2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 <i>Fly Ash</i>	11
3.1.1 Pengertian <i>Fly Ash</i>	11
3.1.2 Klasifikasi <i>Fly Ash</i>	11
3.1.3 Karakteristik <i>Fly Ash</i>	12
3.1.4 Kelebihan dan Kekurangan <i>Fly Ash</i>	14
3.2 <i>Silica Fume</i>	15
3.2.1 Pengertian <i>Silica Fume</i>	15
3.2.2 Karakteristik <i>Silica Fume</i>	16
3.2.3 Kelebihan dan Kekurangan <i>Silica Fume</i>	17
3.3 Beton	18
3.3.1 Pengertian Beton	18
3.3.2 Jenis-jenis Beton	18
3.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton	20
3.4 Semen	21
3.5 Agregat	22
3.5.1 Agregat Kasar	22
3.5.2 Agregat Halus	23
3.5.3 Pengujian Material Agregat Kasar	24
3.5.4 Pengujian Material Agregat Halus	26
3.6 Air	29
3.7 Pengujian Beton	29
3.7.1 Uji Tekan	29
3.7.2 Uji Tarik	30
3.7.3 Uji Lentur	32
BAB IV METODE PENELITIAN	34
4.1 Tinjauan Umum	34
4.2 Bahan-bahan	34
4.3 Peralatan	36
4.4 Benda Uji	42

4.5	Desain Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	43
4.6	Pelaksanaan Penelitian	52
4.6.1	Tahap Persiapan dan Pemeriksaan Bahan	52
4.6.2	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	57
4.6.3	Pengujian Kuat Tekan Benda Uji	58
4.6.4	Pengujian Kuat Tarik Benda Uji	59
4.6.5	Pengujian Kuat Lentur Benda Uji	60
4.7	Bagan Alir Penelitian	61
BAB V	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	63
5.1	Umum	63
5.2	Pemeriksaan Bahan	63
5.2.1	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	63
5.2.2	Pengujian Berat Volume Agregat Halus	64
5.2.3	Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus	65
5.2.4	Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan #200)	68
5.2.5	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	69
5.2.6	Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	69
5.2.7	Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar	70
5.3	Perencanaan Campuran Beton	74
5.4	Pengujian Beton	81
5.4.1	<i>Slump</i>	81
5.4.2	Kuat Tekan Beton	82
5.4.3	Kuat Tarik Belah Beton	85
5.4.4	Kuat Lentur Beton	90
5.4.5	Pembahasan Keseluruhan	93
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	97
6.1	Kesimpulan	97
6.2	Saran	98
	DAFTAR PUSTAKA	99
	LAMPIRAN	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
Tabel 3.1	Persyaratan Fisik <i>Fly Ash</i>	13
Tabel 3.2	Persyaratan Kimia <i>Fly Ash</i>	14
Tabel 3.3	Sifat Fisik <i>Silica Fume</i>	16
Tabel 3.4	Komposisi Kimia <i>Silica Fume</i>	17
Tabel 3.5	Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Kasar	22
Tabel 3.6	Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Halus	23
Tabel 4.1	Jumlah Benda Uji	42
Tabel 4.2	Variasi Campuran Beton	43
Tabel 4.3	Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan $f_{as} = 0,5$	44
Tabel 4.4	Kadar Semen Minimum Dan Faktor Air Semen Maksimum	46
Tabel 4.5	Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3)	47
Tabel 5.1	Data Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	63
Tabel 5.2	Data Berat Volume Gembur Agregat Halus	64
Tabel 5.3	Data Berat Volume Padat Agregat Halus	64
Tabel 5.4	Data Modulus Halus Butir Agregat Halus (Sampel 1)	65
Tabel 5.5	Data Modulus Halus Butir Agregat Halus (Sampel 2)	66
Tabel 5.6	Data Kandungan Lumpur Agregat Halus	68
Tabel 5.7	Data Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	69
Tabel 5.8	Data Berat Volume Gembur Agregat Kasar	69
Tabel 5.9	Data Berat Volume Padat Agregat Kasar	70
Tabel 5.10	Data Modulus Halus Butir Agregat Kasar (Sampel 1)	70
Tabel 5.11	Data Modulus Halus Butir Agregat Kasar (Sampel 2)	71
Tabel 5.12	Rekapitulasi Desain Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	79
Tabel 5.13	Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per m^3	80
Tabel 5.14	Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per m^3 dengan Tambahan Angka Penyusutan Sebesar 15%	80

Tabel 5.15	Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per Variasi Untuk 12 Silinder dan 3 Balok	80
Tabel 5.16	Nilai Slump	81
Tabel 5.17	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	83
Tabel 5.18	Selisih antara Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)	85
Tabel 5.19	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	86
Tabel 5.20	Selisih antara Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)	88
Tabel 5.21	Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton	89
Tabel 5.22	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	91
Tabel 5.23	Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton	92
Tabel 5.24	Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	<i>Silica Fume</i> Dilihat Secara Mikroskopik	16
Gambar 3.2	Pengujian Kuat Tekan	30
Gambar 3.3	Kondisi Pembebanan Uji Kuat Tarik Belah	31
Gambar 3.4	Pengujian Kuat Lentur	32
Gambar 4.1	Semen	34
Gambar 4.2	Agregat Halus Dan Agregat Kasar	35
Gambar 4.3	Air	35
Gambar 4.4	<i>Fly Ash</i>	36
Gambar 4.5	<i>Silica Fume</i>	36
Gambar 4.6	Timbangan	36
Gambar 4.7	Piknometer	37
Gambar 4.8	Tongkat Penumbuk dan Palu Karet	37
Gambar 4.9	Talam	37
Gambar 4.10	Oven	38
Gambar 4.11	Satu Set Saringan	38
Gambar 4.12	Mesin Penggetar Saringan	38
Gambar 4.13	Bak Perendaman	39
Gambar 4.14	Cetakan Beton	39
Gambar 4.15	Kerucut Abrams	39
Gambar 4.16	Mesin Pengaduk (<i>Mixer</i>)	40
Gambar 4.17	Gerobak Dorong	40
Gambar 4.18	Penggaris dan Jangka Sorong	40
Gambar 4.19	<i>Compression Testing Machine</i> (CTM)	41
Gambar 4.20	<i>Universal Testing Machine</i> (UTM)	41
Gambar 4.21	Alat Bantu Lainnya	41
Gambar 4.22	Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (<i>fas</i>)	45
Gambar 4.23	Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 1	47
Gambar 4.24	Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 2	48

Gambar 4.25	Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 3	48
Gambar 4.26	Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 4	48
Gambar 4.27	Hubungan Faktor Air Semen – Proporsi Agregat Halus Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	49
Gambar 4.28	Grafik Penentuan Berat Isi Beton Segar	50
Gambar 4.29	Bagan Alir Penelitian	62
Gambar 5.1	Grafik Gradasi Agregat Halus (Sampel 1)	67
Gambar 5.2	Grafik Gradasi Agregat Halus (Sampel 2)	68
Gambar 5.3	Grafik Gradasi Agregat Kasar (Sampel 1)	73
Gambar 5.4	Grafik Gradasi Agregat Kasar (Sampel 2)	73
Gambar 5.5	Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (<i>fas</i>)	75
Gambar 5.6	Hubungan Faktor Air Semen – Proporsi Agregat Halus Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	77
Gambar 5.7	Grafik Penentuan Berat Isi Beton Segar	78
Gambar 5.8	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	83
Gambar 5.9	Grafik Selisih antara Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)	85
Gambar 5.10	Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	87
Gambar 5.11	Grafik Selisih antara Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)	88
Gambar 5.12	Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	104
Lampiran 2	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus	105
Lampiran 3	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus	109
Lampiran 4	Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus	111
Lampiran 5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	112
Lampiran 6	Hasil Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar	113
Lampiran 7	Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	117
Lampiran 8	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari	119
Lampiran 9	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari	120
Lampiran 10	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 7 Hari	121
Lampiran 11	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari	122
Lampiran 12	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton pada Umur 28 Hari	123
Lampiran 13	Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	128
Lampiran 14	Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton	131
Lampiran 15	Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	134
Lampiran 16	Dokumentasi Proses Penelitian Tugas Akhir	136

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
PUBI	= Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia
CTM	= <i>Compression Testing Machine</i>
UTM	= <i>Universal Testing Machine</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
f'_c	= Kuat Tekan Beton, MPa
f'_{cr}	= Kuat Tekan Beton Rata-rata yang Ditargetkan, MPa
f_{ct}	= Kuat Tarik Belah Beton, MPa
f_r	= Kuat Lentur Beton, MPa
P	= Beban Maksimum, N
L	= Panjang Benda Uji, mm
D	= Diameter Benda Uji, mm
T	= Tinggi Benda Uji, mm
π	= Phi
A	= Luas Penampang Benda Uji, mm ²
h	= Tinggi Tampang Lintang Patah, mm
b	= Lebar Tampang Lintang Patah, mm
c	= Jarak Rata-rata antara Lintang Patah dan Tumpuan Terdekat, mm
Sr	= Standar Deviasi
M	= Nilai Tambah
f_{as}	= Faktor Air Semen
Ka	= Kadar Air Bebas
Ks	= Kadar Semen
Kag	= Kadar Agregat Gabungan
Kah	= Kadar Agregat Halus
Kak	= Kadar Agregat Kasar
Wh	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Halus

W _k	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Kasar
W _{beton}	= Berat Isi Beton
%AH	= Persentase Agregat Halus, %
%AK	= Persentase Agregat Kasar, %
B _j AH	= Berat Jenis Agregat Halus
B _j AK	= Berat Jenis Agregat Kasar
BN	= Beton Normal / Beton dengan Penggantian Semen berupa <i>Fly Ash</i> & <i>Silica Fume</i> sebesar 0%
FS60	= Beton dengan Penggantian Semen berupa <i>Fly Ash</i> & <i>Silica Fume</i> sebesar 60%
FS70	= Beton dengan Penggantian Semen berupa <i>Fly Ash</i> & <i>Silica Fume</i> sebesar 70%
FS80	= Beton dengan Penggantian Semen berupa <i>Fly Ash</i> & <i>Silica Fume</i> sebesar 80%
FS90	= Beton dengan Penggantian Semen berupa <i>Fly Ash</i> & <i>Silica Fume</i> sebesar 90%

ABSTRAK

Seiring perkembangan zaman, teknologi beton menimbulkan inovasi terbaru dengan adanya bahan tambah untuk mengurangi jumlah penggunaan semen pada campuran beton. Kemiripan sifat yang dimiliki *fly ash* dan *silica fume* dapat digunakan sebagai bahan untuk mengurangi penggunaan semen.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perbandingan kekuatan beton yang dihasilkan dari penggunaan *fly ash* dan *silica fume* dengan persentase penggantian semen sebesar 0%, 60%, 70%, 80% dan 90%. Metode perancangan campuran beton yang digunakan berdasarkan SNI 03-2834-2000. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sebanyak 60 sampel dan balok (600x150x150 mm) sebanyak 12 sampel. Pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari. Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persentase *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti semen sebesar 60% memiliki hasil tertinggi dibandingkan dengan persentase 70%, 80%, dan 90%, meskipun kekuatan beton yang dihasilkan masih dibawah kekuatan beton normal. Pada variasi persentase 60% diperoleh hasil kuat tekan beton sebesar 7,933 MPa pada umur 7 hari dan 17,690 MPa pada umur 28 hari; kuat tarik belah beton sebesar 0,771 MPa pada umur 7 hari dan 1,875 MPa pada umur 28 hari; kuat lentur beton sebesar 3,158 MPa pada umur 28 hari. Kekuatan beton pada persentase 60% hingga 90% mengalami penurunan secara berurutan sehingga dapat disimpulkan bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian semen maka kekuatan beton yang dihasilkan semakin menurun.

Kata kunci: *Fly ash*, *Silica fume*, Kuat tekan, Kuat tarik telah, Kuat tentur

ABSTRACT

Concrete technology has improved through the years, leading to the latest innovations with additional material to reduce the amount of cement needed in the concrete mix. The characteristic similarities of fly ash and silica fume can be used as a material to minimize the usage cement.

The purpose of this study is to determine the ratio of concrete strength produced from the use of fly ash and silica fume with percentages of cement replacement of 0%, 60%, 70%, 80%, and 90%. The concrete mix design method used is based on SNI 03-2834-2000. The specimens used was 60 samples of cylindrical (150 mm in diameter, 300 mm in height) and 12 samples of beams (600x150x150 mm). Concrete compressive and split tensile strength were tested at the 7th and 28th days. The flexural strength of concrete was tested at the 28th days.

According to the findings of this study, the percentage of fly ash and silica fume as a cement replacement material of 60% has the highest result compared to 70%, 80%, and 90%, although the strength of the produced concrete was still below a normal concrete strength. At 60% variation, the concrete compressive strength of concrete was 7,933 MPa at the 7th days and 17,690 MPa at the 28th days; the split tensile strength of concrete was 0,771 MPa at the 7th days and 1,875 MPa at the 28th days; the flexural strength of concrete was 3,158 MPa at the 28th days. The strength of concrete at the percentage of 60% to 90% experienced reduction sequentially, so it can be concluded that as the cement replacement percentage increases, the strength of the resulting concrete decreases.

Keywords: Fly ash, Silica fume, Compressive strength, Split tensile strength, Flexural strength

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berpengaruh terhadap kemajuan semua aspek kehidupan manusia. Salah satunya kemajuan didalam bidang konstruksi. Bidang konstruksi sangat populer pada masa sekarang, banyak pembangunan dilakukan dimana-mana, seperti pembangunan bangunan, jalan, bendungan, jembatan dan pembangunan infrastruktur lainnya. Pembangunan tersebut memerlukan perencanaan serta perancangan yang baik dari segi desain konstruksi hingga material-material yang akan digunakan.

Material konstruksi merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena kualitas material sangat berpengaruh terhadap hasil dari suatu pembangunan proyek konstruksi. Salah satu material konstruksi yang sangat penting yaitu beton. Beton yang dihasilkan harus memiliki kualitas yang baik. Terdapat beberapa kriteria pada perancangan beton agar memperoleh beton yang baik yakni memiliki kuat (*strenght*) yang tinggi, mudah diolah (*workability*) dan keawetan (*durability*) yang baik (Sujatmiko, 2019).

Beton merupakan bahan yang terdiri dari campuran semen, air, agregat halus dan agregat kasar. Seiring perkembangan zaman, teknologi beton juga menimbulkan inovasi terbaru dengan adanya bahan tambah (*admixture*) pada campuran beton tersebut. Beton dengan bahan tambah memiliki kelebihan dibandingkan dengan beton tanpa bahan tambah. Seperti yang dikutip dari Sujatmiko (2019) bahwa penggunaan bahan tambah dapat meningkatkan kekuatan beton, memperbaiki pengerjaan (*workability*), meningkatkan sifat kedap air, mengurangi penggunaan semen hingga waktu pengikatan aduk beton dapat disesuaikan.

Secara umum ada dua jenis bahan tambah yaitu bahan tambah mineral (*additive*) dan bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*). Semakin baik

karakteristik bahan tambah yang digunakan maka akan semakin baik beton yang dihasilkan. (Sujatmiko, 2019).

Pada penelitian ini, bahan yang akan digunakan yaitu bahan tambah mineral (*additive*) berupa *fly ash* dan *silica fume*. *Fly ash* atau abu terbang yaitu material sisa pembakaran batu bara yang sangat halus. *Fly ash* memiliki kemiripan sifat dengan semen yaitu kehalusan butiran-butirannya secara fisik dan kandungan kimiawi berupa silika (Setiawati, 2018).

Bahan tambah mineral (*additive*) yang kedua yaitu *silica fume*. Menurut “*Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*” (ASTM C 1240/C 1240M - 05, 2005), *silica fume* merupakan bahan pozzolan yang sangat halus, tersusun dari sebagian besar silika amorf yang diproduksi oleh tungku busur listrik sebagai produk sampingan dari produksi silikon. *Silica fume* mengandung senyawa silika dan memiliki butiran-butiran yang sangat halus hingga 100 kali lebih kecil dibandingkan dengan butiran semen (Hapsari et al., 2017).

Fly ash dan *silica fume* memiliki kemiripan sifat yaitu dapat memengaruhi kekuatan beton hingga titik maksimum dibandingkan dengan beton tanpa bahan tambah, yang dapat menjadikannya sebagai material pengganti untuk mengurangi jumlah penggunaan semen dalam campuran beton (Widyastana et al., 2018). Maka dari itu, bahan-bahan tersebut digunakan untuk mengganti sebagian semen pada campuran beton.

Menurut Pathak (2020), campuran beton yang menggunakan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti semen menghasilkan kekuatan beton yang baik dibandingkan dengan beton normal. Pada penelitian tersebut didapatkan kekuatan beton maksimum pada penggantian semen sebesar 60%. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan penggantian semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90% dengan menggunakan *fly ash* dan *silica fume*, sehingga dapat diketahui perbandingan kekuatan antara beton normal dengan beton campuran saat komposisi *fly ash* dan *silica fume* ditingkatkan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan nilai kuat tekan beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%?
2. Bagaimana perbandingan nilai kuat tarik beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%?
3. Bagaimana perbandingan nilai kuat lentur beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perbandingan nilai kuat tekan beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%.
2. Mengetahui perbandingan nilai kuat tarik beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%.
3. Mengetahui perbandingan nilai kuat lentur beton antara beton normal dan beton dengan campuran *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi dan pengetahuan dalam perencanaan bangunan teknik sipil.
2. Memberikan pemahaman tentang bahan alternatif berupa *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen.

3. Mengetahui pengaruh *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen pada campuran beton.
4. Mengetahui kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur yang dihasilkan dari beton yang menggunakan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen.
5. Memberikan informasi perbandingan kekuatan yang dihasilkan dari campuran beton dengan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini meliputi :

1. Kuat tekan yang direncanakan yaitu $f'_c = 25$ MPa.
2. Ketentuan nilai slump 60 – 180 mm.
3. Ukuran maksimum agregat yaitu 20 mm.
4. Persentase variasi *fly ash* dan *silica fume* terhadap penggantian semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%
5. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari progo.
6. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari celereng.
7. Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk Dynamix.
8. *Fly Ash* yang digunakan pada penelitian ini tipe C dan berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.
9. *Silica Fume* yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk MasterLife SF 100.
10. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm, tinggi 300 mm dan balok dengan ukuran 600x150x150 mm.
11. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari.
12. Pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete*

Pathak (2020) melakukan penelitian yang berjudul “*Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete*”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui persentase proporsi campuran terbaik dari *fly ash* dan *silica* dalam pengaruhnya pada kekuatan beton. Hasil pada penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* maupun *fly ash* memberikan dampak positif sebagai campuran beton dimana dapat mengatasi *bleeding*, segregasi, dan juga meningkatkan slump pada beton. Penggunaan *silica fume* juga memberikan dampak positif bagi lingkungan dimana penggunaan *silica fume* dapat mereduksi emisi CO₂ di lingkungan. Penggunaan *fly ash* dan *silica fume* sebanyak 60% pada campuran beton dapat meningkatkan kekuatan beton dan juga mengurangi penggunaan semen.

2.2 *Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan*

Indrayani et al. (2019) melakukan penelitian dengan judul “*Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan*”. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti semen dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash*. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa kuat tekan terbesar yaitu 395,56 kg/cm² pada beton geopolimer dengan *fly ash* dan perbandingan Na₂SiO₃/NaOH sebesar 5:1 pada umur uji 28 hari. Selain itu juga semakin besar penambahan Na₂SiO₃/NaOH terhadap *fly ash* juga mengakibatkan penambahan kuat tekan beton.

2.3 *Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton*

Setiawati (2018) melakukan penelitian yang berjudul “*Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *fly ash* sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton. Pada penelitian ini menggunakan variasi persentase campuran *fly ash* dan uji umur yang dilakukan juga beragam yaitu 3, 7, 14, dan 18 hari. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa penggunaan *fly ash* sebesar 12,5% memberikan nilai kuat tekan tertinggi yaitu pada 404,03 Kg/cm² pada umur 28 hari dengan persentase peningkatan 27,95%. Selain itu juga diketahui pada awal umur beton nilai kuat tertinggi pada penggunaan *fly ash* 12,5%, sebesar 231,04 Kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 60% terhadap beton normal sehingga disimpulkan bahwa pada awal umur beton, penggunaan *fly ash* mempengaruhi kekuatan beton.

2.4 *Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Fly Ash sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycle Coarse Aggregate)*

Widyastana et al. (2018) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Silica Fume* dan *Fly Ash* sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (*Recycle Coarse Aggregate*)”. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh dari *fly ash*, *silica fume*, dan campuran *fly ash* serta *silica fume* sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton. Hasil penelitian ini ialah pada penggunaan *silica fume* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan penggunaan *silica fume* akan mencapai nilai maksimum pada saat penggunaan persentase *silica fume* sebesar 7%. Pada penggunaan *fly ash* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan penggunaan *fly ash* akan mencapai nilai maksimum pada saat penggunaan persentase *fly ash* sebesar 25%. Pada penggunaan campuran *fly ash* + *silica fume* sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan variasi campuran RCA 50%, FA 25%, SF 7% sebesar 10,631 MPa. Pada penelitian ini juga didapati nilai kuat tekan paling besar terdapat

pada variasi persentase campuran RCA 50%, FA 25%, SF 7% dengan umur pengujian 56 hari.

2.5 Kajian Pengaruh Variasi Komposisi *Silica Fume* terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi

Hapsari et al. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Kajian Pengaruh Variasi Komposisi *Silica Fume* terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penggunaan *silica fume* terhadap parameter beton dengan kuat tekan beton mutu tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *silica fume* dengan kadar 8% memberikan hasil terbaik dimana semakin tinggi kadar *silica fume* yang disubstitusikan maka kemampuan mengalir beton akan semakin berkurang karena beton akan semakin kental (*viscous*) dan juga beton dengan *silica fume* memiliki kuat tekan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *silica fume*, baik pada umur 14 hari maupun umur 28 hari. Kuat tekan optimum didapatkan pada beton dengan *silica fume* sebesar 10,48% pada umur 14 hari dan 9,34% pada umur 28 hari.

2.6 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Adapun perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan saat ini. Terdapat beberapa perbedaan dari penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang yang disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Pathak (2020)	Indrayani et al. (2019)	Setiawati (2018)	Widyastana et al. (2018)	Hapsari et al. (2017)	Penulis
Judul Penelitian	<i>Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete</i>	<i>Fly Ash sebagai Alternatif Penggati Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan</i>	<i>Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton</i>	Pengaruh Penggunaan <i>Silica Fume</i> dan <i>Fly Ash</i> sebagai Pengganti Semen terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (<i>Recycle Coarse Aggregate</i>)	Kajian Pengaruh Variasi Komposisi <i>Silica Fume</i> terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi	Perbandingan Kekuatan Beton dengan <i>Fly Ash</i> dan <i>Silica Fume</i> sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Pathak (2020)	Indrayani et al. (2019)	Setiawati (2018)	Widyastana et al. (2018)	Hapsari et al. (2017)	Penulis
Tujuan Penelitian	Mengetahui persentase proporsi campuran terbaik dari <i>fly ash</i> dan <i>silica fume</i> dalam pengaruhnya pada kekuatan beton	Mengetahui perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan <i>fly ash</i> sebagai pengganti semen dengan beton yang tidak menggunakan <i>fly ash</i>	Mengetahui pengaruh penggunaan <i>fly ash</i> sebagai bahan pengganti semen terhadap kuat tekan beton	Mengetahui pengaruh dari <i>fly ash</i> , <i>silica fume</i> , dan campuran <i>fly ash</i> serta <i>silica fume</i> sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton	Mengetahui pengaruh variasi penggunaan <i>silica fume</i> terhadap parameter beton dengan kuat tekan beton mutu tinggi	Mengetahui perbandingan kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur pada beton dengan campuran <i>fly ash</i> dan <i>silica fume</i> sebagai bahan pengganti sebagian semen
Metode Penelitian	Benda uji berbentuk kubus (kuat tekan), silinder (kuat tarik), dan spesimen balok (kuat lentur) dengan variasi penambahan <i>fly</i>	Benda uji berbentuk kubus dengan <i>fly ash</i> dan variasi campuran Na ₂ SiO ₃ /NaOH 1:1, 3:1, dan 5:1. Uji kuat tekan	Benda uji berbentuk kubus. Variasi <i>fly ash</i> 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% diuji pada umur 3, 7, 14 dan 28 hari	Benda uji berbentuk silinder dan diuji kuat tekan pada umur 28 dan 56 hari. Variasi dari persentase <i>fly ash</i> , <i>silica fume</i> dan RCA.	Kadar <i>superplasticizer</i> 1,7% dan variasi <i>silica fume</i> 0%, 8%, 9%, 10% dan 11%. Pengujian kuat tekan dengan benda uji berbentuk silider	<i>Fly ash</i> dan <i>silica fume</i> sebagai pengganti semen pada campuran beton yaitu 60%, 70%, 80% dan 90% dengan menggunakan benda uji

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Pathak (2020)	Indrayani et al. (2019)	Setiawati (2018)	Widyastana et al. (2018)	Hapsari et al. (2017)	Penulis
	<i>ash</i> dan <i>silica fume</i> 0%, 25%, 30% 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%. Benda uji diuji umur 7 dan 28 hari.	pada umur, 7, 14, dan 28 hari.			pada umur 14 dan 28 hari.	berbentuk silinder dan balok. Diuji kuat tekan, kuat tarik pada umur 7 hari dan 28 hari; kuat lentur pada umur 28 hari.
Hasil Penelitian	Penggunaan <i>fly ash</i> dan <i>silica fume</i> sebanyak 60% pada campuran beton dapat meningkatkan kekuatan beton dan juga mengurangi penggunaan semen	kuat tekan terbesar yaitu 395,56 kg/cm ² pada beton geopolimer dengan <i>fly ash</i> dan perbandingan Na ₂ SiO ₃ /NaOH sebesar 5:1 pada umur uji 28 hari.	Penggunaan <i>fly ash</i> sebanyak 12,5% pada beton, akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum dan penggunaan <i>fly ash</i> pada awal umur beton juga mempengaruhi kekuatan beton	Penggunaan <i>fly ash</i> , <i>silica fume</i> , dan campuran <i>fly ash</i> serta <i>silica fume</i> sebagai material pengganti semen terhadap kekuatan beton memberikan pengaruh yang baik yaitu meningkatkan kuat tekan beton	Kuat tekan optimum pada umur 14 hari didapatkan pada <i>silica fume</i> dengan kadar 10,48% dan pada umur 28 hari didapatkan pada <i>silica fume</i> dengan kadar 9,34%.	

