

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *BESTMITTEL* TERHADAP KUAT TEKAN BETON *FLY ASH* (*THE EFFECT OF BESTMITTEL ADDITION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH CONCRETE*)

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



**Mohammad Fachry Ferdiansyah
17511004**

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

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *BESTMITTEL* TERHADAP KUAT TEKAN BETON *FLY ASH* (*THE EFFECT OF BESTMITTEL ADDITION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF FLY ASH CONCRETE*)

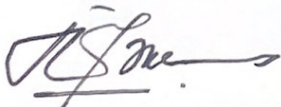
Disusun oleh

Mohammad Fachry Ferdiansyah
17511004

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

Diuji pada tanggal 13 September 2022
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



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

Penguji I



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

Penguji II



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

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil


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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya 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, 13 September 2022
Yang membuat pernyataan,



Mohammad Fachry Ferdiansyah
(17511004)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan berkat sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Salawat dan salam selalu terlimpah kepada *Sayyidina* Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarga, yang telah menjadi suri teladan dan membimbing umat menuju jalan kebenaran.

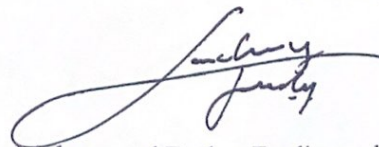
Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Laporan ini tidak akan selesai bila tanpa bimbingan dan tuntunan pihak-pihak yang selama ini selalu membantu dalam penulisan Tugas Akhir. Oleh sebab itu, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M. T., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan panduan, arahan, dan nasihat sehingga Penulis dapat menyusun Tugas Akhir dengan baik.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng, selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan koreksi sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik.
5. Ibu Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan arahan dan saran dalam menjalani kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh dosen, laboran, asisten, dan karyawan Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan membangun lingkungan belajar yang kondusif.

7. Bapak Erwan Herie Kusnadi dan Ibu Anisah Rahmawati, yang selalu memberikan doa dan dukungan, serta selalu sabar dalam mendidik dan menemani perjalanan hidup Penulis semenjak kecil.
8. Adik, Addiva Addalila Hasna, yang selalu memberikan doa dan dukungan supaya tugas akhir dapat segera selesai.
9. Fatihah Jihar Aulia, yang selalu memberikan semangat dan dukungan supaya tugas akhir dapat segera selesai.
10. Ikhlasul Amal, Dikky Pamungkas, Anjas Tri Laksono, Achmad Nurcholis, Alfandy Dwi Yulistyawan, Bachtiar Effendi, dan Miqdad Khosyi Akbar yang telah membantu melaksanakan penelitian di laboratorium.
11. Keluarga Teknik Sipil 2017 yang telah menjadi saudara seperjuangan dalam masa perkuliahan, saling memberikan motivasi untuk lebih maju.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu yang berkelanjutan.

Yogyakarta, 13 September 2022
Penulis,



Mohammad Fachry Ferdiansyah
17511004

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
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	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Penelitian yang Dilakukan	6
2.3 Keaslian Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Beton	11
3.2 Bahan Dasar Penyusun Beton	12
3.2.1 Semen Portland	13
3.2.2 Agregat	16
3.2.3 Air	18
3.3 Bahan Tambah	19

3.3.1	<i>Bestmittel</i>	20
3.3.2	Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>)	21
3.4	Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	24
3.4.1	<i>Fly Ash</i>	25
3.4.2	Agregat Kasar	25
3.4.3	Agregat Halus	27
3.5	Perencanaan Campuran Beton	30
3.6	Pengujian Beton	37
3.6.1	Benda Uji	37
3.6.2	Slump	38
3.6.3	Kuat Tekan	39
3.6.4	Modulus Elastisitas	40
3.7	Hubungan Umur dengan Kuat Tekan Beton	41
BAB IV METODE PENELITIAN		43
4.1	Tinjauan Umum	43
4.2	Persiapan Penelitian	45
4.2.1	Izin Pemakaian Laboratorium	46
4.2.2	Peralatan Penelitian	46
4.2.3	Bahan Penelitian	47
4.3	Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	50
4.3.1	<i>Fly Ash</i>	50
4.3.2	Agregat Kasar	51
4.3.3	Agregat Halus	57
4.4	Perencanaan Campuran Beton	62
4.5	Benda Uji	71
4.5.1	Pembuatan Benda Uji	71
4.5.2	Kodifikasi Benda Uji	72
4.6	Pengujian Beton	74
4.6.1	<i>Slump</i>	74
4.6.2	Kuat Tekan	76
4.6.3	Modulus Elastisitas	78
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		84

5.1	Tinjauan Umum	84
5.2	Bahan Penyusun Beton	84
5.2.1	<i>Fly Ash</i>	84
5.2.2	Agregat	85
5.3	<i>Slump</i>	94
5.4	Kuat Tekan	95
5.5	Modulus Elastisitas	103
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		108
6.1	Kesimpulan	108
6.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian	7
Tabel 3.1	Kandungan Oksida Semen <i>Portland</i>	13
Tabel 3.2	Senyawa Utama Semen <i>Portland</i> dan Sifatnya	14
Tabel 3.3	Syarat Kimia Utama Semen	15
Tabel 3.4	Syarat Fisika Utama Semen	15
Tabel 3.5	Batas Gradasi Agregat Kasar	17
Tabel 3.6	Batas Gradasi Agregat Halus	17
Tabel 3.7	Persyaratan Kimia Pozzolan	22
Tabel 3.8	Dosis <i>Fly Ash</i> pada Beton	23
Tabel 3.9	Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Data Uji <30	31
Tabel 3.10	Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan $Fas = 0,5$	32
Tabel 3.11	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum	33
Tabel 3.12	Perkiraan Kebutuhan Air per m^3 Beton	34
Tabel 3.13	Kuat Tekan Beton dengan <i>Bestmittel</i>	42
Tabel 4.1	Alat Pembuatan Benda Uji	46
Tabel 4.2	Alat Pengujian	47
Tabel 4.3	Kandungan Senyawa <i>Fly Ash</i>	50
Tabel 4.4	Data Berat Agregat Kasar	52
Tabel 4.5	Data Berat Isi Gembur Agregat Kasar	56
Tabel 4.6	Data Berat Isi Padat Agregat Kasar	56
Tabel 4.7	Data Berat Agregat Halus	58
Tabel 4.8	Data Berat Isi Gembur Agregat Halus	61
Tabel 4.9	Data Berat Isi Padat Agregat Halus	61
Tabel 4.10	Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton	69
Tabel 4.11	Berat Bahan Penyusun Beton <i>Mixing I</i>	71
Tabel 4.12	Berat Bahan Penyusun Beton <i>Mixing II</i>	71
Tabel 4.13	Benda Uji untuk Pengujian Kuat Tekan	73
Tabel 4.14	Nilai <i>Slump</i>	75

Tabel 4.15	Data Pengujian Modulus Elastisitas BN ₃ -1	79
Tabel 5.1	Perbandingan Komposisi <i>Fly Ash</i> dengan Persyaratan	84
Tabel 5.2	Berat Jenis dan Serapan Agregat Kasar	85
Tabel 5.3	Persentase Lolos Kumulatif Agregat Kasar Sampel I	86
Tabel 5.4	Persentase Lolos Kumulatif Agregat Kasar Sampel II	86
Tabel 5.5	Berat Isi Gembur Agregat Kasar	88
Tabel 5.6	Berat Isi Padat Agregat Kasar	88
Tabel 5.7	Berat Jenis dan Serapan Agregat Halus	89
Tabel 5.8	Persentase Lolos Kumulatif Agregat Halus Sampel I	90
Tabel 5.9	Persentase Lolos Kumulatif Agregat Halus Sampel II	90
Tabel 5.10	Berat Isi Gembur Agregat Kasar	92
Tabel 5.11	Berat Isi Padat Agregat Kasar	92
Tabel 5.12	Kadar Lumpur Agregat Halus	93
Tabel 5.13	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat	93
Tabel 5.14	Nilai Rata-Rata <i>Slump</i>	94
Tabel 5.15	Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari	96
Tabel 5.16	Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari	97
Tabel 5.17	Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	97
Tabel 5.18	Percepatan Hidrasi Beton Akibat <i>Bestmittel</i>	101
Tabel 5.19	Persentase Kenaikan Kuat Tekan Akibat <i>Bestmittel</i>	101
Tabel 5.20	Angka Konversi Umur Beton PBI 1971	103
Tabel 5.21	Kuat Tekan Konversi	103
Tabel 5.22	Modulus Elastisitas Beton Umur 3 Hari	104
Tabel 5.23	Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari	104
Tabel 5.24	Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perkembangan Kuat Tekan Beton <i>Fly Ash</i>	2
Gambar 3.1	Kadar <i>Fly Ash</i> dalam Beton Penelitian Terdahulu	24
Gambar 3.2	Hubungan antara Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen Benda Uji Silinder	32
Gambar 3.3	Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	35
Gambar 3.4	Perkiraan Berat Volume Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	36
Gambar 3.5	Sketsa Benda Uji Silinder	38
Gambar 3.6	Kerucut <i>Abrams</i>	38
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	43
Gambar 4.2	Agregat Halus yang Digunakan	48
Gambar 4.3	Agregat Kasar yang Digunakan	48
Gambar 4.4	<i>Bestmittel</i> Kemasan 1 Kg	49
Gambar 4.5	Semen dan <i>Fly Ash</i>	50
Gambar 4.6	Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan	64
Gambar 4.7	Persentase Agregat Halus	65
Gambar 4.8	Perkiraan Berat Volume Beton	66
Gambar 4.9	Benda Uji Silinder	74
Gambar 4.10	Pengukuran <i>Slump</i>	75
Gambar 4.11	Nilai <i>Slump</i>	76
Gambar 4.12	Silinder Beton yang Telah Dikaping	77
Gambar 4.13	<i>Compressive Testing Machine</i>	78
Gambar 4.14	Tegangan Regangan BN ₃ -1	80
Gambar 5.1	Gradasi Agregat Kasar Sampel I	87
Gambar 5.2	Gradasi Agregat Kasar Sampel II	87
Gambar 5.3	Gradasi Agregat Halus Sampel I	91
Gambar 5.4	Gradasi Agregat Halus Sampel II	91

Gambar 5.5	Persentase Perubahan Nilai <i>Slump</i>	94
Gambar 5.6	Partikel <i>Fly Ash</i>	95
Gambar 5.7	Kuat Tekan Beton	99
Gambar 5.8	Modulus Elastisitas ASTM C-469	105
Gambar 5.9	Modulus Elastisitas SNI 2847:2013	106
Gambar 5.10	Berat Volume Beton	107



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i> (XRF)	113
Lampiran 2	Data Hasil Pengujian Agregat Kasar	115
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Agregat Halus	119
Lampiran 4	Data Hasil Perencanaan dan Pengadukan Beton	124
Lampiran 5	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder	125
Lampiran 6	Laporan Sementara Pengujian Modulus Elastisitas	131
Lampiran 7	Grafik Modulus Elastisitas	146
Lampiran 8	Gambar Proses Pembuatan Benda Uji	161

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
PBI	= Peraturan Beton Bertulang Indonesia
SNI	= Standar Nasional Indonesia
BN	= Benda uji berupa beton normal (beton kontrol)
BFB	= Benda uji berupa beton <i>fly ash</i> dengan bahan tambah <i>Bestmittel</i>
f_c	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f_{cr}	= Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan (MPa)
M	= Nilai tambah (MPa)
Sd	= Deviasi standar rencana
fas	= Faktor Air Semen
w/cm	= <i>Water-Cementitious Material ratio</i>
Wh	= Perkiraan kebutuhan air agregat halus
Wk	= Perkiraan kebutuhan air agregat kasar
BJ	= Berat jenis relatif agregat gabungan
BJ _{AH}	= Berat jenis agregat halus
BJ _{AK}	= Berat jenis agregat kasar
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
KAG	= Kadar Agregat Gabungan
KAH	= Kadar Agregat Halus
KAK	= Kadar Agregat Kasar
P	= Gaya tekan aksial (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm ²)
σ	= Tegangan (N/mm ²)
ϵ	= Regangan
E _c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
S ₂	= Kuat tekan saat 40% dari beban maksimum (MPa)
S ₁	= Kuat tekan saat regangan longitudinal mencapai 0,00005 (MPa)
ϵ_2	= Regangan longitudinal yang dihasilkan saat S ₂

ε_1	= Regangan sebesar 0,00005
Lo	= Tinggi efektif pengukuran (mm)
wc	= Berat volume beton (kg/m^3)
XRF	= <i>X-Ray Fluorescence</i>
C-S-H	= <i>Calcium silicate hydrate</i>



ABSTRAK

Pesatnya pembangunan di seluruh dunia menyebabkan permintaan terhadap semen portland selalu meningkat setiap tahun. Pada tahun 2018, telah diketahui bahwa proses produksi semen portland menyumbang 8% karbon dioksida dunia sehingga diperlukan usaha untuk mengurangi angka tersebut, salah satunya dengan mengganti sebagian semen dalam campuran beton dengan abu terbang (*fly ash*). *Fly ash* merupakan limbah pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap berupa material pozzolan yang memiliki komposisi mirip dengan semen. Berdasarkan penelitian terdahulu, penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan *workability* beton. Meskipun demikian, penggunaan *fly ash* dalam beton akan memberikan efek samping berupa perkembangan kekuatan tekan beton yang lebih lambat dari beton normal. Untuk itu, diperlukan penambahan bahan tambah *accelerator* untuk memacu proses hidrasi. Dalam penelitian ini, *accelerator* yang digunakan bermerk *Bestmittel*.

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 25 MPa. Penggunaan semen disubstitusi oleh *fly ash* sebesar 30% dan diberi penambahan *Bestmittel* dengan empat variasi dosis yaitu sebesar 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari berat semen. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang dilakukan pada umur perawatan 3, 7, dan 28 hari. Seluruh benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan berjumlah total 75 sampel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton *fly ash* dengan *Bestmittel* 0,6% dapat mempercepat proses hidrasi beton *fly ash* yang lambat, sehingga mutu beton 25 MPa tercapai pada 28 hari. Penambahan *Bestmittel* 0,6% pada beton *fly ash* menghasilkan kuat tekan 43,91% lebih besar daripada kuat tekan beton *fly ash* tanpa penambahan *Bestmittel*. Beton *fly ash* dengan variasi penambahan *Bestmittel* 0%, 0,2%, dan 0,4% pada beton *fly ash* tidak mencapai mutu rencana 25 MPa pada 28 hari.

Kata kunci : *Fly ash*, *Bestmittel*, Kuat tekan beton, Modulus elastisitas, *Accelerator*

ABSTRACT

The rapid development around the world causes the demand for portland cement to increase every year. In 2018, it is known that the Portland cement production process produces 8% of the world's carbon, so it is necessary to reduce the number, one of the ways is by replacing the cement in the concrete mixture with fly ash. Fly ash is waste from coal combustion in steam power plant in the form of pozzolanic material which has a similar composition with cement. Based on previous research, the use of fly ash can increase workability of concrete. However, the use of fly ash in concrete will have a side effect in the form of slower development of concrete strength than normal concrete. Therefore, it is necessary to add accelerator material to accelerate the hydration process. In this research, the accelerator used was the Bestmittel brand.

In this research, the concrete mix design used the SNI 03-2834-2000 method with a design quality of 25 MPa. The use of cement was substituted by fly ash by 30% and was given the addition of Bestmittel with four dosage variations; 0%, 0.2%, 0.4%, and 0.6% of the cement weight. The tests conducted were the compressive strength and modulus of elasticity of the concrete at 3, 7, and 28 days of treatment. All test specimens were cylindrical in diameter of 15 cm and 30 cm high and opened a total of 75 samples.

The results showed that fly ash concrete with Bestmittel 0.6% could accelerate the hydration process of slow fly ash concrete so the quality of 25 MPa concrete was achieved in 28 days. The addition of Bestmittel 0.6% to fly ash concrete resulted in 43.91% greater compression concrete than fly ash concrete without the addition of Bestmittel. Fly ash concrete with variations of the addition of Bestmittel of 0%, 0.2%, and 0.4% on fly ash concrete did not reach the design quality of 25 MPa at 28 days.

Keywords: Fly ash, Bestmittel, Compressive strength of concrete, Modulus of elasticity, Accelerator

BAB I

PENDAHULUAN

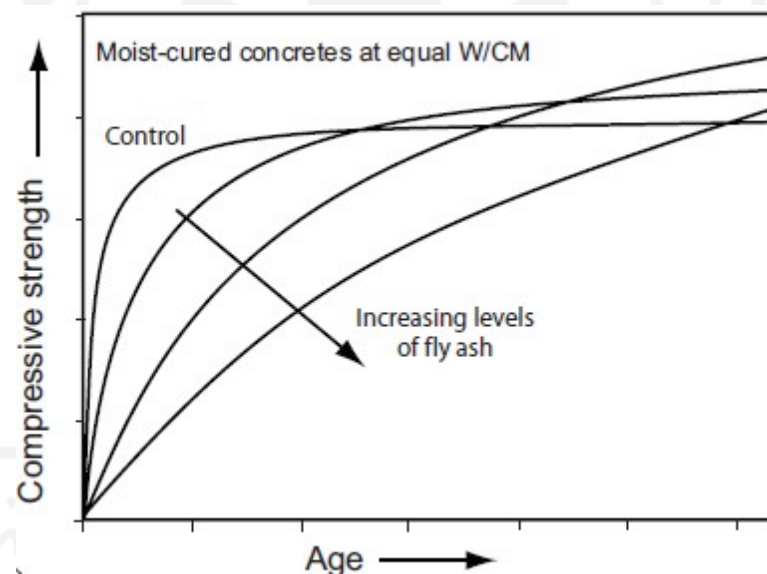
1.1 Latar Belakang

Sektor industri menjadi salah satu penyumbang terbesar gas rumah kaca, termasuk di antaranya industri semen. Industri semen dunia memproduksi lebih dari 4 milyar ton semen setiap tahun, menyumbang sekitar 8% karbon dioksida dunia. (Chatham House, 2018). Penelitian dilakukan oleh para ahli dan akademisi untuk mengatasi masalah ini, salah satunya dengan mengurangi kandungan semen di dalam beton. Pengurangan proporsi semen disertai dengan penambahan material tertentu yang lebih ramah lingkungan. Bahan yang cukup umum digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah material pozzolan yang bernama abu terbang (*fly ash*).

Fly ash merupakan limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Ketersediaan *fly ash* cukup melimpah sehingga bisa didapatkan dengan mudah. Selain untuk pemanfaatan limbah, penggunaan *fly ash* dalam campuran semen bisa meningkatkan nilai ekonomi *fly ash* itu sendiri. Menurut penelitian terdahulu, adanya *fly ash* bisa membantu memperbaiki sifat-sifat beton normal (beton tanpa *fly ash*). Campuran beton dengan *fly ash* memiliki *workability* yang lebih baik dibandingkan campuran beton tanpa *fly ash* pada nilai *slump* yang sama. Umumnya penggunaan *fly ash* akan mengurangi *bleeding* dikarenakan berkurangnya kebutuhan air (Gebler, dalam Thomas, 2007).

Berdasarkan uraian di atas, *fly ash* diketahui mampu memberikan keuntungan pada beton. Penggunaan *fly ash* tidak hanya memberikan dampak positif pada beton, tetapi juga dampak negatif. Dampak negatif yang dimaksud adalah lambatnya proses pengerasan dan perkembangan kekuatan tekan beton *fly ash* dibandingkan dengan beton normal dengan fas yang sama. Semakin tinggi kadar *fly ash* yang digunakan sebagai *cementitious material* berakibat pada berkurangnya kekuatan awal beton. Pada Gambar 1.1 terdapat perpotongan antara grafik beton *fly ash* dengan beton normal. Perpotongan ini menunjukkan kesamaan kuat tekan

antara beton *fly ash* dan beton normal. Seiring bertambahnya jumlah *fly ash*, titik perpotongan ini akan semakin ke kanan yang artinya semakin banyak *fly ash* menyebabkan kuat tekan beton *fly ash* lebih lama dalam menyamai kuat tekan beton normal. Penelitian yang dilakukan Mohamad dkk. (2020) tentang beton *fly ash* menunjukkan beton dengan kadar *fly ash* 30% dari berat semen mengalami penurunan kuat tekan yang signifikan dibanding beton normal pada umur 28 hari. Menurut Thomas (2007), penggunaan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton termasuk penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi. Dalam penelitian ini, *fly ash* yang digunakan sebesar 30% sebagai pengganti sebagian semen. Angka 30% dipilih untuk memaksimalkan penggunaan *fly ash* dalam campuran beton serta untuk mengetahui perlambatan perkembangan kuat tekannya.



Gambar 1.1 Perkembangan Kuat Tekan Beton Fly Ash
(Sumber : Thomas, 2007)

Penggunaan *fly ash* pada beton di lapangan umumnya menggunakan bahan tambah untuk memperbaiki kekurangan yang ditimbulkan *fly ash*. Salah satu merk bahan tambah yang sering digunakan adalah *Bestmittel*. *Bestmittel* termasuk bahan tambah tipe E, berfungsi membantu beton mengeras lebih cepat sekaligus meningkatkan mutu beton, serta mengurangi pemakaian air (*water reducer*

accelerator). Produsen produk ini mengklaim mampu mengeraskan beton pada usia 7-10 hari dan meningkatkan mutu beton sebesar 5%-10% bila ditambahkan ke dalam campuran beton sebanyak 0,2%-0,6% dari berat semen. Sifat *Bestmittel* sebagai *water reducer* akan mempermudah pengerjaan beton (*workability*), karena dengan fas yang rendah beton masih bisa dikerjakan dengan mudah. Sifat *Bestmittel* sebagai *accelerator* akan mempercepat pengerasan campuran beton sehingga dapat meningkatkan kekuatan awal beton. Selain itu *Bestmittel* juga diperjualbelikan secara umum dan mudah didapatkan dengan harga yang terjangkau.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental karena sampai saat ini belum ada penelitian yang membahas penambahan *Bestmittel* pada beton dengan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen. Dengan kata lain, belum ada penjelasan mengenai hal tersebut. Penelitian ini dilakukan dalam upaya memberikan informasi lebih luas mengenai penggunaan *Bestmittel* pada beton dengan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh *Bestmittel* terhadap kuat tekan beton *fly ash*?
2. Apakah *Bestmittel* mampu mengatasi lambatnya perkembangan kuat tekan beton *fly ash*?
3. Berapa dosis *Bestmittel* yang memberikan perkembangan kuat tekan paling besar pada beton oleh *fly ash*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebagai acuan, tujuan penelitian dapat ditentukan. Tujuan penelitian ini telah diuraikan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh *Bestmittel* terhadap kuat tekan beton *fly ash*.
2. Mengetahui peran *Bestmittel* dalam perkembangan kuat tekan beton *fly ash*.
3. Mengetahui dosis *Bestmittel* yang memberikan perkembangan kuat tekan paling besar pada beton *fly ash*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, dapat digali manfaat dilakukannya penelitian ini. Manfaat penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

1. Mengembangkan ilmu tentang zat aditif *Bestmittel* dan pengaruhnya terhadap kuat tekan beton *fly ash*.
2. Mengembangkan ilmu pengetahuan seputar perkembangan kekuatan beton *fly ash* dengan penambahan *Bestmittel*.
3. Mengembangkan ilmu pengetahuan mengenai dosis *Bestmittel* yang memberikan pengaruh terbesar pada beton *fly ash*.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk mencegah penelitian keluar dari topik dan tujuan penelitian, diperlukan batasan penelitian yang dapat dilihat sebagai berikut ini:

1. Mutu beton rencana ($f'c$) 25 MPa dengan metode perencanaan campuran beton berdasarkan SNI-03-2834-2000.
2. *Fly ash* digunakan sebagai pengganti 30% dari total berat semen tiap variasi.
3. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Paiton, dengan tipe C.
4. *Bestmittel* digunakan dengan kadar 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari berat semen ditambah *fly ash*, berasal dari toko bangunan di kawasan Kota Solo.
5. Pengujian komposisi kimia *Bestmittel* tidak dilakukan.
6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Gunung Merapi.
7. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo.
8. Semen yang digunakan adalah semen tipe I dengan merk Tiga Roda.
9. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.
10. Sampel uji kuat tekan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, berjumlah 5 sampel setiap variabel sehingga total ada 75 sampel.
11. Perawatan silinder beton (*curing*) dilakukan dengan merendam beton dalam air di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.
12. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur beton 3, 7, dan 28 hari.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penggunaan *fly ash*, *Bestmittel*, atau bahan tambah lain sejenis *Bestmittel* sebagai subjek penelitian kekuatan beton sudah pernah dilakukan sebelumnya. Perbedaan penelitian di bawah ini bisa dilihat pada Tabel 2.1. Penelitian sejenis yang sudah pernah dilakukan tersebut adalah sebagai berikut ini.

Muhtar (2012) melakukan penelitian tentang *Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) dan Abu Sekam Padi terhadap Modulus Elastisitas Beton*. Pada penelitian ini kadar *fly ash* yang digunakan sebanyak 10% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan modulus elastisitas beton *fly ash* lebih rendah dari beton tanpa *fly ash*. Artinya, beton dengan 10% *fly ash* sebagai pengganti semen mampu meningkatkan daktilitas beton, membuatnya tidak segetas beton normal (*tanpa fly ash*). Selanjutnya dari hasil pengujian kuat tekan, beton *fly ash* lebih baik dari beton normal.

Ariyani dan Tri Sasongko (2014) telah meneliti tentang *Pengaruh Penggunaan Bestmittel untuk Mempercepat Kuat Tekan Beton*. Dosis *Bestmittel* yang digunakan tiap variabel mulai dari 0%; 0,2%; 0,4%; dan 0,6% dari berat semen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Bestmittel* mampu mempersingkat waktu pengerasan beton hingga kurang dari 10 hari. Beton dengan kadar *Bestmittel* 0,4% yang diuji pada umur 9 hari mampu mencapai kuat tekan 25,653 MPa (95% dari kuat tekan rencana). Penambahan *Bestmittel* sebanyak 0,6% pada beton dapat menaikkan nilai kuat tekan, tetapi tidak signifikan.

Ervianto dkk. (2016) melakukan penelitian berjudul *Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Zat Aditif (Bestmittel)*. *Bestmittel* yang digunakan sebesar 0,5% dari berat semen, sedangkan *fly ash* divariasikan kadarnya 5%, 7,5%, dan 10% dari berat semen. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan semakin tinggi kadar *fly ash*, kuat tekan beton akan

semakin menurun. Besar penurunan kekuatan pada variasi 5% ke 7,5% sebesar 0,32%. Kemudian pada variasi 7,5% ke 10% sebesar 1,16%.