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 *Fly Ash*

3.1.1 Pengertian *Fly Ash*

Abu Terbang (*Fly Ash*) adalah residu pembakaran batu bara pada pembangkit listrik dan terdiri dari partikel-partikel yang halus. Abu terbang memiliki titik lebur sekitar 1300°C dan juga kerapatan massa (densitas) berkisar 2.0 hingga 2.5 g/cm³. Alat filtrasi atau pengendap elektrostatis digunakan untuk menangkap abu terbang yang nantinya akan dikeluarkan dari bagian bawah tungku. Terdapat berbagai macam komponen pada abu terbang dimana umumnya mengandung silikon dioksida (SiO₂) baik dalam bentuk amorf maupun kristal dan juga kalsium oksida (CaO) (Pangestuti et al., 2018).

Pembangkit tenaga batu bara akan menghasilkan sisa pembakaran sekitar 80% abu terbang. Abu terbang (*fly ash*) yang secara bebas menyebar keluar dari tungku pembakaran dan bebas di lingkungan dapat mengakibatkan polusi udara dimana nantinya dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan. Untuk menghindari atau mengurangi hal ini, dilakukanlah pemanfaatan abu terbang menjadi bahan campuran beton (Yuhana & Mandasari, 2017).

3.1.2 Klasifikasi *Fly Ash*

Fly ash dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 Parts 1 226.3R-3) dan ASTM C 618, yaitu:

1. Kelas C

Hasil dari pembakaran *lignite* atau sub bitumen batu bara akan menghasilkan *fly ash* yang mengandung CaO lebih dari 10%. Selain itu juga mengandung kadar SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ mencapai 50%. Pada campuran beton digunakan sebanyak 15% hingga 35% dari total berat *binder* dan mempunyai *specific gravity* sebesar 2,31-2,86. *Fly ash* kelas C juga mempunyai sifat pozzolan, tetapi dapat langsung bereaksi dengan air

untuk membentuk CSH ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kalsium hidroksida dan *ettringite* yang mengeras seperti semen.

2. Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10%, dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara. Kadar $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ lebih dari 70%. pada campuran beton digunakan sebanyak 15% hingga 25% dari total berat *binder*.

3. Kelas N

Pozolan alam atau hasil pembakaran atau juga yang tidak melalui pembakaran, dapat digolongkan antara lain *opaline chert* dan *shales, tuff*, tanah diatomik, dan abu vulkanik. Selain itu juga berbagai hasil pembakaran yang mempunyai sifat pozolan yang baik, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil. Pada Kelas N mempunyai *specific gravity* 2,15-2,45.

Abu terbang tipe C dan F yang mengandung CaO yang rendah dan kandungan Si serta Al berjumlah lebih dari 50% dapat digunakan sebagai geopolimer. Hal ini dikarenakan kandungan Si dan Al merupakan unsur utama yang diperlukan pada proses geopolimerisasi (Marthinus et al., 2015; Sari, 2017).

3.1.3 Karakteristik *Fly Ash*

Karakteristik yang dimiliki oleh *fly ash* adalah sebagai berikut:

1. Sifat Fisika

Menurut ACI Committee 226, abu terbang (*fly ash*) memiliki butiran yang bertekstur halus yang lolos ayakan No. 325 ($45 \mu\text{m}$) 5-27%. Abu terbang juga mempunyai densitas $2,23 \text{ gr/cm}^3$, dengan kandungan kadar air sekitar 4%. Abu terbang memiliki *specific gravity* antara 2,15-2,6 juga berwarna abu-abu kehitaman. Ukuran partikel abu terbang hasil pembakaran batu bara *bituminous* lebih kecil dari 0,075 mm. *Fly ash* memiliki luas area spesifiknya sekitar $170\text{-}1000 \text{ m}^2/\text{kg}$. Abu terbang dengan jenis batu bara *sub-bituminous* memiliki ukuran partikel rata-rata 0,01 mm hingga 0,015 mm dengan luas permukaannya $1\text{-}2 \text{ m}^2/\text{g}$ dan memiliki partikel yang

berbentuk *spherical*. Persyaratan fisik *fly ash* dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Fisik *Fly Ash*

No.	Persyaratan Fisika	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1.	Jumlah yang tertahan ayakan 45 μm (No.325)	34	34	34
2.	Indeks aktivitas kekuatan:			
	Dengan semen umur 7 hari	75	75	75
	Dengan semen umur 28 hari	75	75	75
3.	Kebutuhan air	115	105	105
4.	<i>Autoclave</i> ekspansi atau kontraksi	0.8	0.8	0.8
5.	<i>Density</i>	5	5	5
6.	% tertahan ayakan 45 μm	5	5	5

Sumber: ASTM C618 - 96 Volume 04.02

2. Sifat Kimia

Abu terbang memiliki sifat kimia yang dipengaruhi oleh jenis batu bara yang dibakar, teknik penyimpanan, dan juga penanganannya. Setelah melakukan pembakaran, kandungan kalsium dan magnesium pada abu terbang hasil pembakaran batu bara lignit dan *sub-bituminous* akan lebih banyak jika dibandingkan dengan batu bara *bituminous*. Komponen utama *fly ash* adalah *silica* (SiO_2), *alumina* (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO); dan potasium, magnesium, titanium, belerang, dan sodium dalam jumlah yang sedikit. Persyaratan kimia *fly ash* dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Persyaratan Kimia *Fly Ash*

No.	Senyawa	Kelas Campuran Mineral		
		F (%)	N (%)	C (%)
1.	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	70	50
2.	SO_3	4	5	5
3.	<i>Moisture content</i>	3	3	3
4.	<i>Loss of ignition</i>	10	6	6
5.	Alkali Na_2O	1.5	1.5	1.5

Sumber: ASTM C618 - 96 Volume 04.02

Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Silikon dioksida yang terdapat pada *fly ash* yang melakukan reaksi kimia dengan kalsium hidroksida dari proses hidrasi semen, akan menghasilkan kemampuan mengikat sehingga penggunaan *fly ash* memungkinkan sebagai pengganti semen. Penggunaan batu bara sebagai material yang terpisah maupun sebagai bahan campuran semen bertujuan untuk dapat memperbaiki kekurangan beton. Abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai pengisi atau *filler* atau disebut juga sebagai bahan aditif, dimana penggunaannya dapat menambah internal kohesi dan juga mengurangi porositas daerah transisi beton sehingga pada akhirnya beton akan menjadi lebih kuat dan kokoh. Abu terbang akan memberikan kontribusi yang dapat merubah kekuatan pada beton, pada penggunaan sampai dengan tujuh hari. Pada waktu 7 hingga 28 hari, peningkatan kekuatan pada beton diakibatkan oleh percampuran antara hidrasi semen dan juga reaksi dari pozolan (Setiawati, 2018).

3.1.4 Kelebihan dan Kekurangan *Fly Ash*

Penggunaan abu terbang tentunya juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan penggunaan abu terbang antara lain ialah memiliki tekstur yang halus, kemudian bentuknya yang bundar dan juga tidak berpori. Jika digunakan dalam campuran beton, maka penggunaan abu terbang pada beton segar yaitu dapat memperbaiki sifat pengerjaan, dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *bleeding* dan segregasi, mengurangi jumlah panas hidrasi, dan juga dapat

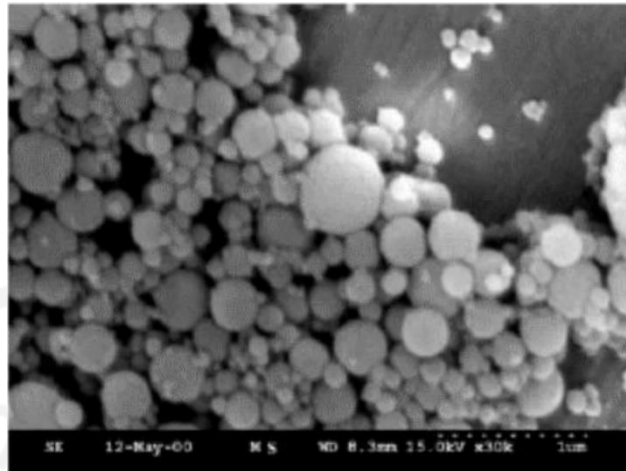
mengurangi penggunaan air pada campuran. Penggunaan abu terbang pada beton keras dapat memberikan kelebihan yaitu meningkatkan kerapatan pada beton, dapat menambah daya tahan beton terhadap serangan agresif (sulfat) dan juga meningkatkan kekuatan penggunaan beton pada jangka waktu yang panjang.

Secara umum, kelemahan penggunaan abu terbang ialah dimana abu terbang membutuhkan waktu pengerasan yang lebih lama dan kekuatan awal yang rendah, hal ini disebabkan oleh adanya reaksi pozolan. Selain itu juga membutuhkan perlakuan lebih dalam usaha mengendalikan mutu karena mutu abu terbang sangat bergantung pada suhu pembakaran dan juga jenis batu baranya (Suarnita, 2011).

3.2 Silica Fume

3.2.1 Pengertian Silica Fume

Silica fume merupakan material halus yang kaya akan silika dan merupakan hasil sampingan dari industri silikon ferro (ACI234.R-06). Material *silica fume* relatif mudah didapatkan karena material *silica fume* itu sendiri merupakan hasil sampingan dari industri. *Silica fume* mempunyai efek pozolan dan juga *inert filler* yang mampu mengisi rongga diantara pasta semen dengan agregat dimana hal ini dapat memperkecil volume pori di dalam beton sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan kuat tekan dan juga durabilitas beton (Sutriyono et al., 2018). Berdasarkan ASTM-C618-86, *silica fume* merupakan bahan yang mengandung SiO_2 lebih besar dari 85% dan juga bahan yang sangat halus serta memiliki bentuk yang bulat dan berdiameter 1/100 dari diameter semen. Bentuk fisik *silica fume* yang dilihat secara mikroskopik terdapat pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Silica Fume Dilihat Secara Mikroskopik
(Sumber: McGraw Hill, 2006)

3.2.2 Karakteristik Silica Fume

Karakteristik yang dimiliki oleh *silica fume* adalah sebagai berikut:

1. Sifat Fisik

Penggunaan *silica fume* pada semen akan mengakibatkan diameter pori serta total volume pori akan berkurang karena *silica fume* mengisi rongga diantara bahan semen. Selain itu, warna dari *silica fume* juga bervariasi mulai dari abu-abu sampai abu-abu gelap. *Silica fume* mempunyai *specific gravity* yaitu 2,0-2,5, *bulk density* sekitar 250-300 kg/m³, dan memiliki ukuran 0,1-1,0 mikron (1/100 ukuran partikel semen) (Haruna, 2021). Sifat fisik *silica fume* dapat dilihat pada tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Sifat Fisik Silica Fume

Sifat Fisik	Persentase %
Berat Jenis	2.02
Rata-rata ukuran partikel (Mikron)	0.1
Lolos ayakan no.325 dalam %	99.00
Keasaman PH (10% air dalam <i>slurry</i>)	7.3

Sumber: Yogendran., et al. (dalam Djono & Karolina, 2017)

2. Sifat Kimia

Ditinjau dari sifat kimianya, *silica fume* dapat bereaksi dengan batu kapur dari pelepasan semen dimana hal ini terjadi karena mempunyai sifat pozolan. Pada *silica fume*, akan menghasilkan bahan yang mudah larut dalam air yaitu hasil dari hidrasi antara air dan semen ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). *Silica fume* memiliki kandungan SiO_2 dengan jumlah kandungan yang cukup tinggi, dimana nantinya SiO_2 akan bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan membentuk kalsium silikat hidrat yang mempengaruhi tingkat kekerasan beton (Haruna, 2021). Komposisi kimia dari *silica fume* dapat dilihat pada tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Komposisi Kimia Silica Fume

Nama Senyawa	Rumus Kimia	Persentase %
Silikon Dioksida	SiO_2	92 hingga 94
Karbon	C	0,61
Besi Oksida	Fe_2O_3	0.10 hingga 0.50
Kalsium Oksida	CaO	0.10 hingga 0.15
Alumunium Oksida	Al_2O_3	0.20 hingga 0.40
Magnesium Oksida	MgO	0.10 hingga 0.20
Mangan (II) Oksida	MnO	0.008
Kalium Oksida	K_2O	0.10
Natrium Oksida	Na_2O	0.10

Sumber: Yogendran., et al. (dalam Djono & Karolina, 2017)

3.2.3 Kelebihan dan Kekurangan Silica Fume

Kelebihan penggunaan *silica fume* secara umum ialah dapat meningkatkan kuat tekan beton; memperbesar modulus elastisitas beton; meningkatkan kuat lentur beton; meningkatkan durabilitas beton terhadap serangan unsur kimia; mengecilkan regangan beton; meningkatkan kepadatan *density* beton; mencegah reaksi alkali *silica* dalam beton; meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan korosi; dan

menyebabkan temperatur beton menjadi lebih rendah sehingga mencegah terjadinya retak pada beton.

Kelebihan penggunaan *silica fume* juga dapat dilihat berdasarkan dua kondisi yaitu saat beton dalam proses pengikatan maupun saat beton dalam kondisi keras. Pada saat beton dalam proses pengikatan, kelebihan penggunaan *silica fume* ialah memudahkan pengerjaan (*workability*), mengurangi perembesan air dan beton (*bleeding*); dan memberikan waktu pengikatan (*setting time*) yang lama. Pada saat beton dalam kondisi keras dapat meningkatkan kuat tarik; meningkatkan kuat lentur; memperkecil susut dan rangkai; meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan dari lingkungan agresif; sebagai penetrasi klorida; permeabilitas lebih kecil; dan ketahanan terhadap keausan tinggi (Tarru et al., 2017).

Silica fume yang memiliki tekstur material yang sangat lembut memberikan tantangan sendiri dalam penggunaannya sebagai campuran beton. Tekstur yang sangat lembut yang bahkan mudah terbawa oleh angin, menyulitkan kegiatan *loading*, pengangkutan, pencampuran, dan juga penyimpanan. Tekstur *silica fume* yang sangat lembut ini juga memungkinkan partikel dapat terhirup dimana partikel ini mengakibatkan terganggunya saluran pernapasan (Fitriani & Pungky, 2018).

3.3 Beton

3.3.1 Pengertian Beton

Menurut SNI 2847:2013, beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture*) yang membentuk massa padat. Beton biasanya digunakan pada struktur gedung, perkerasan jalan, jembatan dan lain-lain.

3.3.2 Jenis-jenis Beton

Terdapat beberapa jenis beton, yaitu:

1. Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan beban mati dan kemampuan penghantaran panas yang lebih kecil dengan berat jenis kurang dari 1800 kg/m^3 .

2. Beton massa adalah beton yang dituang dalam volume besar, yaitu perbandingan antara volume dan luas permukaannya besar. Biasanya beton massa dimensinya lebih dari 60 cm.
3. Ferrosemen merupakan bahan gabungan yang diperoleh dengan cara memberikan suatu tulangan berupa anyaman kawat baja sebagai pemberi kekuatan tarik dan daktilitas pada mortar semen.
4. Beton Serat (*Fibre Concrete*) adalah bagian komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton biasa.
5. Beton Non Pasir (*No-Fines Concrete*) adalah bentuk sederhana dari jenis beton ringan yang diperoleh dengan cara menghilangkan bagian halus agregat pada pembuatan beton. Tidak adanya agregat halus dalam campuran menghasilkan suatu sistem berupa keseragaman rongga yang terdistribusi di dalam massa beton serta berkurangnya berat jenis beton.
6. Beton siklop adalah beton normal atau beton biasa yang menggunakan ukuran agregat yang relatif besar. Ukuran agregat kasar dapat mencapai 20 cm, namun proporsi agregat yang lebih besar ini sebaiknya tidak lebih dari 20% agregat seluruhnya.
7. Beton hampa adalah beton yang setelah diaduk, dituang, dan dipadatkan sebagaimana beton biasa, air sisa reaksi disedot dengan cara khusus yang disebut cara vacuum. Air yang tertinggal hanya air yang dipakai untuk reaksi dengan semen sehingga beton yang diperoleh sangat kuat.
8. Beton mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat, dan air. Mortar dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu: mortar lumpur, mortar kapur, dan mortar semen (Tarru et al., 2017).

Berdasarkan PUBLI 1982, mutu dan kelasnya pada konstruksi beton bertulang dapat diklasifikasikan menjadi sebagai berikut:

1. Beton kelas I

Beton yang digunakan untuk non-struktural dimana pelaksanaannya tidak memerlukan keahlian khusus dan pengawasan mutu yang dibatasi

secara ringan terhadap mutu bahan dan tidak diharuskan untuk melaksanakan pengujian kuat tekan.

2. Beton kelas II

Jenis beton ini digunakan untuk pekerjaan struktural yang umum dimana pelaksanaannya memerlukan keahlian. Pada kelas ini, beton dapat dibagi jenisnya berdasarkan mutu standar yaitu B1, K125, K175, dan juga K225. Pada mutu B1 pengawasan mutu dilaksanakan pada mutu bahan dan uji kuat tekan tidak perlu dilakukan. Mutu K125, K175, dan K225 memerlukan pengawasan terhadap beton yang ketat dan diharuskan pengawasan kontinu untuk memonitor kekuatan tekan beton.

3. Beton kelas III

Beton pada kelas III digunakan untuk pekerjaan struktural dengan kekuatan tekan $>225 \text{ kg/cm}^2$ dan juga pelaksanaannya harus melibatkan tenaga ahli. Diperlukan adanya monitoring secara kontinu dengan peralatan yang lengkap.

3.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Secara umum beton memiliki berbagai sifat seperti memiliki kemampuan kedap air (*watertight*), dapat bertahan lama (*durable*), cenderung tidak mengalami penyusutan (*shrinkage*), kondisi yang tidak retak (*crack*), tidak terdapat karang beton (*honeycombing*), tidak mengalami pelapukan (*efflorescence*), tidak mengalami pemecahan (*spaling*), dan juga memiliki permukaan yang halus dan juga tahan terhadap pengausan (*abrasion*). Terdapat beberapa kelebihan penggunaan beton seperti jika ditinjau dari segi ekonomis, penggunaan beton dapat memberikan kemudahan pada pelaksanaan dengan memberikan waktu konstruksi yang efisien, kemudahan dalam pemeliharaan, dan juga memiliki harga bahan yang cukup murah. Beton segar memiliki kelebihan pada aspek akomodasinya dengan mudahnya pengangkutan. Beton segar juga mempunyai cetakan yang dapat dipakai berulang kali sehingga memberikan kelebihan dari segi ekonomi. Beton segar memiliki kuat tekan yang cukup tinggi sehingga jika penggunaannya dikombinasikan dengan baja tulang, dapat digunakan pada struktur yang berat.

Beton segar juga dapat disemprotkan pada bagian beton lama yang mengalami peretakan dan dalam proses perbaikan maupun dapat dipompakan pada tempat-tempat yang sulit. Beton juga memiliki sifat ketahanan terhadap temperatur yang tinggi.

Kekurangan penggunaan beton yaitu beton memiliki kuat tarik yang cukup rendah sehingga beton mudah retak. Selain itu, meskipun beton memiliki sifat kedap air namun tidak dapat kedap air secara sempurna sehingga memungkinkan masuknya air dimana jika pada air mengandung hal lain seperti misalnya garam, dapat merusak beton. Beton juga memiliki sifat getas dimana dengan adanya sifat ini maka perlu dilakukannya perhitungan secara detail setelah beton dikompositkan dengan baja tulangan (Pane et al., 2015).

3.4 Semen

Semen merupakan bahan campuran yang dapat berfungsi sebagai pengikat agregat setelah bereaksi dengan air. Menurut SNI 15-2049-2004 semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan lain. Bahan utama pembentuk semen Portland adalah kapur (CaO), silika (SiO_3), alumina (Al_2O_3), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali (Pane et al., 2015). SNI 15-2049-2004 membagi semen portland menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Semen Portland Jenis I : Digunakan secara umum dan tidak memerlukan peryaratan khusus.
2. Semen Portland Jenis II : Dalam penggunaannya memerlukan ketahanan dalam menghadapi sulfat dan juga panas hidrasi sedang.
3. Semen Portland Jenis III : Dalam penggunaannya memerlukan kekuatan yang tinggi setelah tahap pengikatan.
4. Semen Portland Jenis IV : Dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi yang rendah.
5. Semen Portland Jenis V : Dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.5 Agregat

Pada suatu campuran beton mengandung agregat yang umumnya berkisar 60% hingga 70% dari berat campuran beton. Komposisi agregat yang cukup besar pada campuran beton membuat agregat sebagai komponen yang penting pada campuran beton meskipun fungsi agregat hanya sebagai pengisi campuran beton. Terdapat beberapa jenis penggolongan agregat, salah satunya berdasarkan ukurannya yaitu agregat kasar dan juga agregat halus.

3.5.1 Agregat Kasar

SK SNI S-04-1989-F menjelaskan mengenai persyaratan penggunaan agregat kasar yaitu terdiri dari butiran keras dan juga tidak berpori. Pada kerikil tidak diperbolehkan memiliki panjang dan juga mengandung butir pipih melebihi 20% dari berat keseluruhan agregat. Batu yang digunakan tidak boleh hancur maupun pecah akibat dari perubahan cuaca seperti panas matahari maupun air hujan. Tidak diperbolehkan mengandung lumpur yang melebihi 1% dan apabila melewati batas ini, maka diharuskan untuk dicuci.

Persyaratan batas-batas susunan butir agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Kasar

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat ayakan (%)		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	Maksimum 40	Maksimum 20	Maksimum 10
38,1	95-100	100	-
19,0	37-70	95-100	100
9,5	10-40	30-60	50-85
4,8	0-5	0-10	0-10

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.5.2 Agregat Halus

Syarat penggunaan agregat halus menurut SK SNI S-04-1989-F ialah agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras dimana butiran-butiran ini diharuskan tidak pecah maupun hancur dalam pengaruh perubahan cuaca. Selain itu batasan kandungan lumpur ialah 5% dimana jika melebihi batasan ini diharuskan untuk dicuci. Agregat halus juga tidak diperbolehkan mengandung bahan organik, hal ini dikarenakan bahan organik jika bereaksi dengan senyawa semen dapat mengurangi kualitas dari hasil beton nantinya. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung pasir laut karena hal ini dapat memberikan dampak korosi pada tulangan baja dan juga diharuskan memiliki modulus elastisitas (E) antara 1,5 - 3,8 (Pane et al., 2015).

Persyaratan batas-batas susunan butir agregat halus dapat dilihat pada tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Persyaratan Batas-batas Susunan Butir Agregat Halus

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persentase berat bagian yang lewat 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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Keterangan:

- Daerah I = Pasir Kasar
- Daerah II = Pasir Agak Kasar
- Daerah III = Pasir Agak Halus
- Daerah IV = Pasir Halus

3.5.3 Pengujian Material Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan dalam pemeriksaan material agregat kasar adalah pengujian berat jenis, modulus halus butir dan berat volume. Berikut ini penjelasan mengenai pengujian-pengujian tersebut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar bertujuan untuk mendapatkan angka penyerapan air dalam agregat kasar serta berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah merupakan perbandingan antara berat agregat kering oven dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut merupakan persamaan dari berat jenis curah.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.1)$$

Keterangan:

B_k = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B_j = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, gram

B_a = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Didalam Air, gram

b. Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)

Berat jenis kering permukaan (SSD) merupakan perbandingan antara berat agregat pada keadaan jenuh kering permukaan dengan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut merupakan persamaan dari berat jenis kering permukaan.

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.2)$$

Keterangan:

B_j = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, gram

B_a = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Didalam Air, gram

c. Berat Jenis Semu

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

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.3)$$

Keterangan:

B_k = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B_a = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Didalam Air, gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Berikut merupakan persamaan dari penyerapan air.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

B_k = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B_j = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh, gram

2. Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Pengujian modulus halus butir atau analisa saringan agregat kasar bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat kasar berdasarkan butirannya. Berikut merupakan persamaan dari modulus halus butir.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.5)$$

3. Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Pengujian berat volume agregat kasar bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat kasar berdasarkan berat volume. Berat volume merupakan nilai indek dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi padat maupun gembur. Berikut merupakan persamaan dari berat volume agregat kasar.