Setiawati dan Imaduddin (2018) telah melakukan penelitian berjudul *Fly Ash sebagai Pengganti Semen pada Beton*. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kuat tekan beton bermutu K-300 dengan variasi *fly ash* 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20% sebagai pengganti semen. Pengujian dilakukan ketika umur beton mencapai 3, 7, 14, dan 28 hari. Kuat tekan beton tertinggi dicapai oleh beton dengan variasi *fly ash* 12,5%, mencapai kuat tekan 404,73 kg/cm² ketika berumur 28 hari. Nilai kuat tekan akan meningkat sampai pada kadar *fly ash* 12,5%, kemudian berangsur menurun pada kadar yang lebih besar.

Sultan dkk. (2019) melakukan penelitian mengenai *Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) Ex PLTU Rum pada Campuran Beton*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan kuat tekan beton dengan variasi *fly ash* 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat semen pada umur 28 hari. Nilai kuat tekan berangsur naik sampai pada variasi 20% dengan nilai 29,43 MPa. Selanjutnya nilai kuat tekan menurun pada variasi 25% dan 30%.

2.2 Penelitian yang Dilakukan

Penelitian ini berjudul *Pengaruh Penambahan Bestmittel terhadap Kuat Tekan Beton Fly Ash*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Bestmittel* terhadap beton yang mengandung 30% *fly ash* sebagai substitusi semen, ditinjau dari kuat tekannya jika dibandingkan dengan beton normal. Diharapkan penambahan *Bestmittel* dengan variasi 0,2%; 0,4%, dan 0,6% mampu mempercepat pengerasan beton *fly ash* sehingga mampu mencapai kekuatan rencana (f'_c 25 MPa) pada umur 28 hari. Untuk mengetahui perkembangan pengerasan dan kekuatan beton di umur muda, dilakukan pengujian kuat tekan ketika beton berumur 3, 7, dan 28 hari. Penelitian ini menggunakan SNI-03-2834-2000 sebagai pedoman pencampuran material.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Muhtar (2012)	Ariyani dan Tri Sasongko (2014)	Ervianto dkk. (2016)	Setiawati dan Imaduddin (2018)	Sultan dkk. (2019)	Mohammad Fachry Ferdiansyah (2021)
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) dan Abu Sekam Padi terhadap Modulus Elastisitas Beton	Pengaruh Penggunaan Bestmittel untuk Mempercepat Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Zat Aditif (Bestmittel)	<i>Fly Ash</i> sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton	Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) Ex PLTU Rum pada Campuran Beton	Pengaruh Penambahan Bestmittel terhadap Kuat Tekan Beton Fly Ash
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh <i>fly ash</i> dan abu sekam padi terhadap modulus elastisitas dan kuat tekan beton.	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan <i>Bestmittel</i> terhadap kuat tekan beton.	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan 0,5% <i>Bestmittel</i> dan <i>fly ash</i> terhadap kuat tekan beton.	Untuk mendapatkan desain campuran beton yang memanfaatkan <i>fly ash</i> .	Untuk mengetahui pengaruh penambahan <i>fly ash</i> PLTU Rum, Tidore terhadap kuat tekan beton.	Untuk mengetahui pengaruh <i>Bestmittel</i> pada beton dengan 30% <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan.
Parameter yang Diuji	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton.	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton.	Kuat tekan beton.	Kuat tekan beton.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton

Lanjutan Tabel 2.1

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Muhtar (2012)	Ariyani dan Tri Sasongko (2014)	Ervianto dkk. (2016)	Setiawati dan Imaduddin (2018)	Sultan dkk. (2019)	Mohammad Fachry Ferdiansyah (2021)
Varian Penelitian	Kadar <i>fly ash</i> 10% dan abu sekam padi 15% untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 28 hari.	Kadar <i>Bestmittel</i> 0,2%, 0,4%, dan 0,6% pada beton berumur 3, 6, dan 9 hari dengan benda uji silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Kadar <i>fly ash</i> 5%, 7,5%, dan 10% dan <i>Bestmittel</i> 0,5% dari berat semen pada umur 28 hari dengan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Kadar <i>fly ash</i> 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20%. Uji kuat tekan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari dengan benda uji kubus.	Kadar <i>fly ash</i> 0%-30%, dengan penambahan 5% setiap varian. Uji kuat tekan pada 28 hari, dengan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Kadar <i>Bestmittel</i> 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% pada beton 30% <i>fly ash</i> sebagai pengganti semen. Pengujian dilakukan pada 3, 7, dan 28 hari dengan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
Metode Penelitian	Meliputi studi pustaka, konsultasi, persiapan alat dan bahan, uji bahan, pembuatan benda uji, perawatan, uji kuat tekan dan modulus elastisitas, analisis data.	Meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan silinder beton berpedoman SK SNI T-15-1990-03, <i>curing</i> , dan pengujian kuat tekan.	Meliputi persiapan alat dan bahan, pengujian bahan, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian kuat tekan, analisis data.	Meliputi studi pustaka, persiapan alat dan perencanaan, pembuatan benda uji, pengujian kuat tekan, dan analisis data.	Meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji dengan standar SNI, perawatan, pengujian kuat tekan.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, metode perencanaan campuran menggunakan pedoman SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan beton rencana (f_c) 25 MPa.

Lanjutan Tabel 2.1

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	Muhtar (2012)	Ariyani dan Tri Sasongko (2014)	Ervianto dkk. (2016)	Setiawati dan Imaduddin (2018)	Sultan dkk. (2019)	Mohammad Fachry Ferdiansyah (2021)
Hasil	Penambahan <i>fly ash</i> 10% pada campuran beton menghasilkan kuat tekan 29,87 MPa, lebih tinggi dari beton tanpa <i>fly ash</i> 28,72 MPa. Modulus elastisitas beton <i>fly ash</i> lebih rendah dari beton tanpa <i>fly ash</i> menjadikannya lebih daktil.	Beton dengan kadar <i>Bestmittel</i> 0,4% yang diuji pada umur 9 hari mampu mencapai kuat tekan 25,653 MPa (95% dari kuat tekan rencana). Penambahan <i>Bestmittel</i> sebanyak 0,6% pada beton dapat menaikkan nilai kuat tekan, tetapi tidak signifikan.	Penambahan <i>Bestmittel</i> 0,5% dan <i>fly ash</i> 5% pada campuran beton menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 31,29 MPa. Pada varian <i>fly ash</i> 7,5% dan 10% kuat tekan berangsur menurun.	Kuat tekan beton terus meningkat sampai pada kadar <i>fly ash</i> 12,5% dari berat semen dengan nilai 404,73 kg/cm ² pada umur 28 hari. Pada kadar <i>fly ash</i> yang lebih banyak, kuat tekan berangsur menurun.	Beton dengan 20% <i>fly ash</i> memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 29,43 MPa. Kadar <i>fly ash</i> di atas atau di bawah 20% memiliki nilai kuat tekan lebih rendah.	Kuat tekan beton <i>fly ash</i> tertinggi didapatkan pada variasi <i>Bestmittel</i> 0,6% sebesar 27,34 MPa. Nilai kuat tekan variasi <i>Bestmittel</i> 0,6% lebih rendah dari beton kontrol. Nilai modulus elastisitas beton <i>fly ash</i> dengan <i>Bestmittel</i> 0,6% lebih tinggi dari beton kontrol.

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian ini meneliti tentang pengaruh penggunaan *Bestmittel* dengan persentase 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari berat semen serta 30% *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton jika dibandingkan dengan beton tanpa *fly ash*. Pengujian kuat tekan akan dilakukan ketika umur beton mencapai umur 3, 7, dan 28 hari dengan benda uji silinder beton dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Penelitian ini menggunakan pedoman perencanaan campuran beton SNI-03-2834-2000 dengan umur rencana 28 hari. Mutu beton yang direncanakan ($f'c$) 25 MPa. Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan suatu elemen konstruksi yang terbentuk dari kombinasi agregat halus, agregat kasar, semen, air, dan bahan tambah (bila diperlukan) dengan proporsi tertentu yang berpadu kemudian mengeras seiring berjalannya waktu. Proses pengerasan beton secara signifikan terjadi pada 28 hari pertama umur beton. Setelah berumur lebih dari 28 hari kekuatan beton tetap meningkat bahkan hingga beberapa tahun setelahnya, meskipun kenaikannya tidak signifikan. Tjokrodimuljo (1992) menyatakan bahwa kekuatan dan ketahanan beton sangat dipengaruhi sifat-sifat dan proporsi bahan-bahan penyusunnya, pelaksanaan pembuatannya, dan perawatannya. Untuk mendapatkan beton berkualitas baik, material penyusun beton perlu diuji supaya dapat dipastikan kualitas material tersebut telah memenuhi persyaratan yang ada.

Mulyono (2004) menyatakan bahwa beton yang telah mengeras bagi “batu karang dengan kekuatan tinggi”. Pernyataan tersebut menggambarkan beton sebagai salah satu material yang memiliki keunggulan dalam hal kekuatan (*strength*) dan ketahanan (*durability*). Dari segi biaya, beton dikenal tidak membutuhkan banyak biaya perawatan dan bahan-bahan utama penyusun beton cenderung mudah didapatkan di area lokal dengan harga yang terjangkau.

Tjokrodimuljo (1992) menyebutkan beton memiliki beberapa kekurangan, salah satunya kekuatan tarik yang rendah. Untuk mengatasinya beton perlu diberikan perbaikan, misalnya dengan pemasangan baja tulangan sebagai dukungan atau dengan penambahan serat baja. Selain itu pelaksanaan pembetonan membutuhkan ketelitian tinggi sebab kekuatan beton tidak sama pada setiap bagian bangunan yang akan dikerjakan. Hal ini mengakibatkan metode perencanaan dan pelaksanaan menjadi beragam. Beton juga merupakan material yang tidak kedap air sehingga akan sangat berbahaya apabila air bisa masuk, terutama air yang

mengandung garam. Air yang mengandung garam bisa menyebabkan korosi pada baja tulangan, mengurangi kekuatannya secara signifikan.

Umumnya beton dapat digolongkan berdasarkan berat volume, di antaranya beton ringan, beton normal, dan beton berat. Masing-masing jenis beton memiliki keunggulan tersendiri, yang dapat dipergunakan sesuai dengan kondisi di lapangan. Dari ketiganya, beton normal yang paling umum diaplikasikan karena mampu digunakan pada bagian struktur utama bangunan. Berikut adalah ketiga jenis beton:

1. Beton ringan

Menurut SNI 03-2847-2002, beton ringan mengandung agregat ringan yang menyebabkan berat volume kurang dari 1900 kg/m^3 .

2. Beton normal

Menurut SNI 03-2847-2002, beton normal merupakan beton yang menggunakan agregat alam, dengan berat volume dalam rentang 2200 kg/m^3 sampai 2500 kg/m^3 .

3. Beton berat

Beton berat merupakan beton yang mempunyai berat volume lebih dari 2500 kg/m^3 .

3.2 Bahan Dasar Penyusun Beton

Beton merupakan material komposit yang terbentuk dari bahan-bahan yang kompleks. Bahan-bahan ini memiliki keberagaman dari segi jenis, bentuk, ukuran, dan kualitas. Sebagai contoh, agregat halus dapat dibedakan berdasarkan ukuran butirannya menjadi pasir, pasir halus, lanau (*silt*), dan lempung (*clay*). Begitu juga dengan semen, yang memiliki tipe berbeda-beda sesuai peruntukannya. Dalam penggunaannya, bahan-bahan penyusun beton dibatasi jumlahnya. Umumnya beton mengandung bahan-bahan pembentuk dengan persentase volume 65%-80% agregat, 10% semen *portland*, 15% air, dan 5% udara (Nugraha dan Antoni, 2007).

3.2.1 Semen Portland

Semen *portland* merupakan salah satu material yang paling vital dalam proyek konstruksi. SNI 15-2049-2004 tentang Semen *Portland* mendefinisikan semen *portland* sebagai semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland*, terutama yang terdiri dari kalsium silikat yang bersifat hidraulis dan digiling bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Walaupun persentase semen dari volume beton hanya sekitar 10%, tetapi fungsi semen sangat penting karena sebagai pengikat antara butiran-butiran agregat dan pengisi rongga-rongga udara di antara agregat sehingga terbentuk suatu massa padat dan kokoh (Mulyono, 2004).

Produksi semen berawal dari bahan baku utama berupa batu kapur, tanah liat, silika, dan oksida besi dengan proporsi tertentu, yang digiling dan dicampur sehingga menjadi bahan mentah. Bahan mentah ini mengandung kalsium karbonat, alumina, silika, oksida besi, dan senyawa-senyawa lain. Proses selanjutnya yaitu pembakaran bahan pada suhu 1450°C (*klinkering*) menghasilkan *klinker*/ terak. Selanjutnya *klinker* didinginkan, dihaluskan, dan digiling sampai dengan tingkat kehalusan tertentu serta ditambahkan gypsum dan bahan tambah lain. Setelah itu, semen dimasukkan ke tempat penyimpanan. Semen yang sudah jadi mengandung bermacam-macam oksida, yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan Oksida Semen *Portland*

Oksida	Nama	Berat (%)
CaO	Kapur	63
SiO ₂	Silika	22
Al ₂ O ₃	Alumina	6
Fe ₂ O ₃	Ferrit oksida	2,5
MgO	Magnesia	2,6
K ₂ O	Alkalis	0,6
Na ₂ O	Disodium oksida	0,3
SO ₂	Sulfur dioksida	2,0
CO ₂	Karbon dioksida	-
H ₂ O	Air	-

Sumber : Nugraha dan Antoni (2007)

Semen *portland* mengandung empat senyawa utama yang disebut Komposisi Bogue. Keempat senyawa tersebut adalah Trikalsium Silikat (C_3S / $3CaO.SiO_2$), Dikalsium Silikat (C_2S / $2CaO.SiO_2$), Trikalsium Aluminat (C_3A / $3CaO.Al_2O_3$), dan Tetrakalsium Aluminoferrit (C_4AF / $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$). Sesaat setelah air dan semen bercampur, keempat senyawa di atas mengalami hidrasi yang berbeda. C_3A dan C_4AF bereaksi dengan air, tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan beton. Sebaliknya, C_3S dan C_2S memiliki peran besar terhadap perkembangan kekuatan beton karena menghasilkan *Calcium Silicate Hydrate* (C-S-H). Berikut ini adalah reaksi hidrasi C_3S dan C_2S .



Dapat dilihat pada reaksi C_3S terjadi pelepasan panas yang besar menandakan terjadinya laju hidrasi yang lebih cepat. Panas yang dilepaskan pada hidrasi C_2S jauh lebih kecil, menandakan reaksi yang berlangsung lebih lambat sehingga kontribusi C_2S terhadap kekuatan beton akan lebih lambat pula. C_2S akan lebih berpengaruh terhadap kekuatan jangka panjang beton. Selanjutnya, rangkuman senyawa utama semen *portland* dan sifatnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Senyawa Utama Semen *Portland* dan Sifatnya

Notasi	Kecepatan Hidrasi	Panas Hidrasi	Andil terhadap Kekuatan	Susut
C_3S	Cepat	Tinggi	dalam 28 hari	Sedang
C_2S	Lambat	Rendah	setelah 28 hari	Sedang
C_3A	Sangat Cepat	Sangat Tinggi	dalam 1 hari	Besar
C_4AF	Cepat	Sedang	sedikit	Kecil

Sumber : Nugraha dan Antoni (2007)

Dalam SNI 15-2049-2004 terdapat persyaratan kimia dan fisika semen, terdapat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3.3 Syarat Kimia Utama Semen

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂ , min (%)	-	20,0	-	-	-
2	Al ₂ O ₃ , max (%)	-	6,0	-	-	-
3	Fe ₂ O ₃ , max (%)	-	6,0	-	6,5	-
4	MgO, max (%)	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , max (%)					
	Jika C ₃ A ≤ 8,0 (%)	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
	Jika C ₃ A ≥ 8,0 (%)	3,5		4,5		
6	Hilang pijar, max (%)	5,0	3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, max (%)	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C ₃ S, max (%)	-	-	-	35,0	-
9	C ₂ S, min (%)	-	-	-	45,0	-
10	C ₃ A, max (%)	-	8,0	15,0	7,0	5,0
11	C ₄ AF + 2 C ₃ A atau C ₄ AF + C ₂ F	-	-	-	-	25,0

Sumber : SNI 15-2049-2004

Tabel 3.4 Syarat Fisika Utama Semen

No	Uraian	Jenis Semen Portland				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan :					
	Uji permeabilitas udara, m ² kg					
	Dengan alat :					
	Turbidimeter, min	160	160	160	160	160
2	Blaine, min	280	280	280	280	280
	Kekekalan :					
	Pemuaian dengan autoclave, maks %	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
3	Kuat tekan :					
	Umur 1 hari, kg/cm ² , min	-	-	120	-	-
	Umur 3 hari, kg/cm ² , min	125	100	240	-	80
			70			
	Umur 7 hari, kg/cm ² , min	200	175	-	70	150
4			120			
	Umur 28 hari, kg/cm ² , min	280	-	-	170	210
	Waktu pengikatan dengan alat :					
	Gillmore					
	-Awal, menit, min	60	60	60	60	60
	-Akhir, menit, max	600	600	600	600	600
	Vicat					
	-Awal, menit, min	45	45	45	45	45
	-Akhir, menit, max	375	375	375	375	375

Sumber : SNI 15-2049-2004

3.2.2 Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan konstruksi yang berupa bahan-bahan mineral seperti batu, pasir, dan kerikil, yang berfungsi sebagai pengisi beton. Mengingat jumlah agregat di dalam beton mencapai 65%-80% dari total volume beton, kualitas agregat menjadi salah satu faktor penentu kualitas beton. Dahulu agregat hanya dianggap sekadar bahan pengisi beton, tetapi sekarang telah banyak disadari pentingnya kualitas agregat yang dapat berdampak positif pada *durability*, ketahanan abrasi, dan stabilitas volume beton (Nugraha dan Antoni, 2007).

Sifat agregat menjadi hal yang penting dalam pembuatan beton, seperti bentuk, kekasaran permukaan, dan gradasi. Bentuk agregat yang baik dalam hal kekuatan adalah yang memiliki sudut-sudut yang jelas (*angular*) karena akan memperkuat ikatan antar agregat. Ikatan ini akan menjadi lebih baik apabila agregat mempunyai tekstur yang kasar. Agregat bertekstur permukaan halus cenderung sulit untuk terikat, karena permukaannya yang licin sehingga kurangnya bidang terjadinya ikatan. Dalam hal gradasi agregat, gradasi menerus merupakan yang paling baik. Hal ini dimungkinkan karena dalam gradasi menerus ukuran butiran agregat merata dan terdistribusi dengan baik, memungkinkan agregat lebih terikat satu sama lain dan mengisi ruang-ruang di antaranya.

Secara umum, berdasarkan ukurannya agregat dapat dibedakan menjadi dua: agregat kasar dan agregat halus. Dalam hal ini ada batas yang memisahkan antara agregat kasar dan agregat halus, yaitu batas ukuran pada saringan sebesar 4,75 mm (no.4). SNI ASTM C123:2012 menyatakan bahwa agregat kasar akan tertahan pada saringan no. 4. Selanjutnya tertulis bahwa agregat halus akan lolos pada saringan no.4 kemudian tertahan pada saringan no. 200. Agregat kasar dikelompokkan berdasarkan ukuran maksimum butirannya. Agregat halus dikelompokkan menjadi beberapa golongan berdasarkan persentase lolos saringan. Pengelompokan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.5, sedangkan agregat halus pada Tabel 3.6.

Tabel 3.5 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Saringan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan (mm)		
	38 - 4,76	19,0 - 4,76	9,6 - 4,76
38,1	95 - 100	100	
19,0	30 - 70	95 - 100	100
9,52	10 - 35	30 - 60	50 - 85
4,76	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3.6 Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos Saringan			
	Pasir Kasar	Pasir Agak Kasar	Pasir Halus	Pasir Agak Halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	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

Dalam SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, telah diatur persyaratan agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar yang memenuhi persyaratan adalah sebagai berikut.

1. Butirannya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan $< 5\%$.
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12% , jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18% .
3. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan $0,06$) lebih dari 1% .
4. Tidak boleh mengandung zat-zat yang bereaksi terhadap alkali.
5. Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak lebih dari 20% .
6. MHB dalam rentang $6,0 - 7,1$ dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
7. Ukuran butir maksimum tidak lebih dari: $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Selanjutnya agregat halus yang memenuhi persyaratan adalah sebagai berikut.

1. Butirannya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $< 2,2$.
2. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
3. Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
4. Tidak mengandung zat organik berlebih, yang dibuktikan dengan percobaan warna menggunakan larutan NaOH sebanyak 3% yaitu warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh gelap daripada warna standar atau pembanding.
5. Modulus halus butir antara 1,50 – 3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
6. Agregat halus dari laut atau pantai, diperbolehkan tetapi dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan.

3.2.3 Air

Semen tanpa adanya air tidak akan menjadi pasta semen. Keduanya akan memicu proses hidrasi kemudian mengeras menjadi beton. Tidak hanya itu, keberadaan air akan memengaruhi kelecakan beton segar. Semakin banyak kandungan air pada campuran, agregat akan terlumasi dan beton segar akan mudah mengalir. Namun penambahan jumlah air yang berlebihan akan mengurangi kekuatan beton. Kelebihan air akan mengalir ke permukaan beton segar sesaat setelah dituang, membawa semen bersamanya (*bleeding*) kemudian membentuk lapisan tipis bernama *laitance*. *Laitance* akan mengurangi lekatan antar lapisan beton. (Tjokrodinuljo, 1992). Selain itu, kelebihan air dapat meningkatkan potensi segregasi dimana terjadi pemisahan agregat dari adukan, menghasilkan beton *porous*.

Di samping jumlah air, kualitas air juga perlu diperhatikan. Umumnya air tawar yang bisa diminum, dengan tidak ada keanehan dalam hal rasa, bau, dan warna bisa digunakan dalam campuran beton. Namun untuk pembuktian yang lebih

akurat, bisa dilakukan uji tekan mortar dengan air tersebut kemudian dibandingkan dengan kuat tekan mortar yang memakai air suling sesuai *British Standard* (BS) 3148. Kekuatan pada umur 7 dan 28 hari mortar air yang diuji minimal mencapai 90% kekuatan mortar air suling. Bila memenuhi syarat, pemeriksaan lebih lanjut perlu dilakukan, terutama untuk efek jangka panjang (Nugraha dan Antoni, 2007).

Air yang tidak memenuhi syarat bisa jadi karena mengandung banyak kotoran sebanyak lebih dari 1000 ppm. Kotoran akan mengganggu proses yang terjadi dalam beton seperti hidrasi dan pengikatan, sehingga dapat berpengaruh buruk pada kekuatan beton. Tjokrodimuljo (1992) menguraikan syarat air yang baik digunakan dalam campuran beton sebagai berikut:

1. Tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter.
2. Tidak mengandung garam-garam seperti asam dan zat organik yang dapat merusak beton lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter.
4. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

3.3 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan salah satu komponen yang diperlukan dalam campuran beton, di luar lingkup unsur utama beton seperti semen, agregat, dan air. Menurut SNI 03-2495-1991, bahan tambah merupakan suatu bahan berupa bubukan atau cairan yang ditambahkan pada campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu dengan maksud untuk mengubah beberapa sifatnya. Dalam beberapa kasus, penggunaan bahan tambah menjadi pilihan karena kepraktisannya dalam mencapai hasil yang diinginkan. Komposisinya dalam campuran tidaklah banyak tetapi berdampak besar pada beton. Oleh karena itu, perencanaan bahan tambah memerlukan ketelitian.

Bahan tambah yang beredar di pasaran sangat beragam, biasanya dibagi menjadi dua: bahan tambah mineral dan bahan tambah kimia. Bahan tambah mineral biasanya ditambahkan pada saat pencampuran, mampu memberikan memperbaiki kuat tekan, ketahanan, dan kelecakan beton. Material seperti pozzolan, *silica fume*, *fly ash*, dan abu sekam padi termasuk dalam kategori ini.

Berbeda dengan bahan tambah mineral, bahan tambah kimia biasa digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat beton saat pelaksanaan. Ada beberapa kategori bahan tambah menurut kegunaannya, seperti yang tercantum dalam SNI 03-2495-1991 sebagai berikut:

1. Bahan tambah tipe A, digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran demi mendapatkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan.
2. Bahan tambah tipe B, digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton.
3. Bahan tambah tipe C, digunakan untuk mempercepat waktu ikat serta menambah kekuatan awal beton.
4. Bahan tambah tipe D, digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran demi mendapatkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan serta memperlambat waktu pengikatan beton.
5. Bahan tambah tipe E, digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran demi mendapatkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan serta mempercepat waktu ikat serta menambah kekuatan awal beton.
6. Bahan tambah tipe F, digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran sebesar 12% atau lebih, demi mendapatkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan.
7. Bahan tambah tipe G, digunakan untuk mengurangi jumlah air dalam campuran sebesar 12% atau lebih, demi mendapatkan beton dengan konsistensi yang ditetapkan serta memperlambat waktu pengikatan beton.

3.3.1 *Bestmittel*

Bestmittel merupakan salah satu bahan tambah kimia yang diaplikasikan pada campuran beton untuk mengurangi pemakaian air dan mempercepat pengerasan serta meningkatkan kekuatan beton (Tipe E / *water reducing and accelerating admixture*). Bahan tambah ini berwujud cair dengan dosis pemakaian yang direkomendasikan antara 0,2%-0,6% dari total berat semen. Produsen *Bestmittel*, PT. Multi Eraguna Usaha (Mergusa), mengklaim bahwa *Bestmittel* mampu

mempercepat pengerasan beton pada waktu 7-10 hari, dengan meningkatkan kekuatannya sebesar 5%-10%.

Mulyono (2004) menyatakan pada penggunaan bahan tambah tipe E, air yang terkandung di dalam bahan tambah harus diperhitungkan karena akan menjadi bagian dari air campuran beton, sehingga harus ditambahkan dalam berat total air. Selanjutnya Mulyono (2004) menambahkan perbandingan antara mortar dengan agregat kasar tidak boleh berubah, juga perubahan kandungan air, atau udara, atau semen, harus disertai dengan perubahan agregat halus supaya volume beton tidak berubah. Oleh karena itu, penggunaan bahan tambah ini memerlukan pengawasan yang ketat.