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.6)$$

Keterangan:

W = Berat Agregat, gram

V = Volume Tabung, cm³

3.5.4 Pengujian Material Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan dalam pemeriksaan material agregat halus adalah pengujian berat jenis, penyerapan air, modulus halus butir, kandungan lumpur dan berat volume. Berikut ini penjelasan mengenai pengujian-pengujian tersebut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis agregat halus bertujuan untuk mendapatkan angka penyerapan air dalam agregat halus serta berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), dan berat jenis semu.

a. Berat Jenis Curah

Berat jenis curah merupakan perbandingan antara berat agregat kering oven dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut merupakan persamaan dari berat jenis curah.

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{Bk}{B+Bj-Bt} \quad (3.7)$$

Keterangan:

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B = Berat Piknometer Berisi Air, gram

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji Dan Air, gram

Bj = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh, gram

b. Berat Jenis Kering Permukaan (SSD)

Berat jenis kering permukaan (SSD) merupakan perbandingan antara berat agregat pada keadaan jenuh kering permukaan dengan air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Berikut merupakan persamaan dari berat jenis kering permukaan.

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{Bj}{B+Bj-Bt} \quad (3.8)$$

Keterangan:

B = Berat Piknometer Berisi Air, gram

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji Dan Air, gram

Bj = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh, gram

c. Berat Jenis Semu

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

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.9)$$

Keterangan:

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B = Berat Piknometer Berisi Air, gram

Bt = Berat Piknometer Berisi Benda Uji Dan Air, gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Berikut merupakan persamaan dari penyerapan air.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan:

B_k = Berat Benda Uji Kering Oven, gram

B_j = Berat Benda Uji Kondisi Kering Permukaan Jenuh, gram

2. Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Pengujian modulus halus butir atau analisa saringan agregat halus bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat halus berdasarkan butirannya. Berikut merupakan persamaan dari modulus halus butir.

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100} \quad (3.11)$$

3. Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan #200)

Pengujian kandungan lumpur bertujuan untuk mendapatkan angka kandungan lumpur dalam pasir yang dinyatakan dalam persen. Pengujian ini menggunakan agregat halus yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Berikut merupakan persamaan dari kandungan lumpur.

$$\text{Kandungan Lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (3.12)$$

Keterangan:

A = Berat Benda Uji Kering Sebelum Dicuci, gram

B = Berat Benda Uji Kering Setelah Dicuci, gram

4. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus bertujuan untuk mendapatkan klasifikasi agregat halus berdasarkan berat volume. Berat volume merupakan nilai indek dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi padat maupun gembur. Berikut merupakan persamaan dari berat volume agregat halus.

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{V} \quad (3.13)$$

Keterangan:

W = Berat Agregat, gram

V = Volume Tabung, cm³

3.6 Air

Air pada campuran beton diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan juga memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Kualitas beton akan mengalami penurunan jika air yang digunakan mengandung senyawa-senyawa berbahaya seperti air yang tercemar oleh garam, gula, minyak, ataupun bahan kimia lainnya. Kadar air yang digunakan pada campuran beton juga perlu diperhatikan sebab kadar air yang berlebihan pada campuran beton mengakibatkan gelembung air setelah proses hidrasi sedangkan pada campuran beton yang memiliki kadar air yang terlalu sedikit menyebabkan tidak sempurnanya proses hidrasi yang nantinya akan mempengaruhi kekuatan beton (Pane et al., 2015).

3.7 Pengujian Beton

3.7.1 Uji Tekan

Kuat tekan beton merupakan besar beban per-satuan luas dimana jika diberikan gaya tekan tertentu maka benda uji akan hancur (SNI 03-1974-1990). Mutu beton sebagai ciri dan juga karakter beton serta menjadi dasar ukur penggunaan beton dapat diketahui dengan kuat tekan beton. Terdapat beberapa sifat beton akan tetapi kuat tekan beton ialah sifat terpenting pada informasi kualitas

beton. Kuat tekan beton dapat diketahui dari pengaturan perbandingan agregat baik kasar maupun agregat halus, perbandingan semen, air dan juga berbagai jenis campuran lainnya (Dady et al., 2015). Distribusi kuat tekan pada beton silinder dapat dilihat pada gambar 3.2 sebagai berikut.



Gambar 3.2 Pengujian Kuat Tekan

(Sumber: Pane et al., 2015)

Rumus untuk mendapatkan kuat tekan, yaitu:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.14)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat Tekan, MPa

P = Beban Maksimum, N

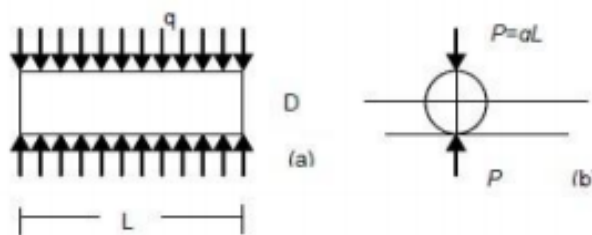
A = Luas Penampang Benda Uji, mm²

3.7.2 Uji Tarik

Kuat tarik beton merupakan sifat penting yang dapat memberikan pengaruh perambatan dan juga ukuran retak pada suatu struktur. Terdapat perbedaan sekitar 8% hingga 15% antara kuat tarik dengan kuat tekan beton (Nasution, 2009). Jumlah kuat tarik beton yang cukup rendah ini dapat menjadi kelemahan penggunaan beton sehingga harus ditambahkan dengan tulangan. Kemampuan kuat tarik beton merupakan hal yang penting dalam menahan retakan yang diakibatkan oleh adanya perubahan kadar air dan juga kondisi suhu. Kuat tarik umumnya dijadikan dasar dalam mendesain bagian struktur benda elastis (*ductile*)

dan juga benda yang bersifat rapuh (*brittle*) yang dalam kondisi diam namun siap menerima gaya meskipun dalam jumlah yang besar (Putra & Widjaja, 2015).

Kuat Tarik Belah (*Split Cylinder*) dimana terdapat silinder yang diberikan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinalnya, Silinder ditempatkan secara horizontal di atas pelat mesin percobaan, kemudian diberi beban hingga benda uji terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik (SNI 03-2491-2002). Pada kondisi ini akan timbul tegangan tekan biaxial. Tegangan tarik akan timbul pada sebagian daerah sumbu beban yang mana jika melebihi kuat tarik maka dapat terjadi keruntuhan benda uji sehingga silinder akan hancur atau terbelah menjadi dua bagian (Pandaleke & Windah, 2017). Pada kuat tarik belah penggunaan batang penekan tambahan mungkin akan diperlukan apabila kondisi diameter atau panjang benda uji memiliki ukuran yang lebih besar daripada ukuran permukaan tekan dari mesin uji. Benda uji yang digunakan pada uji ini harus sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti dalam SNI 03 - 4810 - 1998 pada benda uji yang dibentuk di lapangan dan atau SNI 03 - 2493 - 1991 untuk benda uji yang dibentuk dalam laboratorium, yaitu harus dipelihara dalam kondisi lembab yang dapat diselimuti dengan kain ataupun juga dengan karung basah. Kondisi pembebanan uji kuat tarik belah beton dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Kondisi Pembebanan Uji Kuat Tarik Belah
(Sumber: Pandaleke & Windah, 2017)

Rumus untuk mendapatkan kuat tarik beton, yaitu:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (3.15)$$

Keterangan:

f_{ct} = Kuat Tarik Belah, MPa

P = Beban pada Waktu Belah, N

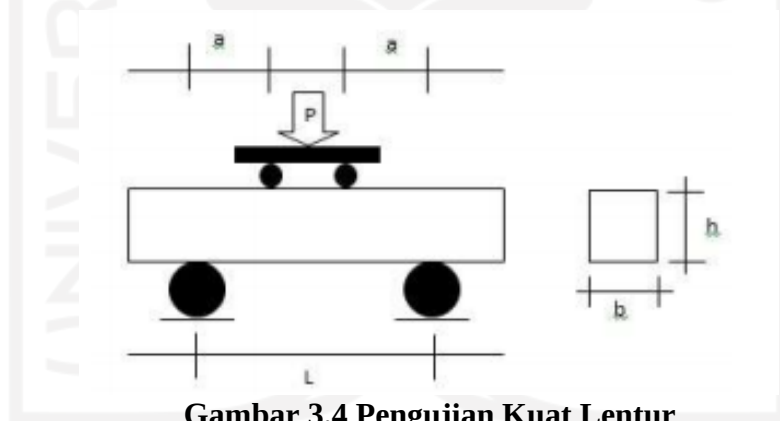
L = Panjang Benda Uji, mm

D = Diameter Benda Uji, mm

π = Phi

3.7.3 Uji Lentur

Kuat lentur merupakan kemampuan yang dimiliki oleh beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya benda uji dengan arah tegak lurus sumbu sampai benda uji patah yang dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas (SNI 03-4431-1997). Pada balok yang diberi beban nantinya akan mengalami deformasi yang mana akan menimbulkan momen lentur. Momen lentur ini menunjukkan perlawanan yang dilakukan oleh material terhadap beban luar dan juga menunjukan bahwa tegangan yang dialami selama deformasi tidak dapat melewati tegangan lentur dari bahan beton (Dady et al., 2015). Pembebanan pada pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Pengujian Kuat Lentur

(Sumber: Pane et al., 2015)

Rumus untuk mendapatkan kuat lentur beton, yaitu:

1. Sistem Pembebanan 1 Titik

- a. Patah ditengah benda uji.

$$f_r = \frac{3xPxL}{2xbxh^2} \quad (3.16)$$

- b. Tidak patah ditengah dan jarak antara titik patah dan titik beban <10%.

$$f_r = \frac{3xPx c}{bxh^2} \quad (3.17)$$

- c. Jika jarak pada poin b. yaitu >10% maka hasil uji tidak digunakan.

2. Sistem Pembebanan 2 Titik

- a. Patah di daerah pusat (1/3 jarak titik perletakan).

$$fr = \frac{PxL}{bxh^2} \quad (3.18)$$

- b. Patah di luar daerah pusat (diluar 1/3 jarak titik perletakan) dan jarak antara titik patah dan titik pusat beban <5% jarak titik perletakan.

$$fr = \frac{3xPxc}{bxh^2} \quad (3.19)$$

- c. Jika jarak pada poin b. yaitu >5% jarak titik perletakan maka hasil uji tidak digunakan.

Keterangan:

- fr = Kuat Lentur, MPa
 P = Beban maksimum, N
 L = Jarak (Bentang) antara Dua Garis Perletakan, mm
 h = Tinggi Tampang Lintang Patah, mm
 b = Lebar Tampang Lintang Patah, mm
 c = Jarak Rata-rata antara Lintang Patah Dan Tumpuan Terdekat, mm

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan langkah-langkah atau cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data serta hasil yang rasional dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen atau percobaan yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pada penelitian ini digunakan benda uji berupa beton dengan variasi *fly ash* dan *silica fume* sebagai pengganti semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%. Benda uji tersebut akan dilakukan pengujian kuat tekan, dan kuat tarik belah pada umur beton 7 hari dan 28 hari, serta pengujian kuat lentur pada umur beton 28 hari. Dari hasil penelitian, diharapkan dapat mengetahui pengaruh dari penggunaan bahan tersebut sebagai pengganti semen dalam campuran beton terhadap kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton.

4.2 Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. **Semen Portland**

Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu semen merk Dynamix.



Gambar 4.1 Semen

2. Agregat Halus dan Agregat Kasar

Agregat halus dan agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari progo (agregat halus) dan celereng (agregat kasar).



Gambar 4.2 Agregat Halus Dan Agregat Kasar

3. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.3 Air

4. Fly Ash

Fly Ash digunakan untuk bahan pengganti semen pada campuran beton. *Fly ash* yang digunakan yaitu tipe C dan berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur.



Gambar 4.4 Fly Ash

5. *Silica Fume*

Silica Fume digunakan untuk bahan pengganti semen pada campuran beton. *Silica fume* yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk MasterLife SF 100.



Gambar 4.5 Silica Fume

4.3 Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

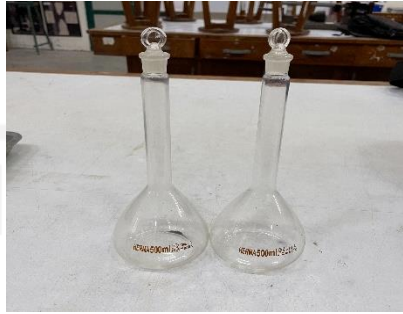
Timbangan merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur berat suatu benda.



Gambar 4.6 Timbangan

2. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur nilai massa jenis.



Gambar 4.7 Piknometer

3. Tongkat Penumbuk dan Palu Karet

Tongkat penumpuk adalah alat yang digunakan untuk membantu perataan campuran beton pada cetakan atau alat uji slump.



Gambar 4.8 Tongkat Penumbuk dan Palu Karet

4. Talam

Talam merupakan alat yang berfungsi sebagai wadah atau tempat untuk suatu bahan.

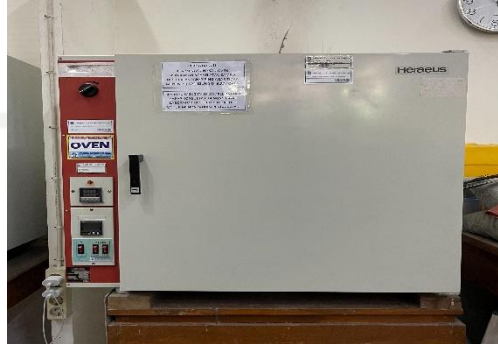


Gambar 4.9 Talam

5. Oven

Oven merupakan alat yang berfungsi untuk pengeringan suatu bahan.

Oven digunakan sebagai alat pada tahapan pemeriksaan bahan.



Gambar 4.10 Oven

6. Satu Set Saringan

Saringan merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan agregat sesuai dengan ukurannya.



Gambar 4.11 Satu Set Saringan

7. Mesin Penggetar Saringan

Mesin penggetar saringan adalah alat yang digunakan untuk menggetarkan satu set saringan terdiri dari beberapa ukuran butiran.



Gambar 4.12 Mesin Penggetar Saringan

8. Bak Perendaman

Bak perendaman merupakan alat yang digunakan sebagai tempat untuk proses perendaman benda uji selama tahap *curing* atau perawatan beton..



Gambar 4.13 Bak Perendaman

9. Cetakan Beton

Cetakan beton merupakan alat yang berfungsi sebagai tempat cetak campuran beton hingga kering dengan bentuk silinder dan balok.



Gambar 4.14 Cetakan Beton

10. Kerucut Abrams

Kerucut abrams merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui nilai slump suatu campuran beton.



Gambar 4.15 Kerucut Abrams

11. Mesin Pengaduk (*Mixer*)

Mesin pengaduk merupakan alat yang digunakan untuk membantu proses pencampuran (*mixing*) suatu campuran beton.



Gambar 4.16 Mesin Pengaduk (Mixer)

12. Gerobak Dorong

Gerobak dorong merupakan alat yang digunakan untuk membawa material untuk campuran beton.



Gambar 4.17 Gerobak Dorong

13. Penggaris dan Jangka Sorong

Penggaris merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suatu dimensi benda uji.



Gambar 4.18 Penggaris dan Jangka Sorong

14. Mesin Tekan / *Compression Testing Machine* (CTM)

Mesin tekan (CTM) merupakan mesin yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tekan dan tarik beton dengan kapasitas 200 Ton.



Gambar 4.19 *Compression Testing Machine* (CTM)

15. *Universal Testing Machine* (UTM)

Universal Testing Machine (UTM) merupakan mesin yang digunakan untuk mengetahui kekuatan lentur beton dengan kapasitas 30 Ton.



Gambar 4.20 *Universal Testing Machine* (UTM)

16. Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain yaitu sekop, kuas dan lain-lain.



Gambar 4.21 Alat Bantu Lainnya

4.4 Benda Uji

Benda uji pada penelitian ini berupa beton dengan variasi *fly ash* dan *silica fume*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik dan balok (600x150x150 mm) untuk pengujian kuat lentur. Jumlah sampel benda uji yang dibutuhkan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji

Kode Benda Uji	Bentuk Benda Uji	Umur Beton 7 Hari		Umur Beton 28 Hari			
		Uji Tekan	Uji Tarik	Uji Tekan	Uji Tarik	Uji Lentur	
BN	Silinder	3	3	3	3	-	12
	Balok	-	-	-	-	3	3
FS60	Silinder	3	3	3	3	-	12
	Balok	-	-	-	-	3	3
FS70	Silinder	3	3	3	3	-	12
	Balok	-	-	-	-	3	3
FS80	Silinder	3	3	3	3	-	12
	Balok	-	-	-	-	3	3
FS90	Silinder	3	3	3	3	-	12
	Balok	-	-	-	-	3	3
Total Benda Uji							75

Keterangan:

BN = Beton Normal / Beton dengan Penggantian Semen berupa *Fly Ash* & *Silica Fume* sebesar 0%

FS60 = Beton dengan Penggantian Semen berupa *Fly Ash* & *Silica Fume* sebesar 60%

FS70 = Beton dengan Penggantian Semen berupa *Fly Ash* & *Silica Fume* sebesar 70%

FS80 = Beton dengan Penggantian Semen berupa *Fly Ash & Silica Fume* sebesar 80%

FS90 = Beton dengan Penggantian Semen berupa *Fly Ash & Silica Fume* sebesar 90%

4.5 Desain Campuran Beton (*Mix Design*)

Campuran beton yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 jenis campuran yaitu campuran beton normal dan campuran beton dengan variasi yang dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut,

Tabel 4.2 Variasi Campuran Beton

Kode Benda Uji	Penggantian Semen (%)	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Silica Fume</i> (%)
BN	0	0	0
FS60	60	54	6
FS70	70	63	7
FS80	80	72	8
FS90	90	81	9

Metode yang digunakan dalam desain campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini yaitu metode SNI 03-2834-2000. Tahapan serta penjelasan desain campuran dengan metode SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan f'_c pada umur tertentu.
2. Menentukan standar deviasi (Sr) dan menghitung nilai tambah (M) dengan rumus sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times Sr \quad (4.1)$$

Keterangan:

M = *Margin* atau nilai tambah

Sr = Standar deviasi rencana

1,64 = Tetapan static yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%.

Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) harus diambil tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).

3. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (4.2)$$

Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan

f'_c = Kuat tekan beton yang direncanakan

4. Menetapkan jenis semen dan jenis agregat yang akan digunakan
5. Menentukan faktor air semen dengan mengikuti langkah sebagai berikut:
 - a. Menentukan perkiraan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari pada f_{as} 0,5 berdasarkan jenis semen, agregat kasar, dan bentuk dari benda uji. Ketentuan dapat dilihat pada tabel 4.3.

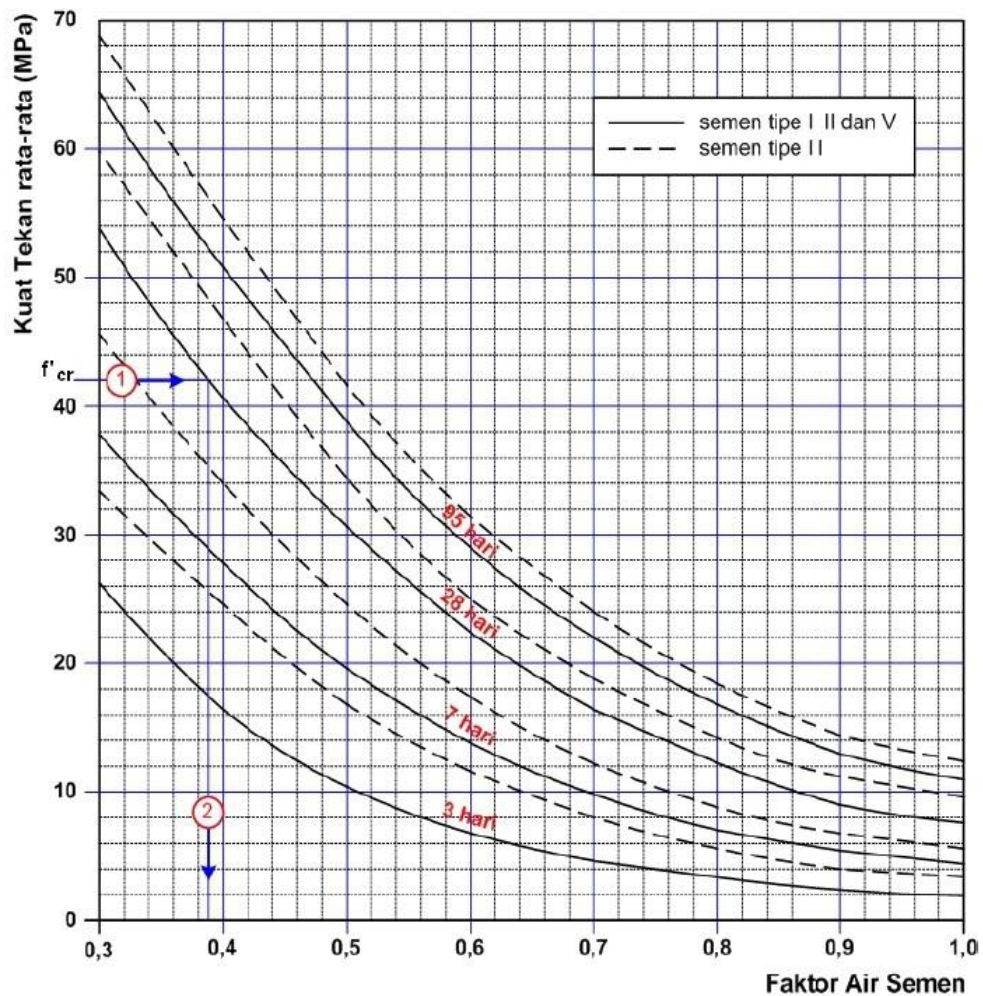
Tabel 4.3 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan $f_{as} = 0,5$

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				Benda uji
		Pada umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland tipe I atau Semen Tahan Sulfat II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- b. Mencari nilai f_{as} yang diperlukan dengan cara sebagai berikut.
 - 1) Pada gambar 4.1, perkiraan nilai kuat tekan beton diplot dan ditarik garis mendatar hingga memotong f_{as} 0,5.
 - 2) Kemudian tarik kurva yang proporsional diantara kurva-kurva yang mengapitnya.

- 3) Nilai kuat tekan rata-rata (f'_{cr}) diplot dan tarik garis mendatar hingga memotong kurva yang telah dibuat pada langkah 2).
- 4) Untuk mendapatkan nilai fas yang diperlukan tarik garis lurus vertikal dari titik potong tersebut.



Gambar 4.22 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) (benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Menentukan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum berdasarkan ketentuan pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Kadar Semen Minimum Dan Faktor Air Semen Maksimum

Kondisi Lingkungan	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (Kg)	Nilai <i>fas</i> Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Kedaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel ^{a)}
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel ^{b)}

Sumber: SNI 03-2834-2000

Keterangan:

Tabel ^{a)} – Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat dapat dilihat pada SNI 03-2834-2000.

Tabel ^{b)} – Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air dapat dilihat pada SNI 03-2834-2000.

7. Memilih nilai *fas* terkecil dari nilai-nilai *fas* yang telah didapatkan pada langkah 5 dan 6.
8. Menetapkan nilai slump dan ukuran agregat maksimum yang akan digunakan.
9. Menentukan nilai kadar air bebas (*Ka*) berdasarkan ketentuan pada tabel 4.5 dan rumus sebagai berikut.

Tabel 4.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³)

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

$$\text{Kadar Air Bebas} = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (4.4)$$

Keterangan:

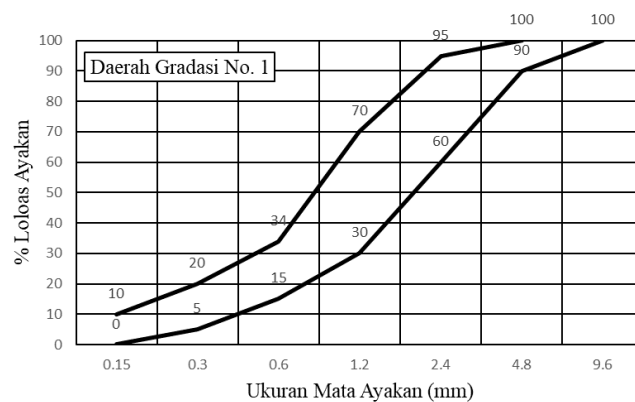
Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

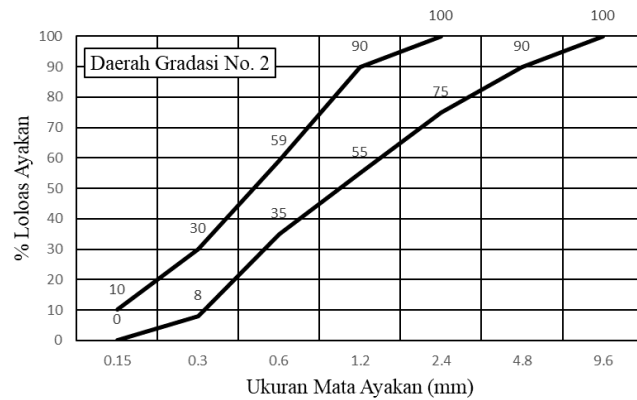
10. Menentukan kadar semen (Ks) dengan rumus:

$$\text{Kadar Semen} = \frac{\text{Kadar Air}}{\text{faktor Air Semen (fas)}} \quad (4.5)$$

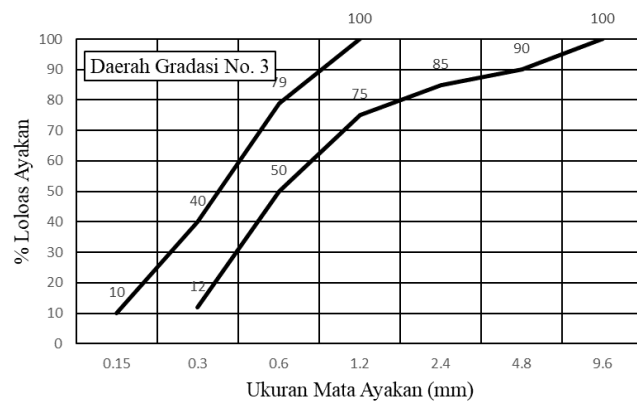
11. Menentukan tipe gradasi agregat halus sesuai dengan persyaratan-persyaratan yang dapat dilihat pada gambar 4.2, 4.3, 4.4, dan 4.5 dibawah ini.



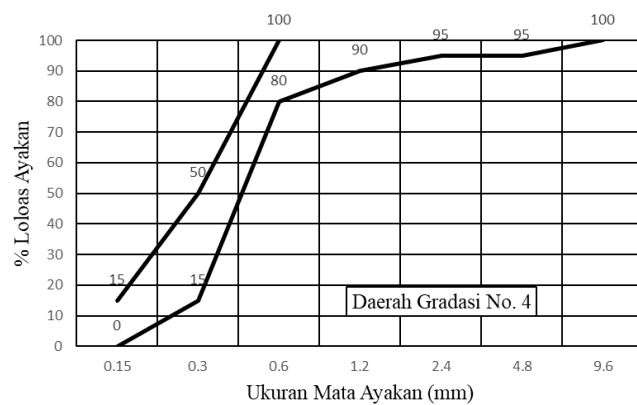
Gambar 4.23 Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 1
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.24 Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 2
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

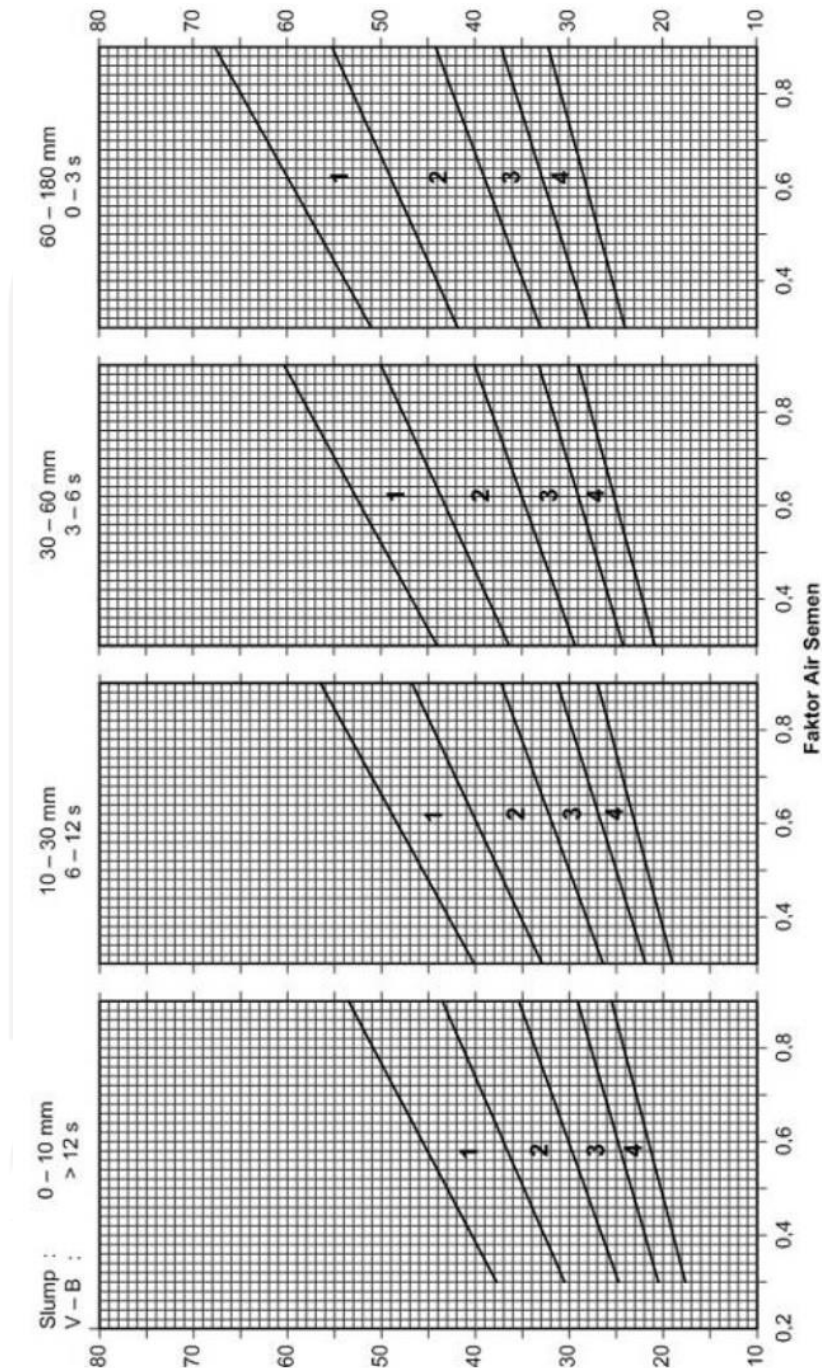


Gambar 4.25 Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 3
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 4.26 Grafik Gradasi Agregat Halus Tipe 4
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

12. Menentukan persentase agregat halus berdasarkan ketentuan-ketentuan yang ada pada gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.27 Hubungan Faktor Air Semen – Proporsi Agregat Halus Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

13. Menghitung berat jenis relatif agregat gabungan dengan rumus:

$$\text{Berat Jenis Gabungan} = (\%AH \times B_j AH) + (\%AK \times B_j AK) \quad (4.6)$$

Keterangan:

%AH = Persentase agregat halus, %

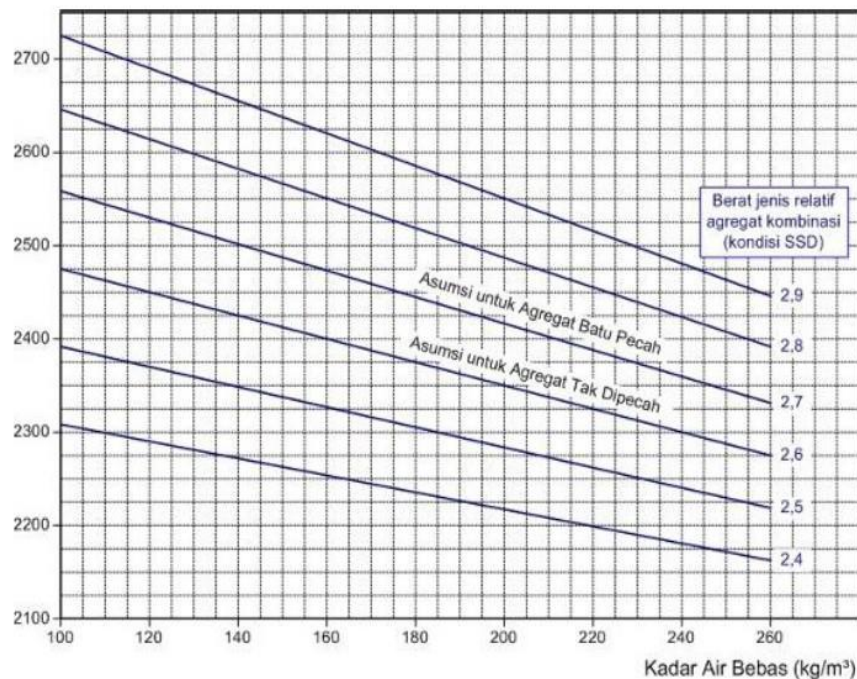
%AK = Persentase agregat kasar, %

B_j AH = Berat jenis agregat halus

B_j AK = Berat jenis agregat kasar

14. Menentukan berat isi beton basah berdasarkan grafik pada gambar 4.7 dengan cara sebagai berikut.

- Membuat kurva baru berdasarkan berat jenis relatif agregat gabungan atau menggunakan kurva yang sudah ada.
- Tarik garis vertikal dari nilai kadar air bebas hingga memotong kurva berat jenis.
- Dari titik potong tersebut, kemudian ditarik garis mendatar sampai memotong sumbu tegak untuk mendapatkan nilai berat isi beton.



Gambar 4.28 Grafik Penentuan Berat Isi Beton Segar
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Menghitung kadar agregat gabungan (K_g) dengan rumus:

$$K_g = W_{\text{beton}} - (K_s + K_a) \quad (4.8)$$

Keterangan:

K_g = Kadar agregat gabungan

W_{beton} = Berat isi beton

K_s = Kadar semen

K_a = Kadar air bebas

16. Menghitung kadar agregat halus (K_h) dengan rumus:

$$K_h = \%AH \times K_g \quad (4.9)$$

Keterangan:

K_h = Kadar agregat halus

$\%AH$ = Persentase agregat halus

K_g = Kadar agregat gabungan

17. Menghitung kadar agregat kasar (K_k) dengan rumus:

$$K_k = K_g - K_h \quad (4.9)$$

Keterangan:

K_k = Kadar agregat kasar

K_g = Kadar agregat gabungan

K_h = Kadar agregat halus

18. Melakukan rekapitulasi data hasil dari desain campuran (*mix design*) beton.
19. Menetapkan angka penyusutan campuran sekitar 10% hingga 20%.
20. Menetapkan proporsi campuran dari hasil perhitungan.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

4.6.1 Tahap Persiapan dan Pemeriksaan Bahan

Adapun tahap-tahap persiapan dan pemeriksaan bahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan

Persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mempersiapkan bahan-bahan, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, *fly ash*, *silica fume* serta air. Selain itu, semua peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini juga dipersiapkan agar dapat memperlancar penelitian.

2. Tahap Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan dalam penelitian ini meliputi pengujian-pengujian sebagai berikut.

a. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Langkah-langkah dalam pengujian berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan benda uji berupa agregat lolos saringan No.4 (4,75 mm) sebanyak 500 gram.
- 2) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat benda uji tetap. Yang dimaksud berat tetap yaitu keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak mengalami perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%, dinginkan pada suhu ruangan, kemudian rendam dalam air selama 24 ± 4 jam.
- 3) Buang air perendaman dengan hati-hati, jangan sampai ada butiran yang terbuang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji sampai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
- 4) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali dan ratakan

permukaannya. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila kerucut terpancung diangkat, benda uji runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.

- 5) Apabila telah dalam keadaan SSD, segera masukkan benda uji sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, lalu masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar piknometer sambil diguncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dapat digunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai terdapat air yang terhisap, dan dapat juga dilakukan dengan merebus piknometer.
- 6) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.
- 7) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- 8) Timbang piknometer yang berisi benda uji dan air sampai ketelitian 0,1 (Bt).
- 9) Keluarkan benda uji dari piknometer, kemudian keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji dalam desikator.
- 10) Setelah benda uji dingin, lalu timbang (Bk).
- 11) Timbang berat piknometer penuh berisi air (B), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.

b. Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Langkah-langkah dalam pengujian modulus halus butir agregat halus adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Catatan untuk mendapatkan hasil yang teliti, sebaiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian.

- 2) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1 hingga 3 jam.
- 3) Setelah benda uji kering oven kemudian timbang sampel uji sebanyak 2000 gram.
- 4) Susun saringan dari yang lubangnya paling besar dari atas kebawah (jangan terbalik) dan masukkan benda uji kemudian langsung diayak/saring dengan bantuan mesin penggoyang selama 10 hingga 15 menit.
- 5) Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukkan dalam masing-masing talam (jangan sampai ada yang tercecer) kemudian ditimbang dan catat berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan gunakan sikat untuk lubang kasar (besar) dan kuas untuk lubang yang halus.

c. Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan #200)

Langkah-langkah dalam pengujian kadar lumpur adalah sebagai berikut.

- 1) Gunakan benda uji keadaan kering oven.
- 2) Letakkan benda uji dalam saringan dan alirkan air diatasnya.
- 3) Gerakkan benda uji dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras, secukupnya sehingga bagian yang halus menembus saringan No.200 dan bagian yang kasar tertinggal.
- 4) Ulangi pekerjaan diatas hingga air pencucian jernih.
- 5) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

d. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Langkah-langkah dalam pengujian berat jenis agregat kasar adalah sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan benda uji berupa agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) sebanyak 5000 gram.
- 2) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- 3) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- 4) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1 hingga 3 jam. Kemudian timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- 5) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam.
- 6) Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar harus satu persatu.
- 7) Setelah benda uji dalam keadaan SSD, timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j).
- 8) Letakkan benda uji dalam keranjang air, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan tentukan beratnya didalam air (B_a), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan untuk suhu standar 25°C .
- 9) Masukkan benda uji kedalam pan untuk dimasukkan ke dalam oven. Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama (24 ± 4) jam, setelah itu timbang dengan ketelitian 0,1 gram (B_k).

e. Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Langkah-langkah dalam pengujian modulus halus butir agregat kasar adalah sebagai berikut.

- 1) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Catatan untuk mendapatkan hasil yang teliti, sebaiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian.

- 2) Keluarkan benda uji, lalu dirginkan pada suhu kamar selama 1 hingga 3 jam.
 - 3) Setelah benda uji kering oven kemudian timbang sampel uji sebanyak 5000 gram.
 - 4) Susun saringan dari yang lubangnya paling besar dari atas kebawah (jangan terbalik) dan masukkan benda uji kemudian langsung diayak/saring dengan bantuan mesin penggoyang selama 10 hingga 15 menit.
 - 5) Keluarkan benda uji pada masing-masing saringan dan masukkan dalam masing-masing talam (jangan sampai ada yang tercecer) kemudian ditimbang dan catat berat benda uji yang tertahan pada masing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan gunakan sikat untuk lubang kasar (besar) dan kuas untuk lubang yang halus.
- f. Berat Volume Agregat Halus dan Agregat Kasar
- Langkah-langkah dalam pengujian volume agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut.
- 1) Gunakan benda uji keadaan kering permukaan.
 - 2) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan kedalam silinder sampai penuh tanpa pemadatan. Sedangkan berat volume padat, benda uji dimasukkan kedalam silinder per 1/3 bagian dan ditumbuk 25 kali sampai volume silinder penuh.
 - 3) Timbang berat silinder berisi benda uji dan dicatat beratnya.
 - 4) Hitung volume silinder.

4.6.2 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Adapun tahap-tahap dalam pembuatan dan perawatan benda uji berupa beton adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan peralatan seperti cetakan silinder, cetakan balok, *mixer* beton, timbangan, alat uji slump, sekop, ember dan lain-lain.
2. Membersihkan cetakan dari kotoran debu atau tanah dan bagian dalam cetakan diolesi oli bekas agar cetakan mudah dibuka.
3. Kondisikan agregat halus/pasir dan agregat kasar/kerikil/split dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*) agar dalam pengerjaan pencampuran beton tidak perlu menambah atau mengurangi air (jumlah air sesuai rencana).
4. Timbang setiap bahan sesuai perhitungan, serta tambahkan 10% hingga 20% setiap bahan untuk mengantisipasi kekurangan akibat menempel pada dinding *mixer*, dan lain-lain.
5. Timbang masing-masing cetakan silinder, kubus dan balok, sebelum diisi beton segar.
6. Campur/masukkan ke dalam *mixer* bahan pembentuk beton secara kering sedikit-sedikit atau secukupnya, kemudian air dan seterusnya.
7. Setelah campuran homogen, tuang adukan ke talam dan segera dilakukan uji slump.
8. Apabila nilai slump telah memenuhi/sesuai rencana, langsung masukkan adukan beton ke dalam cetakan yang telah disiapkan, dengan cara masukkan/isi cetakan setiap 1/3 bagian tinggi cetakan, kemudian ditusuk-tusuk 25 kali merata, sampai penuh. Pemadatan dapat juga dilakukan dengan menggunakan vibrator/meja getar dan atau dengan palu karet yang dipukulkan pada bagian luar dinding cetakan. Pemadatan ini dimaksudkan agar beton menjadi padat, tanpa rongga-rongga baik di dalam maupun diluar/permukaan beton.
9. Ratakan permukaan beton dengan cetok atau alat perata lain agar permukaan rata, sehingga pada saat di uji desak seluruh permukaan menerima gaya desak yang sama besar

10. Timbang beton + cetakan dalam kondisi basah
11. Tunggu selama 1 jam awal, kemudian ambil air yang keluar dari beton (air yang tidak bereaksi dengan semen) dengan menggunakan pipet, peristiwa ini disebut *bleeding*
12. Catat dan sertakan dalam laporan jumlah air (mililiter/cc) yang keluar tersebut
13. Setelah 24 jam, buka cetakan dengan hati-hati dan beri tanda/kode agar tidak tertukar dengan benda uji lain
14. Rawat benda uji dengan cara direndam dalam air atau ditutup dengan karung basah atau dengan cara disiram air selama umur perawatan
15. Keringkan benda uji, dengan cara 24 jam sebelum pengujian dikeluarkan dari rendaman atau buka tutup karung bash atau dihentikan penyiraman

4.6.3 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Adapun tahap-tahap dalam pengujian kuat tekan pada beton adalah sebagai berikut.

1. Ambil benda uji yang akan ditentukan kuat tekannya dari bak perendaman/pematangan (*curing*) 24 jam sebelum pengujian, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lap.
2. Timbang dan ukur benda uji.
3. Lapislah (*couthing*) permukaan atas dan bawah benda uji silinder dengan mortar belerang. Benda uji berbentuk kubus tidak perlu diberi lapisan mortar belerang,
4. Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
5. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan, sekitar 2 sampai 4 kg/cm² per-detik.
6. Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
7. Gambarkan bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

4.6.4 Pengujian Kuat Tarik Benda Uji

Adapun tahap-tahap dalam pengujian kuat tarik pada beton adalah sebagai berikut.

1. Ukur diameter dan tinggi benda uji, kemudian timbang beratnya.
2. Pemberian tanda pada benda uji. Tarik garis tengah pada setiap sisi ujung benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, sehingga dapat memastikan bahwa kedua garis tengah tadi berada dalam bidang aksial yang sama.
3. Letakkan sebuah pelat atau batang penekan tambahan (bila digunakan) diatas meja tekan bagian bawah mesin uji tekan secara simetris.
4. Letakkan sebuah dari dua buah bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis diatas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan (atau diatas pelat atau batang penekan tambahan bila digunakan yang terletak diatas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan) pada tengah-tengahnya.
5. Letakkan benda uji di atas bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis, sedemikian rupa hingga tanda garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan tersebut
6. Letakkan bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis kedua diatas benda uji, sedemikian rupa hingga titik tengahnya berpotongan dengan garis tengah benda uji yang ada pada ujung selinder. Kemudian letakkan diatas bantalan tersebut pelat atau batang penekan tambahan bila digunakan.
7. Atur posisi pengujian hingga tercapai kondisi : Proyeksi dari bidang yang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat berpotongan dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji; Bila digunakan pelat atau batang penekan tambahan, titik tengahnya dan titik tengah benda uji harus berada tepat di bawah titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji.

8. Jalankan mesin uji tekan dengan pemberian beban dilakukan secara menerus, tanpa sentakan, dengan kecepatan pembebanan konstan yang berkisar antara 0,7 hingga 1,4 MPa per-detik sampai benda uji hancur/terbelah. Kecepatan pembebanan untuk benda uji berbentuk selinder dengan ukuran panjang 300 mm dan diameter 150 mm berkisar antara 50 sampai 100 kN per-menit.

4.6.5 Pengujian Kuat Lentur Benda Uji

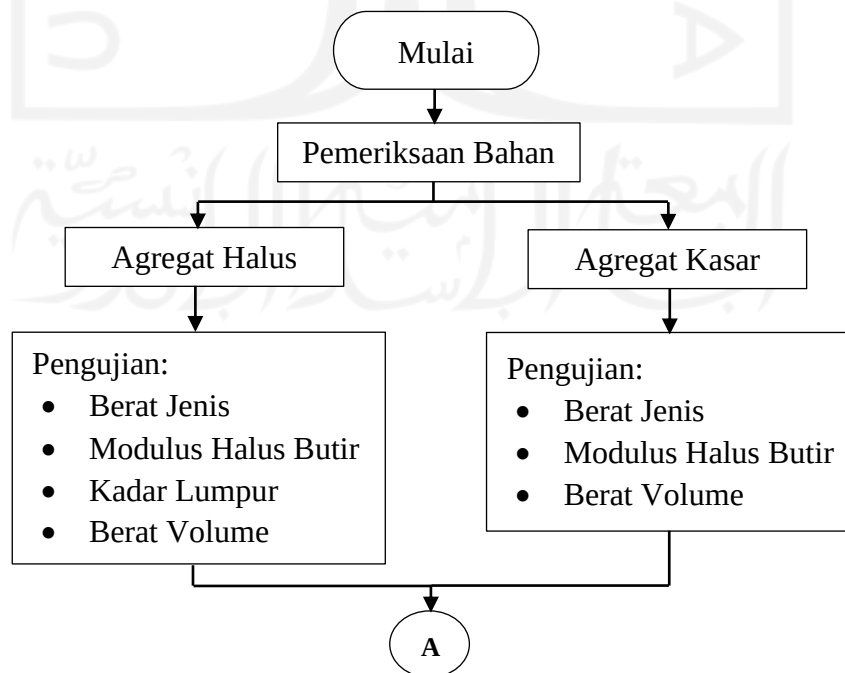
Adapun tahap-tahap dalam pengujian kuat lentur pada beton adalah sebagai berikut.

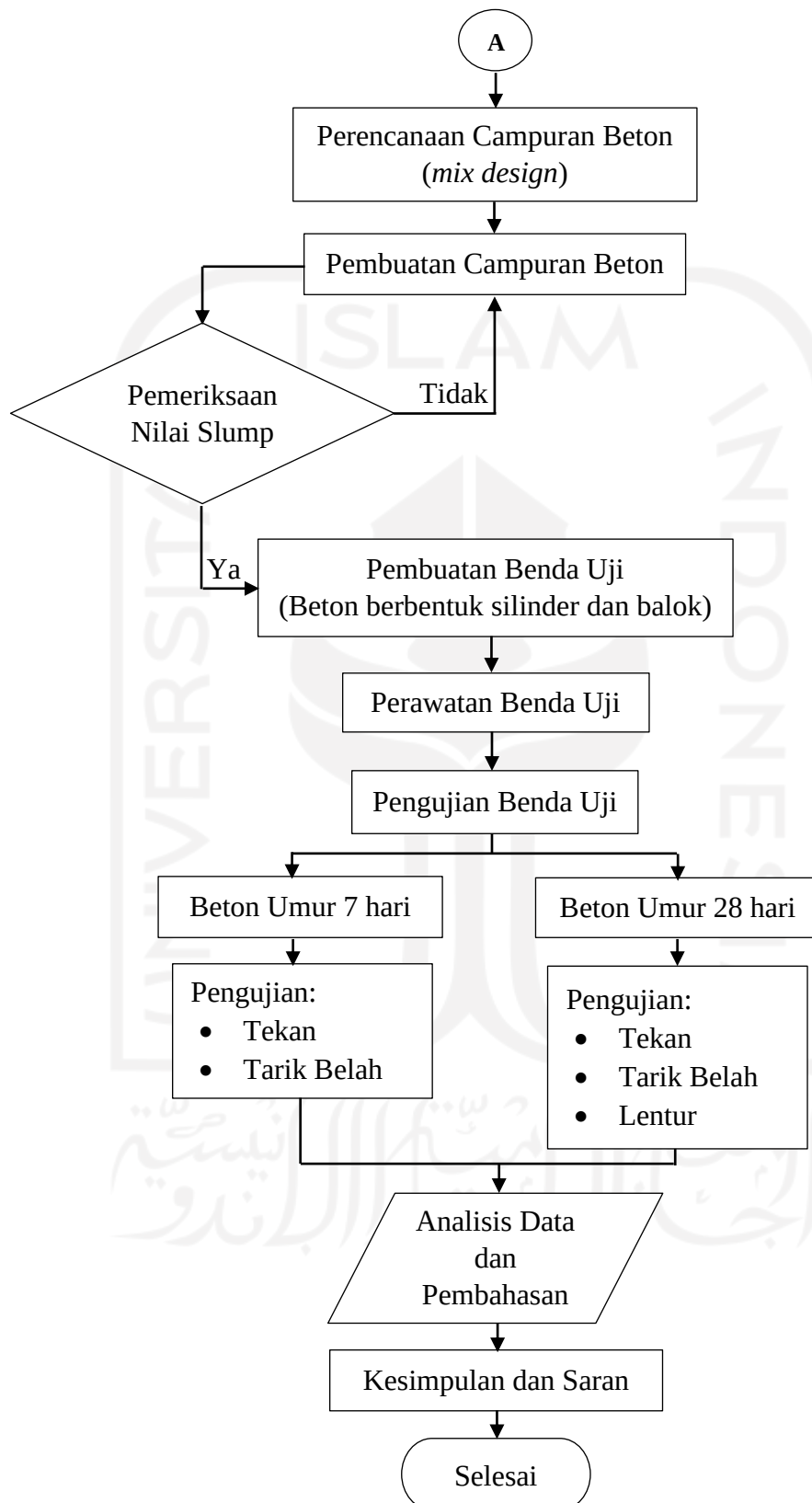
1. Ukur dan catat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong, minimal di tiga tempat. Kemudian ukur dan catat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
2. Timbang dan catat berat benda uji.
3. Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk letak titik perletakan, dan titik pembebanan, serta:
 - a. Garis sejauh 5% dari jarak bentang, diluar titik perletakan beban, untuk sistem pembebanan 2 titik beban.
 - b. Garis sejauh 10% dari jarak bentang, diluar titik perletakan beban, sistem pembebanan satu titik beban.
4. Letakkan blok tumpuan diatas meja mesin uji desak bagian bawah, dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
5. Tempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda diatas dua blok tumpuan/perletakan, sedemikian sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping.
6. Letakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan jumlah beban.
7. Jalankan mesin tekan, atur titik hehan uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut.