3.3.2 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Fly ash merupakan residu hasil pembakaran batu bara di PLTU yang terdiri dari partikel-partikel halus dalam bentuk bubuk. Sekitar 75%-90% abu yang akan keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh sistem pengendap elektrostatis atau peralatan filtrasi lain, disebut sebagai abu terbang (*fly ash*). Sisa-sisa abu yang lain bisa didapatkan di dasar tungku, dikenal sebagai *bottom ash*. Kualitas pembakaran batu bara menjadi faktor utama penentu mutu *fly ash* dan *bottom ash* (Nugraha dan Antoni, 2007).

Dahulu semua jenis *fly ash* masih dikategorikan sebagai limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Namun baru-baru ini Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) menyatakan bahwa *fly ash* hasil pembakaran batu bara pada PLTU dengan *pulverize coal* tidak termasuk limbah B3 berdasarkan beberapa pengujian yang mereka lakukan. Kementerian LHK bahkan menginstruksikan supaya *fly ash* dimanfaatkan menjadi produk yang berguna dan ramah lingkungan, salah satunya sebagai material pendukung bahan konstruksi. Pemanfaatan *fly ash* dalam bidang konstruksi biasanya sebagai bahan campuran beton, khususnya sebagai *supplementary cementitious material*. Sebenarnya *fly ash* tidak memiliki kemampuan pengikatan seperti halnya semen, tetapi dengan adanya air dan didukung partikelnya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung *fly ash* akan

bereaksi kimiawi dengan kalsium hidroksida (CaOH_2) yang terbentuk dari proses hidrasi semen, menghasilkan zat berkemampuan mengikat (Oscar, 2009).

Fly ash termasuk material pozzolan, karena memiliki kandungan silika dan alumina yang reaktif. Menurut SNI 2460:2014, pozzolan bisa dibedakan menjadi tiga kelas, yaitu kelas N, kelas F, dan kelas C. Salah satu perbedaan antara ketiganya terletak pada unsur kimia penyusunnya yang dapat dilihat pada Tabel 3.7.

1. Kelas N

Pozzolan kelas N merupakan pozzolan mentah atau telah dikalsinasi memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas N, misalnya beberapa tanah hasil lapukan; batu rijang opalan dan serpih; *tufa* dan abu vulkanik atau batu apung, dikalsinasi atau tidak, dan beberapa bahan yang memerlukan kalsinasi untuk menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan, misalnya lempung dan serpih.

2. Kelas F

Pozzolan kelas F merupakan abu terbang dari batu bara yang memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas F. *Fly ash* kelas F memiliki kadar CaO kurang dari 10%.

3. Kelas C

Pozzolan kelas C merupakan abu terbang dari batu bara yang memenuhi persyaratan yang berlaku untuk kelas C. *Fly ash* kelas C memiliki kadar kalsium total, dinyatakan dalam kalsium oksida (CaO) lebih dari 10%.

Tabel 3.7 Persyaratan Kimia Pozzolan

Uraian	Kelas		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min (%)	70	70	50
SO_3 , maks (%)	4	5	5
Kadar air, maks (%)	3	3	3
Hilang pijar, maks (%)	10	6	6

Sumber : SNI 2640:2014

Pemanfaatan *fly ash* sebagai *supplementary cementitious material* telah diterapkan sejak lama. Marceau (2002) dalam Thomas (2007) menyatakan jumlah

fly ash yang digunakan sangat beragam tergantung pada tujuan, sifat *fly ash*, spesifikasi yang diinginkan, lokasi proyek, dan cuaca. *Fly ash* dengan kadar 30%-50% sebagai substitusi semen telah digunakan pada struktur yang masif, seperti pondasi dan bendungan untuk mengatur peningkatan suhu. Pada dekade ini, level *fly ash* yang lebih tinggi (40%-60%) dapat diterapkan pada bangunan struktural, menghasilkan beton dengan sifat mekanik dan ketahanan yang baik.

Penggunaan *fly ash* dalam jumlah tinggi dapat memberikan dampak negatif seperti waktu ikat yang lama dan perkembangan kekuatan yang lambat. Kedua hal ini menimbulkan kekuatan awal beton yang rendah dan pekerjaan konstruksi bisa tertunda. Oleh karena itu, diperlukan penentuan jumlah optimum penggunaan *fly ash* yang menguntungkan tanpa mengganggu jalannya pekerjaan konstruksi dan kualitas beton. Jumlah optimum ini hanya bisa ditentukan dengan mempertimbangkan banyak parameter dalam kasus per kasus (Thomas, 2007).

Thomas (2007) mengategorikan jumlah *fly ash* dalam beton berdasarkan besaran volumenya yang dapat dilihat pada Tabel 3.8.

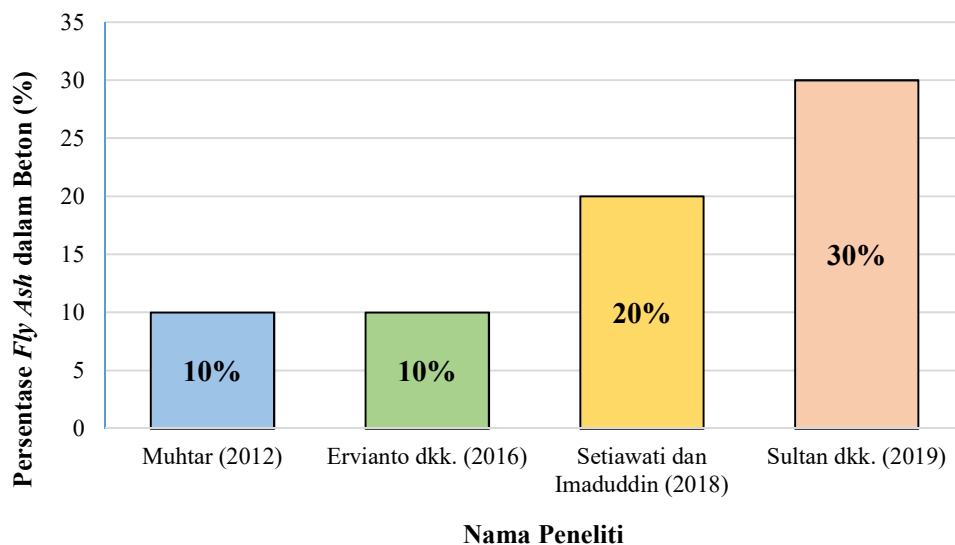
Tabel 3.8 Dosis *Fly Ash* pada Beton

Jumlah <i>Fly Ash</i> (% dari total semen)	Kelas
<15	Rendah
15-30	Menengah
30-50	Tinggi
>50	Sangat Tinggi

Sumber : Thomas (2007)

Pada penelitian ini, *fly ash* digunakan sebagai *supplementary cementitious material* (SCM). *Fly ash* yang digunakan dalam campuran beton adalah sebesar 30% dari total berat semen. Menurut Thomas (2007), seperti pada Tabel 3.8, penggunaan 30% *fly ash* merupakan angka yang tinggi. Angka 30% dipilih untuk memaksimalkan penggunaan *fly ash* dalam campuran beton serta untuk mengetahui sejauh apa perlambatan perkembangan kuat tekan beton. Sementara itu pada penelitian terdahulu, telah dilakukan penelitian mengenai *fly ash* dalam beton. Beberapa diantaranya adalah oleh Muhtar (2012), Ervianto dkk. (2016), Setiawati

dan Imaduddin (2018), dan Sultan dkk. (2019). Kadar *fly ash* maksimum dalam beton yang digunakan pada penelitian terdahulu dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kadar *Fly Ash* dalam Beton Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Muhtar (2012) menunjukkan bahwa 10% *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton akan membuat kuat tekan dan daktilitas beton menjadi lebih baik dibandingkan beton normal. Namun menurut Ervianto dkk. (2016), 10% *fly ash* akan menyebabkan kuat tekan beton menjadi berkurang. Menurut Setiawati dan Imaduddin (2018), *fly ash* sebagai pengganti semen dalam beton akan menambah kuat tekannya sampai dengan kadar 12,5%, kemudian akan menurun seiring bertambahnya kadar *fly ash*. Selanjutnya oleh Sultan dkk. (2019), beton dengan kadar *fly ash* 25% dan 30% akan mengalami penurunan kuat tekan.

3.4 Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pemeriksaan bahan penyusun/material beton menjadi hal yang penting karena untuk mengetahui karakteristik material tersebut. Karakteristik material dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena yang terjadi pada beton. Material yang sesuai standar akan membentuk beton yang berkualitas. Berikut ini adalah pemeriksaan yang dilakukan pada material penyusun beton yang terdiri dari pemeriksaan *fly ash*, agregat kasar, dan agregat halus.

3.4.1 *Fly Ash*

Fly ash merupakan material pozzolan residu hasil pembakaran batu bara di PLTU. Seperti pada Tabel 3.7, telah diketahui bahwa *fly ash* menurut SNI 2640:2014 diklasifikasikan berdasarkan komposisinya menjadi tipe C, tipe F, dan tipe N yang masing-masing memiliki karakter yang berbeda satu sama lain. Salah satu hal yang menjadi kekurangan *fly ash* adalah kualitasnya yang sangat bervariasi (Murdock dan Brook, 1991). Maka dari itu, sebelum menggunakannya perlu dilakukan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui komposisi kimia sekaligus mengetahui tipe *fly ash*.

3.4.2 Agregat Kasar

Berikut ini adalah pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat kasar beserta standar yang digunakan.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar yang akan digunakan dalam perancangan campuran (*mix design*) dan penyerapan air. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1969-1990. Berikut adalah metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

- a. Benda uji berupa agregat kasar dalam kondisi SSD ditimbang untuk mengetahui berat benda uji jenuh kering permukaan (B_j).
- b. Meletakkan benda uji ke dalam keranjang air kemudian digoncangkan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di sela agregat. Selanjutnya benda uji ditimbang untuk mengetahui beratnya di dalam air (B_a) dan suhu air tersebut diukur.
- c. Mengeluarkan benda uji dari dalam air, kemudian meletakkan pada nampan untuk dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- d. Setelah 24 jam, benda uji dikeluarkan dari oven untuk ditimbang. Hasil penimbangan benda uji merupakan berat benda uji kering oven (B_k).

Setelah nilai Bj, Ba, dan Bk didapatkan, berat jenis dan penyerapan air dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

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

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

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji jenuh kering permukaan (gram)

Ba = Berat benda uji jenuh kering permukaan di dalam air (gram)

2. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi agregat kasar. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Berikut adalah metode analisa saringan.

- a. Menimbang benda uji kering oven sebanyak 5000 gram
- b. Menyusun satu set saringan dari lubang terbesar hingga terkecil kemudian memasukkan benda uji pada saringan tersebut untuk diayak menggunakan mesin pengguncang.
- c. Benda uji dikeluarkan dari masing-masing saringan dan diletakkan pada wadah.
- d. Menimbang dan mencatat berat benda uji pada setiap saringan.
- e. Menghitung persentase berat benda uji yang tertahan tiap saringan.
- f. Menghitung persentase berat benda uji yang tertahan kumulatif.
- g. Menghitung persentase lolos kumulatif agregat kasar berdasarkan data berat benda uji yang tertahan kumulatif.

- h. Menjumlahkan berat tertinggal kumulatif, kemudian hasilnya dibagi 100 sehingga didapatkan nilai modulus halus butir (MHB).
 - i. Data persentase lolos kumulatif agregat kasar dibandingkan dengan daerah gradasi pada SNI 03-1968-1990, kemudian didapatkan daerah gradasi benda uji.
3. Pemeriksaan Berat Isi
- Pemeriksaan ini bertujuan menentukan berat volume padat dan gembur agregat kasar. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4804-1998. Berikut adalah metode pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat kasar.
- a. Menggunakan benda uji SSD
 - b. Meletakkan silinder ukur di tempat datar.
 - c. Untuk pengujian berat volume padat, benda uji dimasukkan setiap 1/3 kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata, sampai volume penuh kemudian diratakan.
 - d. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai penuh, kemudian diratakan.
 - e. Menimbang berat silinder berisi benda uji.
 - f. Menghitung volume silinder.

3.4.3 Agregat Halus

Berikut ini adalah pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus beserta standar yang digunakan.

- 1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan
- Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat halus yang akan digunakan dalam perancangan campuran (*mix design*) dan penyerapan air. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1970-1990. Berikut adalah metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.
- a. Memasukkan agregat halus dalam keadaan SSD sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, kemudian memasukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, lalu putar piknometer sambil diguncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.

- b. Merendam piknometer dalam air dan mengukur suhu air.
 - c. Menambahkan air dalam piknometer sampai tanda batas.
 - d. Menimbang piknometer berisi benda uji dan air (Bt).
 - e. Mengeluarkan benda uji dari piknometer, kemudian mengeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap, lalu mendinginkan benda uji dalam desikator.
 - f. Setelah dingin, benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering oven (Bk).
 - g. Menimbang berat piknometer berisi air (B) dan ukur suhu air.
- Setelah nilai B, Bt, dan Bk didapatkan, berat jenis dan penyerapan air dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B+50 - B} \quad (3.5)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{B + 500 - Bt} \quad (3.6)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \quad (3.7)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-B}{Bk} \times 100\% \quad (3.8)$$

dengan :

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi air dan benda uji (gram)

500 = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gram)

2. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Berikut adalah metode analisa saringan.

- a. Menimbang agregat halus kering oven sebanyak 2000 gram.

- b. Menyusun satu set saringan dari lubang terbesar hingga terkecil kemudian memasukkan benda uji pada saringan tersebut untuk diayak menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit.
 - c. Benda uji dikeluarkan dari masing-masing saringan dan diletakkan pada wadah.
 - d. Menimbang dan mencatat berat benda uji pada setiap saringan.
 - e. Menghitung persentase berat benda uji yang tertahan kumulatif.
 - f. Menghitung persentase lolos kumulatif agregat kasar berdasarkan data berat benda uji yang tertahan kumulatif.
 - g. Menjumlahkan berat tertinggal kumulatif, kemudian hasilnya dibagi 100 sehingga didapatkan nilai modulus halus butir (MHB).
 - h. Data persentase lolos kumulatif agregat kasar dibandingkan dengan daerah gradasi pada SNI 03-1968-1990, kemudian didapatkan daerah gradasi benda uji.
3. Pemeriksaan Berat Isi
- Pemeriksaan ini bertujuan menentukan berat volume padat dan gembur agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4804-1998. Berikut adalah metode pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat halus.
- a. Menggunakan benda uji SSD
 - b. Meletakkan silinder ukur di tempat datar.
 - c. Untuk pengujian berat volume padat, benda uji dimasukkan setiap 1/3 kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata, sampai volume penuh kemudian diratakan.
 - d. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai penuh, kemudian diratakan.
 - e. Menimbang berat silinder berisi benda uji.
 - f. Menghitung volume silinder.

4. Pemeriksaan Kandungan Lumpur dalam Pasir

Pemeriksaan ini bertujuan menentukan persentase lumpur yang terkandung di dalam agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4142-1996. Berikut adalah metode pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir.

- a. Menggunakan benda uji kering oven
- b. Meletakkan benda uji dalam saringan no. 200
- c. Mengalirkan air dengan cukup deras pada benda uji sembari menggerakkannya agar bagian yang halus lolos saringan, sedangkan bagian yang kasar tertahan.
- d. Mengulangi poin c hingga air pencucian jernih.
- e. Mengeringkan benda uji yang tertahan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}$ sampai berat tetap kemudian ditimbang.

Persentase kadar lumpur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\text{Persentase kadar lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (3.9)$$

dengan :

W_1 = Berat kering sebelum dicuci (gram)

W_2 = Berat kering setelah dicuci (gram)

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton bertujuan untuk mengetahui proporsi dan perbandingan optimal material-material yang membentuk beton supaya memenuhi kriteria-kriteria yang disyaratkan. Proporsi campuran yang optimal dapat ditentukan dengan *mix design*. Di Indonesia, standar *mix design* yang berlaku adalah SNI (Standar Nasional Indonesia). Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan rencana campuran beton.

1. Menentukan kuat tekan beton rencana (f'_c)

2. Menghitung deviasi standar berdasarkan pengalaman di lapangan. Bila data uji kurang dari 30 buah, standar deviasi dikalikan dengan faktor pengali seperti pada Tabel 3.9. Untuk data uji kurang dari 15 buah tidak ada faktor pengali, karena nilai tambah (M) sudah ditentukan sebesar minimal 12 MPa.

Tabel 3.9 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Data Uji <30

Jumlah Benda Uji	Faktor Pengali Deviasi
Kurang dari 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1

Sumber : SNI 03-2834-2000

3. Nilai tambah dapat dihitung dengan rumus :

$$M = 1,64 \times Sd \quad (3.10)$$

dengan :

M = Nilai tambah (MPa)

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

Sd = Deviasi standar rencana

4. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) dapat dihitung dengan rumus :

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.11)$$

dengan :

f'_{cr} = kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa)

f'_c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

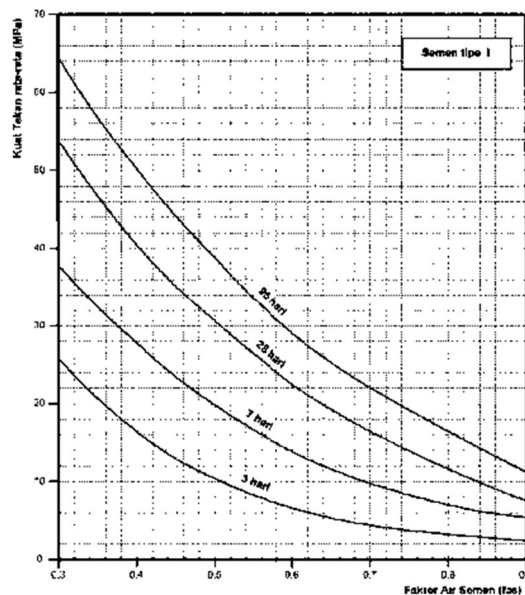
M = Nilai tambah (MPa)

5. Menentukan tipe semen yang akan digunakan
6. Menentukan jenis agregat yang akan digunakan, baik agregat halus maupun agregat kasar
7. Dengan bantuan nilai perkiraan kuat tekan dengan fas 0,5 pada Tabel 3.10 dan grafik pada Gambar 3.2, nilai fas bisa ditentukan.

Tabel 3.10 Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan Fas = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	95	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	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



Gambar 3.2 Hubungan antara Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen Benda Uji Silinder
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

8. Membandingkan nilai fas yang didapatkan pada poin 7 dengan nilai fas yang ada pada Tabel 3.11, kemudian memakai nilai fas yang terkecil.

Tabel 3.11 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Fas Maksimum

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen minimum per m ³ beton (kg)	Nilai Fas Maksimum
Beton di dalam ruangan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari secara langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari secara 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 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

Sumber : SNI 03-2834-2000

9. Menetapkan nilai *slump*.
10. Menentukan ukuran agregat maksimum
11. Menghitung kadar air bebas untuk agregat campuran dengan persamaan berikut.

$$Kadar\ air\ bebas = \frac{2}{3} Wh + \frac{1}{3} Wk \quad (3.12)$$

dengan :

Wh = Perkiraan kebutuhan air agregat halus

Wk = Perkiraan kebutuhan air agregat kasar

Nilai perkiraan kebutuhan air W_h dan W_k diambil dari Tabel 3.12 sebagai berikut.

Tabel 3.12 Perkiraan Kebutuhan Air per m^3 Beton

Ukuran Agregat Maksimum (mm)	Jenis Batuan	Slump (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

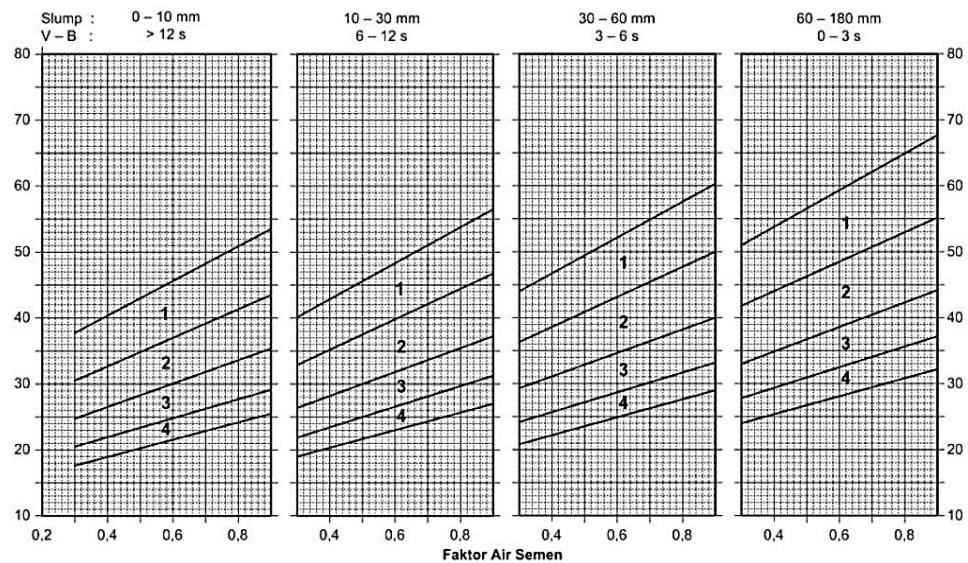
Sumber : SNI 03-2834-2000

12. Menghitung kebutuhan semen dengan persamaan berikut.

$$\text{Jumlah semen per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air semen}} \quad (3.13)$$

Selanjutnya jumlah semen hasil perhitungan Persamaan 3.13 dibandingkan dengan jumlah semen yang tertera pada Tabel 3.11. Jumlah semen yang dipakai adalah yang bernilai lebih besar.

13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik di bawah ini. Penggunaan grafik tergantung pada ukuran maksimum agregat kasar yang telah ditentukan dan besaran *slump*. Sebagai contoh salah satu grafik, untuk ukuran maksimum agregat kasar 20 mm ditampilkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Cara menggunakan grafik pada Gambar 3.3 adalah sebagai berikut.

- Memilih grafik yang cocok berdasarkan ukuran butir maksimum agregat kasar dan nilai slump yang telah ditentukan sebelumnya.
 - Membuat garis sesuai nilai f_{as} dan sejajar sumbu y sampai masuk ke area kurva gradasi agregat halus, kemudian berhenti pada batas atas kurva.
 - Menarik dua garis sejajar sumbu x, yang masing-masing berasal dari perpotongan garis poin b dengan batas atas dan batas bawah kurva kemudian mencatat nilainya.
 - Menghitung persentase agregat halus dengan cara mengambil nilai rata-rata kedua nilai yang didapat pada poin c.
 - Menghitung persentase agregat kasar dengan cara mengurangkan persentase total agregat dengan persentase agregat halus.
14. Menghitung berat jenis relatif agregat gabungan menggunakan Persamaan 3.14.

$$BJ = (\% \text{ Agregat Halus} \times BJ_{AH} + \% \text{ Agregat Kasar} \times BJ_{AK}) \quad (3.14)$$

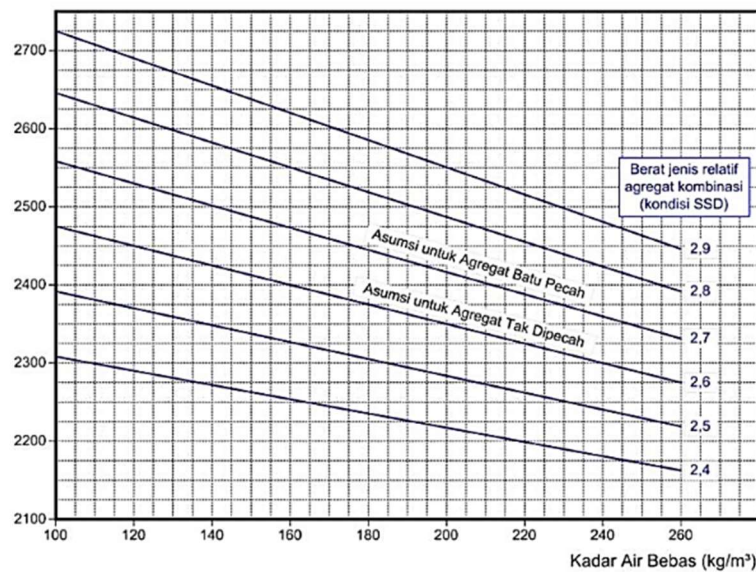
dengan :

BJ = Berat jenis relatif agregat gabungan

BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

15. Mencari nilai berat isi volume beton menggunakan grafik pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Perkiraan Berat Volume Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Cara menggunakan grafik pada Gambar 3.4 adalah sebagai berikut.

- Membuat garis dengan titik awal sesuai nilai kadar air bebas, sejajar sumbu y sampai menyentuh kurva dengan berat jenis relatif agregat gabungan dengan nilai pada poin 14.
- Bila tidak ditemukan kurva dengan nilai berat jenis relatif agregat gabungan yang sesuai, kurva dengan nilai yang sesuai bisa dibuat sendiri secara proporsional.
- Menarik garis sejajar sumbu x dari titik perpotongan ke kiri, kemudian mencatat nilainya.

16. Menghitung kadar agregat gabungan menggunakan Persamaan 3.15.

$$KAG = \text{berat volume beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.15)$$

17. Menghitung kadar agregat halus menggunakan Persamaan 3.16.

$$KAH = \frac{\% \text{Agregat Halus}}{100} \times KAG \quad (3.16)$$

18. Menghitung kadar agregat kasar menggunakan Persamaan 3.17.

$$KAK = \frac{\% \text{Agregat Kasar}}{100} \times KAG \quad (3.17)$$

19. Menghitung total berat bahan-bahan penyusun beton setiap m³.

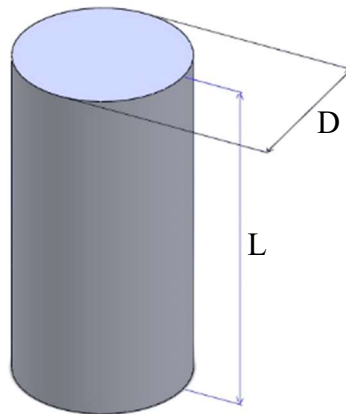
20. Menambahkan angka penyusutan pada setiap bahan penyusun beton.

3.6 Pengujian Beton

Serangkaian pengujian di laboratorium perlu dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan penyusun beton, beton segar, dan beton keras. Pertama, hasil pengujian bahan penyusun beton akan digunakan sebagai acuan dalam merancang *mix design*. Selanjutnya pengujian beton segar dilakukan setelah didapatkan komposisi campuran beton, bertujuan mengetahui sifat beton segar dan pengaruhnya pada beton yang telah mengeras. Terakhir, dilakukan pengujian beton keras untuk mengetahui kekuatan beton sesungguhnya (Mulyono, 2004).