8. Kecepatan pembebanan harus kontinu. Pada pembebanan sampai $\pm 50\%$ dari beban maksimum yang diperkirakan, kecepatan pembebanan boleh lebih cepat dari 6 kN per-menit. Setelah itu sampai terjadi keruntuhan balok uji, kecepatan pembebanan harus diatur antara 4,3 kN s.d 6 kN per-menit.
9. Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah.
10. Ambil benda uji yang telah selesai diuji. Ukur dan catat tampang lintang patah dengan ketelitian 0,25 mm, sedikitnya pada tiga tempat dan ambil harga rata-ratanya.
11. Ukur dan catat jarak rata-rata antara penampang lintang patah dari tumpuan terdekat pada empat tempat dibagian tarik pada arah bentang dan diambil harga rata-ratanya.
12. Pada bidang patah, perhatikan apakah agregatnya pecah, lepas, atau kombinasi keduanya.

4.7 Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini digambarkan dengan bagan air atau *flowchat* yang dapat dilihat pada gambar 4.8 sebagai berikut.





Gambar 4.29 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Hasil penelitian didapatkan dari pengujian pemeriksaan bahan dan pengujian kekuatan beton yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII. Pemeriksaan bahan dilakukan dengan pengujian-pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar yang akan digunakan pada campuran beton. Pengujian kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur pada beton normal dan beton dengan bahan pengganti semen berupa *fly ash* dan *silica fume*.

5.2 Pemeriksaan Bahan

Pemeriksaan bahan bertujuan untuk memeriksa agregat halus maupun agregat kasar yang akan digunakan dalam campuran beton telah memenuhi persyaratan melalui beberapa pengujian yang telah dilakukan.

5.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Adapun pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990. Data dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Data Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Pasir Kering Mutlak, gr	487	479	483
Berat Pasir Jenuh Kering Muka (SSD), gr	500	500	500
Berat Piknometer berisi Pasir dan Air, gr	1025	1015	1020
Berat Piknometer berisi Air, gr	723	714	718,5

Lanjutan Tabel 5.1 Data Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Berat Jenis Curah	2,460	2,407	2,433
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,525	2,513	2,519
Berat Jenis Semu	2,632	2,691	2,662
Penyerapan Air, %	2,669	4,384	3,527

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan berat jenis jenuh kering muka (SSD) agregat halus sebesar 2,519 dan penyerapan air sebesar 3,527 %. Hasil tersebut telah memenuhi kriteria berat jenis agregat normal yang berkisar 2,5 – 2,7 dan penyerapan air agregat halus $\leq 5\%$ (Sujatmiko, 2019).

5.2.2 Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Adapun pengujian berat volume agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998. Data dari pengujian berat volume agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.2 dan tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Data Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	14914	14767	14840,5
Berat Agregat SSD, gr	7507	7360	7433,5
Volume Tabung, cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Gembur, gr/cm ³	1,416	1,388	1,402

Tabel 5.3 Data Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	16398	16392	16395

Lanjutan Tabel 5.3 Data Berat Volume Padat Agregat Halus

Berat Agregat SSD,	gr	8991	8985	8988
Volume Tabung,	cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Padat,	gr/cm ³	1,696	1,695	1,695

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai berat volume gembur agregat halus sebesar 1,402 gr/cm³ dan berat volume padat agregat halus sebesar 1,695 gr/cm³. Semakin kecil selisih berat volume gembur dan padat maka semakin baik gradasi agregat halus.

5.2.3 Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Adapun pengujian modulus halus butir agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Data dari pengujian modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 dan tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Data Modulus Halus Butir Agregat Halus (Sampel 1)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	13	0,649	0,649	99,351
2,40	105	5,242	5,891	94,109
1,20	247	12,332	18,223	81,777
0,60	576	28,757	46,980	53,020
0,30	575	28,707	75,686	24,314
0,15	413	20,619	96,306	3,694
Sisa	74	3,694	100	0
Jumlah	2003	100	243,734	656,266

Tabel 5.5 Data Modulus Halus Butir Agregat Halus (Sampel 2)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	13	0,651	0,651	99,349
2,40	98	4,905	5,556	94,444
1,20	180	9,009	14,565	85,435
0,60	587	29,379	43,944	56,056
0,30	593	29,680	73,624	26,376
0,15	401	20,070	93,694	6,306
Sisa	126	6,306	100	0
Jumlah	1998	100	232,032	667,968

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dihitung modulus halus butir agregat halus sebagai berikut

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100}$$

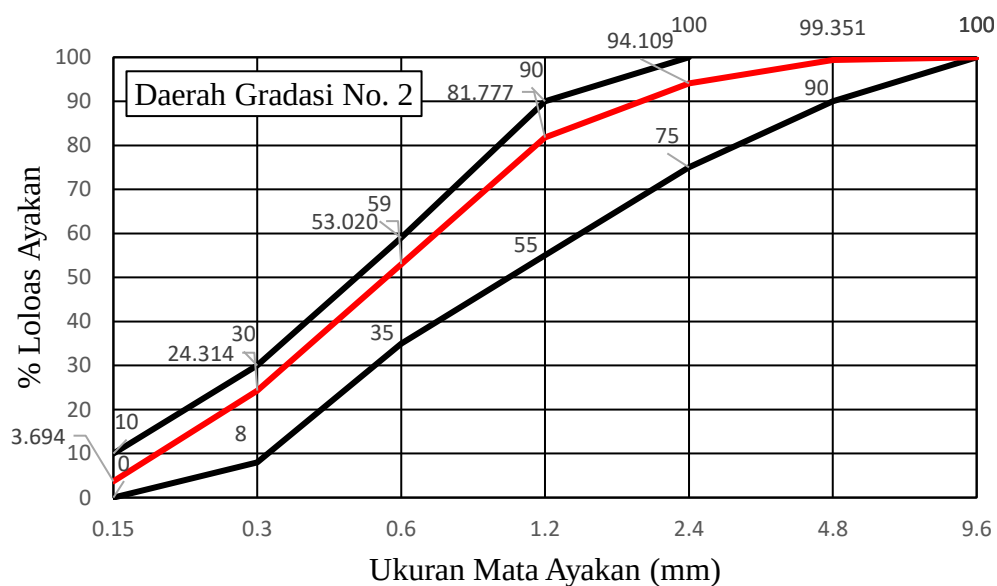
$$\begin{aligned} \text{MHB (Sampel 1)} &= \frac{243,734}{100} \\ &= 2,437 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB (Sampel 2)} &= \frac{232,032}{100} \\ &= 2,320 \end{aligned}$$

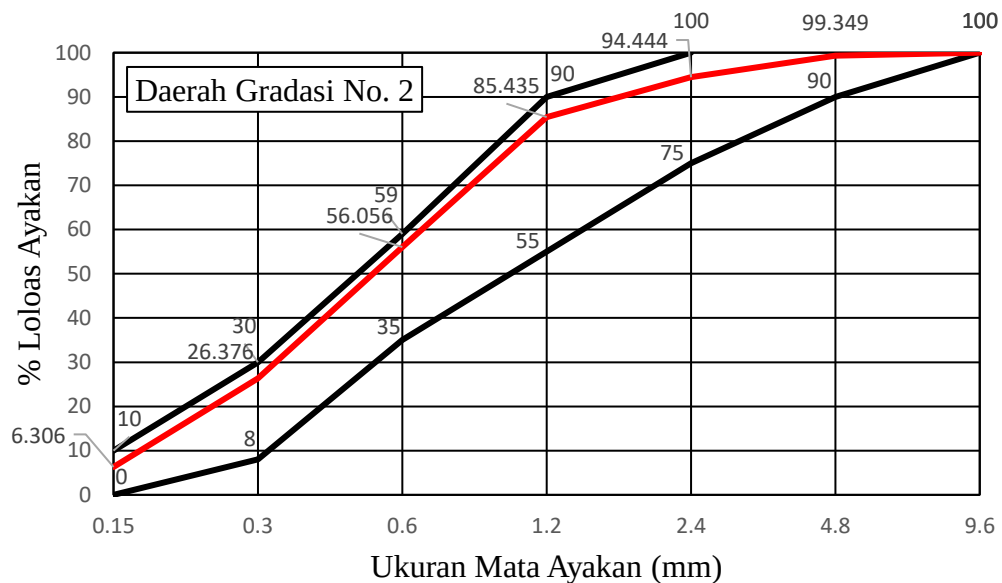
$$\begin{aligned} \text{MHB Rata-rata} &= \frac{\text{MHB (Sampel 1)} + \text{MHB (Sampel 2)}}{2} \\ &= \frac{2,437 + 2,320}{2} \\ &= 2,379 \end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir yang didapat sebesar 2,379. Menurut SK SNI S-04-1989-F, agregat halus memiliki nilai modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 (Sujatmiko, 2019). Nilai modulus halus butir yang didapatkan dalam pengujian ini telah memenuhi persyaratan tersebut.

Pengujian modulus halus butir agregat halus juga digunakan untuk menentukan daerah gradasi agregat halus berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000. Persyaratan batas-batas susunan butir agregat halus dapat dilihat pada tabel 3.6. Berdasarkan hasil pengujian, gradasi sampel 1 dan sampel 2 telah memenuhi daerah gradasi tipe II (pasir agak kasar). Grafik hubungan antara pesentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan agregat halus dapat dilihat pada gambar 5.1 dan gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus (Sampel 1)



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Halus (Sampel 2)

5.2.4 Pengujian Kandungan Lumpur (Lolos Ayakan #200)

Adapun pengujian kandungan lumpur agregat halus yang dilakukan berdasarkan SNI 03-4142-1996. Data dari pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Data Kandungan Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gr	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah Dicuci, gr	496	497	496,5
Berat Kandungan Lumpur, %	0,8%	0,6%	0,7%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kandungan lumpur agregat halus sebesar 0,7%. Nilai kandungan lumpur yang didapatkan tidak lebih dari 5% sehingga agregat halus tidak perlu dicuci ketika digunakan untuk pembuatan beton (Sujatmiko, 2019).

5.2.5 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Adapun pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Data dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Data Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil Kering Mutlak, gr	4929	4938	4933,5
Berat Kerkikil Jenuh Kering Muka (SSD), gr	5000	5000	5000
Berat Kerikil dalam Air, gr	3053,5	3041	3047,3
Berat Jenis Curah	2,532	2,521	2,526
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,569	2,552	2,561
Berat Jenis Semu	2,628	2,603	2,616
Penyerapan Air, %	1,440	1,256	1,348

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan berat jenis jenuh kering muka (SSD) agregat kasar sebesar 2,561 dan penyerapan air sebesar 1,348 %. Hasil tersebut telah memenuhi kriteria berat jenis agregat normal yang berkisar 2,5 – 2,7 dan penyerapan air agregat kasar $\leq 3\%$ (Sujatmiko, 2019).

5.2.6 Pengujian Berat Volume Agregat Kasar

Adapun pengujian berat volume agregat kasar yang dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998. Data dari pengujian berat volume agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.8 dan tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Data Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407

Lanjutan Tabel 5.8 Data Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Berat Tabung + Agregat SSD,	gr	14527	14645	14586
Berat Agregat SSD,	gr	7120	7238	7179
Volume Tabung,	cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Gembur,	gr/cm ³	1,343	1,365	1,354

Tabel 5.9 Data Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian		Hasil Pengujian		
		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung,	gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD,	gr	15246	15062	15154
Berat Agregat SSD,	gr	7839	7655	7747
Volume Tabung,	cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Padat,	gr/cm ³	1,479	1,444	1,461

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,354 gr/cm³ dan berat volume padat agregat kasar sebesar 1,461 gr/cm³. Semakin kecil selisih berat volume gembur dan padat maka agregat kasar menunjukkan gradasi yang seragam.

5.2.7 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Adapun pengujian modulus halus butir agregat kasar yang dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990. Data dari pengujian modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.10 dan tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Data Modulus Halus Butir Agregat Kasar (Sampel 1)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100

Lanjutan Tabel 5.10 Data Modulus Halus Butir Agregat Kasar (Sampel 1)

20,00	13	0,260	0,260	99,740
10,00	3693	73,757	74,016	25,984
4,80	1021	20,391	94,408	5,592
2,40	81	1,618	96,026	3,974
1,20	0	0	96,026	3,974
0,60	0	0	96,026	3,974
0,30	0	0	96,026	3,974
0,15	0	0	96,026	3,974
Sisa	199	3,974	100	0
Jumlah	5007	100	648,812	251,188

Tabel 5.11 Data Modulus Halus Butir Agregat Kasar (Sampel 2)

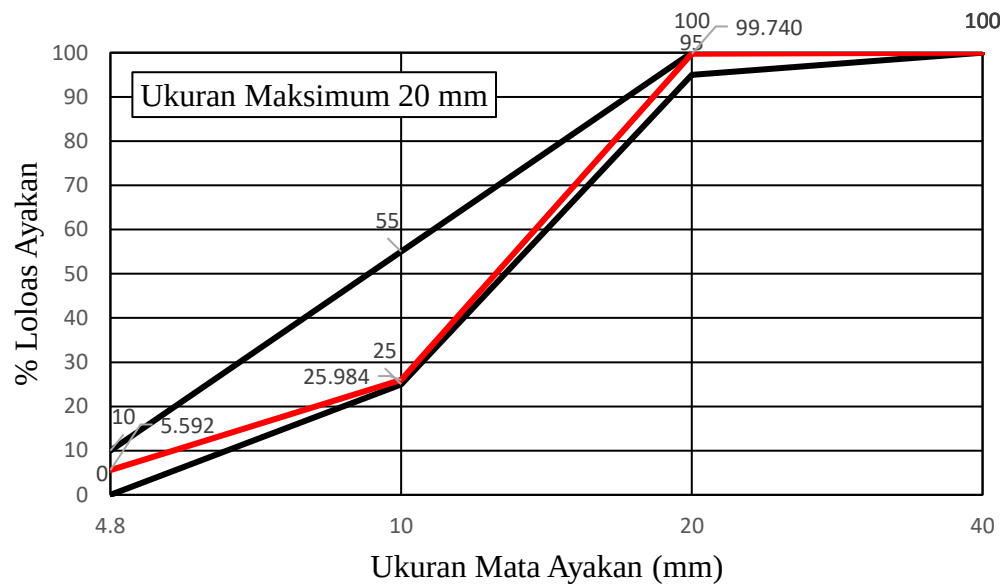
Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	43	0,859	0,859	99,141
10,00	3694	73,806	74,665	25,335
4,80	924	18,462	93,127	6,873
2,40	161	3,217	96,344	3,656
1,20	0	0	96,344	3,656
0,60	0	0	96,344	3,656
0,30	0	0	96,344	3,656
0,15	0	0	96,344	3,656
Sisa	183	3,656	100	0
Jumlah	5005	100	650,370	249,630

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dihitung modulus halus butir agregat kasar sebagai berikut

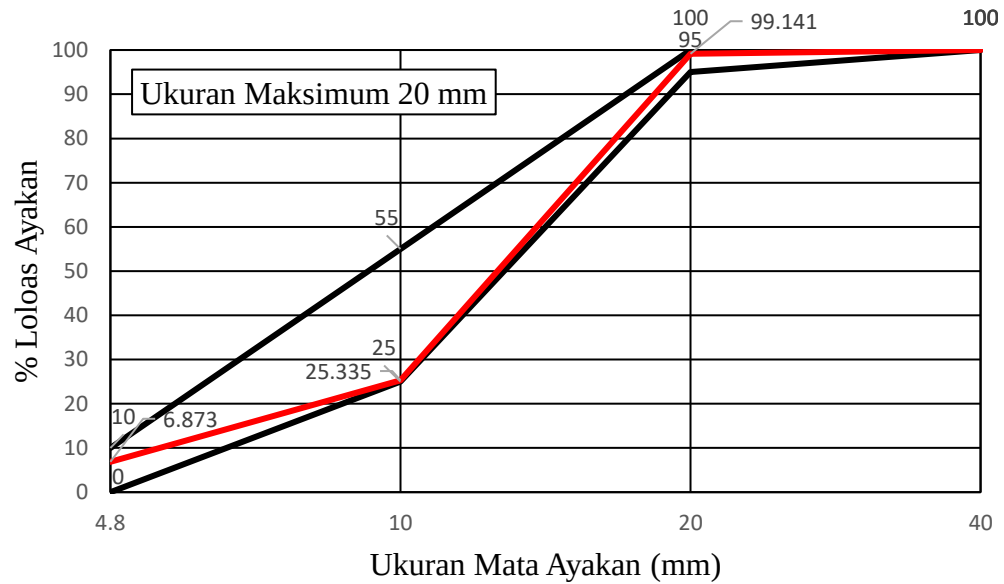
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif (\%)}}{100} \\
 \text{MHB (Sampel 1)} &= \frac{648,812}{100} \\
 &= 6,488 \\
 \text{MHB (Sampel 2)} &= \frac{650,370}{100} \\
 &= 6,504 \\
 \text{MHB Rata-rata} &= \frac{\text{MHB (Sampel 1)} + \text{MHB (Sampel 2)}}{2} \\
 &= \frac{6,488 + 6,504}{2} \\
 &= 6,496
 \end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir yang didapat sebesar 6,496. Menurut SK SNI S-04-1989-F, agregat halus memiliki nilai modulus halus butir antara 6,0 – 10,0 (Sujatmiko, 2019). Nilai modulus halus butir yang didapatkan dalam pengujian ini telah memenuhi persyaratan tersebut

Pengujian modulus halus butir agregat kasar juga digunakan untuk menentukan daerah gradasi agregat kasar berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000. Persyaratan batas-batas susunan butir agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3.5. Pada penelitian ini ukuran agregat kasar yang digunakan yaitu maksimum 20 mm. Berdasarkan hasil pengujian, gradasi sampel 1 dan sampel 2 telah memenuhi daerah gradasi untuk agregat ukuran maksimum 20 mm. Grafik hubungan antara pesentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan agregat kasar dapat dilihat pada gambar 5.3 dan gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Grafik Gradasi Agregat Kasar (Sampel 1)



Gambar 5.4 Grafik Gradasi Agregat Kasar (Sampel 2)

5.3 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan untuk memperoleh proporsi campuran beton sesuai kuat tekan yang direncanakan. Metode *mix design* yang digunakan berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan ketentuan-ketentuan sebagai berikut.

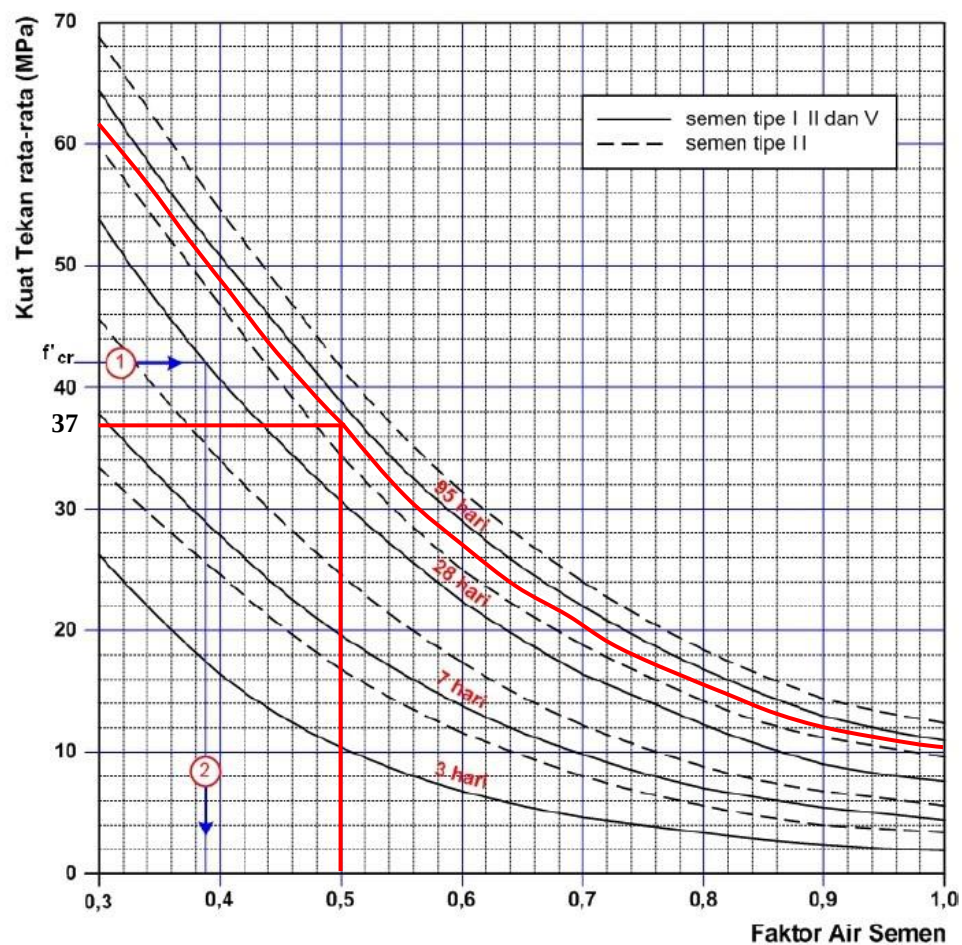
1. Kuat tekan yang direncanakan yaitu $f'_c = 25$ MPa
2. Ketentuan nilai slump 60 – 180 mm
3. Ukuran maksimum agregat yaitu 20 mm
4. Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu merk Dynamix jenis *Ordinary Portland Cement* Tipe I
5. Gradasi agregat halus pada daerah gradasi tipe II
6. Berat jenis agregat kasar sebesar 2,561 dan berat jenis agregat halus sebesar 2,519
7. Persentase variasi *fly ash* dan *silica fume* terhadap penggantian semen sebesar 60%, 70%, 80%, dan 90%
8. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm dan balok dengan ukuran 60x15x15 cm

Dari ketentuan-ketentuan diatas maka dapat dilakukan perencanaan campuran beton sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan (f'_c) beton rencana sebesar 25 MPa
2. Standar deviasi (Sr) dan nilai *margin* (M)
Dikarenakan data uji lapangan untuk menentukan standar deviasi tidak tersedia maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) harus diambil tidak kurang dari ($f'_c + 12$ MPa).
3. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= f'_c + 12 \text{ MPa} \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Menentukan perkiraan nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari pada f_{as} 0,5 berdasarkan tabel 4.3 sebesar 37 MPa
5. Menentukan faktor air semen (f_{as})
 Faktor air semen (f_{as}) didapatkan sebesar 0,5. Penarikan garis dalam grafik hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (f_{as}) dapat dilihat pada gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (f_{as}) (benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

6. Menentukan kadar semen minimum dan faktor air semen maksimum berdasarkan tabel 4.4 dengan ketentuan beton di dalam ruang bangunan dan keadaan keliling non-korosif. Dari tabel tersebut didapatkan kadar

semen minimum sebesar 275 m^3 dan faktor air semen maksimum sebesar 0,6 sehingga faktor air semen yang didapatkan dapat digunakan

7. Menentukan kadar air bebas (Ka)

Menentukan perkiraan kadar air bebas berdasarkan tabel 4.5. Kadar air bebas untuk agregat halus (W_h) sebesar 195 kg/m^3 dan kadar air bebas untuk agregat kasar (W_k) sebesar 225 kg/m^3 . Kemudian menghitung kadar air bebas dengan rumus sebagai berikut.

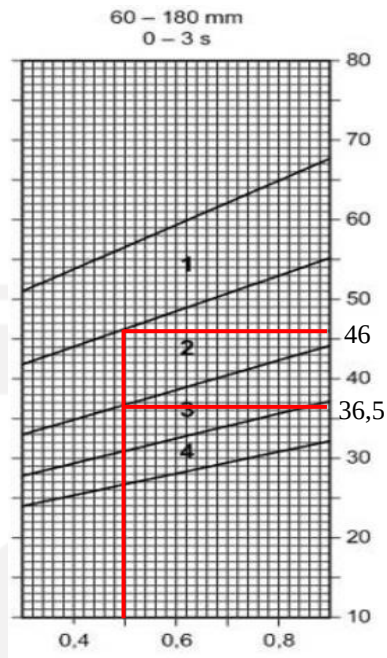
$$\begin{aligned}\text{Kadar Air Bebas} &= \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \\ &= \frac{2}{3}(195) + \frac{1}{3}(225) \\ &= 205 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

8. Menghitung kadar semen (Ks)

$$\begin{aligned}\text{Kadar Semen} &= \frac{\text{Kadar Air}}{\text{faktor Air Semen (fas)}} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

9. Menentukan tipe gradasi agregat halus yaitu daerah gradasi tipe II (pasir agak kasar) dan ketentuan nilai slump 60 – 180 mm

10. Menentukan persentase agregat halus menggunakan grafik hubungan antara faktor air semen dan proporsi agregat halus untuk ukuran butir maksimum 20 mm. Penarikan garis dalam grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.6 sebagai berikut.