3.6.1 Benda Uji

Mengacu pada ACI, sampel benda uji berbentuk silinder. Umumnya, benda uji silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sehingga memiliki rasio tinggi/diameter sebesar 2. Berikut ini adalah gambaran bentuk benda uji silinder dengan D merupakan diameter dan L merupakan tinggi silinder.



Gambar 3.5 Sketsa Benda Uji Silinder

3.6.2 Slump

Slump merupakan penurunan ketinggian pada permukaan atas beton yang diukur segera setelah kerucut *Abrams* diangkat (SNI 1972:2008). Semakin tinggi nilai *slump*, beton segar semakin encer sehingga mudah dikerjakan. Dalam pengujian *slump*, digunakan alat bernama kerucut *Abrams* seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kerucut *Abrams*

Pengujian *slump* dilaksanakan dengan prosedur sebagai berikut.

1. Meletakkan kerucut *Abrams* di tempat yang datar, kemudian membasahi bagian dalamnya.

2. Menuangkan beton segar ke dalam kerucut sebanyak sepertiga volume kerucut, kemudian ditusuk sebanyak 25 kali menggunakan batang pemadat, dimulai dari bagian batas pinggir kerucut sampai pada bagian tengah.
3. Mengulangi langkah nomor 2 sampai kerucut penuh.
4. Meratakan bagian atas kerucut yang sudah penuh menggunakan batang pemadat secara horizontal.
5. Mengangkat kerucut *Abrams* secara hati-hati tanpa mengusik beton segar.
6. Mengukur tinggi jatuh dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian bawah kerucut dan bagian yang mewakili penurunan beton segar.

3.6.3 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kapasitas beton dalam menanggung beban tekan sampai mengalami kegagalan. Dari sejumlah pengujian yang dilakukan pada beton, pengujian kuat tekan menjadi yang terpenting karena dapat menggambarkan karakteristik beton (Jaya, 2020). Selain itu, kuat tekan beton telah menjadi standar yang menentukan keseluruhan kekuatan beton.

Kekuatan beton akan berkembang seiring berjalannya waktu. Pada umur 28 hari, umumnya kuat tekan beton telah mencapai 90%. Menurut Mulyono (2004), kekuatan tekan beton dipengaruhi faktor-faktor berikut ini:

1. Proporsi bahan-bahan penyusun beton baik itu air, semen, agregat, dan bahan tambah.
2. Metode pencampuran yang meliputi penentuan proporsi bahan, pengadukan, pengecoran, dan pemadatan.
3. Perawatan beton yang dipengaruhi tingkat pembasahan, suhu, dan waktu.
4. Keadaan saat percobaan dilakukan.

Berdasarkan SNI 1974:2011, perhitungan kuat tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.18 berikut ini.

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \quad (3.18)$$

dengan :

Kuat tekan beton	= Kuat tekan beton dengan benda uji silinder (MPa atau N/mm ²)
P	= Gaya tekan aksial (N)
A	= Luas penampang melintang benda uji (mm ²)

3.6.4 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan salah satu sifat mekanik paling penting pada beton. Pada dasarnya, modulus elastisitas merupakan rasio tegangan dan regangan. Tegangan yang dimaksud adalah beban per satuan luas, sedangkan regangan adalah perubahan bentuk (deformasi) akibat tegangan. Vasavan (2017) menyatakan modulus elastisitas digunakan untuk mengukur kekakuan beton, yang dapat menggambarkan kekuatan beton juga. Semakin tinggi modulus elastisitas, beton akan mampu menahan tegangan yang lebih tinggi. Sebaliknya, modulus elastisitas yang rendah akan menyebabkan beton mudah melengkung dan terdeformasi. Menurut Myers (1999) untuk mencapai modulus elastisitas yang tinggi, biasanya digunakan agregat kasar berukuran besar. Untuk modulus elastisitas yang jauh lebih tinggi lagi, digunakan agregat kasar yang kaku diikat oleh pasta semen dengan fas rendah.

Modulus elastisitas adalah kemiringan garis yang menghubungkan tegangan nol ke kuat tekan 40% f'_c . Nilai 40% f'_c merupakan batas elastis kurva tegangan-regangan beton. Pada fase ini, beton masih mampu mempertahankan bentuk aslinya ketika beban dihilangkan. Selanjutnya bila beban diperbesar, beton akan memasuki fase plastis mencapai tegangan tekan maksimum dengan rentang nilai 0,002-0,003. Menurut ASTM C469-02, modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19. Menurut SNI 2847:2013 rumus untuk beton normal dapat dilihat pada Persamaan 3.20, selanjutnya untuk beton dengan w_c 1440 kg/m³- 2560 kg/m³ pada Persamaan 3.21.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.19)$$

$$Ec = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3.20)$$

$$Ec = wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \quad (3.21)$$

dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Kuat tekan saat 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Kuat tekan saat regangan longitudinal mencapai 0,00005 (MPa)

ϵ_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan saat S_2

ϵ_1 = Regangan sebesar 0,00005

$f'c$ = Tegangan tekan maksimum (MPa)

wc = Berat volume beton (kg/m^3)

3.7 Hubungan Umur dengan Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur. Dalam 28 hari *curing*, laju pertambahan kekuatan beton sangat cepat. Menurut PBI 1971, pada umur 3 hari kekuatan beton telah mencapai 40% dari kekuatan akhirnya, selanjutnya pada 7 hari mencapai 65%, dan pada 28 hari mencapai 100%. Pertambahan kekuatan beton dengan cepat terjadi karena hidrasi semen terus berlangsung dan menghasilkan C-S-H yang memberikan beton kekuatan. Laju hidrasi akan semakin tinggi seiring bertambahnya temperatur.

Menurut Thomas (2007), penggunaan *fly ash* untuk mengurangi laju pertambahan panas telah lama dilakukan. Hal ini bisa berhasil apabila beton tidak memerlukan kekuatan awal yang tinggi karena *fly ash* akan memperlambat laju hidrasi. Laju hidrasi akan semakin lambat apabila *fly ash* yang digunakan memiliki kadar kalsium rendah (Tipe F). Dalam hal ini kuat tekan beton *fly ash* akan terus bertambah seiring bertambahnya umur, namun pada 28 hari belum mencapai kuat tekan beton normal. Untuk mengatasi ini, Thomas (2007) menyarankan supaya mengurangi volume *fly ash* atau menggunakan *accelerator* apabila kuat tekan awal diperlukan.

Penggunaan *accelerator* sebagai bahan tambah terbukti mampu mempercepat laju pertambahan kuat tekan beton. Sulistyawati (2009) menggunakan *accelerator* dengan merk *Bestmittel* pada beton normal, menghasilkan beton 7 hari yang kekuatannya setara beton 28 hari. Penggunaan *Bestmittel* sebanyak 0,4% dari berat total semen dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan 67% lebih tinggi dari beton normal pada 7 hari. Berikut ini adalah hasil pengujian yang dilakukan Sulistyawati (2009).

Tabel 3.13 Kuat Tekan Beton dengan *Bestmittel*

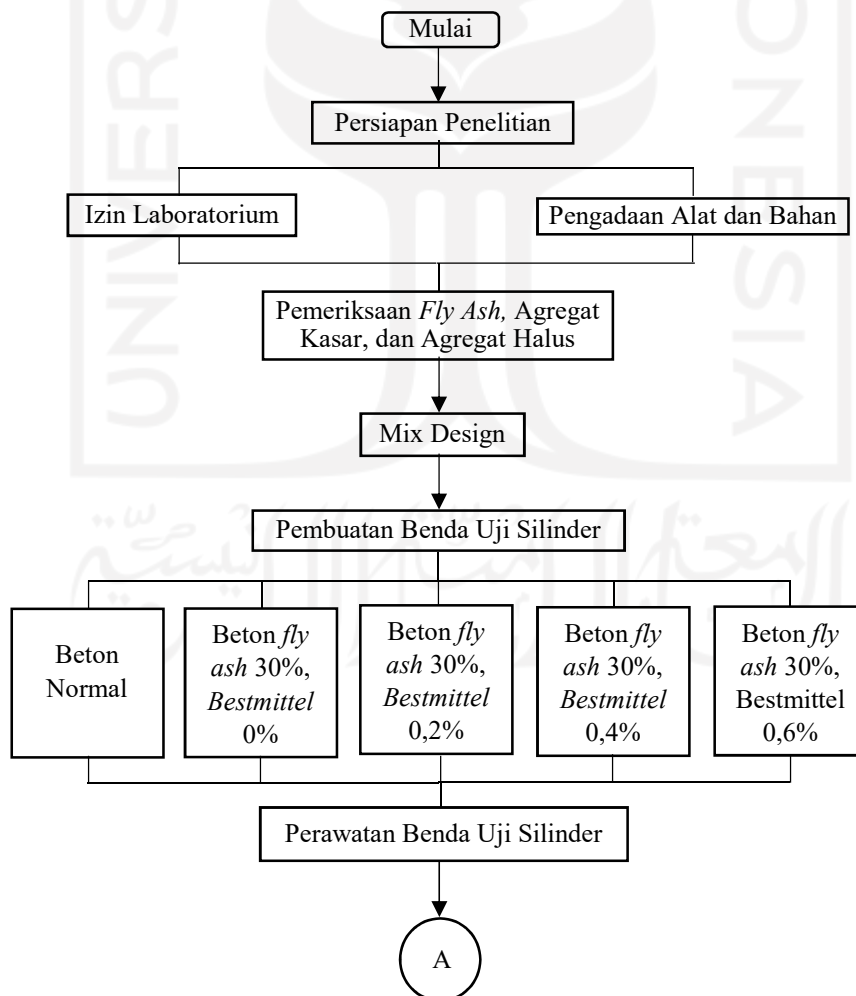
Variasi	Kuat Tekan (MPa)		
	Umur		
	7	14	28
B. Normal	16,487	22,246	32,076
B. Variasi 0,2%	24,474	21,336	32,476
B. Variasi 0,4%	33,324	32,046	34,975
B. Variasi 0,6%	29,573	34,866	34,068

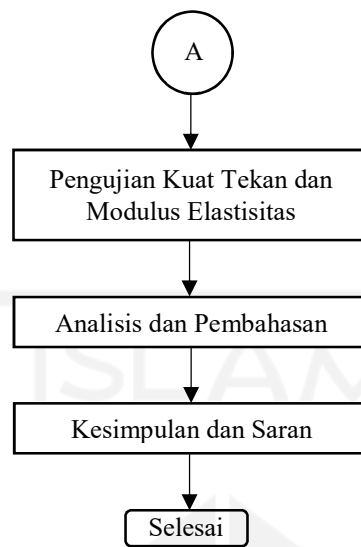
Sumber : Sulistyawati (2009)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Sukandarrumidi (2012) menjelaskan metode penelitian merupakan cara utama yang digunakan oleh peneliti untuk mencapai tujuan dan menjawab permasalahan yang ada. Dalam metode penelitian akan diatur mengenai prosedur setiap pekerjaan dari awal sampai akhir. Pada prosesnya penelitian ini dilakukan secara eksperimental, dengan langkah-langkah sistematis dan terencana untuk mencapai tujuan penelitian. Sebagai gambaran umum prosedur penelitian, disajikan bagan alir/*flowchart* yang terdapat pada Gambar 4.1





Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir pada Gambar 4.1 akan sedikit dipaparkan di bawah ini. Untuk pemaparan yang lebih detail dimulai pada sub bab 4.2.

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan berupa persiapan material dan peralatan pengujian dan studi literatur.

2. Pemeriksaan *Fly Ash*, Agregat Kasar, dan Agregat Halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan material apabila digunakan untuk membuat beton. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi sebagai berikut.

- a. Komposisi kimia *fly ash* dengan metode *X-Ray Fluorescence*
- b. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar mengacu SNI 03-1969-1990
- c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus mengacu SNI 03-1970-1990
- d. Analisa saringan agregat kasar mengacu SNI 03-1968-1990
- e. Analisa saringan agregat halus mengacu SNI 03-1968-1990
- f. Berat volume padat dan gembur agregat kasar mengacu SNI 03-4804-1998
- g. Berat volume padat dan gembur agregat halus mengacu SNI 03-4804-1998
- h. Kadar lumpur dalam pasir mengacu SNI-03-4142-1996

3. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton pada penelitian ini menggunakan pedoman SNI 03-2834-2000. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan kebutuhan masing-masing bahan penyusun agar dapat membentuk beton dengan mutu yang telah direncanakan. Hasil pemeriksaan material pada langkah sebelumnya dijadikan dasar dalam melakukan perencanaan campuran. Hasil akhir pada tahap ini adalah proporsi setiap material penyusun beton dalam satuan berat.

4. Pembuatan Benda Uji Silinder

Ketika perencanaan campuran beton telah selesai dibuat, dilakukan pembuatan benda uji silinder. Tahapan ini dilakukan dengan mencampurkan seluruh material sesuai dengan *mix design* ke dalam *mixer* untuk diaduk menjadi beton segar. Selanjutnya dilakukan pengujian *slump* untuk mengetahui konsistensi beton segar, lalu beton segar dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Setelah 24 jam, cetakan dilepas kemudian beton direndam dalam air untuk proses *curing*.

5. Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 3, 7, dan 28 hari. Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada pedoman SNI 1974:2011. Pengujian modulus elastisitas beton mengacu pada pedoman ASTM C469-02 dan SNI 2847:2013.

6. Analisis Data dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis data-data pengujian yang telah dilaksanakan dengan bantuan *Microsoft Excel*. Selanjutnya dilakukan pembahasan untuk menjelaskan hasil pengujian.

7. Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, dibuat kesimpulan mengenai pembahasan hasil pengujian yang sesuai dengan rumusan masalah. Untuk melengkapi kesimpulan, dibuat saran mengenai hal-hal yang menyangkut topik penelitian ini.

4.2 Persiapan Penelitian

Sebelum bisa melakukan penelitian, diperlukan persiapan seluruh aspek yang diperlukan demi kelancaran penelitian. Studi literatur telah dilakukan dalam

penyusunan Proposal Penelitian. Selanjutnya hal yang perlu dipersiapkan adalah sebagai berikut.

4.2.1 Izin Pemakaian Laboratorium

Lokasi pelaksanaan penelitian berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia (Laboratorium BKT). Penelitian ini telah mendapatkan izin dari pihak Laboratorium BKT dan Jurusan Teknik Sipil untuk dilaksanakan pada 13 Desember 2021 sampai 13 Januari 2022 dalam hal pembuatan benda uji. Selanjutnya pengujian dilaksanakan pada 13 Februari sampai 13 Maret 2022.

4.2.2 Peralatan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, diperlukan alat-alat untuk mendukung berjalannya penelitian. Peralatan pada uraian di bawah ini sepenuhnya disediakan oleh Laboratorium BKT. Kegunaan alat-alat tersebut akan dijelaskan pada uraian sebagai berikut.

1. Alat Pembuatan Benda Uji

Alat pembuatan benda uji merupakan alat bantu untuk membuat benda uji secara lebih mudah dan efektif. Alat pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Alat Pembuatan Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Ayakan Agregat Kasar	Mengayak agregat kasar
2	Ayakan Agregat Halus	Mengayak agregat halus
3	Timbangan	Menimbang bahan untuk pengujian
4	Ember	Menampung bahan uji sebelum digunakan
5	Gelas Ukur	Menakar air dan <i>Bestmittel</i>
6	Cetakan Silinder Beton	Memberi bentuk silinder pada beton segar
7	<i>Mixer</i>	Mencampur bahan uji supaya membentuk beton segar
8	Kerucut <i>Abrams</i>	Menguji <i>slump</i>
9	Mistar/Meteran	Mengukur nilai <i>slump</i>
10	Tongkat Besi	Memadatkan beton segar dalam cetakan

Lanjutan Tabel 4.1

No	Nama Alat	Kegunaan
11	Palu Karet	Memadatkan beton segar dalam cetakan
12	Sendok Semen	Meratakan permukaan beton segar dalam cetakan
13	Spatula	Menambah atau mengurangi kelebihan semen ketika ditimbang
14	Alat Tulis	Mencatat data yang diperlukan
15	Kompas	Melelehkan serbuk belerang
16	Panci	Wadah untuk melelehkan serbuk belerang

2. Alat Pengujian

Alat pengujian merupakan alat dan kelengkapannya pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Alat Pengujian

No	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Compressive Testing Machine</i>	Menguji kuat tekan beton
2	<i>Dial Gauge</i>	Mengukur regangan beton

4.2.3 Bahan Penelitian

Bahan dan material yang diperlukan untuk membuat silinder beton adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Hasil pemeriksaan menunjukkan seluruh kemasan semen tertutup rapat dan bebas air. Di lokasi penjual, semen disimpan di tempat yang teduh dan tidak lembap. Ketika semen dituang, mudah terbang tertiup angin dan tidak ada semen yang menggumpal. Hal ini menandakan kualitas semen masih terjaga.

2. Agregat

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan agregat lolos saringan no. 4 yang berasal dari Gunung Merapi. Secara visual, agregat halus yang digunakan dalam keadaan kering berwarna keabu-abuan yang menandakan tidak banyak mengandung lumpur. Ketika dipegang, teksturnya sedikit kasar karena butirannya tidak terlalu kecil. Agregat halus yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Agregat Halus yang Digunakan

Agregat kasar yang digunakan merupakan *split* berukuran maksimum 20 mm dari Clereng, Kulon Progo. Agregat kasar yang digunakan berbentuk tidak beraturan dan bersudut dengan permukaan yang kasar. Secara kasat mata dapat dilihat permukaan agregat kasar berwarna coklat kemerahan yang artinya permukaan agregat terselimuti lumpur. 24 jam sebelum pengecoran, agregat kasar dicuci untuk menghilangkan lumpur yang menyelimutinya. Agregat kasar yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Agregat Kasar yang Digunakan

3. Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji berupa air tawar yang berasal dari Laboratorium BKT. Hasil pemeriksaan secara visual menunjukkan air dari

Laboratorium BKT dalam kondisi jernih dan bebas dari zat yang tidak diperlukan. Tidak ada keanehan dalam hal warna, rasa, dan bau.

4. *Bestmittel*

Zat aditif yang digunakan merupakan *Bestmittel* yang didapatkan dari toko perlengkapan bangunan di Kota Solo. Kondisi kemasan *Bestmittel* masih tersegel rapat, kaleng kemasan dalam kondisi baik, dan dibungkus rapi terhindar dari panas matahari. Kemasan *Bestmittel* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Bestmittel* Kemasan 1 Kg

5. *Fly Ash*

Fly ash yang digunakan merupakan residu pembakaran batu bara pada PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Berdasarkan kandungannya, *fly ash* yang digunakan merupakan tipe C. *Fly ash* dikirim dari Probolinggo menggunakan kargo dan diterima dalam keadaan baik. *Fly ash* dikemas menggunakan karung yang dilapisi plastik sehingga kedap air. Ketika kemasan *fly ash* dibuka, *fly ash* dalam kondisi kering dan tidak menggumpal. Butiran *fly ash* sangat halus mirip semen. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat kemiripan antara semen (kiri) dan *fly ash* (kanan).



Gambar 4.5 Semen dan *Fly Ash*

4.3 Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Material penyusun beton yang diperiksa meliputi *fly ash*, agregat kasar, dan agregat halus sebagai berikut.

4.3.1 *Fly Ash*

Sebelum digunakan sebagai campuran beton, dilakukan pemeriksaan yang bertujuan untuk mengidentifikasi tipe dan senyawa penyusun *fly ash*. Pemeriksaan *fly ash* menggunakan metode *X-Ray Fluorescence*, dilaksanakan oleh laboran di Laboratorium Mineral dan Material Maju, Universitas Negeri Malang. Sampel yang diperlukan untuk pemeriksaan ini adalah *fly ash* dalam bentuk serbuk minimal sejumlah 5 gram, berasal dari PLTU Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. Hasil pengujian XRF dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kandungan Senyawa *Fly Ash*

Senyawa	Kadar di dalam <i>Fly Ash</i> (%)
Al_2O_3	10,0
SiO_2	29,6
SO_3	1,10
K_2O	1,43
CaO	25,0

Lanjutan Tabel 4.3

Senyawa	Kadar di dalam <i>Fly Ash</i> (%)
TiO ₂	1,29
V ₂ O ₅	0,05
Cr ₂ O ₃	0,08
MnO	0,35
Fe ₂ O ₃	28,60
CuO	0,053
ZnO	0,04
SrO	0,56
MoO ₃	0,70
BaO	0,20
Eu ₂ O ₃	0,31
Re ₂ O ₇	0,06
HgO	0,21

Hasil pemeriksaan menunjukkan kadar Al₂O₃ + SiO₂ + Fe₂O₃ di dalam *fly ash* sebanyak 68,20%, sedangkan kadar SO₃ sebanyak 1,10%. Berdasarkan SNI 2640:2014, *fly ash* termasuk tipe C karena kadar Al₂O₃ + SiO₂ + Fe₂O₃ melebihi 50% dan kadar SO₃ kurang dari 5%.

4.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berupa batu pecah yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Untuk mengetahui karakteristik batu pecah ini, dilakukan rangkaian pemeriksaan sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Serapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Benda uji pada pemeriksaan ini adalah agregat kasar yang tertahan saringan no. 4 sejumlah 5000 gram. Berikut adalah metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.

- Mencuci agregat kasar untuk menghilangkan debu dan lumpur yang menempel pada permukaan.
- Merendam agregat kasar dalam air pada suhu ruangan selama (24 ± 4) jam.

- c. Meniriskan agregat kasar yang telah direndam dengan cara dilap menggunakan kain kering sampai permukaan agregat bebas dari selaput air sehingga telah didapatkan agregat kasar dalam kondisi SSD.
- d. Agregat kasar SSD ditimbang sebanyak 5000 gram sebagai berat benda uji jenuh kering permukaan (Bj).
- e. Meletakkan benda uji agregat kasar SSD ke dalam keranjang air kemudian digoncangkan untuk mengeluarkan udara yang terperangkap di sela agregat. Selanjutnya benda uji ditimbang untuk mengetahui beratnya di dalam air (Ba) dan suhu air tersebut diukur.
- f. Mengeluarkan benda uji dari dalam air, kemudian meletakkan pada nampan untuk dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
- g. Setelah 24 jam, benda uji dikeluarkan dari oven untuk ditimbang. Hasil penimbangan benda uji merupakan berat benda uji kering oven (Bk).
- h. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan sebanyak dua kali secara bersamaan untuk mendapatkan dua nilai yang berbeda untuk dirata-rata.

Data pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Berat Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4945,00	4960,00	4952,50	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000,00	5000,00	5000,00	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3160,00	3162,00	3161,00	gram

Setelah nilai Bj, Ba, dan Bk didapatkan, berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air dapat dihitung dengan

Persamaan 3.1, Persamaan 3.2, Persamaan 3.3, dan Persamaan 3.4. Berikut ini adalah contoh perhitungan Sampel I.

Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)	$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$ $= \frac{4945}{5000 - 3160}$ $= 2,69$
Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD)	$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$ $= \frac{5000}{5000 - 3160}$ $= 2,72$
Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)	$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$ $= \frac{4945}{4945 - 3160}$ $= 2,77$
Penyerapan air	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$ $= \frac{5000 - 4945}{4945} \times 100\%$ $= 1,11\%$

Hasil olah data pemeriksaan ini dapat dilihat di Bab V.

2. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi dan modulus halus butir (MHB) agregat kasar. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Berikut adalah metode analisa saringan.

- a. Memasukkan agregat kasar ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, dikeringkan selama ± 24 jam.
- b. Mengeluarkan agregat kasar kemudian mendinginkannya. Didapatkan agregat kasar kering oven.
- c. Menimbang benda uji agregat kering oven sebanyak 5000 gram

- d. Menyusun satu set saringan dari lubang terbesar hingga terkecil kemudian memasukkan benda uji pada saringan tersebut untuk diayak menggunakan mesin pengguncang.
- e. Benda uji dikeluarkan dari masing-masing saringan dan diletakkan pada wadah.
- f. Menimbang dan mencatat berat benda uji pada setiap ukuran saringan.
- g. Analisa saringan dilakukan dua kali supaya mendapatkan hasil yang lebih teliti.

Berat benda uji setiap ukuran saringan yang sudah dicatat, dimasukkan ke dalam tabel untuk mempermudah pembacaan. Berikut adalah metode pengolahan data analisa saringan.

- a. Data yang didapatkan setelah pemeriksaan berupa berat tertinggal pada setiap ukuran saringan (gram) secara berurutan mulai dari ukuran ayakan 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan sisa.
- b. Data berat tertinggal pada setiap ukuran lubang ayakan yang masih dalam satuan gram, dibuat menjadi persentase.
- c. Data berat tertinggal dalam persentase dijumlahkan secara kumulatif mulai dari ukuran ayakan 40 mm sampai dengan sisa.
- d. Data berat tertinggal kumulatif setiap ukuran ayakan dijumlahkan. Nilai ini yang akan diolah menjadi nilai modulus halus butir (MHB).
- e. Nilai persentase lolos kumulatif didapatkan dengan cara mengurangi 100% dengan persentase berat tertinggal kumulatif.
- f. Dengan cara *trial*, grafik dibuat dengan memasukkan data persentase lolos kumulatif mulai dari ukuran lubang ayakan 4,8 mm sampai 40 mm menggunakan *Microsoft Excel*.
- g. Memasukkan data persentase butir agregat lolos ayakan yang telah disyaratkan SNI 03-2834-2000 ke dalam grafik untuk dijadikan batas atas dan batas bawah.

- h. Data persentase lolos kumulatif berada dalam rentang batas atas dan batas bawah ukuran butiran maksimum 20 mm. Artinya agregat kasar yang menjadi benda uji memenuhi syarat ukuran butiran maksimum 20 mm.

Hasil olah data analisis saringan dapat dilihat pada Bab V.

3. Pemeriksaan Berat Isi

Pemeriksaan ini bertujuan menentukan berat volume padat dan gembur agregat kasar. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4804-1998. Berikut adalah metode pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat kasar.