Gambar 5.6 Hubungan Faktor Air Semen – Proporsi Agregat Halus Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari grafik tersebut, dapat diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut.

- a. Persentase Agregat Halus $= \frac{46\% + 36,5\%}{2}$
 $= 41,25\%$
- b. Persentase Agregat Kasar $= 100\% - 41,25\%$
 $= 58,75 \%$

11. Menghitung berat jenis relatif agregat gabungan

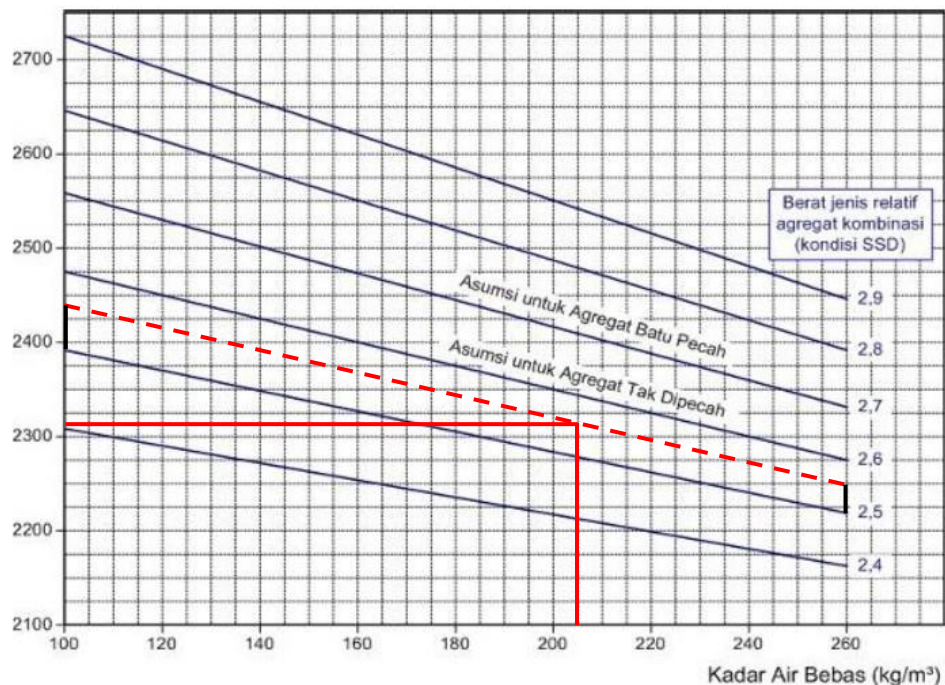
- a. Berat jenis agregat kasar $= 2,561$
- b. Berat jenis agregat halus $= 2,519$
- c. Berat jenis relatif agregat gabungan

$$\text{Berat Jenis Gabungan} = \left(\frac{41,25}{100} \times 2,519 \right) + \left(\frac{58,75}{100} \times 2,561 \right)$$

$$= 2,543$$

12. Menentukan berat isi beton basah berdasarkan grafik penentuan berat isi beton segar. Didapatkan berat isi beton basah (W_{beton}) sebesar 2312,5

kg/m³. Penarikan garis dalam grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Grafik Penentuan Berat Isi Beton Segar

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

13. Menghitung kebutuhan agregat
 - a. Kadar Agregat Gabungan (Kag)

$$= W_{\text{beton}} - (K_s + K_a)$$

$$= 2312,5 - (410 + 205)$$

$$= 1698 \text{ kg/m}^3$$
 - b. Kadar Agregat Halus (Kah)

$$= \frac{41,25}{100} \times 1698$$

$$= 700,219 \text{ kg/m}^3$$
 - c. Kadar Agregat Kasar (Kak)

$$= \frac{58,75}{100} \times 1698$$

$$= 997,281 \text{ kg/m}^3$$
14. Rekapitulasi desain campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Desain Campuran Beton (*Mix Design*)

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Rencana (f'_c)	25	MPa
2	Standar Deviasi (Sr)	-	-
3	Nilai Tambah (M)	12	MPa
4	Kuat Tekan Rata-rata (f'_{cr})	37	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe I	-
6	Faktor Air Semen (f_{as})	0,5	-
7	<i>Slump</i>	60 – 180	mm
8	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
9	Kadar Air Bebas Agregat Halus (Wh)	195	kg/m ³
10	Kadar Air Bebas Agregat Kasar (Wk)	225	kg/m ³
11	Kadar Air Bebas	205	kg/m ³
12	Kadar Semen	410	kg/m ³
13	Gradasi Agregat Halus	Daerah II	-
14	Persentase Agregat Halus	41,25	%
15	Persentase Agregat Kasar	58,75	%
16	Berat Jenis Agregat Halus	2,519	-
17	Berat Jenis Agregat Kasar	2,561	-
18	Berat Jenis Relatif Agregat Gabungan	2,543	-
19	Berat Isi Beton	2312,5	kg/m ³
20	Kadar Agregat Gabungan	1697,5	kg/m ³
21	Kadar Agregat Halus	700,219	kg/m ³
22	Kadar Agregat Kasar	997,281	kg/m ³
23	Angka Penyusutan	15	%
24	Volume 1 Silinder	0,0053	m ³
25	Jumlah Benda Uji Silinder per Variasi	12	buah
26	Volume 1 Balok	0,0135	m ³
27	Jumlah Benda Uji Balok per Variasi	3	buah

15. Menentukan proporsi kebutuhan material campuran beton berdasarkan variasi yang telah ditentukan pada tabel 4.2. Proporsi kebutuhan material campuran beton dapat dilihat pada tabel 5.13, tabel 5.14 dan tabel 5.15 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per m³

Kode Benda Uji	Agregat Halus kg	Agregat Kasar kg	Air kg	Semen kg	Fly Ash kg	Silica Fume kg
BN	700,219	997,281	205	410	0	0
FS60	700,219	997,281	205	164	221,400	24,600
FS70	700,219	997,281	205	123	258,300	28,700
FS80	700,219	997,281	205	82	295,200	32,800
FS90	700,219	997,281	205	41	332,100	36,900

Tabel 5.14 Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per m³ dengan Tambahan Angka Penyusutan Sebesar 15%

Kode Benda Uji	Agregat Halus kg	Agregat Kasar kg	Air kg	Semen kg	Fly Ash kg	Silica Fume kg
BN	805,252	1146,873	235,750	471,500	0	0
FS60	805,252	1146,873	235,750	188,600	254,610	28,290
FS70	805,252	1146,873	235,750	141,450	297,045	33,005
FS80	805,252	1146,873	235,750	94,300	339,480	37,720
FS90	805,252	1146,873	235,750	47,150	381,915	42,435

Tabel 5.15 Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per Variasi Untuk 12 Silinder dan 3 Balok

Kode Benda Uji	Agregat Halus kg	Agregat Kasar kg	Air kg	Semen kg	Fly Ash kg	Silica Fume kg
BN	83,841	119,409	24,546	49,091	0	0

Lanjutan Tabel 5.15 Proporsi Kebutuhan Material Campuran Beton Per Variasi Untuk 12 Silinder dan 3 Balok

FS60	83,841	119,409	24,546	19,637	26,509	2,945
FS70	83,841	119,409	24,546	14,727	30,928	3,436
FS80	83,841	119,409	24,546	9,818	35,346	3,927
FS90	83,841	119,409	24,546	4,909	39,764	4,418

5.4 Pengujian Beton

Pengujian beton yang dilakukan yaitu pengujian *slump* saat proses *mixing* campuran beton dan pengujian kekuatan beton (kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur) saat benda uji telah mencapai umur beton yang direncanakan.

5.4.1 *Slump*

Pengujian *slump* merupakan nilai untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran beton yang berkaitan dengan tingkat kemudahan dalam pengadukan campuran (*workability*). Dalam hal ini, semakin tinggi nilai *slump* maka campuran semakin cair sehingga mudah dalam pengadukan atau pengerjaan beton. Hasil nilai *slump* yang didapatkan dari proses *mixing* campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Nilai *Slump*

Kode Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (mm)
BN	88
FS60	100
FS70	120
FS80	125
FS90	143

Berdasarkan penentuan nilai *slump* pada proses perencanaan campuran beton (*mix design*) ditetapkan sebesar 60 – 180 mm. Maka hasil pengujian *slump* yang didapatkan dari proses *mixing* campuran beton telah memenuhi nilai *slump*

yang telah direncanakan. Pada tabel 5.16, dapat diketahui bahwa nilai *slump* yang dihasilkan meningkat. Menurut Suarnita (2011) dan Tarru et al. (2017), *fly ash* dan *silica fume* memiliki kelebihan yang sama yaitu memperbaiki tingkat pengerjaan (*workability*) campuran beton sehingga campuran beton yang dihasilkan memiliki nilai *slump* yang meningkat seiring dengan meningkatnya penggunaan dari bahan tersebut.

5.4.2 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum pada benda uji beton saat diberi beban oleh mesin uji tekan hingga hancur yang dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1974-1990. Pengujian ini dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah benda uji pada pengujian ini sebanyak 30 buah dengan 5 variasi berbeda dan masing-masing variasi diuji pada umur 7 dan 28 hari.

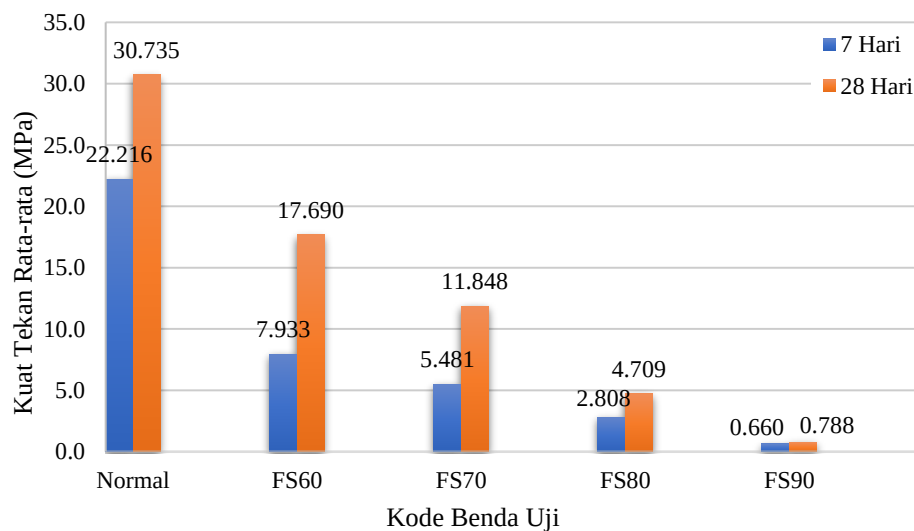
Perhitungan hasil pengujian kuat tekan beton diambil contoh pada sampel BN dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D &= 149,9 \text{ mm} \\
 T &= 302,6 \text{ mm} \\
 P &= 510 \text{ kN} = 510000 \text{ N} \\
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 149,9^2 \\
 &= 17647,905 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{510000}{17647,905} \\
 &= 28,899 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton berbentuk silinder pada umur 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.17 dan gambar 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari (MPa)		Perubahan (%)	Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (MPa)		Perubahan (%)
BN	18,053	22,216	0	28,899	30,735	0
	26,525			31,617		
	22,069			31,690		
FS60	6,990	7,933	-64,292	18,550	17,690	-42,444
	9,174			16,241		
	7,635			18,278		
FS70	5,890	5,481	-75,327	10,237	11,848	-61,451
	5,445			12,620		
	5,109			12,687		
FS80	2,707	2,808	-87,362	4,993	4,709	-84,678
	2,939			4,772		
	2,777			4,363		
FS90	0,653	0,606	-97,030	0,757	0,788	-97,437
	0,615			0,761		
	0,711			0,845		

**Gambar 5.8 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada tabel 5.17 dan gambar 5.8, didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% (FS60) yaitu 7,933 MPa pada umur 7 hari dan 17,690 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton pada variasi FS60 tersebut mengalami penurunan dari kuat tekan beton normal (BN) sebesar 64,292% pada umur 7 hari dan 42,444% pada umur 28 hari.

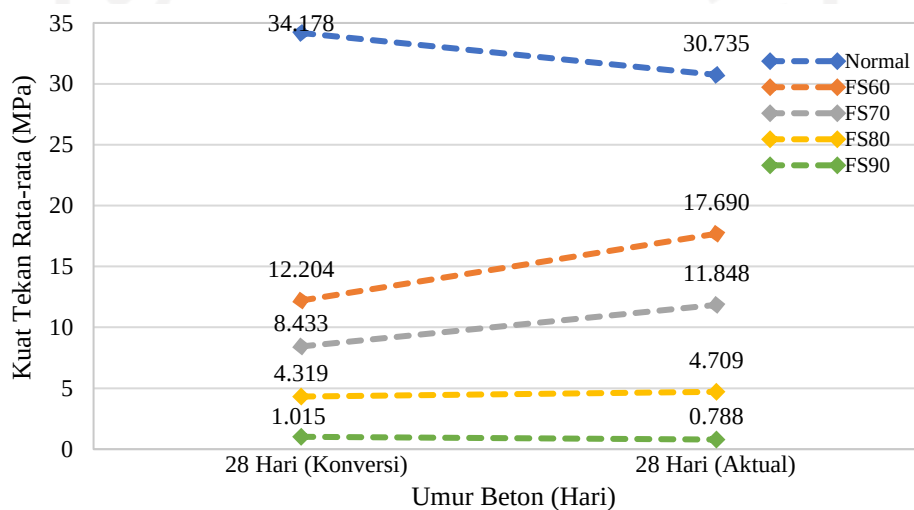
Dari hasil pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* dari 60% hingga 90% maka kuat tekan beton yang didapatkan semakin menurun. Pada persentase penggantian sebagian semen sebesar 60% - 70% dari kuat tekan yang dihasilkan dapat digolongkan dalam beton kelas II sehingga dapat digunakan untuk beton struktural ringan. Sedangkan, pada persentase penggantian sebagian semen sebesar 80% - 90% dapat digunakan untuk beton non-struktural.

Hasil pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dilakukan konversi ke umur 28 hari dengan angka konversi 0,65. Dari hasil konversi kuat tekan beton tersebut, dapat diketahui selisih antara kuat tekan beton umur 28 hari (konversi) dan kuat tekan beton umur 28 hari (aktual). Perhitungan diambil contoh pada sampel BN dan rekapitulasi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5.18 sebagai berikut.

Angka Konversi (K)	= 0,65
Kuat Tekan Aktual 28 Hari (f'_{c1})	= 30,735 MPa
Kuat Tekan Aktual 7 Hari (f'_{c2})	= 22,216 MPa
Kuat Tekan Konversi 28 Hari (f'_{c3})	$= \frac{f'_{c2}}{0,65}$ $= \frac{22,216}{0,65}$ $= 34,178 \text{ MPa}$
Selisih	$= \frac{f'_{c1} - f'_{c3}}{f'_{c3}} \times 100$ $= \frac{30,735 - 34,178}{34,178} \times 100$ $= -10,073\%$

Tabel 5.18 Selisih antara Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)

Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton Rata-rata Konversi Umur 28 Hari (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata Aktual Umur 28 Hari (MPa)	Selisih (%)
BN	34,178	30,735	-10,073
FS60	12,204	17,690	44,951
FS70	8,433	11,848	40,499
FS80	4,319	4,709	9,026
FS90	1,015	0,788	-22,390



Gambar 5.9 Grafik Selisih antara Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)

Berdasarkan tabel 5.18 dan gambar 5.9 diatas, dapat diketahui bahwa kuat tekan umur 28 hari (aktual) pada beton BN dan FS90 mengalami penurunan dibandingkan kuat tekan umur 28 hari (konversi). Sedangkan kuat tekan umur 28 hari (aktual) pada beton FS60, FS70 dan FS80 mengalami peningkatan dibandingkan kuat tekan umur 28 hari (konversi).

5.4.3 Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik belah maksimum beton dengan cara meletakkan benda uji beton secara horizontal di atas pelat mesin uji dan diberi beban oleh mesin uji tekan hingga terbelah. Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan SNI 03-2491-2002. Benda uji

yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah benda uji pada pengujian ini sebanyak 30 buah dengan 5 variasi berbeda dan masing-masing variasi diuji pada umur 7 dan 28 hari.

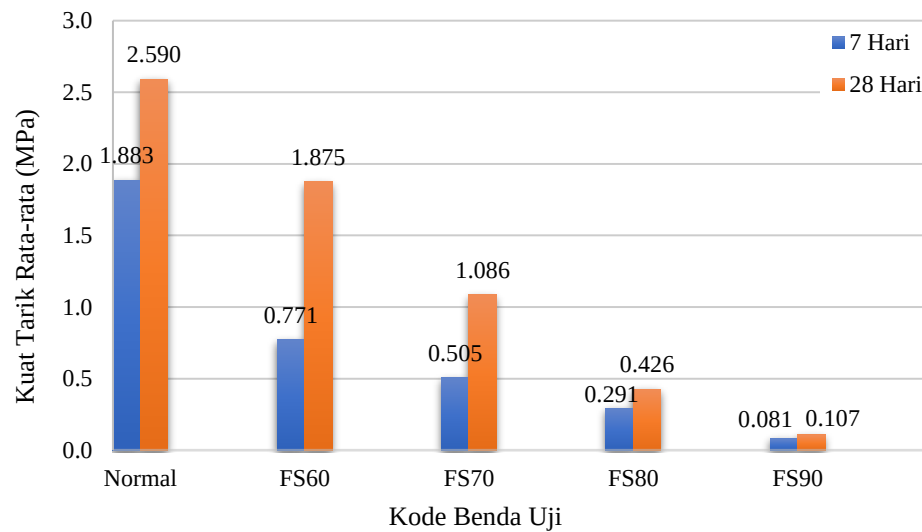
Perhitungan hasil pengujian kuat tarik belah beton diambil contoh pada sampel BN dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D &= 149,7 \text{ mm} \\
 L &= 300 \text{ mm} \\
 P &= 189 \text{ kN} = 189000 \text{ N} \\
 \text{Kuat Tarik Belah} &= \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D} \\
 &= \frac{2 \times 189000}{\pi \times 300 \times 149,7} \\
 &= 2,679 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik belah beton berbentuk silinder pada umur 7 dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Beton Umur 7 Hari (MPa)		Perubahan (%)	Kuat Tarik belah Beton Umur 28 Hari (MPa)		Perubahan (%)
BN	2,163	1,883	0	2,547	2,590	0
	1,687			2,544		
	1,801			2,679		
FS60	0,747	0,771	-59,045	1,981	1,875	-27,596
	0,840			1,775		
	0,728			1,871		
FS70	0,472	0,505	-73,187	1,205	1,086	-58,082
	0,499			1,014		
	0,544			1,038		
FS80	0,249	0,291	-84,540	0,436	0,426	-83,557
	0,221			0,385		
	0,404			0,458		
FS90	0,081	0,081	-95,698	0,112	0,107	-95,887
	0,077			0,108		
	0,085			0,099		



Gambar 5.10 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik beton yang dapat dilihat pada tabel 5.19 dan gambar 5.10, didapatkan nilai kuat tarik belah beton rata-rata tertinggi pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% (FS60) yaitu 0,771 MPa pada umur 7 hari dan 1,875 MPa pada umur 28 hari. Kuat tarik belah beton pada variasi FS60 tersebut mengalami penurunan dari kuat tarik belah beton normal (BN) sebesar 59,045% pada umur 7 hari dan 27,596% pada umur 28 hari.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton umur 7 hari dilakukan konversi ke umur 28 hari dengan angka konversi 0,65. Dari hasil konversi kuat tarik belah beton tersebut, dapat diketahui selisih antara kuat tarik belah beton umur 28 hari (konversi) dan kuat tarik belah beton umur 28 hari (aktual). Perhitungan diambil contoh pada sampel BN dan rekapitulasi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5.20 sebagai berikut.

$$\text{Angka Konversi (K)} = 0,65$$

$$\text{Kuat Tarik Belah Aktual 28 Hari (fct1)} = 2,590 \text{ MPa}$$

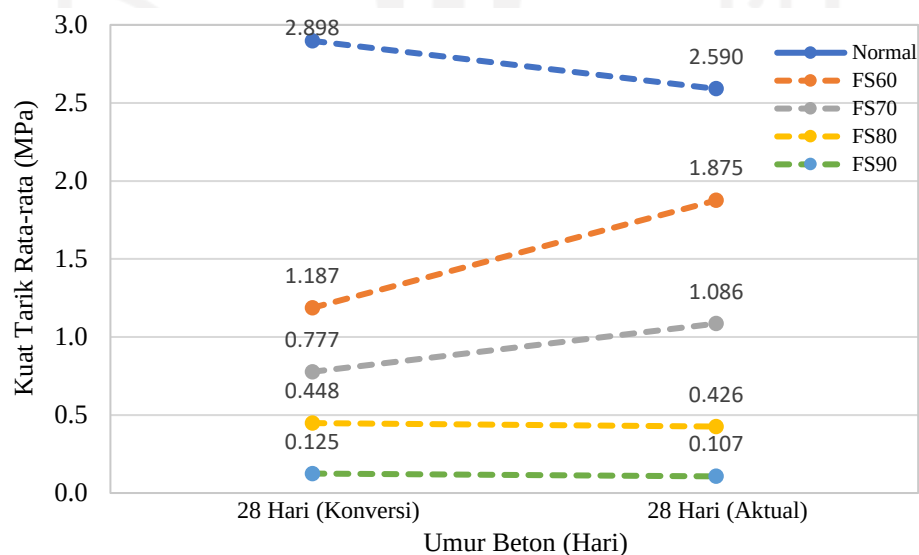
$$\text{Kuat Tarik Belah Aktual 7 Hari (fct2)} = 1,883 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat Tarik Belah Konversi 28 Hari (fct3)} = \frac{fct2}{0,65}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,883}{0,65} \\
 &= 2,898 \text{ MPa} \\
 \text{Selisih} &= \frac{f_{ct1} - f_{ct3}}{f_{ct3}} \times 100 \\
 &= \frac{2,590 - 2,898}{2,898} \times 100 \\
 &= -10,615\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.20 Selisih antara Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata Konversi Umur 28 Hari (MPa)	Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata Aktual Umur 28 Hari (MPa)	Selisih (%)
BN	2,898	2,590	-10,615
FS60	1,187	1,875	58,021
FS70	0,777	1,086	39,739
FS80	0,448	0,426	-4,934
FS90	0,125	0,107	-14,537



Gambar 5.11 Grafik Selisih antara Kuat Tarik Belah Beton Umur 28 Hari (Konversi) dan Umur 28 Hari (Aktual)

Berdasarkan tabel 5.20 dan gambar 5.11 diatas, dapat diketahui bahwa kuat tarik belah umur 28 hari (aktual) pada beton BN, FS80 dan FS90 mengalami penurunan dibandingkan kuat tekan umur 28 hari (konversi). Sedangkan kuat tekan umur 28 hari (aktual) pada beton FS60 dan FS70 mengalami peningkatan dibandingkan kuat tekan umur 28 hari (konversi).

Hasil pengujian kuat tarik belah beton pada penelitian ini, menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* dari 60% hingga 90% akan menghasilkan kuat tarik belah beton yang menurun. Penurunan kuat tarik belah beton juga dapat dilihat dari perbandingan antara kuat tarik belah beton dan kuat tekan beton. Perhitungan perbandingan diambil contoh pada sampel BN dan rekapitulasi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5.21 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan } (f'_c) &= 30,735 \text{ MPa} \\ \text{Kuat Tarik Belah } (f_{ct}) &= 2,590 \text{ MPa} \\ \text{Perbandingan} &= \frac{f_{ct}}{f'_c} \times 100 \\ &= \frac{2,590}{30,735} \times 100 = 8,427 \%\end{aligned}$$

Tabel 5.21 Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Umur Benda Uji (Hari)	Kuat Tarik Belah Beton Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)	Persentase Perbandingan (%)
BN	7	1,883	22,216	8,478
	28	2,590	30,735	8,427
FS60	7	0,771	7,933	9,724
	28	1,875	17,690	10,601
FS70	7	0,505	5,481	9,213
	28	1,086	11,848	9,164
FS80	7	0,291	2,808	10,372
	28	0,426	4,709	9,044
FS90	7	0,081	0,660	12,282
	28	0,107	0,788	13,525

Pada tabel 5.21 diatas, dapat dilihat bahwa perbandingan kuat tarik belah beton terhadap kuat tekan beton menunjukkan penurunan kuat tarik belah beton seiring dengan penurunan kuat tekan beton dan begitu pula sebaliknya. Menurut Nasution (2009), pada umumnya kuat tarik belah beton berada sekitar 8% hingga 15% dari kuat tekan beton. Untuk hasil pengujian kuat tarik belah beton variasi FS60, FS70, FS80, FS90 maupun normal yang diperoleh telah memenuhi kisaran tersebut.

5.4.4 Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat lentur maksimum beton dengan cara meletakkan balok beton pada dua perletakan dan diberi gaya tegak lurus sumbu benda uji hingga balok beton patah. Pengujian ini dilaksanakan dengan pembebanan 2 titik berdasarkan SNI 03-4431-1997. Benda uji yang digunakan berbentuk balok dengan ukuran 600x150x150 mm. Jumlah benda uji pada pengujian ini sebanyak 15 buah dengan 5 variasi berbeda dan masing-masing variasi diuji pada umur 28 hari.

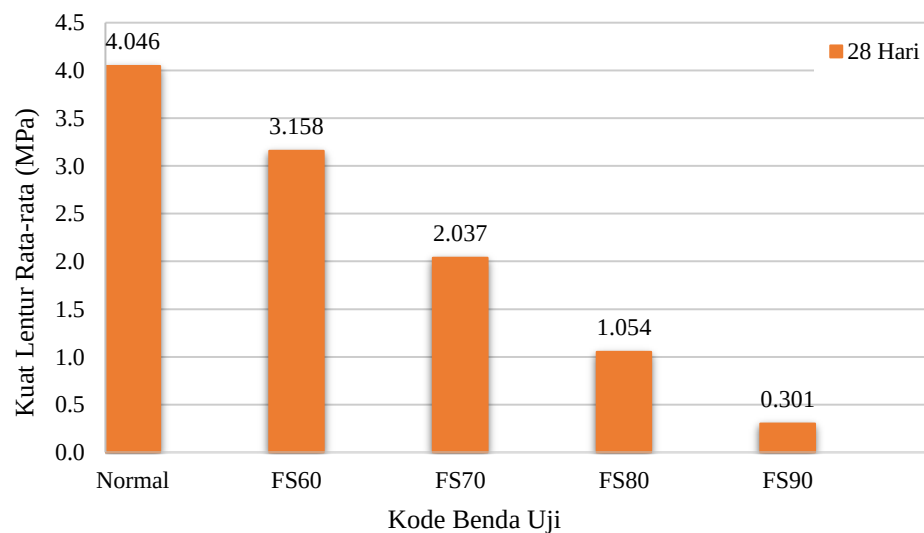
Perhitungan hasil pengujian kuat lentur beton diambil contoh pada sampel BN dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 L &= 450 \text{ mm} \\
 \text{Jarak P ke Tumpuan} &= 150 \text{ mm} \\
 b &= 151 \text{ mm} \\
 h &= 151,5 \text{ mm} \\
 P &= 3220 \text{ kgf} = 31577,4 \text{ N} \\
 \text{Kondisi Patah} &= \text{Patah pada pusat } 1/3 \text{ bentang (L)} \\
 \text{Kuat Lentur} &= \frac{PxL}{bxh^2} \\
 &= \frac{31577,4 \times 450}{151 \times 151,5^2} \\
 &= 4,100 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil pengujian kuat lentur beton berbentuk silinder pada umur 28 hari dapat dilihat pada tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Beton Umur 28 Hari (MPa)		Perubahan (%)
BN	4,100	4,046	0
	4,089		
	3,949		
FS60	3,163	3,158	-21,954
	2,980		
	3,330		
FS70	1,943	2,037	-49,661
	2,129		
	2,038		
FS80	1,089	1,054	-73,952
	1,138		
	0,935		
FS90	0,275	0,301	-92,551
	0,333		
	0,296		

**Gambar 5.12 Grafik Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton**

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur beton yang dapat dilihat pada tabel 5.22 dan gambar 5.12, didapatkan nilai kuat lentur beton rata-rata tertinggi pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% (FS60) yaitu 3,158 MPa pada umur 28 hari. Namun kuat lentur beton pada variasi FS60 tersebut masih dibawah dari kuat lentur beton normal (BN) yaitu 4,046 MPa dengan penurunan sebesar 21,954%. Dari hasil pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* dari 60% hingga 90% maka kuat lentur yang dihasilkan semakin menurun pula.

Hasil pengujian kuat lentur beton menghasilkan nilai korelasi terhadap kuat tekan beton. Perhitungan nilai korelasi diambil contoh pada sampel BN dan rekapitulasi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 5.23 sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan } (f'c) &= 30,735 \text{ MPa} \\
 \text{Kuat Lentur } (fr) &= 4,046 \text{ MPa} \\
 \sqrt{f'c} &= \sqrt{30,735} = 5,544 \\
 fr &= K\sqrt{f'c} \\
 K &= \frac{fr}{\sqrt{f'c}} \\
 &= \frac{4,046}{5,544} = 0,73
 \end{aligned}$$

Tabel 5.23 Korelasi Kuat Lentur Terhadap Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Beton Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)	$\sqrt{f'c}$	$K\sqrt{f'c}$	Korelasi
BN	4,046	30,735	5,54	0,73	$0,73\sqrt{f'c}$
FS60	3,158	17,690	4,21	0,75	$0,75\sqrt{f'c}$
FS70	2,037	11,848	3,44	0,59	$0,59\sqrt{f'c}$
FS80	1,054	4,709	2,17	0,49	$0,49\sqrt{f'c}$
FS90	0,301	0,788	0,89	0,34	$0,34\sqrt{f'c}$

Pada tabel 5.23 diatas, dapat dilihat korelasi kuat lentur beton terhadap kuat tekan beton pada penelitian ini. Nilai $K\sqrt{f'c}$ yang didapatkan yaitu 0,75 sampai 0,34. Menurut SNI 2847:2019, nilai $K\sqrt{f'c}$ sebesar 0,62 sehingga selisih antara hasil penelitian ini dan SNI adalah 0,13 sampai 0,28. Diketahui bahwa korelasi kuat lentur beton terhadap kuat tekan beton pada penelitian ini berkisar $\pm 0,58\sqrt{f'c}$.

5.4.5 Pembahasan Keseluruhan

Penelitian ini dilakukan dengan mengganti sebagian semen pada campuran beton dengan menggunakan *fly ash* dan *silica fume*. Persentase penggantian sebagian semen yaitu 60%, 70%, 80% dan 90%. Berdasarkan hasil dari pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton diperoleh hasil rekapitulasi yang dapat dilihat pada tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Beton

Pengujian Beton	Umur Uji	Variasi				
		BN	FS60	FS70	FS80	FS90
Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	7 Hari	22,216	7,933	5,481	2,808	0,660
	28 Hari	30,735	17,690	11,848	4,709	0,788
Kuat Tarik Belah Rata-rata (MPa)	7 Hari	1,883	0,771	0,505	0,291	0,081
	28 Hari	2,590	1,875	1,086	0,426	0,107
Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	28 Hari	4,046	3,158	2,037	1,054	0,301

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian beton yang dapat dilihat pada tabel 5.24, dapat diketahui bahwa persentase penggantian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% (FS60) memiliki hasil paling tinggi dibandingkan dengan persentase penggantian semen 70% (FS70), 80% (FS80) dan 90% (FS90), meskipun kekuatan beton yang dihasilkan masih dibawah kekuatan beton normal (BN). Pada variasi beton FS60, kuat tekan beton yang didapatkan sebesar 7,933 MPa (7 hari) dan 17,690 MPa (28 Hari); kuat tarik belah beton sebesar 0,771 MPa (7 hari) dan 1,875 MPa (28 Hari); kuat lentur beton sebesar 3,158 MPa (28 Hari).

Sedangkan, hasil terendah didapatkan pada variasi beton FS90 dengan kuat tekan beton sebesar 0,660 MPa (7 Hari) dan 0,788 (28 Hari); kuat tarik belah beton sebesar 0,081 MPa (7 Hari) dan 0,107 MPa (28 Hari); kuat lentur beton sebesar 0,301 MPa (28 Hari).

Dari hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% hingga 90% akan menurunkan kekuatan beton yang dihasilkan. Hal itu disebabkan karena *fly ash* dan *silica fume* tidak mengalami pengikatan dengan material beton lain secara maksimal. Kandungan silikon dioksida (SiO_2) pada *fly ash* dan *silica fume* melakukan reaksi kimia dengan hasil proses hidrasi semen berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berpengaruh terhadap pengerasan beton (Setiawati, 2018; Haruna, 2021). Kedua bahan tersebut tidak dapat bereaksi kimia dengan semen secara maksimal karena penggunaan semen yang terlalu sedikit sehingga kelekatan pada beton berkurang dan beton mudah mengalami keretakan.

Penurunan kekuatan beton juga disebabkan oleh karakteristik *fly ash* dan *silica fume*, sebagaimana didukung oleh pernyataan Suarnita (2011) dan Tarru et al. (2017) bahwa *fly ash* membutuhkan waktu pengerasan (*setting time*) yang lama dan memiliki kekuatan awal beton yang rendah dan juga *silica fume* pada proses pengikatannya membutuhkan waktu pengerasan (*setting time*) yang lama pula. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan waktu pengerasan yang lama untuk mendapatkan kekuatan beton yang maksimal. Selain itu, kondisi jenuh kering muka atau *saturated surfaced dry* (SSD) pada pasir maupun kerikil tidak merata dan perlakuan saat pemadatan campuran beton yang berbeda-beda juga dapat menyebabkan menurunnya kekuatan beton.

Dari penelitian serupa mengenai penggunaan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen yang dilakukan oleh Sudibyo et al. (2021) dari persentase penggantian semen dengan *silica fume* sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5% didapatkan kadar optimum *silica fume* pada persentase penggantian semen sebesar 10% dengan kuat tekan beton yang dihasilkan sebesar 26,47 MPa pada 28 hari dan 28,83 MPa pada umur 56 hari. Sedangkan penggunaan *silica fume* pada

penelitian ini masih dibawah kadar optimum tersebut sehingga dapat dikatakan bahwa penurunan kekuatan beton tidak diakibatkan dari penggunaan *silica fume* yang berlebihan.

Disisi lain, penggunaan *fly ash* dengan kadar tertentu dapat mempengaruhi kekuatan beton. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Marthinus et al. (2015), persentase penggantian semen menggunakan *fly ash* digunakan sebesar 0%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70% dan didapatkan persentase kadar *fly ash* optimum pada penggantian semen sebesar 30% dengan kekuatan beton yang dihasilkan pada umur 28 hari yaitu kuat tekan beton sebesar 29,38 MPa; kuat tarik belah beton sebesar 3,21 MPa; kuat lentur beton sebesar 9,66 MPa. Kemudian pada persentase penggantian semen 40% hingga 70% kekuatan beton yang dihasilkan menurun seiring dengan bertambahnya persentase kadar *fly ash*. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* diatas 30% dapat menurunkan kekuatan beton. Sebagaimana pada penelitian ini, persentase kadar *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti semen lebih dari 30% sehingga kekuatan beton yang dihasilkan menurun.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Pathak (2020) berjudul *Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete*, penggunaan *fly ash* dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen sebesar 0%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, dan 60% dengan mutu rencana beton 30 MPa. Didapatkan hasil optimum dari penggunaan *fly ash* dan *silica fume* pada persentase penggantian semen sebesar 60% dengan kuat tekan beton sebesar 29,6 MPa (7 hari) dan 49,32 MPa (28 hari); kuat tarik belah beton sebesar 3,23 MPa (7 hari) dan 6,61 MPa (28 hari), kuat lentur beton sebesar 5,17 MPa (7 hari) dan 6,46 MPa (28 hari).

Pada penelitian ini, persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* digunakan sebesar 0%, 60%, 70%, 80%, dan 90% dengan mutu rencana beton 25 MPa. Hasil tertinggi didapatkan pada persentase penggunaan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% dengan kuat tekan beton 7,933 MPa (7 hari) dan 17,690 MPa (28 Hari); kuat tarik belah beton sebesar 0,771 MPa (7 hari) dan 1,875 MPa (28 Hari); kuat lentur beton sebesar 3,158 MPa (28 Hari). Berdasarkan

kekuatan beton yang dihasilkan, persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* dari 60% hingga 90% mengalami penurunan kekuatan yang berurutan. Terdapat kesamaan penggunaan persentase *fly ash* dan *silica fume* pada penelitian Pathak (2020) dan penelitian ini yaitu pada persentase 60%. Namun, kekuatan beton yang dihasilkan berbeda. Pada penelitian Pathak (2020), persentase penggantian semen 60% menghasilkan kekuatan beton diatas mutu beton yang direncanakan. Sedangkan pada penelitian ini, persentase penggantian semen 60% menghasilkan kekuatan beton dibawah mutu beton yang direncanakan. Terdapat beberapa perbedaan yang dapat dijadikan faktor penyebab kekuatan beton pada penelitian ini berbeda dengan penelitian Pathak (2020) di antaranya seperti asal dan jenis material campuran beton termasuk *fly ash* dan *silica fume* berbeda yang dapat menyebabkan karakteristik dari material-material tersebut berbeda. Perlakuan pada saat proses persiapan material dan pencampuran campuran beton juga dapat mempengaruhi hasil kekuatan beton. Selain itu, metode desain campuran beton (*mix design*) yang digunakan juga berbeda sehingga menghasilkan proporsi campuran yang berbeda pula.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian kuat tekan beton, didapatkan nilai kuat tekan beton pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% mendapatkan hasil tertinggi dibandingkan dengan kuat tekan pada persentase 70%, 80%, 90% yaitu 7,933 MPa (7 hari) dan 17,690 MPa (28 hari). Kuat tekan pada beton variasi tersebut masih dibawah kuat tekan beton normal yaitu 22,216 MPa (7 hari) dan 30,735 MPa (28 hari) dengan penurunan sebesar 64,292% (7 hari) dan 42,444% (28 hari).
2. Pengujian kuat tarik belah beton pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% merupakan hasil yang tertinggi dibandingkan persentase 70%, 80%, 90%. Kuat tarik belah beton yang dihasilkan sebesar 0,771 MPa (7 hari) dan 1,875 MPa (28 hari). Kuat tarik belah beton pada variasi tersebut mengalami penurunan dari kuat tarik belah beton normal dengan kuat tarik belah sebesar 1,883 MPa (7 hari) dan 2,590 (28 hari). Penurunan yang terjadi sebesar 59,045% (7 hari) dan 27,596% (28 hari).
3. Hasil tertinggi pengujian kuat lentur beton didapatkan pada persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* sebesar 60% dibandingkan dengan kuat lentur beton pada persentase 70%, 80%, 90%. Kuat lentur beton yang dihasilkan pada umur 28 hari yaitu 3,158 MPa. Kuat lentur pada beton variasi tersebut masih dibawah kuat lentur beton normal yaitu 4,046 MPa dengan penurunan sebesar 21,954%.
4. Pada penelitian ini, dapat diketahui bahwa seiring dengan bertambahnya persentase penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan *silica fume* dari 60% hingga 90%, kekuatan beton yang dihasilkan semakin menurun. Hasil

tertinggi pada umur 7 hari dan 28 hari didapatkan pada persentase penggantian semen sebesar 60%. Namun kekuatan beton pada persentase tersebut masih dibawah kekuatan beton normal. Hasil terendah didapatkan pada persentase penggantian semen sebesar 90%.

6.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran guna mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian selanjutnya. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian beton dilakukan pada umur 56 hari hingga 90 hari.
2. Penambahan bahan tambah kimia diperlukan guna memperkuat pengikatan *fly ash* dan *silica fume* dengan material campuran beton yang lain.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan persentase penggantian sebagian semen berupa *fly ash* dan *silica fume* dibawah 60% dengan asal dan jenis material yang sama seperti penelitian ini untuk memperoleh variasi yang optimum.
4. Ketelitian diperlukan pada saat proses *mix design*, pencampuran dan pemadatan campuran beton agar menghasilkan kekuatan beton yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 1240/C 1240M - 05. (2005). *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.
- ASTM C618 Volume 04.02. (1996). *Concretes And Aggregates*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SK SNI S-04-F-1989 Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1974-1990 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1997). *SNI 03-4431-1997 Metode Pengujian Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Dady, yohanes trian, Sumajouw, D. M. D. J., & Windah, R. S. (2015). Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 341–350.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1982). *BAHAN BANGUNAN DI INDONESIA (PUB I - 1982)* (p. 324).
- Djono, L., & Karolina, R. (2017). Pengaruh Penambahan Admixture Jenis F dan Substitusi Silica Fume terhadap Semen pada Kuat Tekan Awal Self Compacting Concrete. *JURNAL TEKNIK SIPIL USU*, 6(1), 1–7.
- Fitriani, M. D., & Pungky, M. S. (2018). *PENGARUH PENGGUNAAN*

CHEMICAL ADMIXTURE SILICA FUME DAN SUPERPLASTICIZER TERHADAP PERKEMBANGAN KUAT TEKAN AWAL BETON PADA UMUR 24 JAM. 1(1), 43–53.

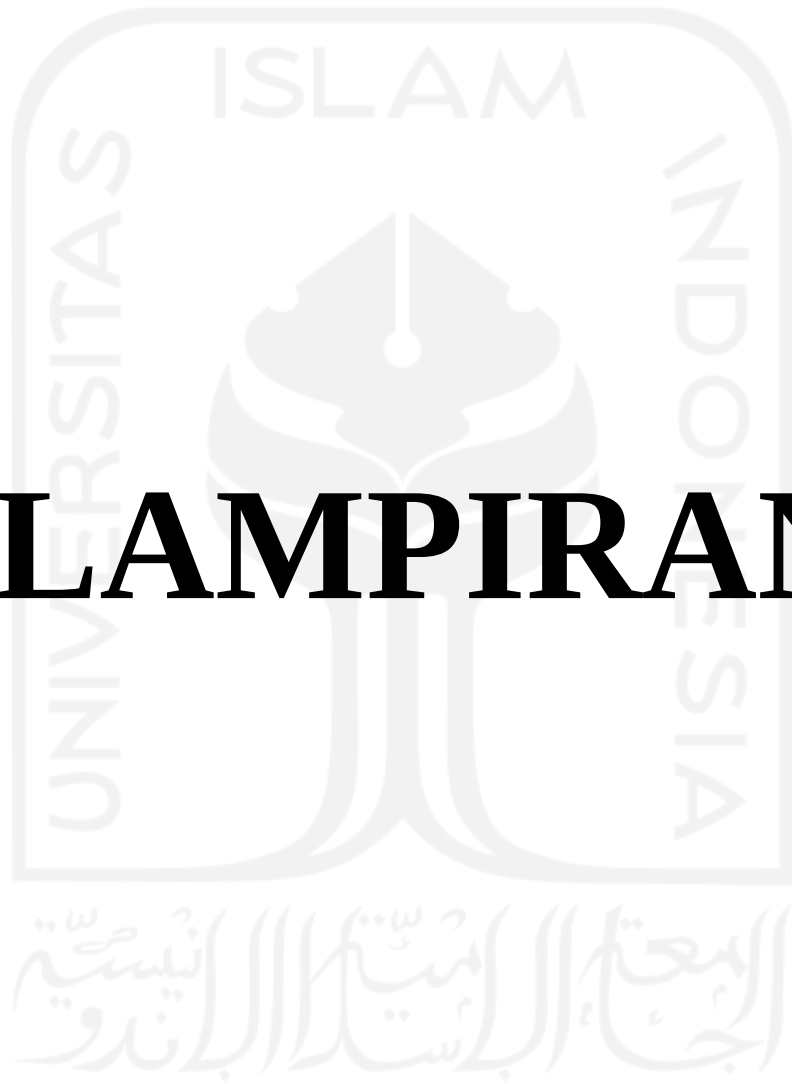
- Hapsari, S. P., Wibowo, & Safitri, E. (2017). Kajian Pengaruh Variasi Komposisi Silica Fume Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 5(4), 1449–1456.
- Haruna, H. (2021). Penggunaan Batu Apung Sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar Dengan Penambahan Silica Fume. In *Skripsi*. Universitas Bosowa Makassar.
- Indrayani, Delvianty, J., Selmina, M., Herius, A., & Noerdin, R. (2019). Fly Ash sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah Lingkungan. *Jurnal Online Internasional & Nasional*, 2(2), 56–62.
www.journal.uta45jakarta.ac.id
- Marthinus, A. P., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015a). Pengaruh penambahan abu terbang (fly ash) terhadap kuat tarik belah beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11), 729–736.
- Marthinus, A. P., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015b). PENGARUH PENAMBAHAN ABU TERBANG (FLY ASH) TERHADAP KUAT TARIK BELAH BETON. *Jurnal Sipil Statik*, 3(11), 729–736.
- Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Penerbit ITB.
- Pandaleke, R. E., & Windah, R. S. (2017). Perbandingan Uji Tarik Langsung Dan Uji Tarik Belah Beton. *Jurnal Sipil Statik*, 5(10), 649–662.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian kuat tarik lentur beton dengan variasi kuat tekan beton. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 313–321.
- Pangestuti, E. K., Handayani, S., Purnomo, M., Silitonga, D. C., & Fathoni, M. H. (2018). The Use of Fly Ash as Additive Material to High Strength Concrete. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan Perencanaan*, 20(2), 65–70.
<https://doi.org/10.15294/jtsp.v20i2.16274>
- Pathak, A. (2020). Effect of Silica Fume and Fly Ash as Partial Replacement of Cement on Strength of Concrete. *Quaid-e-Awam University Research*

- Journal of Engineering, Science & Technology*, 167–170.
<https://doi.org/10.52584/qrij.1802.21>
- Putra, D. M., & Widjaja, D. (2015). Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton Ringan dengan Crumb Rubber dan Pecahan Genteng. *Rekayasa Sipil*, 4(2), 76–88.
- Sari, P. T. K. (2017). Pemanfaatan Penggunaan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolymer [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. In *Skripsi*. <https://repository.its.ac.id/2952/7/3115040616-Undergraduate-Theses.pdf>
- Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 17, 1–8.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/3556>
- Suarnita, I. wayan. (2011). Kuat tekan beton dengan aditif fly ash ex. PLTU Mpanau Tavaeli. *Jurnal Smartek*, 9(1), 1–10.
- Sudibyo, A., Alwi, S., & Indirwana, A. P. (2021). *Pengaruh Penggunaan Silica Fume Dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*. 13(1), 1–5.
- Sujatmiko, B. (2019). *Teknologi Beton dan Bahan Bangunan*. MediaSahabat Cendekia.
- Sutriono, B., Trimurtiningrum, R., & Rizkiardi, A. (2018). Pengaruh Silica Fume sebagai Substitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar. *Reka Racana : Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 4(4), 12–21.
<https://doi.org/10.26760/rekaracana.v4i4.12>
- Tarru, R. O., Arnanto, B., Tarru, H. E., & Bandaso, R. S. (2017). Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Saint*, 3(1), 472–485.
<https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v3i1.271>
- Widyastana, A., Arifi, E., & Remayanti, C. (2018). *Pengaruh Penggunaan Silica Fume dan Fly Ash Sebagai Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Porous yang Menggunakan RCA (Recycle Coarse Aggregate)*. 1(2), 1–10.

Yuhana, T., & Mandasari, N. A. (2017). Analisa Pengaruh Admixture Terhadap Abu Terbang (Fly Ash) Dan Bottom Ash. *Jurnal Forum Mekanika*, 6(2), 114–123.