- a. Mencuci agregat kasar untuk menghilangkan debu dan lumpur yang menempel pada permukaan.
- b. Merendam agregat kasar dalam air pada suhu ruangan selama (24 ± 4) jam.
- c. Meniriskan agregat kasar yang telah direndam dengan cara dilap menggunakan kain kering sampai permukaan agregat bebas dari selaput air sehingga telah didapatkan agregat kasar dalam kondisi SSD.
- d. Menimbang berat silinder (W1) dan mengukur dimensinya minimal tiga kali.
- e. Meletakkan silinder ukur di tempat datar.
- f. Untuk pengujian berat volume padat, benda uji dimasukkan setiap 1/3 kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata, sampai volume penuh kemudian diratakan.
- g. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai penuh, kemudian diratakan.
- h. Menimbang berat silinder berisi benda uji (W2).
- i. Pemeriksaan dilakukan masing-masing dua kali untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.

Data pengujian ditulis dalam Tabel 4.5 untuk berat isi gembur dan Tabel 4.6 untuk berat isi padat.

Tabel 4.5 Data Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17725	17677	17701	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm

Tabel 4.6 Data Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18531	18482	18506,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm

Setelah seluruh data didapatkan, dilakukan pengolahan data. Berikut ini adalah contoh perhitungan berat isi gembur Sampel I. Perhitungan berat isi padat sama seperti perhitungan berat isi gembur sehingga tidak memerlukan contoh perhitungan.

- a. Berat agregat SSD (W3) $= W2 - W1$
 $= 17725 - 10519$
 $= 7206 \text{ gram}$
- b. Volume silinder (V) $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,98^2 \times 30,06$
 $= 5294,94 \text{ cm}^3$
- c. Berat volume gembur $= \frac{W3}{V}$
 $= \frac{7206}{5294,94}$
 $= 1,36 \text{ gram/cm}^3$

Hasil olah data pemeriksaan berat isi dapat dilihat di Bab V.

4.3.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berupa pasir yang berasal dari Gunung Merapi, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebelum digunakan sebagai agregat halus dalam campuran beton, pasir diperiksa terlebih dahulu untuk mengetahui karakteristiknya.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Serapan Air

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat halus yang akan digunakan dalam perancangan campuran (*mix design*) dan penyerapan air. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1970-1990. Berikut adalah metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan.

- a. Memasukkan agregat halus dalam keadaan SSD sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, kemudian memasukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, lalu putar piknometer sambil diguncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya.
- b. Menambahkan air dalam piknometer sampai tanda batas.
- c. Menimbang piknometer berisi benda uji dan air (Bt).
- d. Mengeluarkan agregat halus dari piknometer, kemudian mengeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- e. Mengeluarkan agregat halus dari oven.
- f. Setelah dingin, benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji kering oven (Bk).
- g. Menimbang berat piknometer berisi air (B) dan ukur suhu air.

Data pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Berat Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat pasir kering mutlak (Bk)	476,00	479,00	477,50	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (Bj)	500,00	500,00	500,00	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1140,00	1143,00	1141,50	gram
Berat piknometer berisi air (B)	839,00	837,00	838,00	gram

Setelah nilai B, Bj, Bt, dan Bk didapatkan, berat jenis curah, berat jenis jenuh kering permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air dapat dihitung dengan Persamaan 3.5, Persamaan 3.6, Persamaan 3.7, dan Persamaan 3.8. Berikut ini adalah contoh perhitungan Sampel I.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B + 500 - Bt} \\
 &= \frac{476}{839 + 500 - 1140} \\
 &= 2,39
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis jenuh kering permukaan} &= \frac{500}{B + 500 - Bt} \\
 &= \frac{500}{839 + 500 - 1140} \\
 &= 2,51
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \\
 &= \frac{476}{839 + 476 - 1140} \\
 &= 2,72
 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{500 - 476}{476} \times 100\%$$

$$= 5,04\%$$

Hasil olah data pemeriksaan berat jenis dan serapan air agregat halus dapat dilihat di Bab V.

2. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-1968-1990. Berikut adalah metode analisa saringan.

- a. Memasukkan agregat halus ke dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, dikeringkan selama ± 24 jam.
- b. Mengeluarkan agregat halus kemudian mendinginkannya. Didapatkan agregat halus kering oven.
- c. Menimbang benda uji agregat halus kering oven sebanyak 2000 gram.
- d. Menyusun satu set saringan dari lubang terbesar hingga terkecil kemudian memasukkan benda uji pada saringan tersebut untuk diayak menggunakan mesin pengguncang selama 10-15 menit.
- e. Benda uji dikeluarkan dari masing-masing saringan dan diletakkan pada wadah.
- f. Menimbang dan mencatat berat benda uji pada setiap ukuran saringan.
- g. Analisa saringan dilakukan dua kali supaya mendapatkan hasil yang lebih teliti.

Berat benda uji setiap ukuran saringan yang sudah dicatat, dimasukkan ke dalam tabel untuk mempermudah pembacaan. Berikut adalah metode pengolahan data analisa saringan.

- a. Data yang didapatkan setelah pemeriksaan berupa berat tertinggal pada setiap ukuran saringan (gram) secara berurutan mulai dari ukuran ayakan 40 mm, 20 mm, 10 mm, 4,80 mm, 2,40 mm, 1,20 mm, 0,60 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan sisa.
- b. Data berat tertinggal pada setiap ukuran lubang ayakan yang masih dalam satuan gram, dibuat menjadi persentase.

- c. Data berat tertinggal dalam persentase dijumlahkan secara kumulatif mulai dari ukuran ayakan 40 mm sampai dengan sisa.
- d. Data berat tertinggal kumulatif setiap ukuran ayakan dijumlahkan. Nilai ini yang akan diolah menjadi nilai modulus halus butir (MHB).
- e. Nilai persentase lolos kumulatif didapatkan dengan cara mengurangi 100% dengan persentase berat tertinggal kumulatif.
- f. Setelah seluruh nilai persentase lolos kumulatif didapatkan, grafik gradasi bisa dibuat dengan cara *trial*.
- g. Grafik dibuat dengan memasukkan data persentase lolos kumulatif mulai dari ukuran lubang ayakan 0,15 mm sampai 10 mm menggunakan *Microsoft Excel*.
- h. Memasukkan data persentase butir agregat lolos ayakan yang telah disyaratkan SNI 03-2834-2000 ke dalam grafik untuk dijadikan batas atas dan batas bawah.
- i. Data persentase lolos kumulatif berada dalam rentang batas atas dan batas bawah Daerah II. Artinya agregat halus yang menjadi benda uji memenuhi syarat gradasi Daerah II (pasir agak kasar).

Hasil olah data analisis saringan dapat dilihat pada bab V.

3. Pemeriksaan Berat Isi

Pemeriksaan ini bertujuan menentukan berat volume padat dan gembur agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4804-1998. Berikut adalah metode pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat halus.

- a. Menggunakan agregat halus dalam kondisi SSD sebagai benda uji.
- b. Menimbang berat silinder (W_1) dan mengukur diameter (D) dan tinggi (H) silinder minimal tiga kali.
- c. Meletakkan silinder ukur di tempat datar.
- d. Untuk pengujian berat volume padat, benda uji dimasukkan setiap $1/3$ kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata, sampai volume penuh kemudian diratakan.
- e. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder ukur sampai penuh, kemudian diratakan.

- f. Menimbang berat silinder berisi benda uji (W2).
 g. Pemeriksaan dilakukan masing-masing dua kali untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.

Data pengujian ditulis dalam Tabel 4.8 untuk berat isi gembur dan Tabel 4.9 untuk berat isi padat.

Tabel 4.8 Data Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	12585	12468	12526,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm

Tabel 4.9 Data Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	13942	13983	13962,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm

Setelah seluruh data didapatkan, dilakukan pengolahan data. Berikut ini adalah contoh perhitungan berat isi gembur Sampel I. Perhitungan berat isi padat sama seperti perhitungan berat isi gembur sehingga tidak memerlukan contoh perhitungan.

- a. Berat agregat SSD (W3) $= W2 - W1$
 $= 12585 - 5522$
 $= 7063 \text{ gram}$
- b. Volume silinder (V) $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$
 $= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,75^2 \times 30,23$
 $= 5163,45 \text{ cm}^3$
- c. Berat volume gembur $= \frac{W3}{V}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{7063}{5163,45} \\
 &= 1,37 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

4. Pemeriksaan Kandungan Lumpur dalam Pasir

Pemeriksaan ini bertujuan menentukan persentase lumpur yang terkandung di dalam agregat halus. Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4142-1996. Berikut adalah metode pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir.

- a. Menggunakan benda uji agregat halus kering oven sebanyak 500 gram (W1).
- b. Meletakkan benda uji dalam saringan no. 200.
- c. Mengalirkan air dengan cukup deras pada benda uji sembari menggerakkannya agar bagian yang halus lolos saringan, sedangkan bagian yang kasar tertahan.
- d. Mengulangi poin c hingga air pencucian jernih.
- e. Mengeringkan benda uji yang tertahan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ$ sampai berat tetap kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat setelah dicuci (W2).
- f. Untuk Sampel I, didapatkan nilai W2 sebesar 491 gram.
- g. Untuk Sampel II, didapatkan nilai W2 sebesar 491 gram.

Setelah mendapatkan data W2, persentase kadar lumpur dapat dihitung. Berikut ini adalah contoh perhitungan persentase kadar lumpur Sampel I.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase kadar lumpur} &= \frac{W1 - W2}{W1} \\
 &= \frac{500 - 491}{500} \\
 &= 1,8 \%
 \end{aligned}$$

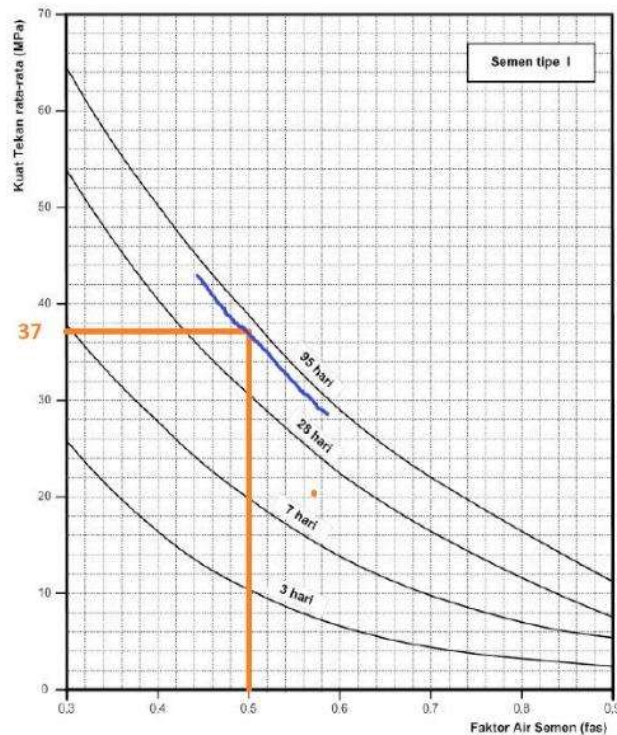
4.4 Perencanaan Campuran Beton

Setelah mendapatkan data yang diperlukan dari pemeriksaan bahan penyusun beton, tahap selanjutnya adalah merencanakan campuran beton (*mix design*). Dalam merencanakan campuran beton, mutu beton perlu ditentukan terlebih dahulu. Tujuan tahap ini adalah untuk menentukan proporsi setiap bahan penyusun beton agar beton yang dibuat mencapai mutu yang ditargetkan. Pada penelitian ini

perencanaan campuran beton menggunakan pedoman SNI 03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana beton normal 25 MPa, yang langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan yang direncanakan (f'_c) = 25 MPa.
2. Nilai tambah (M) = 12 MPa, karena benda uji kurang dari 15 buah.
3. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}).

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + M \\ &= 25 + 12 \\ &= 37 \text{ MPa} \end{aligned}$$
4. Semen yang digunakan merupakan semen portland tipe I dengan merk Tiga Roda.
5. Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.
 - a. Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm.
 - b. Agregat halus berupa pasir alami.
6. Nilai fas ditentukan dengan cara sebagai berikut.
 - a. Perkiraan kuat tekan dari Tabel 3.10 diketahui dari jenis semen, jenis agregat, bentuk benda uji, dan umur beton. Dari Tabel 3.10, didapatkan perkiraan kuat tekan beton sebesar 37 MPa dengan fas 0,5.
 - b. Melihat grafik “Hubungan antara Kuat Tekan dengan Faktor Air Semen Benda Uji Silinder” pada Gambar 3.2.
 - c. Membuat garis vertikal ke atas melalui fas 0,5. Selanjutnya membuat garis horizontal ke kanan melalui kuat tekan rata-rata 37 MPa sampai memotong garis vertikal.
 - d. Membuat kurva yang proporsional dengan kurva yang telah ada pada grafik tersebut.
 - e. Karena f'_{cr} bernilai 37 MPa, didapatkan nilai fas 0,5 seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan

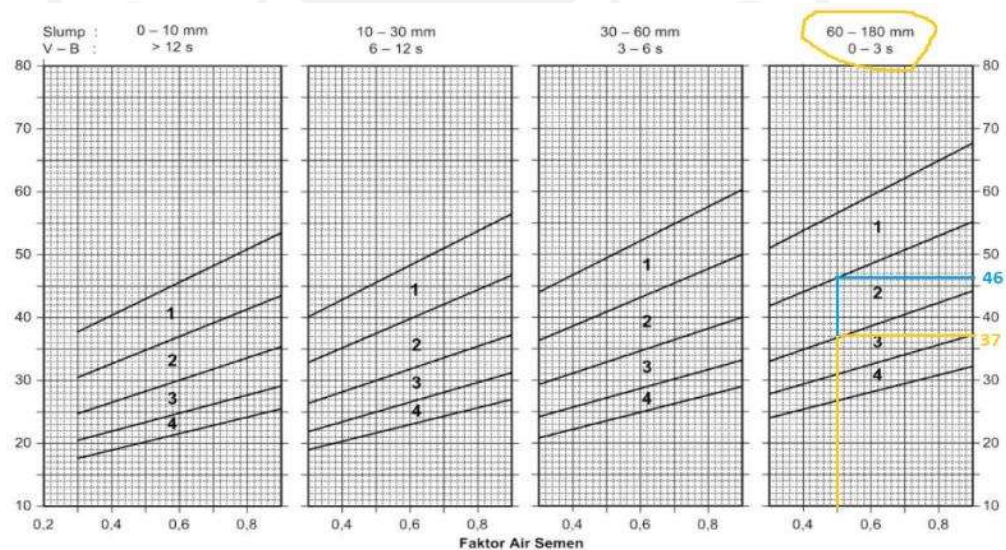
7. Beton pada penelitian dibuat dengan asumsi akan digunakan di dalam ruangan dengan keadaan keliling non korosif. Pada Tabel 3.11, beton jenis ini disyaratkan menggunakan fas maksimum 0,6.
8. Nilai fas yang dipakai merupakan nilai terendah antara poin 6 dan poin 7 sehingga didapatkan nilai 0,5.
9. Nilai *slump* rencana sebesar 80-120 mm.
10. Sesuai Tabel 3.12, perkiraan kebutuhan air agregat halus (W_h) dan agregat kasar (W_k) untuk agregat maksimum 20 mm dan *slump* 60-180 mm adalah 195 dan 225 secara berurutan. Selanjutnya kadar air bebas dapat dihitung dengan Persamaan 3.12 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

11. Kadar semen dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah semen per } m^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{Faktor air semen}} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg}/m^3
 \end{aligned}$$

12. Jumlah semen untuk beton di dalam ruangan dengan keadaan keliling non korosif menurut Tabel 3.11 adalah sebesar $275 \text{ kg}/m^3$, tetapi jumlah semen yang dipakai adalah sesuai perhitungan pada poin 11 sebesar $410 \text{ kg}/m^3$. Hal ini dikarenakan nilai hasil perhitungan telah melebihi batas minimum sebesar $275 \text{ kg}/m^3$.
13. Persentase agregat halus dapat dicari nilainya dengan menggunakan grafik pada Gambar 4.7, dengan nilai *fas* dan *slump* yang telah ditentukan.



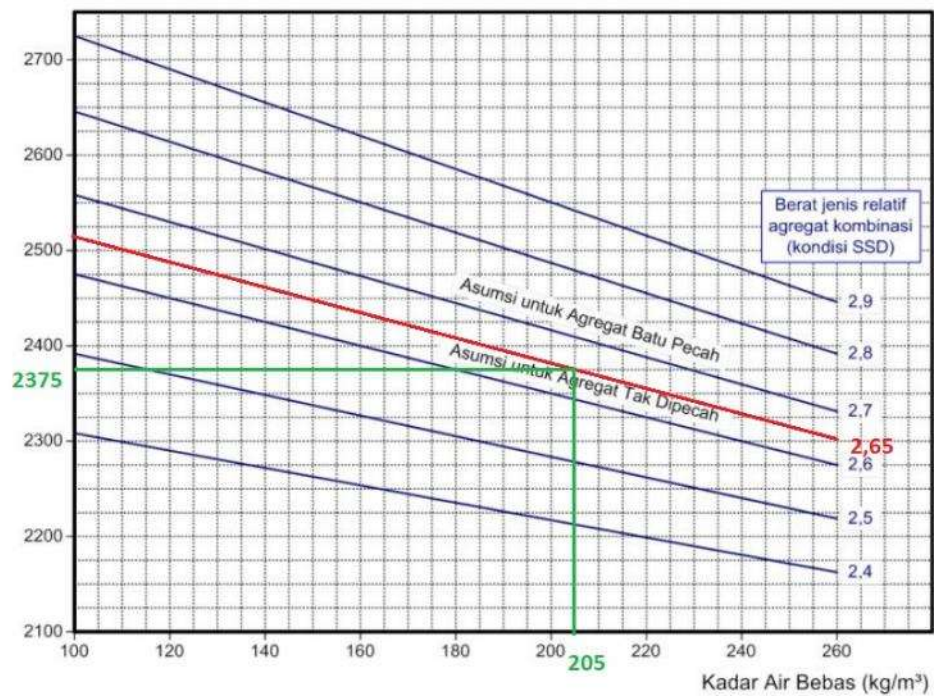
Gambar 4.7 Persentase Agregat Halus

Pada Gambar 4.7, dengan *fas* 0,5 dan *slump* 60-180 mm didapatkan nilai pada batas bawah sebesar 37% dan pada batas atas sebesar 46%. Selanjutnya diambil rata-rata dari kedua nilai tersebut sehingga nilai yang dipakai sebagai persentase agregat halus adalah sebesar 41,50%. Sementara itu, nilai persentase agregat kasar diperoleh nilai sebesar 58,50%.

14. Nilai berat jenis agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan hasil pengujian di laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BJ &= (\% \text{ Agregat Halus} \times BJ_{AH} + \% \text{ Agregat Kasar} \times BJ_{AK}) \\
 &= (41,50\% \times 2,54 + 58,50\% \times 2,72) \\
 &= 2,65
 \end{aligned}$$

15. Berat volume beton dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 4.8 sebagai berikut.



Gambar 4.8 Perkiraan Berat Volume Beton

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, dengan kadar air bebas sebesar 205 kg/m³ dan berat jenis gabungan sebesar 2,65, dapat diperoleh perkiraan berat volume beton sebesar 2375 kg/m³.

16. Kadar agregat gabungan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15.

$$\begin{aligned}
 KAG &= \text{berat volume beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\
 &= 2375 - 410 - 205 \\
 &= 1760 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Menghitung kadar agregat halus menggunakan Persamaan 3.16.

$$\begin{aligned}
 KAH &= \frac{\% \text{Agregat Halus}}{100} \times KAG \\
 &= \frac{41,50}{100} \times 1760 \\
 &= 730,40 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

18. Menghitung kadar agregat kasar menggunakan Persamaan 3.17.

$$\begin{aligned}
 KAK &= \frac{\% \text{Agregat Kasar}}{100} \times KAG \\
 &= \frac{58,50}{100} \times 1760 \\
 &= 1029,60 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

19. Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diketahui kebutuhan bahan penyusun beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg/m³
- b. Air = 205 kg/m³
- c. Agregat Halus = 730,40 kg/m³
- d. Agregat Kasar = 1029,60 kg/m³

20. Untuk mengantisipasi terjadinya kekurangan material ketika proses *mixing*, angka penyusutan perlu ditambahkan. Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan sebesar 25%, sehingga kebutuhan bahan penyusun beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 x 1,25
= 512,50 kg/m³
- b. Air = 205 x 1,25
= 256,25 kg/m³
- c. Agregat Halus = 730,40 x 1,25

$$= 913 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{d. Agregat Kasar} = 1029,60 \times 1,25$$

$$= 1287 \text{ kg/m}^3$$

21. Ada lima variasi campuran beton dalam penelitian ini. Setiap variasi membutuhkan 15 benda uji silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Volume satu variasi campuran adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume 15 silinder} &= 15 \times \frac{1}{4} \times \frac{22}{7} \times (0,15)^2 \times 0,3 \\ &= 0,0795 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

22. Setelah dilakukan perhitungan pada poin 21, kebutuhan masing-masing bahan penyusun beton tiap variasi (sejumlah 15 benda uji) dapat dihitung seperti di bawah ini.

$$\text{a. Semen} = \text{Berat bahan per m}^3 \times \text{Volume satu variasi}$$

$$= 512,50 \times 0,0795$$

$$= 40,755 \text{ kg}$$

$$\text{b. Air} = \text{Berat bahan per m}^3 \times \text{Volume satu variasi}$$

$$= 256,25 \times 0,0795$$

$$= 20,377 \text{ kg}$$

$$\text{c. Agregat Halus} = \text{Berat bahan per m}^3 \times \text{Volume satu variasi}$$

$$= 913 \times 0,0795$$

$$= 72,603 \text{ kg}$$

$$\text{d. Agregat Kasar} = \text{Berat bahan per m}^3 \times \text{Volume satu variasi}$$

$$= 1287 \times 0,0795$$

$$= 102,344 \text{ kg}$$

23. Rekapitulasi perencanaan campuran beton dengan metode SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan	
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Mpa	
2	Standar Deviasi	-	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	Mpa	
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa	
5	Jenis Semen	Tipe I		
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah		
	Jenis Agregat Halus	Alami		
7	Faktor air semen bebas (Fas)	0,5		
	Faktor air semen maksimum	0,6		
8	FAS digunakan	0,5		
9	Slump	80-120	mm	
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm	
11	Kadar air bebas	205	kg/m3	
12	Kadar semen	410	kg/m3	
14	Kadar semen minimum	275	kg/m3	
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m3	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2		
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,72		
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,54		
19	Persen Agregat Halus	41,50	%	
20	Persen Agregat Kasar	58,50	%	
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,65		
22	Berat isi Beton	2375	kg/m3	
23	Kadar agregat gabungan	1760	kg/m3	
24	Kadar agregat halus	730,4	kg/m3	
25	Kadar agregat kasar	1029,6	kg/m3	
Proporsi campuran teoritis Agregat kondisi (SSD)				
	Semen (kg)	Air (kg)	A. Halus (kg)	A.Kasar (kg)
Setiap m3	410	205	730,4	1029,6
Setiap variasi	32,604	16,302	58,083	81,875
Proporsi campuran dengan angka penyusutan (25%)				
	Semen (kg)	Air (kg)	A. Halus (kg)	A.Kasar (kg)
Setiap m3	512,5	256,25	913	1287
Setiap variasi	40,755	20,377	72,603	102,344

24. Penelitian ini menggunakan bahan pengganti semen berupa *fly ash* sebesar 30% dari berat semen. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan *Bestmittel*

sebagai bahan tambah dengan kadar yang bervariasi, mulai dari 0% sampai 0,6% dari berat semen. Selanjutnya berat *fly ash* dan *Bestmittel* setiap variasi campuran beton dihitung dan hasilnya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. } Fly Ash &= 30\% \times \text{Berat semen per variasi} \\ &= 30\% \times 40,755 \\ &= 12,227 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. *Bestmittel*

$$\begin{aligned} 1) \text{ Variasi } Bestmittel \text{ 0,2\%} &= 0,2\% \times \text{Berat semen per variasi} \\ &= 0,2\% \times 40,755 \\ &= 0,082 \text{ kg} \\ 2) \text{ Variasi } Bestmittel \text{ 0,4\%} &= 0,4\% \times \text{Berat semen per variasi} \\ &= 0,4\% \times 40,755 \\ &= 0,163 \text{ kg} \\ 3) \text{ Variasi } Bestmittel \text{ 0,6\%} &= 0,6\% \times \text{Berat semen per variasi} \\ &= 0,6\% \times 40,755 \\ &= 0,245 \text{ kg} \\ 4) \text{ Total } Bestmittel &= 0,082 + 0,163 + 0,245 \\ &= 0,489 \text{ kg} \end{aligned}$$

25. *Fly ash* digunakan sebagai pengganti sebagian semen. Berat semen pada variasi beton *fly ash* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat semen pada beton } fly ash &= \text{Berat semen per variasi} - 30\% Fly ash \\ &= 40,755 - 12,227 \\ &= 28,528 \text{ kg} \end{aligned}$$

26. Proses *mixing* untuk satu variasi dilakukan dua kali. *Mixing* pertama untuk membuat benda uji silinder sejumlah 9 buah. *Mixing* kedua untuk membuat benda uji sejumlah 6 buah. Rincian kebutuhan *mixing* pertama dapat dilihat pada Tabel 4.11, sedangkan *mixing* kedua pada Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Berat Bahan Penyusun Beton *Mixing I*

Variasi Kadar Bestmittel	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Bestmittel (kg)	Fly Ash (30%) (kg)
0,0%	24,453	12,226	43,562	61,407	0	0,000
0,0%	17,117	12,226	43,562	61,407	0,000	7,336
0,2%	17,117	12,226	43,562	61,407	0,049	7,336
0,4%	17,117	12,226	43,562	61,407	0,098	7,336
0,6%	17,117	12,226	43,562	61,407	0,147	7,336
Total	92,921	61,132	217,810	307,033	0,293	29,343

Tabel 4.12 Berat Bahan Penyusun Beton *Mixing II*

Variasi Kadar Bestmittel	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Bestmittel (kg)	Fly Ash (30%) (kg)
0,0%	16,302	8,151	29,041	40,938	0	0,000
0,0%	11,411	8,151	29,041	40,938	0,000	4,891
0,2%	11,411	8,151	29,041	40,938	0,033	4,891
0,4%	11,411	8,151	29,041	40,938	0,065	4,891
0,6%	11,411	8,151	29,041	40,938	0,098	4,891
Total	61,947	40,755	145,206	204,689	0,196	19,562

4.5 Benda Uji

Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan beton. Pada tahap *mix design* telah dihitung seluruh kebutuhan bahan penyusun beton yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Pembuatan beton normal dilaksanakan terlebih dahulu. Setelah beton direndam dalam air selama 3 hari, dilakukan pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap 5 sampel uji. Hasil kuat tekan yang dikonversi menjadi 28 hari telah memenuhi kuat tekan rencana, sehingga penelitian tetap menggunakan proporsi bahan seperti pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

4.5.1 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan alat dan bahan pembuatan benda uji.
2. Menimbang bahan sesuai dengan *mix design*.
3. Mengoleskan pelumas pada bagian dalam silinder.