LAMPIRAN



Lampiran 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Pasir Kering Mutlak, gr	487	479	483
Berat Pasir Jenuh Kering Muka (SSD), gr	500	500	500
Berat Piknometer berisi Pasir dan Air, gr	1025	1015	1020
Berat Piknometer berisi Air, gr	723	714	718,5
Berat Jenis Curah	2,460	2,407	2,433
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,525	2,513	2,519
Berat Jenis Semu	2,632	2,691	2,662
Penyerapan Air, %	2,669	4,384	3,527

Lampiran 2 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 1 (SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	13	0,649	0,649	99,351
2,40	105	5,242	5,891	94,109
1,20	247	12,332	18,223	81,777
0,60	576	28,757	46,980	53,020
0,30	575	28,707	75,686	24,314
0,15	413	20,619	96,306	3,694
Sisa	74	3,694	100	0
Jumlah	2003	100	243,734	656,266

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{243,734}{100} = 2,437$$



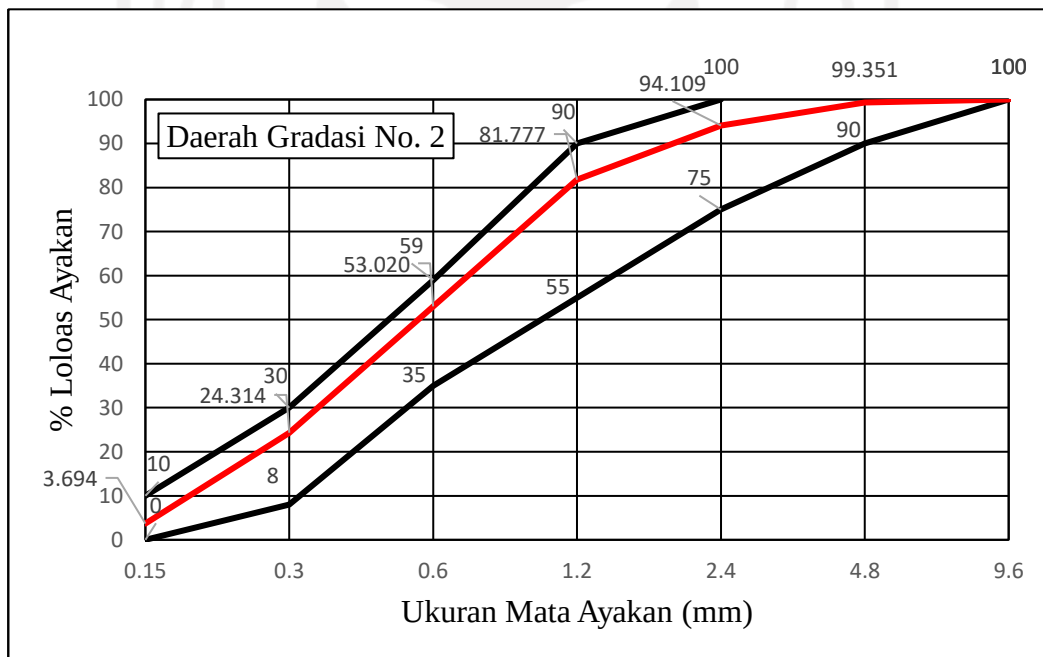
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir masuk daerah : II
- Jenis pasir : Agak Kasar

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 1 (SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Gambar L-2.1 Analisa Saringan Agregat Halus (Sampel 1)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

**MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS
SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	13	0,651	0,651	99,349
2,40	98	4,905	5,556	94,444
1,20	180	9,009	14,565	85,435
0,60	587	29,379	43,944	56,056
0,30	593	29,680	73,624	26,376
0,15	401	20,070	93,694	6,306
Sisa	126	6,306	100	0
Jumlah	1998	100	232,032	667,968

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{232,032}{100} = 2,320$$



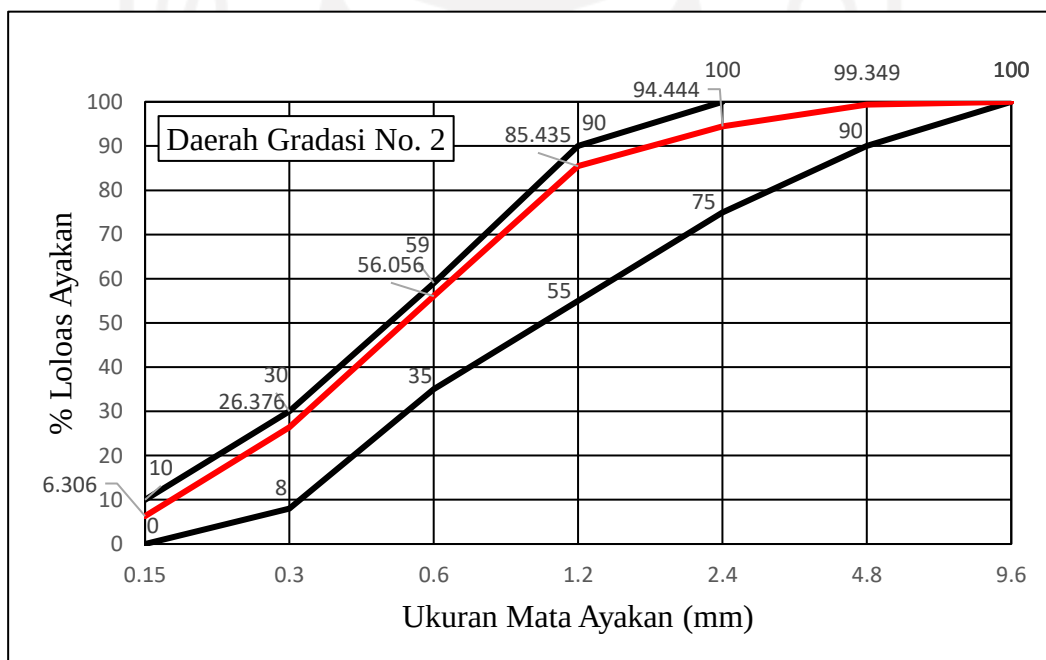
LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Hasil Analisa Saringan:

- Pasir masuk daerah : II
- Jenis pasir : Agak Kasar

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS SAMPEL 2 (SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Gambar L-2.2 Analisa Saringan Agregat Halus (Sampel 2)

Lampiran 3 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Halus



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	14914	14767	14840,5
Berat Agregat SSD, gr	7507	7360	7433,5
Volume Tabung, cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Gembur, gr/cm ³	1,416	1,388	1,402



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	16398	16392	16395
Berat Agregat SSD, gr	8991	8985	8988
Volume Tabung, cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Padat, gr/cm ³	1,696	1,695	1,695

Lampiran 4 Hasil Pengujian Kandungan Lumpur Agregat Halus



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gr	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah Dicuci, gr	496	497	496,5
Berat Kandungan Lumpur, %	0,8%	0,6%	0,7%

Lampiran 5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR (SNI 03-1969-1990)

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil Kering Mutlak, gr	4929	4938	4933,5
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka (SSD), gr	5000	5000	5000
Berat Kerikil dalam Air, gr	3053,5	3041	3047,3
Berat Jenis Curah	2,532	2,521	2,526
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	2,569	2,552	2,561
Berat Jenis Semu	2,628	2,603	2,616
Penyerapan Air, %	1,440	1,256	1,348

Lampiran 6 Hasil Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM SAMPEL 1 (SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
40,00	0	0	0	100
20,00	13	0,260	0,260	99,740
10,00	3693	73,757	74,016	25,984
4,80	1021	20,391	94,408	5,592
2,40	81	1,618	96,026	3,974
1,20	0	0	96,026	3,974
0,60	0	0	96,026	3,974
0,30	0	0	96,026	3,974
0,15	0	0	96,026	3,974
Sisa	199	3,974	100	0
Jumlah	5007	100	648,812	251,188

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{648,812}{100} = 6,488$$



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

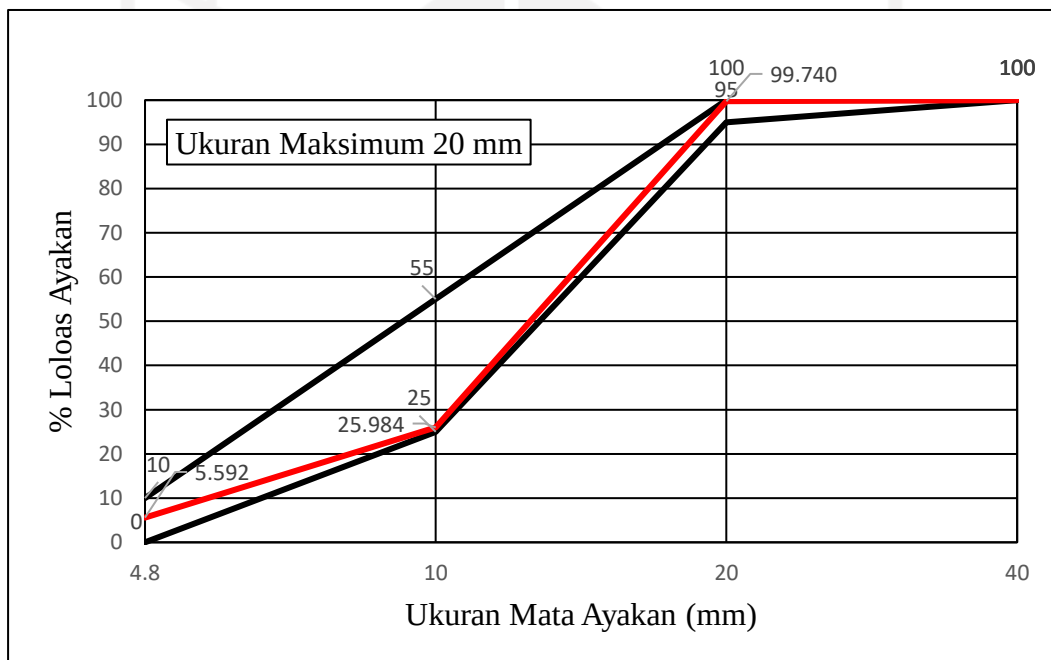
MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

UKURAN 20 MM

SAMPEL 1

(SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



Gambar L-6.1 Analisa Saringan Agregat Kasar (Sampel 1)



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20 MM
SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	43	0,859	0,859	99,141
10,00	3694	73,806	74,665	25,335
4,80	924	18,462	93,127	6,873
2,40	161	3,217	96,344	3,656
1,20	0	0	96,344	3,656
0,60	0	0	96,344	3,656
0,30	0	0	96,344	3,656
0,15	0	0	96,344	3,656
Sisa	183	3,656	100	0
Jumlah	5005	100	650,370	249,630

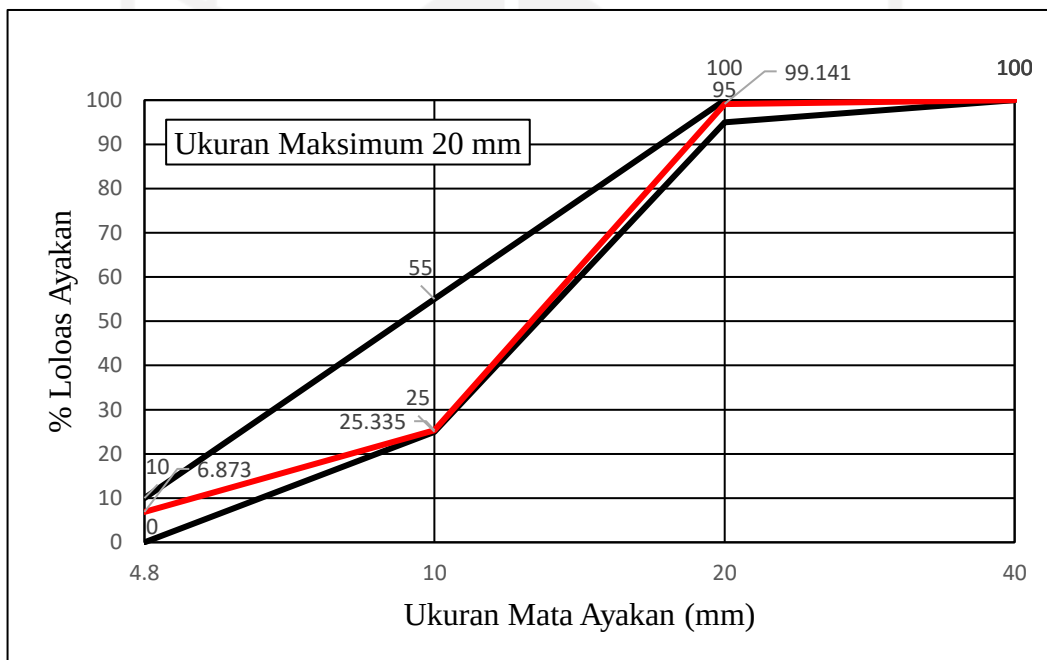
$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{650,370}{100} = 6,504$$



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR
UKURAN 20 MM
SAMPEL 2
(SNI 03-1968-1990)

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



Gambar L-6.2 Analisa Saringan Agregat Kasar (Sampel 2)

Lampiran 7 Hasil Pengujian Berat Volume Agregat Kasar



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	14527	14645	14586
Berat Agregat SSD, gr	7120	7238	7179
Volume Tabung, cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Gembur, gr/cm ³	1,343	1,365	1,354



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

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

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung, gr	7407	7407	7407
Berat Tabung + Agregat SSD, gr	15246	15062	15154
Berat Agregat SSD, gr	7839	7655	7747
Volume Tabung, cm ³	5301,438	5301,438	5301,438
Berat Volume Padat, gr/cm ³	1,479	1,444	1,461

Lampiran 8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7 Hari



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
NIM : 18511195
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN SILINDER BETON UMUR 7 HARI (SNI 03-1974-1990)

Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (kg)	Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BN	1	151,4	300,5	12,970	18002,865	325000	18,053	22,216
	2	151	299	13,117	17907,864	475000	26,525	
	3	150	302,2	13,284	17671,459	390000	22,069	
FS60	1	152,1	300,8	13,056	18169,723	127000	6,990	7,933
	2	152,7	303,8	13,101	18313,357	168000	9,174	
	3	152,8	302,9	12,987	18337,351	140000	7,635	
FS70	1	153,5	303,9	12,993	18505,748	109000	5,890	5,481
	2	150,6	300	13,121	17813,113	97000	5,445	
	3	150,6	302	13,004	17813,113	91000	5,109	
FS80	1	151,8	300,5	12,990	18098,118	49000	2,707	2,808
	2	150,1	303,8	13,091	17695,028	52000	2,939	
	3	149,9	300,5	12,988	17647,905	49000	2,777	
FS90	1	149,9	300,2	13,057	17647,561	11520	0,653	0,660
	2	150,1	303,8	12,876	17695,028	10890	0,615	
	3	150,5	300,5	12,938	17789,465	12650	0,711	

Yogyakarta, 27 Juni 2022

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium BKT,

(Darussalam, A.Md.)



Lampiran 9 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
NIM : 18511195
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN SILINDER BETON UMUR 28 HARI (SNI 03-1974-1990)

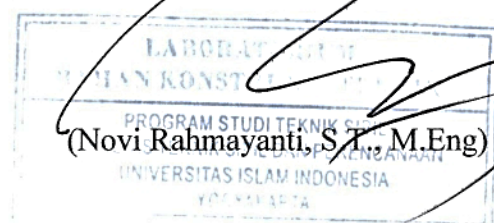
Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (kg)	Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
BN	1	149,9	302,6	13,133	17647,905	510000	28,899	30,735
	2	149,5	303,5	13,200	17553,845	555000	31,617	
	3	150	301	13,108	17671,459	560000	31,690	
FS60	1	150,5	302,2	13,117	17789,465	330000	18,550	17,690
	2	150	299,7	13,041	17671,459	287000	16,241	
	3	149,3	29,82	12,734	17506,910	320000	18,278	
FS70	1	152,1	302,4	13,359	18169,723	186000	10,237	11,848
	2	151	303,1	13,134	17907,864	226000	12,620	
	3	150,6	300,8	13,173	17813,113	226000	12,687	
FS80	1	151,5	299,9	13,118	18026,655	90000	4,993	4,709
	2	150,6	300	13,202	17813,113	85000	4,772	
	3	149,9	303,4	13,083	17647,905	77000	4,363	
FS90	1	150,6	300	13,012	17813,113	13480	0,757	0,788
	2	151,3	303	13,107	17979,091	13680	0,761	
	3	151,8	302,7	13,289	18098,118	15300	0,845	

Yogyakarta, 24 Juni 2022

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium BKT,

(Darussalam, A.Md.)



(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng)

Lampiran 10 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 7 Hari



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpun (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
NIM : 18511195
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TARIK SILINDER BETON UMUR 7 HARI (SNI 03-2491-2002)

Kode Benda Uji		Diamater (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
BN	1	149,5	299,3	13,076	152000	2,163	1,883
	2	150,6	300,7	13,047	120000	1,687	
	3	149,4	300,5	13000	127000	1,801	
FS60	1	151,9	303,1	13,037	54000	0,747	0,771
	2	152,6	303,1	13,009	61000	0,840	
	3	149,9	303,4	13,189	52000	0,728	
FS70	1	149,3	298,2	13,011	33000	0,472	0,505
	2	151	304	13,124	36000	0,499	
	3	151,3	301,7	12,995	39000	0,544	
FS80	1	151,1	305,1	13,082	18000	0,249	0,291
	2	151,9	303,5	13,112	16000	0,221	
	3	150	304,6	13,137	29000	0,404	
FS90	1	151,1	302	13,085	5830	0,081	0,081
	2	149,4	298,2	13,022	5390	0,077	
	3	152,4	300,2	13,104	6080	0,085	

Yogyakarta, 24 Juni 2022

Kepala Laboratorium BKT,

Diperiksa oleh,

(Darussalam, A.Md.)

(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng)



Lampiran 11 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
NIM : 18511195
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TARIK SILINDER BETON UMUR 28 HARI (SNI 03-2491-2002)

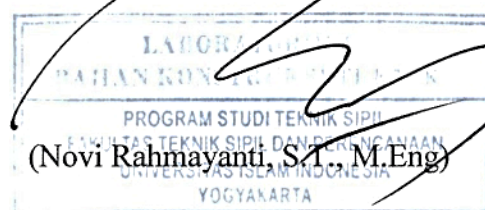
Kode Benda Uji		Diamater (mm)	Tinggi (mm)	Berat Beton (kg)	Beban (N)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-rata (MPa)
BN	1	150	303,3	13,371	182000	2,547	2,590
	2	150,8	297	12,835	179000	2,544	
	3	149,7	300	12,970	189000	2,679	
FS60	1	152,1	302,2	12,995	143000	1,981	1,875
	2	152,4	306	13,366	130000	1,775	
	3	151,4	301,2	12,945	134000	1,871	
FS70	1	151,3	303,8	13,201	87000	1,205	1,086
	2	152	301,5	12,931	73000	1,014	
	3	151,3	304	13,191	75000	1,038	
FS80	1	150,5	301	13000	31000	0,436	0,426
	2	151,6	305,8	12,941	28000	0,385	
	3	151,4	303,3	12,985	33000	0,458	
FS90	1	151,5	303,1	12,996	8070	0,112	0,107
	2	150	299,7	13,167	7650	0,108	
	3	149,3	298,5	12,914	6960	0,099	

Diperiksa oleh,

(Darussalam, A.Md.)

Yogyakarta, 24 Juni 2022

Kepala Laboratorium BKT,



(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng)

Lampiran 12 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton pada Umur 28 Hari



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
NIM : 18511195
Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON UMUR 28 HARI (SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji: BN

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		1	2	3
1	Lebar Benda Uji, mm	149	149,5	149,65
2	Tinggi Benda Uji, mm	149,75	149,5	149,75
3	Panjang Benda Uji, mm	599	599	598
4	Berat Benda Uji, kg	33,1	33,7	33,15
5	Berat Volume, kg/m ³	2476,556	2517,217	2473,653
6	Panjang Bentang, mm	450	450	450
7	Jarak Tumpuan P1 ke Tumpuan 1, mm	150	150	150
8	Jarak Tumpuan P2 ke Tumpuan 2, mm	150	150	150
9	Beban Maksimum, kgf	3220	3340	3020
10	Beban Maksimum, N	31577,4	32754,2	29616,1
11	Lebar Tampang Patah, mm	151	155	150
12	Tinggi Tampang Patah, mm	151,5	152,5	150
13	Kuat Lentur, MPa	4,100	4,089	3,949
14	Rata-rata Kuat Lentur, MPa	4,046		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
 NIM : 18511195
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
 Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji: FS60

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		1	2	3
1	Lebar Benda Uji, mm	147,5	147	147
2	Tinggi Benda Uji, mm	150	146,5	147
3	Panjang Benda Uji, mm	600	597	596
4	Berat Benda Uji, kg	33,75	32,2	32,355
5	Berat Volume, kg/m ³	2542,373	2504,302	2512,236
6	Panjang Bentang, mm	450	450	450
7	Jarak Tumpuan P1 ke Tumpuan 1, mm	150	150	150
8	Jarak Tumpuan P2 ke Tumpuan 2, mm	150	150	150
9	Beban Maksimum, kgf	2600	2340	2580
10	Beban Maksimum, N	25497,3	22947,6	25301,2
11	Lebar Tampang Patah, mm	157	153	154
12	Tinggi Tampang Patah, mm	152	150,5	149
13	Kuat Lentur, MPa	3,163	2,980	3,330
14	Rata-rata Kuat Lentur, MPa	3,158		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
 NIM : 18511195
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
 Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji: FS70

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		1	2	3
1	Lebar Benda Uji, mm	146	148	147,5
2	Tinggi Benda Uji, mm	150	148	146
3	Panjang Benda Uji, mm	597	597	595
4	Berat Benda Uji, kg	33,2	32,8	32,4
5	Berat Volume, kg/m ³	2539,333	2508,280	2528,618
6	Panjang Bentang, mm	450	450	450
7	Jarak Tumpuan P1 ke Tumpuan 1, mm	150	150	150
8	Jarak Tumpuan P2 ke Tumpuan 2, mm	150	150	150
9	Beban Maksimum, kgf	1585	1795	1590
10	Beban Maksimum, N	15543,5	17602,9	15592,6
11	Lebar Tampang Patah, mm	160	160	153
12	Tinggi Tampang Patah, mm	150	152,5	150
13	Kuat Lentur, MPa	1,943	2,129	2,038
14	Rata-rata Kuat Lentur, MPa	2,037		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpn (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
 NIM : 18511195
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
 Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji: FS80

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		1	2	3
1	Lebar Benda Uji, mm	150	149	149,5
2	Tinggi Benda Uji, mm	150	148,5	147,5
3	Panjang Benda Uji, mm	596	596	596,5
4	Berat Benda Uji, kg	32,65	32,7	32,65
5	Berat Volume, kg/m ³	2434,750	2479,641	2482,216
6	Panjang Bentang, mm	450	450	450
7	Jarak Tumpuan P1 ke Tumpuan 1, mm	150	150	150
8	Jarak Tumpuan P2 ke Tumpuan 2, mm	150	150	150
9	Beban Maksimum, kgf	855	905	720
10	Beban Maksimum, N	8384,7	8875	7060,8
11	Lebar Tampang Patah, mm	152	156	150
12	Tinggi Tampang Patah, mm	151	150	150,5
13	Kuat Lentur, MPa	1,089	1,138	0,935
14	Rata-rata Kuat Lentur, MPa	1,054		



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telpun (0274) 898444 eks 3200 Yogyakarta

Nama : Mukhamad Riski Maulana
 NIM : 18511195
 Asal Instansi : Universitas Islam Indonesia
 Keperluan : Tugas Akhir S1

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI LENTUR BALOK BETON
UMUR 28 HARI
(SNI 03-4431-1997)

Kode Benda Uji: FS90

No.	Uraian	Hasil Pengujian		
		1	2	3
1	Lebar Benda Uji, mm	147,5	149	148
2	Tinggi Benda Uji, mm	150	149,5	150
3	Panjang Benda Uji, mm	599,5	599	597
4	Berat Benda Uji, kg	32,7	32,9	32,55
5	Berat Volume, kg/m ³	2465,331	2465,708	2455,974
6	Panjang Bentang, mm	450	450	450
7	Jarak Tumpuan P1 ke Tumpuan 1, mm	150	150	150
8	Jarak Tumpuan P2 ke Tumpuan 2, mm	150	150	150
9	Beban Maksimum, kgf	212,5	255	227,5
10	Beban Maksimum, N	2083,9	2500,7	2231
11	Lebar Tampang Patah, mm	147,5	150	149
12	Tinggi Tampang Patah, mm	152	150	151
13	Kuat Lentur, MPa	0,275	0,333	0,296
14	Rata-rata Kuat Lentur, MPa	0,301		

Diperiksa oleh,

(Darussalam, A.Md.)

Yogyakarta, 24 Juni 2022

Kepala Laboratorium BKT,



(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng)

Lampiran 13 Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**Gambar L-13.1 Pengujian Kuat Tekan Beton Normal (BN) Umur 7 Hari****Gambar L-13.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Normal (BN) Umur 28 Hari****Gambar L-13.3 Pengujian Kuat Tekan Beton FS60 Umur 7 Hari****Gambar L-13.4 Pengujian Kuat Tekan Beton FS60 Umur 28 Hari**



Gambar L-13.5 Pengujian Kuat Tekan Beton FS70 Umur 7 Hari



Gambar L.13.6 Pengujian Kuat Tekan Beton FS70 Umur 28 Hari



Gambar L-13.7 Pengujian Kuat Tekan Beton FS80 Umur 7 Hari



Gambar L.13.8 Pengujian Kuat Tekan Beton FS80 Umur 28 Hari



Gambar L-13.9 Pengujian Kuat Tekan Beton FS90 Umur 7 Hari



Gambar L.13.10 Pengujian Kuat Tekan Beton FS90 Umur 28 Hari

Lampiran 14 Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton**Gambar L-14.1 Pengujian Kuat Tarik Beton Normal (BN) Umur 7 Hari****Gambar L-14.2 Pengujian Kuat Tarik Beton Normal (BN) Umur 28 Hari****Gambar L-14.3 Pengujian Kuat Tarik Beton FS60 Umur 7 Hari****Gambar L.14.4 Pengujian Kuat Tarik Beton FS60 Umur 28 Hari**



Gambar L-14.5 Pengujian Kuat Tarik Beton FS70 Umur 7 Hari



Gambar L.14.6 Pengujian Kuat Tarik Beton FS70 Umur 28 Hari



Gambar L-14.7 Pengujian Kuat Tarik Beton FS80 Umur 7 Hari



Gambar L.14.8 Pengujian Kuat Tarik Beton FS80 Umur 28 Hari



Gambar L-14.9 Pengujian Kuat Tarik Beton FS90 Umur 7 Hari



Gambar L.14.10 Pengujian Kuat Tarik Beton FS90 Umur 28 Hari

Lampiran 15 Dokumentasi Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton**Gambar L-15.1 Pengujian Kuat Lentur Beton Normal (BN) Umur 28 Hari****Gambar L.15.2 Pengujian Kuat Lentur Beton FS60 Umur 28 Hari****Gambar L.15.3 Pengujian Kuat Lentur Beton FS70 Umur 28 Hari****Gambar L.15.4 Pengujian Kuat Lentur Beton FS80 Umur 28 Hari**



Gambar L.15.5 Pengujian Kuat Lentur Beton FS90 Umur 28 Hari



Lampiran 16 Dokumentasi Proses Penelitian Tugas Akhir



Gambar L.11.1 Proses Persiapan Cetakan dan Material Campuran Beton



Gambar L.11.2 Proses Pencampuran (*Mixing*) Campuran Beton



Gambar L.11.3 Proses Pengujian Slump Campuran Beton



Gambar L.11.4 Beton Basah pada Cetakan Beton



Gambar L.11.5 Proses Perawatan (*Curing*) Benda Uji



Gambar L.11.6 Proses Penimbangan Benda Uji



Gambar L.11.7 Proses *Capping* Benda Uji



Gambar L.11.8 Proses Pengujian Kuat Tekan Benda Uji



Gambar L.11.9 Proses Pengujian Kuat Tarik Benda Uji



Gambar L.11.10 Proses Pengujian Kuat Lentur Benda Uji