4. Menyalakan *mixer*.
5. Memasukkan kedua jenis agregat seluruhnya dalam kondisi kering permukaan (SSD) ke dalam *mixer*, kemudian *mixer* dibiarkan mengaduk sampai agregat kasar dan agregat halus tercampur merata.
6. Memasukkan semen dan *fly ash* seluruhnya ke dalam *mixer*, kemudian *mixer* dibiarkan mengaduk sampai semen dan *fly ash* terdistribusi merata ke dalam agregat gabungan.
7. Memasukkan air ke dalam *mixer* secara perlahan, kemudian *mixer* dibiarkan mengaduk sampai tercampur seluruhnya. Sisa air dicampurkan pada *Bestmittel* supaya lebih encer dan lebih mudah untuk dituang.
8. Menambahkan *Bestmittel* sesuai jenis variasi, yang sudah ditambah sisa air.
9. Ketika seluruh bahan sudah tercampur, sebagian beton segar dituang pada wadah di bawah *mixer* untuk dilakukan uji *slump*.
10. Apabila nilai *slump* telah sesuai rencana beton segar dituang ke dalam cetakan setiap 1/3 bagian silinder, beton segar dipadatkan sebanyak 25 kali secara merata menggunakan tongkat besi. Bagian luar cetakan juga dipukul menggunakan palu karet untuk memaksimalkan pemadatan beton. Ketika cetakan sudah penuh, ratakan bagian atas cetakan.
11. Proses pengadukan untuk satu variasi dilakukan dua kali karena volume material melebihi volume yang dapat ditampung *mixer*.
12. Membuka cetakan setelah beton berumur 24 jam, kemudian ditimbang dan diberi kode sesuai variasi.
13. Meletakkan beton ke dalam rendaman air untuk proses perawatan/*curing* selama 3, 7, dan 28 hari.

4.5.2 Kodifikasi Benda Uji

Penelitian ini menggunakan benda uji berjumlah total 75 silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian kuat tekan dilakukan masing-masing sejumlah 25 sampel pada umur 3, 7, dan 28 hari. Karena sampel yang cukup banyak, kodifikasi beton sesuai variasi menjadi hal yang harus

dilakukan. Rincian kodifikasi dan jumlah benda uji silinder dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Benda Uji untuk Pengujian Kuat Tekan

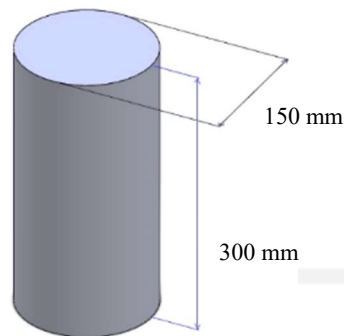
No	Kode Benda Uji	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bestmittel</i> (%)	Pengujian pada umur (hari)	Jumlah Sampel (buah)
1	BN ₃	0	0	3	5
2	BFB _{3.0}	30	0	3	5
3	BFB _{3.0,2}	30	0,2	3	5
4	BFB _{3.0,4}	30	0,4	3	5
5	BFB _{3.0,6}	30	0,6	3	5
6	BN ₇	0	0	7	5
7	BFB _{7.0}	30	0	7	5
8	BFB _{7.0,2}	30	0,2	7	5
9	BFB _{7.0,4}	30	0,4	7	5
10	BFB _{7.0,6}	30	0,6	7	5
11	BN ₂₈	0	0	28	5
12	BFB _{28.0}	30	0	28	5
13	BFB _{28.0,2}	30	0,2	28	5
14	BFB _{28.0,4}	30	0,4	28	5
15	BFB _{28.0,6}	30	0,6	28	5
Total					75

Keterangan :

BN = Beton normal

BFB = Beton dengan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dan penambahan *Bestmittel*

Setelah beton berumur 24 jam, cetakan silinder dibuka sehingga akan tampak beton seperti pada Gambar 4.9. Penulisan kode pada silinder beton dilakukan sebelum beton direndam untuk proses *curing*. Kode beton harus dipastikan tidak akan hilang ketika terendam dalam waktu yang lama. Hal ini untuk menghindari benda uji tertukar satu sama lain, mengingat jumlahnya yang cukup banyak.



Gambar 4.9 Benda Uji Silinder

4.6 Pengujian Beton

Pengujian beton yang dilakukan pada penelitian ini adalah *slump*, kuat tekan, dan modulus elastisitas.

4.6.1 Slump

Pengujian *slump* dilakukan dengan acuan SNI 1972:2008. Berikut adalah metode pengujian *slump*.

1. Sebelum uji *slump*, dipastikan tempat pengujian merupakan tempat yang datar.
2. Kerucut Abrams diletakkan dengan bagian diameter besar berada di bawah.
3. Bagian bawah kerucut diinjak, sembari beton segar dituang sebanyak 1/3 bagian kerucut kemudian dipadatkan menggunakan tongkat besi sebanyak 25 kali secara merata.
4. Beton segar dituang lagi ke dalam kerucut sampai kerucut terisi 2/3 bagian kemudian dipadatkan dengan cara yang sama.
5. Beton segar dituang sampai kerucut penuh dan dipadatkan kembali. Ketika kerucut sudah penuh, bagian atas kerucut diratakan menggunakan tongkat besi.
6. Kerucut Abrams diangkat secara perlahan dan beton segar akan turun.
7. Untuk mengukur tinggi jatuh, Kerucut Abrams diletakkan di sebelah sampel dengan posisi diameter besar berada di atas, kemudian perbedaan ketinggian antara keduanya diukur dengan mistar. Proses pengukuran *slump* dilakukan seperti pada Gambar 4.10.
8. Nilai telah sesuai rencana sehingga proses penuangan beton segar ke dalam cetakan dapat dilakukan.

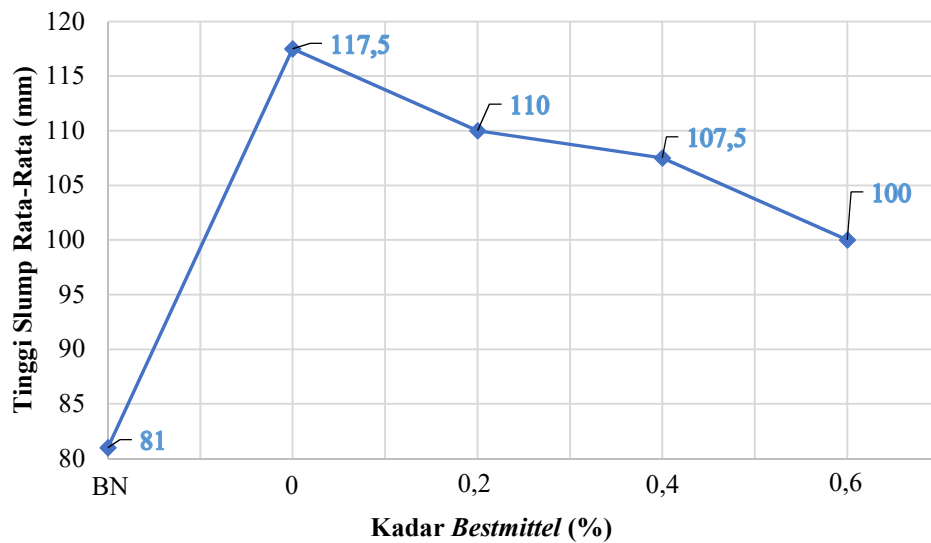


Gambar 4.10 Pengukuran *Slump*

Pengujian *slump* pada penelitian ini telah sesuai rencana yaitu antara 80 mm sampai 120 mm. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.14 Nilai *Slump*

No	Kode Benda Uji	Komposisi		Slump Mixing I (mm)	Slump Mixing II (mm)
		Fly Ash (%)	<i>Bestmittel</i> (%)		
1	BN	0	0	80	82
2	BFB0	30	0	120	115
3	BFB0,2	30	0,2	120	100
4	BFB0,4	30	0,4	115	100
5	BFB0,6	30	0,6	100	100



Gambar 4.11 Nilai Slump

4.6.2 Kuat Tekan

Pada penelitian ini kuat tekan beton dilakukan ketika benda uji telah direndam di dalam air selama 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Jumlah sampel yang diuji sebanyak 75 buah, terbagi menjadi 5 variasi, dan seluruhnya berbentuk silinder.

Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan bersamaan. Jadi prosedur yang akan dijelaskan di bawah ini merupakan gabungan keduanya. Berikut adalah prosedur pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

1. Mengeluarkan beton dari rendaman air kemudian dibiarkan sampai mengering.
2. Mempersiapkan cetakan kaping dengan mengoleskan pelumas pada permukaan cetakan.
3. Melelehkan serbuk belerang menggunakan kompor.
4. Menuangkan cairan belerang ke cetakan kaping, kemudian dengan segera meletakkan beton pada cetakan kaping dengan bagian atas beton yang terselimuti cairan belerang. Cairan belerang akan mengering dalam waktu ± 1 menit. Setelah kering, beton dapat dilepaskan dari cetakan kaping dan akan tampak beton seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Silinder Beton yang Telah Dikaping

5. *Dial gauge* dipasang pada beton yang sudah dikaping, kemudian beton diletakkan pada *Compressive Testing Machine* (CTM).
6. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dimulai sesaat setelah mesin menekan mengenai permukaan kaping.
7. Mengamati indikator beban pada CTM yang akan berputar searah jarum jam. Setiap kenaikan beban 10 kN pada CTM, angka pembacaan pada *dial* dicatat.
8. Ketika beton telah ditekan sampai kekuatan maksimum, jarum pada CTM akan berubah arah menjadi melawan arah jarum jam, sedangkan *dial* tetap berjalan searah jarum jam. Pada saat terjadi penurunan ini, angka pembacaan pada *dial* juga harus dicatat.
9. Ketika jarum indikator pada CTM telah kembali ke angka 0, menandakan pengujian telah selesai.
10. Mencatat kuat tekan maksimum beton.
11. Mengeluarkan beton dari CTM kemudian membersihkan pecahan beton yang tersisa pada CTM.
12. Melepaskan *dial* dari badan beton.



Gambar 4.13 Compressive Testing Machine

Hasil pengujian kuat tekan berupa beban maksimum yang dapat diterima beton. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton, perhitungan dilakukan sesuai SNI 1974:2011 dan akan dijabarkan dengan menggunakan contoh perhitungan sampel benda uji sebagai berikut.

1. Sampel I Beton Normal Umur 3 Hari

$$\begin{aligned}
 \text{a. Luas permukaan beton (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,6^2 \\
 &= 17820,2829 \text{ mm}^2 \\
 \text{b. Beban maksimum (P)} &= 270000 \text{ N} \\
 \text{c. Kuat tekan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{270000}{17820,2829} \\
 &= 15,15 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan analisis untuk benda uji lain. Seluruh hasil pengujian kuat tekan telah direkapitulasi dalam Bab V.

4.6.3 Modulus Elastisitas

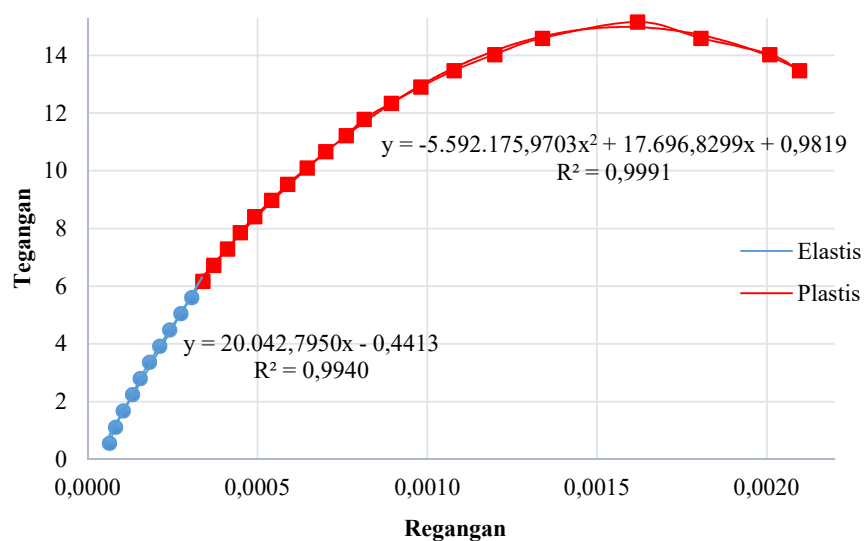
Pengujian ini dilakukan pada 45 sampel benda uji yang terbagi menjadi lima variasi, diuji pada 3, 7, dan 28 hari. Hasil pengujian ini berupa data tegangan dan

regangan beton saat pengujian dilakukan. Berikut ini pada Tabel 4.15 adalah contoh hasil pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada beton normal sampel I yang diuji pada umur 3 hari (BN₃-1).

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BN₃-1

Beban (kN)	Pembacaan Dialx10 ⁻³	ΔL (mm)	Luas Permukaan (mm ²)	Lo (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (mm)
0	0	0,0000	17813,1131	200	0,0000	0,0000000
10	13	0,0065	17813,1131	200	0,5614	0,0000325
20	20	0,0100	17813,1131	200	1,1228	0,0000500
30	29	0,0145	17813,1131	200	1,6842	0,0000725
40	40	0,0200	17813,1131	200	2,2455	0,0001000
50	49	0,0245	17813,1131	200	2,8069	0,0001225
60	60	0,0300	17813,1131	200	3,3683	0,0001500
70	72	0,0360	17813,1131	200	3,9297	0,0001800
80	84	0,0420	17813,1131	200	4,4911	0,0002100
90	97	0,0485	17813,1131	200	5,0525	0,0002425
100	110	0,0550	17813,1131	200	5,6138	0,0002750
110	123	0,0615	17813,1131	200	6,1752	0,0003075
120	136	0,0680	17813,1131	200	6,7366	0,0003400
130	152	0,0760	17813,1131	200	7,2980	0,0003800
140	167	0,0835	17813,1131	200	7,8594	0,0004175
150	184	0,0920	17813,1131	200	8,4208	0,0004600
160	204	0,1020	17813,1131	200	8,9821	0,0005100
170	223	0,1115	17813,1131	200	9,5435	0,0005575
180	246	0,1230	17813,1131	200	10,1049	0,0006150
190	268	0,1340	17813,1131	200	10,6663	0,0006700
200	292	0,1460	17813,1131	200	11,2277	0,0007300
210	313	0,1565	17813,1131	200	11,7891	0,0007825
220	345	0,1725	17813,1131	200	12,3505	0,0008625
230	380	0,1900	17813,1131	200	12,9118	0,0009500
240	419	0,2095	17813,1131	200	13,4732	0,0010475
250	467	0,2335	17813,1131	200	14,0346	0,0011675
260	523	0,2615	17813,1131	200	14,5960	0,0013075
270	635	0,3175	17813,1131	200	15,1574	0,0015875
260	710	0,3550	17813,1131	200	14,5960	0,0017750
250	791	0,3955	17813,1131	200	14,0346	0,0019775
240	826	0,4130	17813,1131	200	13,4732	0,0020650

Berdasarkan Tabel 4.15, dapat dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas BN₃-1 dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Nilai tegangan regangan pada tabel di atas dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.14. Pembuatan grafik daerah elastis menggunakan regresi linear, ditandai dengan warna biru pada grafik. Sementara itu, untuk daerah plastis menggunakan regresi polinomial pangkat 2, ditandai dengan warna merah.



Gambar 4.14 Tegangan Regangan BN₃-1

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam menganalisis modulus elastisitas BN₃-1.

1. Data BN₃-1

Diketahui :

Diameter = 150,6 mm

Tinggi = 303,0 mm

Berat = 12,955 kg

$$\begin{aligned}
 \text{a. } W_c &= \frac{\text{Berat Silinder}}{\text{Volume Silinder}} \\
 &= \frac{12,955}{\frac{1}{4} \times \pi \times (150,6)^2 \times 303 \times 10^{-9}} \\
 &= 2399,276 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{b. Beban maksimum} = 270 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } \Delta L &= \frac{\text{Dial}}{2} \times 0,001 \\
 &= \frac{635}{2} \times 0,001 \\
 &= 0,3175 \text{ mm} \\
 \text{d. } A_0 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,6^2 \\
 &= 17813,11 \text{ mm}^2 \\
 \text{e. Tegangan } (\sigma) &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{270 \times 1000}{17813,11} \\
 &= 15,157 \text{ MPa} \\
 \text{f. Regangan } (\epsilon) &= \frac{\Delta l}{l_0} \\
 &= \frac{0,3175}{200} \\
 &= 0,0015875
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data di atas, nilai modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan regresi linear dan regresi polinomial pangkat 2 seperti pada Gambar 4.14. Data tegangan maksimum akan dikoreksi menggunakan persamaan regresi polinomial pangkat 2 sebagai berikut.

2. Tegangan Maksimum Koreksi

x = Regangan saat y

y = Tegangan

Persamaan polinomial pangkat 2

$$\begin{aligned}
 y &= -5592175,9703 x^2 + 17696,8299 x + 0,9819 \\
 &= -5592175,9703 (0,0015875)^2 + 17696,8299 (0,0015875) + 0,9819 \\
 &= 14,975 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Nilai y = 14,975 MPa merupakan tegangan maksimum yang telah dikoreksi.

3. 40% Tegangan Maksimum

Nilai 40% tegangan maksimum, atau dikenal sebagai S_2 dalam persamaan modulus elastisitas ASTM C-469, dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

$$S_2 = 40\% \text{ Tegangan Maksimum Koreksi}$$

$$= 40\% \times 14,975$$

$$= 5,990 \text{ MPa}$$

4. Regangan saat S_2 (ϵ_2)

Nilai ϵ_2 dapat dihitung menggunakan persamaan linear $y = 20042,7950 x - 0,4413$, dengan S_2 sebagai y .

$$y = 20042,7950 x - 0,4413$$

$$5,990 = 20042,7950 x - 0,4413$$

$$5,990 + 0,4413 = 20042,7950 x$$

$$x = 0,0003209$$

5. Tegangan saat ϵ_1 (S_1)

Nilai S_1 dapat dihitung menggunakan persamaan linear $y = 20042,7950 x - 0,4413$, dengan ϵ_1 sebagai x .

$$y = 20042,7950 x - 0,4413$$

$$y = 20042,7950 (0,00005) - 0,4413$$

$$y = 0,5608 \text{ MPa}$$

6. Modulus Elastisitas (E_c)

Nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19 sesuai ASTM C469-02 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{5,9900 - 0,5608}{0,0003209 - 0,00005} \\ &= 20042,7950 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7. Modulus Elastisitas dengan Rumus Empiris

Nilai modulus elastisitas ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21, seperti halnya tertulis dalam SNI 2847:2013. Persamaan ini digunakan untuk menghitung modulus elastisitas beton dengan berat volume dalam rentang 1440 kg/m^3 hingga 2560 kg/m^3 . Berat volume BN_3-1 adalah sebesar $2399,276 \text{ kg/m}^3$, sehingga perhitungan modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= w_c^{1,5} 0,043 \sqrt{f'c} \\ &= (2399,276)^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{14,975} \\ &= 19555,650 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan modulus elastisitas sampel lain. Hasil perhitungan modulus elastisitas telah direkapitulasi pada Bab V.



BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini, akan dilakukan pembahasan yang berkaitan dengan penelitian berdasarkan parameter yang telah didapatkan pada bab sebelumnya. Pembahasan akan meliputi bahan penyusun beton, pembuatan benda uji, pengujian kuat tekan, dan pengujian modulus elastisitas.

5.2 Bahan Penyusun Beton

Pembahasan mengenai *fly ash*, agregat kasar, dan agregat halus adalah sebagai berikut.

5.2.1 Fly Ash

Pada Tabel 5.1, disajikan perbandingan antara senyawa-senyawa penting dalam *fly ash* dengan persyaratan SNI 2640:2014.

Tabel 5.1 Perbandingan Komposisi Fly Ash dengan Persyaratan

Senyawa	Kadar di dalam Fly Ash	Persyaratan SNI 2640:2014
Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ = 68,2 %	Al ₂ O ₃ + SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ = minimum 50%
SiO ₂		
Fe ₂ O ₃		
SO ₃	1,10 %	Maksimum 5%

Berdasarkan tabel di atas, dapat dipastikan *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe C. *Fly ash* tipe C digunakan pada penelitian ini karena kandungan kalsiumnya yang lebih tinggi daripada tipe F. Banyaknya kandungan kalsium ini, membuat *fly ash* tipe C memiliki sifat yang mirip dengan semen. Semakin besar kandungan kalsium dalam *fly ash*, semakin cepat hidrasi dimulai. Thomas (2007) menyatakan bahwa penggunaan *fly ash* akan mengurangi kuat tekan awal beton, khususnya bila menggunakan *fly ash* tipe F.

5.2.2 Agregat Kasar

Pada sub bab ini, disajikan hasil seluruh pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat kasar. Hasil pemeriksaan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Serapan

Hasil pemeriksaan berat jenis dan serapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Berat Jenis dan Serapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4945,00	4960,00	4952,50	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000,00	5000,00	5000,00	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3160,00	3162,00	3161,00	gram
Berat jenis Curah $Bk / (Bj - Ba)$	2,69	2,70	2,69	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD) $Bj / (Bj - Ba)$	2,72	2,72	2,72	
Berat jenis semu $Bk / (Bk - Ba)$	2,77	2,76	2,76	
Penyerapan air $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	1,11	0,81	0,96	%

Berat jenis agregat normal, menurut Tjokrodinuljo (2010) memiliki berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,5-2,7. Agregat yang dipakai dalam penelitian ini memenuhi persyaratan sebagai agregat normal, dengan nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,72. Sementara itu, nilai serapan air agregat kasar adalah sebesar 0,96%.

2. Analisis Saringan

Berikut ini adalah hasil analisis saringan yang meliputi gradasi dan nilai modulus halus butir (MHB) agregat.

Tabel 5.3 Persentase Lolos Kumulatif Agregat Kasar Sampel I

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	3421	68,42	68,42	31,58
4,80	1466	29,32	97,74	2,26
2,40	87	1,74	99,48	0,52
1,20	4	0,08	99,56	0,44
0,60	0	0,00	99,56	0,44
0,30	0	0,00	99,56	0,44
0,15	0	0,00	99,56	0,44
Sisa	22	0,44	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	663,88	

Tabel 5.4 Persentase Lolos Kumulatif Agregat Kasar Sampel II

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	3348	66,96	66,96	33,04
4,80	1513	30,26	97,22	2,78
2,40	126	2,52	99,74	0,26
1,20	2	0,04	99,78	0,22
0,60	0	0,00	99,78	0,22
0,30	0	0,00	99,78	0,22
0,15	0	0,00	99,78	0,22
Sisa	11	0,22	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	663,04	

Berdasarkan Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, modulus halus butir agregat kasar dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

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

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)}_1 &= \frac{663,88}{100} \\ &= 6,639 \end{aligned}$$

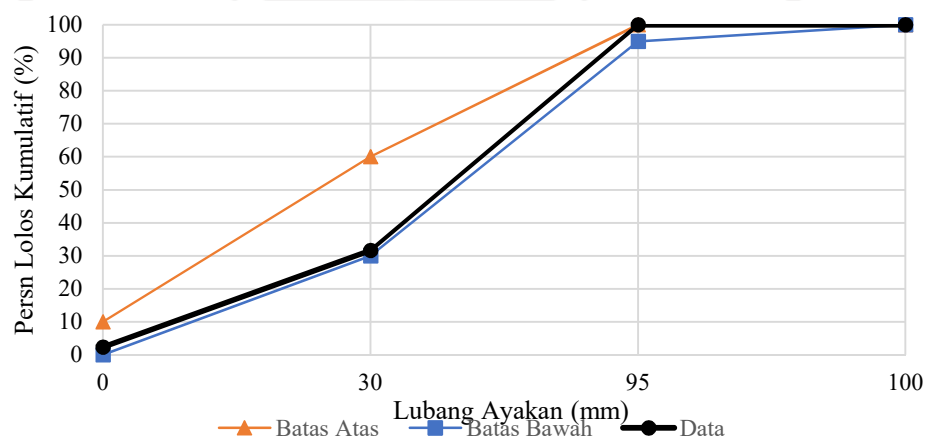
$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)}_2 = \frac{663,04}{100}$$

$$= 6,630$$

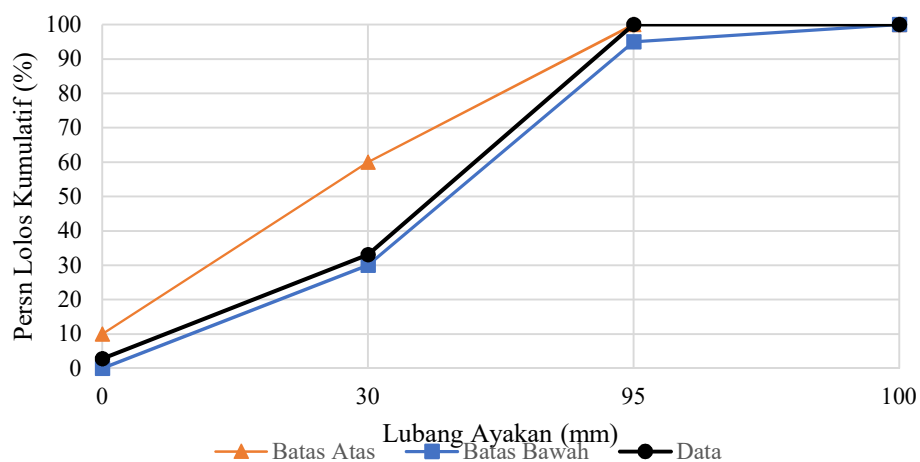
$$\text{Modulus Halus Butir (MHB) rata-rata} = \frac{6,639 + 6,630}{2}$$

$$= 6,635$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F, modulus halus butir agregat kasar berada pada rentang nilai 6,0 sampai 7,1. Hasil pengujian modulus halus butir agregat kasar yang didapat adalah 6,635, sehingga membuktikan bahwa agregat kasar telah sesuai persyaratan. Seluruh nilai persentase butir agregat lolos saringan telah memenuhi syarat pada ukuran butir maksimum 20 mm sesuai SNI 03-2834-2000, seperti pada Tabel 3.5. Pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 disajikan grafik hubungan antara ukuran lubang saringan dengan persentase butir agregat yang lolos saringan.



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Kasar Sampel I



Gambar 5.2 Gradasi Agregat Kasar Sampel II

3. Pemeriksaan Berat Isi

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan berat isi yang meliputi berat isi gembur pada Tabel 5.5 dan berat isi padat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.5 Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17725	17677	17701	gram
Berat Agregat (W3)	7206	7158	7182	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm
Volume Tabung (V)	5294,94	5294,94	5294,94	cm ³
Berat Isi Gembur	1,36	1,35	1,36	gram/cm ³

Tabel 5.6 Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18531	18482	18506,5	gram
Berat Agregat (W3)	8012	7963	7987,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm
Volume Tabung (V)	5294,94	5294,94	5294,94	cm ³
Berat Isi Padat	1,51	1,50	1,51	gram/cm ³

Berdasarkan pemeriksaan yang telah dilakukan, nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar secara berurutan adalah 1,36 gram/cm³ dan 1,51 gram/cm³.

5.2.3 Agregat Halus

Pada sub bab ini, disajikan hasil seluruh pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus. Hasil pemeriksaan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Serapan

Hasil pemeriksaan berat jenis dan serapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Berat Jenis dan Serapan Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat pasir kering mutlak (Bk)	476,00	479,00	477,50	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (Bj)	500,00	500,00	500,00	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1140,00	1143,00	1141,50	gram
Berat piknometer berisi air (B)	839,00	837,00	838,00	gram
Berat Jenis Curah $Bk / (B+Bj-Bt)$	2,39	2,47	2,43	
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $Bj / (B+Bj-Bt)$	2,51	2,58	2,54	
Berat Jenis semu $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,72	2,77	2,74	
Penyerapan Air $(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	5,04	4,38	4,71	%

Berat jenis agregat normal, menurut Tjokrodinuljo (2010) memiliki berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,5-2,7. Agregat yang dipakai dalam penelitian ini memenuhi persyaratan sebagai agregat normal, dengan nilai berat jenis agregat halus sebesar 2,54. Sementara itu, nilai serapan air agregat halus adalah sebesar 4,71%.

2. Analisis Saringan

Berikut ini adalah hasil analisis saringan yang meliputi gradasi dan nilai modulus halus butir (MHB) agregat.

Tabel 5.8 Persentase Lolos Kumulatif Agregat Halus Sampel I

Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	4	0,20	0,20	99,80
2,40	85	4,26	4,46	95,54
1,20	274	13,72	18,18	81,82
0,60	562	28,14	46,32	53,68
0,30	571	28,59	74,91	25,09
0,15	340	17,03	91,94	8,06
Sisa	161	8,06		
Jumlah	1997	100	236,00	

Tabel 5.9 Persentase Lolos Kumulatif Agregat Halus Sampel II

Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	1	0,05	0,05	99,95
2,40	87	4,36	4,41	95,59
1,20	332	16,62	21,03	78,97
0,60	558	27,94	48,97	51,03
0,30	526	26,34	75,31	24,69
0,15	366	18,33	93,64	6,36
Sisa	129	6,46		
Jumlah	1999	100	243,42	

Berdasarkan Tabel 5.8 dan Tabel 5.9, modulus halus butir agregat halus dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

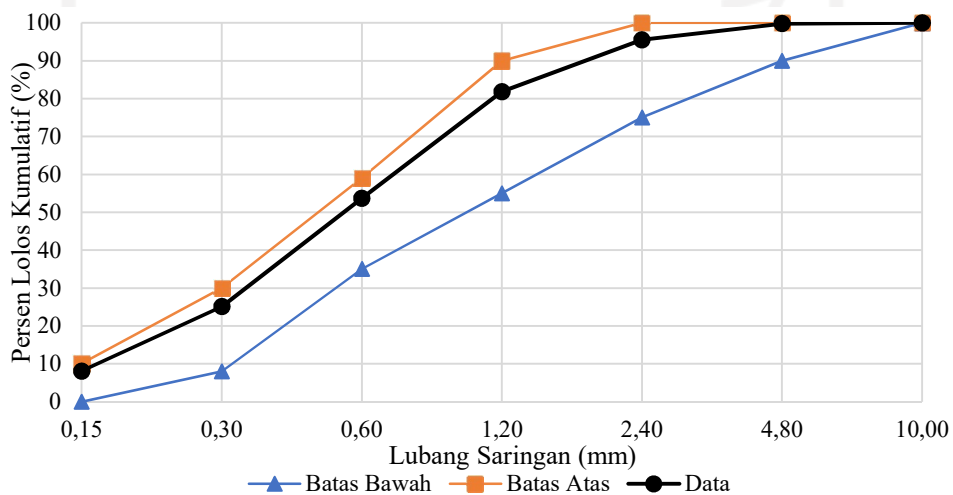
$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)}_1 &= \frac{236,00}{100} \\ &= 2,360 \end{aligned}$$

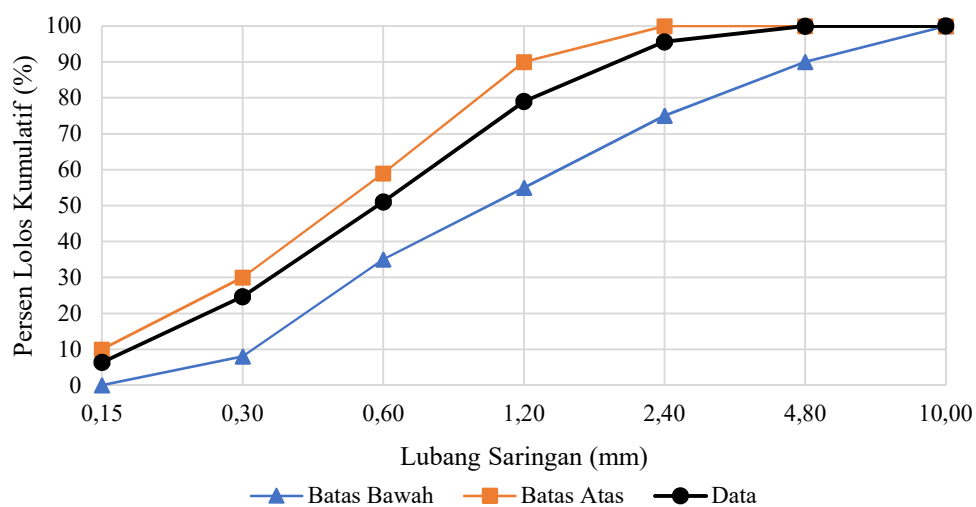
$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB)}_2 &= \frac{243,42}{100} \\ &= 2,434 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB) rata-rata} &= \frac{2,360 + 2,434}{2} \\ &= 2,397 \end{aligned}$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F, modulus halus butir agregat halus berada pada rentang nilai 1,5 sampai 3,8. Hasil pengujian modulus halus butir agregat halus yang didapat adalah 2,397, sehingga membuktikan bahwa agregat halus telah sesuai persyaratan. Seluruh nilai persentase butir agregat lolos saringan telah memenuhi syarat Daerah II pasir agak kasar sesuai SNI 03-2834-2000, seperti pada Tabel 3.6. Pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 disajikan grafik hubungan antara ukuran lubang saringan dengan persentase butir agregat yang lolos saringan.



Gambar 5.3 Gradasi Agregat Halus Sampel I



Gambar 5.4 Gradasi Agregat Halus Sampel II

3. Pemeriksaan Berat Isi

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan berat isi yang meliputi berat isi gembur pada Tabel 5.10 dan berat isi padat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.10 Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	12585	12468	12526,5	gram
Berat Agregat (W3)	7063	6946	7004,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm
Volume Tabung (V)	5163,45	5163,45	5163,45	cm ³
Berat Volume Gembur	1,37	1,35	1,36	gram/cm ³

Tabel 5.11 Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	13942	13983	13962,5	gram
Berat Agregat (W3)	8420	8461	8440,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm
Volume Tabung (V)	5163,45	5163,45	5163,45	cm ³
Berat Volume Gembur	1,63	1,64	1,63	gram/cm ³

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus secara berurutan adalah 1,36 gram/cm³ dan 1,63 gram/cm³.

4. Pemeriksaan Kandungan Lumpur dalam Pasir

Hasil pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500		gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	491	491		gram
Berat yang Lolos Saringan No. 200	1,8	1,8	1,8	%

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.12, nilai kadar lumpur sampel agregat halus sebesar 1,8%. Nilai ini telah memenuhi syarat dari SK SNI S-04-1989-F yang mensyaratkan nilai kadar lumpur dalam agregat halus kurang dari 5%. Lumpur memiliki kecenderungan untuk menyelimuti agregat, membuatnya terhalang dari pasta semen. Peristiwa ini menyebabkan berkurangnya kelekatan antara agregat dengan pasta semen sehingga mengurangi kekuatan beton. Sementara itu, kadar lumpur agregat halus dalam penelitian ini masih jauh di bawah batas maksimum 5% sehingga layak digunakan sebagai bahan penyusun beton.

5.2.4 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat

Seluruh hasil pemeriksaan agregat kasar dan halus direkapitulasi dalam Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Agregat

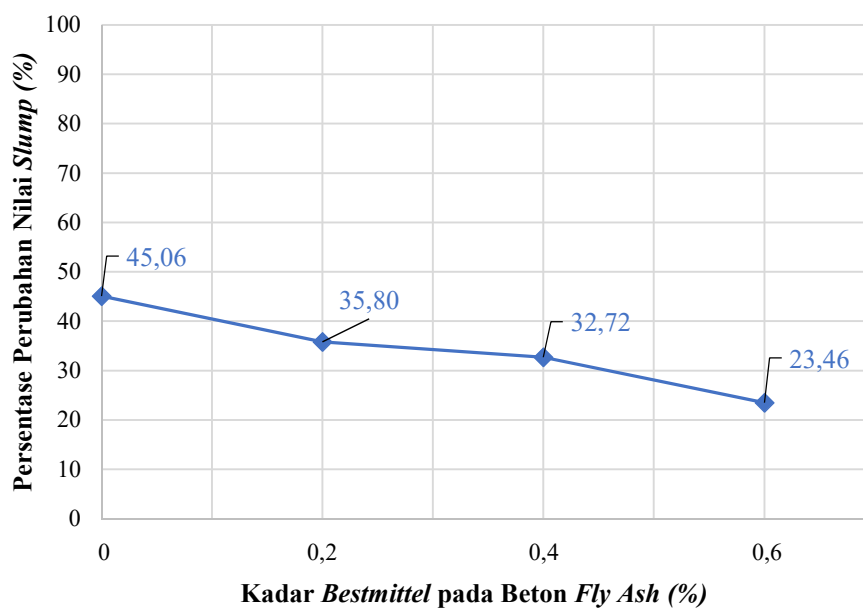
Pemeriksaan	Agregat Kasar	Agregat Halus	Satuan
Berat Jenis	2,72	2,54	
Penyerapan Air	0,96	4,71	%
Modulus Halus Butir	6,635	2,397	
Gradasi	Butir maksimum 20 mm	Pasir agak kasar (Daerah II)	
Berat Volume Gembur	1,36	1,36	gram/cm ³
Berat Volume Padat	1,51	1,63	gram/cm ³
Kadar Lumpur	-	1,8	%

5.3 Slump

Pada penelitian ini, pengujian *slump* dilakukan mengacu pada metode SNI 1972:2008, dengan *slump* rencana dalam rentang 80 mm sampai 120 mm. Nilai pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.14, selanjutnya persentase perubahan nilai *slump* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.5.

Tabel 5.14 Nilai Rata-Rata *Slump*

No	Kode Benda Uji	Komposisi		Rata- Rata <i>Slump</i> (mm)	Perubahan Nilai <i>Slump</i> (%)
		<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bestmittel</i> (%)		
1	BN	0	0	81	-
2	BFB0	30	0	117,5	45,06
3	BFB0,2	30	0,2	110	35,80
4	BFB0,4	30	0,4	107,5	32,72
5	BFB0,6	30	0,6	100	23,46

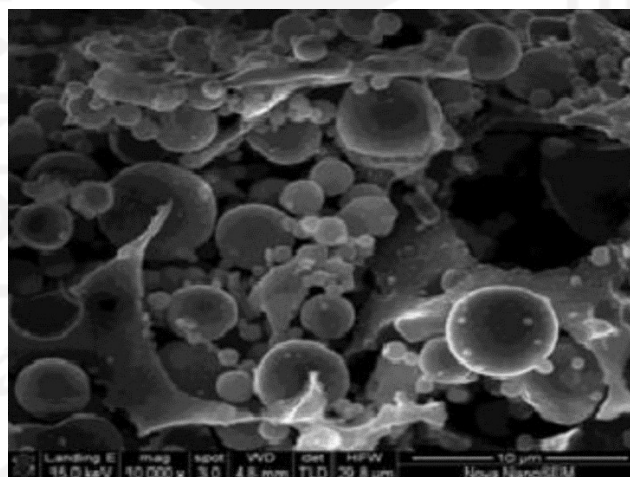


Gambar 5.5 Persentase Perubahan Nilai *Slump*

Berdasarkan Tabel 5.14, nilai *slump* beton *fly ash* dengan bahan tambah *Bestmittel* bernilai lebih tinggi dibandingkan nilai *slump* beton normal. Hal ini disebabkan oleh partikel *fly ash* yang berbentuk bulat, yang membuatnya lebih mudah mengalir mengisi celah antara agregat dalam beton segar. Ismail dkk. (2007), berdasarkan penelitiannya terhadap bentuk partikel *fly ash* dengan metode

SEM, menyatakan bahwa sebagian besar partikel *fly ash* berbentuk bulat, seperti pada Gambar 5.6. *Fly ash* cenderung berperan melumasi permukaan agregat yang berakibat pada berkurangnya friksi antar agregat. Fenomena ini menghasilkan beton segar yang lebih encer dan memiliki *flowability* yang lebih baik dibandingkan beton normal (BN). Karakteristik beton *fly ash* yang demikian dapat mempermudah pengerjaan beton segar seperti pemompaan, penempatan, dan pemadatan. Nkomo dkk. (2019) menyatakan hal serupa, bahwa secara umum semakin besar kandungan *fly ash* akan menghasilkan campuran dengan *workability* yang lebih baik.

Persentase perubahan nilai *slump* beton dibuat dalam bentuk grafik dalam Gambar 5.5. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *slump* akan semakin menurun seiring bertambahnya kadar *Bestmittel*. *Bestmittel* yang merupakan *accelerator*, berfungsi mempercepat proses pengikatan beton segar. Sesaat setelah *Bestmittel* ditambahkan ke dalam beton segar, *Bestmittel* segera bereaksi sebagai katalis dalam proses hidrasi. Proses hidrasi yang dipercepat *Bestmittel* mengakibatkan beton segar menjadi lebih kental sehingga memperkecil nilai *slump*.



Gambar 5.6 Partikel *Fly Ash*
(Sumber : Ismail, 2007)

5.4 Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat dalam Tabel 5.15 untuk pengujian 3 hari, Tabel 5.16 untuk pengujian 7 hari, dan Tabel 5.17 untuk pengujian 28 hari.

Setelah itu, keseluruhan hasil pengujian telah disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.7.

Tabel 5.15 Kuat Tekan Beton Umur 3 Hari

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	BN3.1	150,6	17820,2829	270000	15,15	15,04
2	BN3.2	150,7	17843,9564	250000	14,01	
3	BN3.3	150,3	17749,3564	270000	15,21	
4	BN3.4	150,8	17867,6457	290000	16,23	
5	BN3.5	150,6	17820,2829	260000	14,59	
6	BFB3.0.1	149,6	17592,2485	110000	6,25	6,84
7	BFB3.0.2	149,0	17451,4485	115000	6,59	
8	BFB3.0.3	151,2	17958,6002	110000	6,13	
9	BFB3.0.4	149,6	17576,5761	130000	7,40	
10	BFB3.0.5	150,8	17875,5456	140000	7,83	
11	BFB3.0,2.1	150,5	17792,6047	125000	7,03	7,45
12	BFB3.0,2.2	150,4	17777,0009	115000	6,47	
13	BFB3.0,2.3	151,3	17993,4613	130000	7,22	
14	BFB3.0,2.4	150,2	17729,7584	135000	7,61	
15	BFB3.0,2.5	151,0	17911,0378	160000	8,93	
16	BFB3.0,4.1	149,8	17631,4600	150000	8,51	9,05
17	BFB3.0,4.2	149,5	17560,9107	160000	9,11	
18	BFB3.0,4.3	150,6	17812,3952	180000	10,11	
19	BFB3.0,4.4	150,4	17765,1056	140000	7,88	
20	BFB3.0,4.5	149,7	17607,9279	170000	9,65	
21	BFB3.0,6.1	150,2	17717,9576	200000	11,29	10,95
22	BFB3.0,6.2	150,4	17765,1844	200000	11,26	
23	BFB3.0,6.3	148,9	17427,9588	200000	11,48	
24	BFB3.0,6.4	149,0	17451,3704	175000	10,03	
25	BFB3.0,6.5	150,3	17757,1514	190000	10,70	

Tabel 5.16 Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	BN7.1	150,8	17867,6457	290000	16,23	18,11
2	BN7.2	151,3	17986,3279	370000	20,57	
3	BN7.3	151,0	17915,0714	330000	18,42	
4	BN7.4	151,3	17986,3279	320000	17,79	
5	BN7.5	150,1	17702,1507	310000	17,51	
6	BFB7.0.1	149,8	17627,5369	170000	9,64	9,30
7	BFB7.0.2	150,5	17796,6250	155000	8,71	
8	BFB7.0.3	150,2	17729,6797	170000	9,59	
9	BFB7.0.4	151,0	17915,0714	180000	10,05	
10	BFB7.0.5	149,9	17655,0079	150000	8,50	
11	BFB7.0.2.1	149,3	17513,9564	190000	10,85	9,78
12	BFB7.0.2.2	149,9	17651,0036	155000	8,78	
13	BFB7.0.2.3	151,3	17982,2862	160000	8,90	
14	BFB7.0.2.4	149,6	17572,6591	220000	12,52	
15	BFB7.0.2.5	150,7	17836,1424	140000	7,85	
16	BFB7.0.4.1	149,9	17662,8606	180000	10,19	11,17
17	BFB7.0.4.2	150,1	17694,2892	220000	12,43	
18	BFB7.0.4.3	151,2	17958,6002	135000	7,52	
19	BFB7.0.4.4	150,6	17828,1723	240000	13,46	
20	BFB7.0.4.5	151,1	17934,8507	220000	12,27	
21	BFB7.0.6.1	150,2	17725,7457	290000	16,36	16,40
22	BFB7.0.6.2	149,8	17623,6927	300000	17,02	
23	BFB7.0.6.3	151,2	17970,4017	250000	13,91	
24	BFB7.0.6.4	149,7	17615,6917	310000	17,60	
25	BFB7.0.6.5	149,3	17513,9564	300000	17,13	

Tabel 5.17 Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
1	BN28.1	149,6	17584,4114	440000	25,02	27,61
2	BN28.2	151,7	18081,5564	580000	32,08	
3	BN28.3	150,6	17820,2829	490000	27,50	
4	BN28.4	151,7	18081,5564	420000	23,23	
5	BN28.5	150,8	17867,6457	540000	30,22	

Lanjutan Tabel 5.17

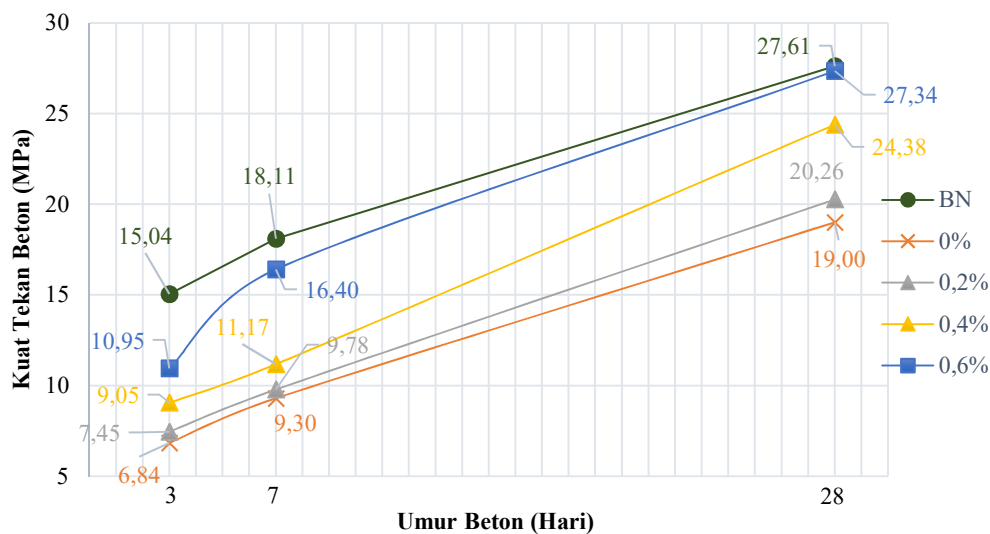
No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
6	BFB28.0.1	151,6	18049,7856	370000	20,50	19,00
7	BFB28.0.2	149,9	17647,1568	330000	18,70	
8	BFB28.0.3	149,3	17506,1368	330000	18,85	
9	BFB28.0.4	149,6	17580,4936	350000	19,91	
10	BFB28.0.5	149,7	17607,9279	300000	17,04	
11	BFB28.0.2.1	148,8	17404,5629	305000	17,52	20,26
12	BFB28.0.2.2	151,3	17978,4827	430000	23,92	
13	BFB28.0.2.3	150,6	17812,4740	340000	19,09	
14	BFB28.0.2.4	149,3	17509,9682	300000	17,13	
15	BFB28.0.2.5	148,6	17350,1114	410000	23,63	
16	BFB28.0.4.1	150,6	17816,3388	450000	25,26	24,38
17	BFB28.0.4.2	149,6	17576,5761	320000	18,21	
18	BFB28.0.4.3	150,7	17832,1177	435000	24,39	
19	BFB28.0.4.4	149,4	17537,4257	500000	28,51	
20	BFB28.0.4.5	149,7	17615,7702	450000	25,55	
21	BFB28.0.6.1	151,0	17915,0714	560000	31,26	27,34
22	BFB28.0.6.2	151,1	17946,6443	530000	29,53	
23	BFB28.0.6.3	149,9	17662,7821	570000	32,27	
24	BFB28.0.6.4	149,2	17490,5029	320000	18,30	
25	BFB28.0.6.5	150,3	17749,3564	450000	25,35	

Keterangan :

BN = Beton normal

BFB = Beton dengan 30% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen dan penambahan *Bestmittel*

- 1) Angka 3, 7, dan 28 pada kode benda uji menunjukkan umur beton saat dilakukan pengujian.
- 2) Angka 0, 0,2, 0,4, dan 0,6 pada kode benda uji BFB menunjukkan kadar *Bestmittel*.
- 3) Angka 1 sampai 5 pada kode benda uji menunjukkan nomor benda uji.



Gambar 5.7 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa pada umur yang sama semakin sedikit kadar *Bestmittel*, semakin rendah kekuatan beton *fly ash*. Menurut Marthong dan Agrawal (2012), rendahnya kekuatan awal beton *fly ash* merupakan hal yang wajar, dikarenakan lambatnya *pozzolanic activity* khususnya pada tahap awal hidrasi. *Pozzolanic activity* atau *pozzolanic reaction* adalah reaksi silika yang terkandung dalam *fly ash* dengan kalsium hidroksida, yang merupakan produk hidrasi semen, untuk membentuk *calcium silicate hydrate* (C-S-H) yang berperan penting dalam kekuatan beton.

Pada tahap awal beton *fly ash*, proses hidrasi semen berlangsung tetapi dapat terhambat oleh adanya *fly ash* itu sendiri. Menurut Liu dkk. (2014), hal ini terjadi karena ion kalsium terikat pada *fly ash*, membuat ketersediaan ion kalsium berkurang, sehingga menghambat pembentukan senyawa C-H atau C-S-H. Hal ini juga akan memperlambat *pozzolanic reaction* karena kurangnya ketersediaan senyawa C-H. Proses hidrasi yang terhambat ini menyebabkan laju pertambahan kuat tekan beton *fly ash* lebih lambat dibanding beton normal. Namun berdasarkan hasil pengujian, proses hidrasi bisa dipercepat menggunakan bahan tambah *accelerator*, *Bestmittel*.

Pada Gambar 5.7, dapat diketahui bahwa hanya beton *fly ash* dengan *Bestmittel* 0,6% (BFB_{0,6}) yang mampu mencapai kekuatan rencana 25 MPa pada

umur 28 hari. Variasi *Bestmittel* dengan kadar 0,2% dan 0,4% mampu mempercepat perkembangan kekuatan beton, tetapi hasil akhir menunjukkan bahwa kuat tekan variasi ini belum mencapai target 25 MPa pada waktu yang ditentukan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai target kuat tekan dapat dihitung dengan metode interpolasi, menggunakan hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari pada Gambar 5.7. Contoh penghitungan waktu yang dibutuhkan beton variasi *Bestmittel* 0% untuk mencapai 25 MPa dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned}\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} &= \frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} \\ \frac{(28 - 7)}{(x_2 - 7)} &= \frac{(19 - 9,3)}{(25 - 9,3)} \\ \frac{(21)}{(x_2 - 7)} &= \frac{(9,7)}{(15,7)} \\ x_2 - 7 &= \frac{21 \times 15,7}{9,7} \\ x_2 &= 41 \text{ hari}\end{aligned}$$

Perkembangan kuat tekan yang tidak maksimal disebabkan kadar *Bestmittel* yang tidak mencukupi untuk mempercepat hidrasi. Variasi *Bestmittel* 0,2% memerlukan waktu 37,50 hari untuk mencapai kuat tekan rencana, sedangkan variasi 0,4% 28,99 hari. Nilai keduanya masih melebihi 28 hari. Hanya variasi *Bestmittel* 0,6% yang mencapai kuat tekan rencana 25 MPa sebelum 28 hari, atau 42,64% lebih cepat dari beton *fly ash* tanpa *Bestmittel*. Hasil selengkapnya untuk percepatan durasi hidrasi beton dapat dilihat pada Tabel 5.18. Semakin banyak kadar *Bestmittel*, semakin singkat durasi hidrasi beton. Hal ini berpengaruh pada nilai kuat tekan beton. Pada waktu pengujian yang sama, beton dengan kadar *Bestmittel* lebih besar memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Persentase kenaikan kuat tekan akibat penambahan *Bestmittel* dapat dilihat pada Tabel 5.19.

Tabel 5.18 Percepatan Hidrasi Beton Akibat *Bestmittel*

No	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Durasi Hidrasi untuk Mencapai 25 MPa (Hari)	Percepatan Durasi Hidrasi (%)
1	BN28	27,61	22,23	-
2	BFB28.0	19,00	41,00	-
3	BFB28.0,2	20,26	37,50	8,51
4	BFB28.0,4	24,38	29,00	29,28
5	BFB28.0,6	27,34	23,51	42,64

Tabel 5.19 Persentase Kenaikan Kuat Tekan Akibat *Bestmittel*

No	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Kenaikan Kuat Tekan (%)
3 Hari			
1	BN3	15,04	-
2	BFB3.0	6,84	-
3	BFB3.0,2	7,45	8,98
4	BFB3.0,4	9,05	32,35
5	BFB3.0,6	10,95	60,11
7 Hari			
1	BN7	18,11	-
2	BFB7.0	9,30	-
3	BFB7.0,2	9,78	5,19
4	BFB7.0,4	11,17	20,19
5	BFB7.0,6	16,40	76,45
28 Hari			
1	BN28	27,61	-
2	BFB28.0	19,00	-
3	BFB28.0,2	20,26	6,63
4	BFB28.0,4	24,38	28,34
5	BFB28.0,6	27,34	43,91

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh *Bestmittel* pada beton *fly ash* usia muda (3 dan 7 hari), dilakukan konversi kuat tekan menggunakan faktor konversi umur beton dari PBI 1971. Angka konversi PBI 1971 dapat dilihat pada Tabel 5.20. Di bawah ini merupakan contoh perhitungan konversi untuk sampel BFB_{0,6}, dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.21.

1. Kuat tekan konversi BFB_{0,6} umur 3 hari = $\frac{10,95}{0,4}$
= 27,38 MPa

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{Kuat tekan konversi BFB}_{0,6} \text{ umur 7 hari} &= \frac{16,40}{0,65} \\
 &= 25,23 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, nilai kuat tekan BFB_{0,6} konversi pada umur 3 hari dan 7 hari telah melewati mutu rencana 25 MPa. Nilai konversi ini, bila melewati mutu rencana, merupakan pertanda bahwa beton *fly ash* mengalami perkembangan kekuatan dengan baik. Sementara itu kuat tekan konversi beton *fly ash* dengan *Bestmittel* selain BFB_{0,6} tidak mencapai mutu rencana. Hal ini merupakan pertanda bahwa perkembangan kekuatan beton tidak sesuai target. Dalam grafik pada Gambar 5.7 dapat dilihat pada variasi *Bestmittel* 0%, 0,2%, dan 0,4%, antara umur 3 dan 7 hari, peningkatan kuat tekannya cenderung konstan. Tidak ada peningkatan yang signifikan seperti halnya yang terjadi pada varian BFB_{0,6}. Pada varian BFB_{0,6}, persentase peningkatan kuat tekan terbesar terjadi antara 3 dan 7 hari. Hal ini menandakan pada rentang waktu ini, *Bestmittel* sejumlah 0,6% dari berat semen mampu mempersingkat proses hidrasi lebih baik dibandingkan varian lain.

Menurut PBI 1971, pada umur 3 hari kekuatan beton telah mencapai 40% dari kekuatan akhirnya, selanjutnya pada 7 hari mencapai 65%, dan pada 28 hari mencapai 100%. Namun itu hanya berlaku untuk beton normal. Adiguno (2017) menyatakan bahwa penggunaan *fly ash* pada campuran beton membuat angka konversi campuran beton *fly ash* berbeda dengan angka konversi PBI 1971. Beton *fly ash* berhidrasi lebih lama dibandingkan beton normal, sehingga pada 28 hari kuat tekan rencana belum tercapai. Setelah 28 hari, hidrasi beton *fly ash* masih berjalan dan tidak melambat. Seperti pada Tabel 5.18, beton *fly ash* tanpa *Bestmittel* baru mencapai kuat tekan rencana pada umur 41 hari. Beton *fly ash* berbeda dengan beton normal yang pada 28 hari telah mencapai 100% kekuatannya. Karakteristik yang berbeda ini membuat rasio dari PBI 1971 tidak berlaku untuk beton *fly ash*.

Tabel 5.20 Angka Konversi Umur Beton PBI 1971

Umur (Hari)	Faktor Konversi
3	0,40
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1,00

Sumber : PBI 1971

Tabel 5.21 Kuat Tekan Konversi 28 Hari

No	Kode Benda Uji	Kuat Tekan (MPa)	Konversi 28 Hari (MPa)
3 Hari			
1	BN3	15,04	37,60
2	BFB3.0	6,84	17,10
3	BFB3.0,2	7,45	18,63
4	BFB3.0,4	9,05	22,63
5	BFB3.0,6	10,95	27,37
7 Hari			
1	BN7	18,11	27,85
2	BFB7.0	9,30	14,30
3	BFB7.0,2	9,78	15,04
4	BFB7.0,4	11,17	17,19
5	BFB7.0,6	16,40	25,24
28 Hari			
1	BN28	27,61	27,61
2	BFB28.0	19,00	19,00
3	BFB28.0,2	20,26	20,26
4	BFB28.0,4	24,38	24,38
5	BFB28.0,6	27,34	27,34

5.5 Modulus Elastisitas

Seluruh hasil pengujian modulus elastisitas dapat dilihat dalam Tabel 5.22 untuk pengujian 3 hari, Tabel 5.23 untuk pengujian 7 hari, dan Tabel 5.24 untuk pengujian 28 hari. Setelah itu, keseluruhan hasil pengujian telah disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9.

Tabel 5.22 Modulus Elastisitas Beton Umur 3 Hari

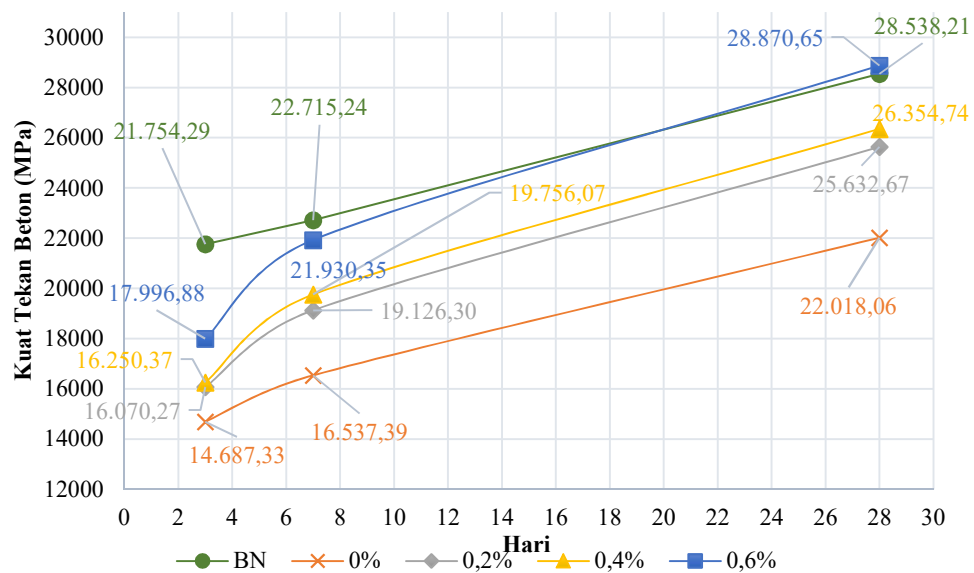
No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	ASTM C469-02		SNI 2013	
						Modulus Elastisitas	ME Rerata	Modulus Elastisitas	ME Rerata
1	BN3	150,6	303,0	12,955	2399,276	20042,795	21754,294	19555,649	19436,217
		150,7	301,9	12,848	2384,961	23345,972		18513,442	
		151,8	301,4	12,750	2375,434	21874,114		20239,559	
2	BFB3.0	151,2	301,1	12,672	2343,224	12455,353	14687,329	12198,687	13167,630
		149,6	303,2	12,615	2367,139	16096,956		13435,501	
		150,8	302,9	12,919	2385,868	15509,677		13868,702	
3	BFB3.0,2	149,7	301,8	12,747	2347,718	14681,141	16070,265	13659,371	14406,018
		150,2	303,2	12,760	2373,661	16285,668		15178,514	
		151,0	302,8	12,491	2303,522	17243,988		14380,169	
4	BFB3.0,4	149,8	302,0	12,655	2376,659	14834,678	16250,371	14358,402	15203,054
		150,6	304,1	12,922	2385,433	16537,308		15793,849	
		149,7	302,0	12,753	2398,000	17379,126		15456,911	
5	BFB3.0,6	150,2	302,4	12,855	2399,518	17285,766	17996,879	17358,890	16687,312
		150,4	304,2	12,785	2365,509	18975,859		15671,563	
		148,9	304,0	12,815	2418,529	17729,012		17031,483	

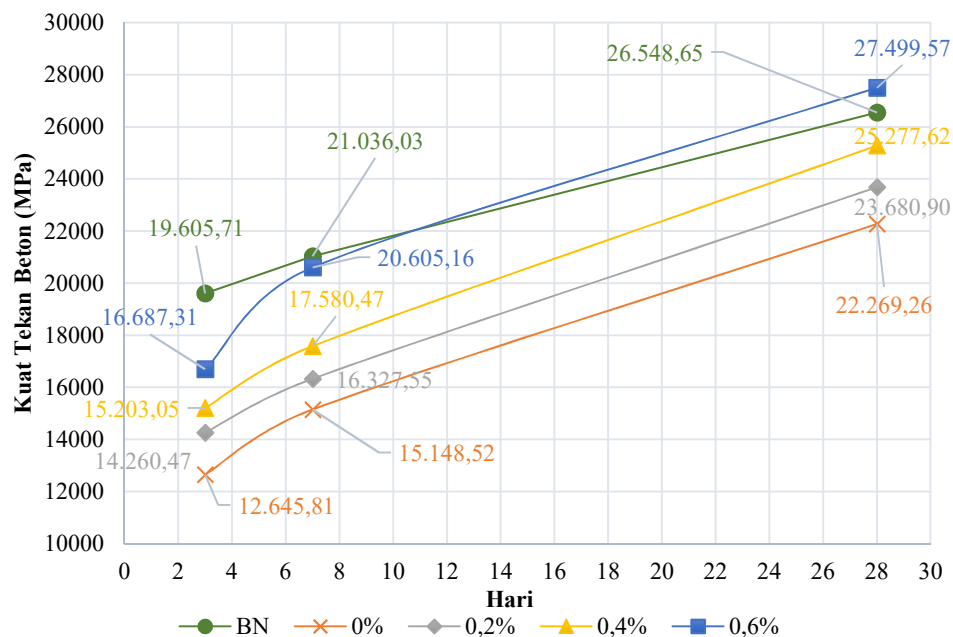
Tabel 5.23 Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	ASTM C469-02		SNI 2013	
						Modulus Elastisitas	ME Rerata	Modulus Elastisitas	ME Rerata
1	BN7	151,3	306,4	13,038	2365,809	26775,533	22715,237	22163,553	21036,033
		151,0	301,7	12,829	2373,553	19132,580		21104,804	
		151,3	303,4	12,720	2330,929	22237,598		19839,741	
2	BFB7.0	149,8	302,4	12,684	2379,615	13911,899	16537,395	15201,835	15148,517
		150,2	299,5	12,440	2342,993	15446,931		14970,302	
		151,0	304,4	12,876	2361,377	20253,354		15273,413	
3	BFB7.0,2	149,3	303,1	12,824	2415,757	19736,411	19126,296	16952,272	16231,268
		151,3	302,8	12,917	2371,991	18106,569		14093,675	
		149,6	303,4	12,785	2397,728	19535,907		17647,858	
4	BFB7.0,4	150,1	299,4	12,507	2360,586	20246,946	19756,068	17312,331	17580,469
		150,6	302,5	12,716	2358,251	19203,751		18303,662	
		151,1	302,9	12,850	2365,538	19817,507		17125,416	
5	BFB7.0,6	149,8	300,1	12,408	2345,801	21958,242	21930,354	19922,622	20605,164
		149,7	303,9	12,861	2402,134	21424,161		21129,213	
		149,3	304,4	12,823	2405,253	22408,659		20763,657	

Tabel 5.24 Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	ASTM C469-02		SNI 2013	
						Modulus Elastisitas	ME Rerata	Modulus Elastisitas	ME Rerata
1	BN28	151,7	302,9	12,770	2331,609	29515,809	28538,206	27297,188	26548,654
		150,6	300,1	12,621	2360,006	27412,764		25667,590	
		150,8	300,7	12,831	2388,140	28686,047		26681,185	
2	BFB28.0	151,6	299,5	12,681	2346,157	22698,290	22018,057	22618,849	22269,256
		149,9	303,9	12,717	2371,520	23083,599		21954,312	
		149,6	304,5	12,764	2384,341	20272,282		22234,606	
3	BFB28.0,2	151,3	303,1	12,878	2363,509	28534,673	25632,666	24030,214	23472,062
		150,6	302,0	12,740	2368,047	21906,821		21570,088	
		149,6	301,8	12,818	2455,795	26456,506		24815,885	
4	BFB28.0,4	150,6	301,0	12,624	2354,291	28064,036	26354,744	24884,141	25277,615
		150,7	298,5	12,637	2373,822	22234,271		24753,609	
		149,7	302,7	12,859	2411,533	28765,924		26195,095	
5	BFB28.0,6	151,0	303,3	12,924	2378,280	31405,263	28870,652	28157,498	27602,375
		151,1	304,7	12,795	2339,578	27695,932		26360,520	
		149,9	304,0	12,746	2373,526	27510,762		28289,109	

**Gambar 5.8 Modulus Elastisitas ASTM C-469**

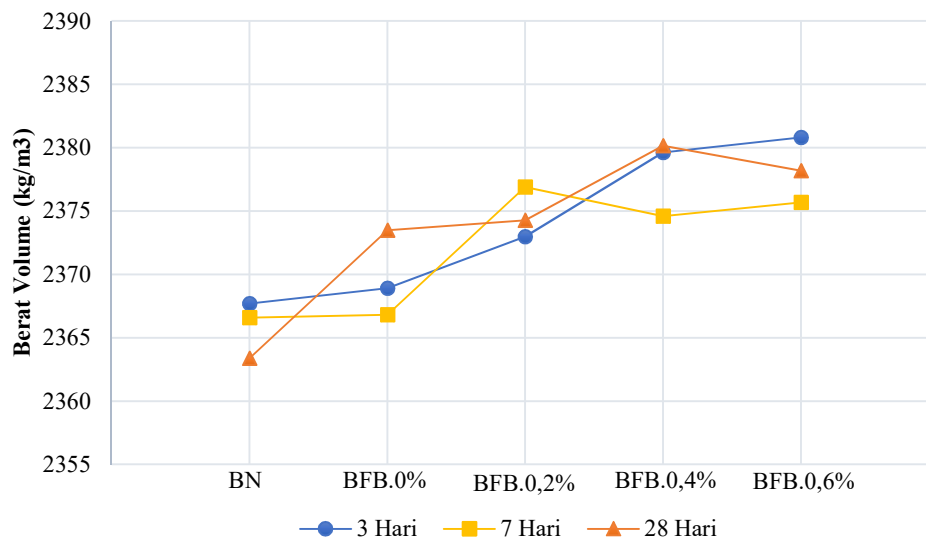


Gambar 5.9 Modulus Elastisitas SNI 2847:2013

Berdasarkan grafik di atas, modulus elastisitas setiap variasi selalu mengalami kenaikan seiring bertambahnya umur beton, baik menggunakan metode ASTM C469-02 maupun SNI 2847:2013. Ada selisih nilai modulus antara keduanya yang disebabkan adanya perbedaan metode penghitungan. Penghitungan dengan metode ASTM C469-02 menghasilkan modulus elastisitas sesuai kondisi saat pengujian dilaksanakan, sedangkan metode SNI 2847:2013 menggunakan rumus empiris yang mempertimbangkan berat volume dan kuat tekan beton.

Nilai modulus elastisitas terendah didapatkan oleh variasi BFB₀ pada setiap umur beton dan setiap metode pengujian. Nilai modulus elastisitas tertinggi pada 3 dan 7 hari didapatkan oleh BN, sedangkan pada 28 hari oleh BFB_{0,6}. Menurut Pauw (1960), nilai modulus elastisitas beton lebih bergantung pada beratnya dibandingkan dengan kuat tekannya. Sejalan dengan hal tersebut pada penelitian ini, walaupun kuat tekan BN lebih tinggi, tetapi modulus elastisitas BN lebih rendah daripada BFB_{0,6}. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.10, beton *fly ash* cenderung lebih berat dibandingkan BN. Menurut Rosenberg (2010), beton yang mengandung *fly ash* akan lebih padat karena ukuran rongga/pori yang lebih kecil. Selain itu, kepadatan beton *fly ash* juga akan bertambah karena sisa *fly ash* yang

tidak bereaksi akan mengisi pori di dalam beton. Hal ini adalah penyebab meningkatnya berat beton *fly ash* dibandingkan beton normal.



Gambar 5.10 Berat Volume Beton

Subranian (2021) menyatakan bahwa tingginya modulus elastisitas berhubungan erat dengan tingginya kuat tekan beton. Dalam kasus ini, kuat tekan sangat dipengaruhi oleh penambahan *Bestmittel* yang mampu mempercepat hidrasi beton *fly ash*. Sebagai contoh, pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9, terlihat varian BFB₀ (*Bestmittel* 0%) memiliki nilai modulus elastisitas yang sangat rendah. Namun seiring bertambahnya kadar *Bestmittel*, nilai modulus elastisitas semakin meningkat. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa secara tidak langsung *Bestmittel* berperan meningkatkan nilai modulus elastisitas beton *fly ash*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan *fly ash* tipe C sebesar 30% dari berat semen menyebabkan hidrasi beton berjalan lambat. *Bestmittel* sebanyak 0,6% dari berat semen dapat mempercepat hidrasi beton *fly ash* sehingga mencapai kuat tekan rencana.
2. Penggunaan *fly ash* tipe C tanpa *accelerator* menyebabkan kuat tekan awal yang rendah.
3. Penambahan *Bestmittel* selalu bisa mempercepat hidrasi, tetapi kadar *Bestmittel* sebanyak 0,6% dari berat semen memberikan keuntungan paling besar dalam hal perkembangan kuat tekan beton *fly ash*.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan di atas, dapat diambil saran bagi penelitian selanjutnya demi pengembangan ilmu pengetahuan yang lebih luas. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Dalam membeli *fly ash* hendaknya lebih berhati-hati karena banyak beredar *fly ash* dengan kualitas rendah dan tidak sesuai persyaratan SNI.
2. Sebaiknya dilakukan pengujian komposisi *Bestmittel* untuk mengetahui kandungan kimia di dalamnya.
3. Varian kadar *Bestmittel* yang belum diujikan dalam penelitian ini sebaiknya perlu diteliti pada beton dengan 30% *fly ash* supaya mendapatkan hasil yang lebih detail.
4. Sebaiknya dilakukan pengujian selain kuat tekan dan modulus elastisitas terhadap beton dengan *fly ash* 30% dan *Bestmittel* untuk mendapatkan hasil yang lebih lengkap.

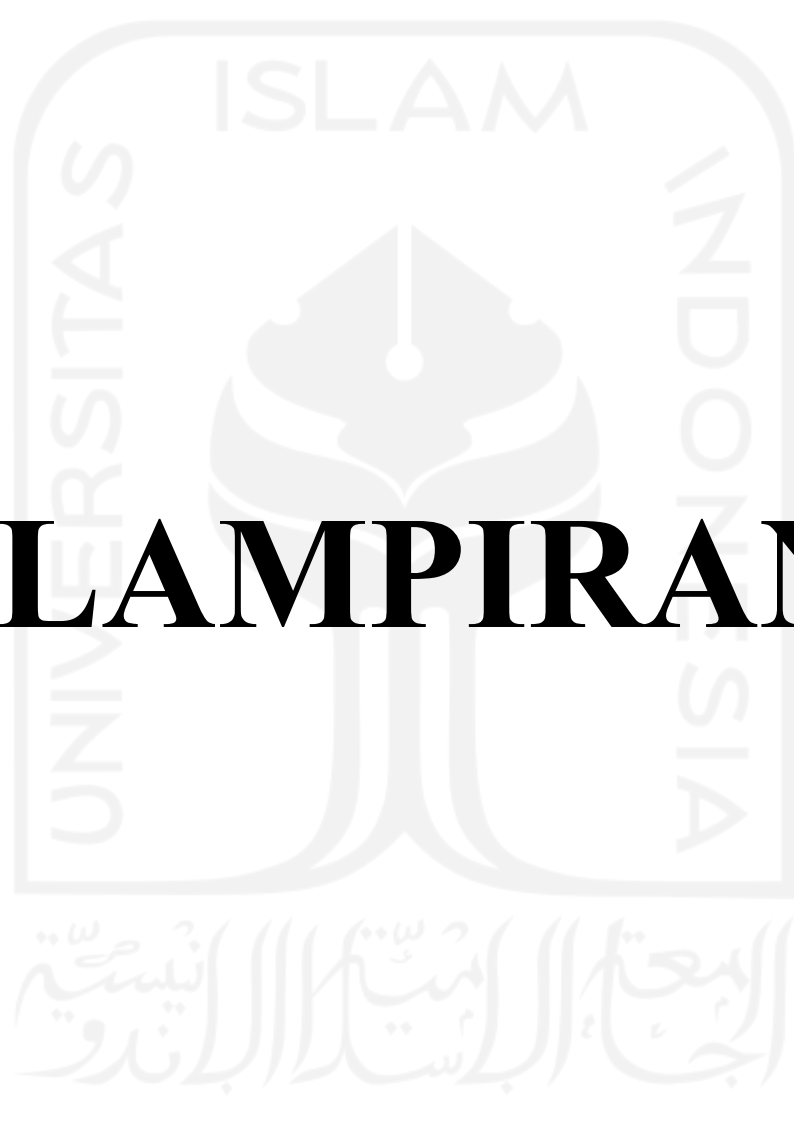
DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. *Buku Panduan Praktikum: Teknologi Bahan Konstruksi*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- American Society for Testing and Material. 2002. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. ASTM C469-02. ASTM International. West Conshohocken. PA.
- Ariyani dan Sasongko. 2014. Pengaruh Penggunaan Bestmittel untuk Mempercepat Kuat Tekan Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM*. Edisi 1/th XIXI/2014. Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. SNI 03-1968-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. SNI 03-1969-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 03-1970-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)*. SNI 03-4142-1996. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. SNI 03-4804-1998. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Semen Portland*. SNI 15-2049-2004. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. BSN. Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974:2011. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. BSN. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Ervianto, M., Saleh, F., dan Prayuda, H. 2016. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Zat Aditif (Bestmittel). *SINERGI*. Vol.20, No.3, Oktober 2016: 199-206. Yogyakarta.
- Muhtar. 2012. Pengaruh Penambahan Limbah Hasil Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) dan Abu Sekam Padi terhadap Modulus Elastisitas Beton. *Prosiding Jilid I (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*. Surabaya. 12 Juli 2012. 1-111.
- Mulyono, T.. 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Nugraha dan Antoni. 2007. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Setiawati dan Imaduddin. 2018. Fly Ash sebagai Bahan Pengganti Semen pada Beton. *Bearing : Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*. Volume 5 No. 4 Desember 2018. Palembang.
- Sulistiyawati, R. 2009. Pengaruh Penggunaan Zat Additive Bestmittel terhadap Kuat Tekan Beton. *Teodolita*. Volume 11 No. 2 Desember 2009. Purwokerto.
- Sultan, M.A., Imran, dan Faujan, M. 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Pembakaran Batu Bara (Fly Ash) Ex PLTU Rum pada Campuran Beton. *Teras Jurnal*. Volume 9 No. 2 September 2019. Ternate.
- Thomas, M.. 2007. *Concrete: Optimizing the Use of Fly Ash in Concrete*. Portland Cement Association. (https://www.cement.org/docs/default-source/fc_concrete_technology/is548-optimizing-the-use-of-fly-ash-concrete.pdf). Diakses 2 Mei 2021).
- Tjokrodinuljo, K.. 1992. *Buku Ajar: Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Vasavan, M.. 2017. *Elastic Modulus of Concrete*. LinkedIn (<https://www.linkedin.com/pulse/elastic-modulus-concrete-manilal-vasavan>. Diakses 28 Mei 2021).





LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian *Fly Ash* (XRF)

	UNIVERSITAS NEGERI MALANG
	FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
	LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL MAJU (LABORATORIUM SENTRAL)
	Jalan Semarang 5, Malang 65145
	Telp. 0341-551312 (psw 200) 574895/ 085106001088
	E-mail : laboratoriumsentralum@yahoo.co.id / lab.sentral@um.ac.id
	Website : central-laboratory.um.ac.id

LAPORAN HASIL UJI																																							
LSUM.LHU.E.07.2022																																							
<u>Customers</u>	: Mohammad Fachry Ferdiansyah – Universitas Islam Indonesia																																						
<u>Contact Customer</u>	: 081329085085/ Email : -																																						
<u>Methods</u>	: IKME.E.1																																						
<u>Test Equipment</u>	: XRF																																						
<u>Received Date</u>	: 03 Januari 2022																																						
<u>Order Number</u>	: LSUM.P.2.2022																																						
SPECIMEN DESCRIPTION																																							
<u>Condition of Samples</u>	: Sampel serbuk hitam dalam botol plastik																																						
<u>Sample Code</u>	: E 4																																						
<u>Material Name</u>	: Fly ash																																						
<u>Measurement time</u>	: 05 Januari 2022																																						
OPERATOR, ANALYZER & SUPERVISOR																																							
<u>Analyzer</u>	: Mailinda A.H., S.Si																																						
<u>Supervisor</u>	: Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D																																						
RESULTS																																							
Remark:																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Compound</th> <th>Compound</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Al</td><td>Al₂O₃</td></tr> <tr><td>Si*</td><td>SiO₂</td></tr> <tr><td>S</td><td>SO₃</td></tr> <tr><td>K</td><td>K₂O</td></tr> <tr><td>Ca*</td><td>CaO</td></tr> <tr><td>Ti*</td><td>TiO₂</td></tr> <tr><td>V</td><td>V₂O₅</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>Cr₂O₃</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>MnO</td></tr> <tr><td>Fe</td><td>Fe₂O₃</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>CuO</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>ZnO</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>SrO</td></tr> <tr><td>Mo</td><td>MoO₃</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>BaO</td></tr> <tr><td>Eu</td><td>Eu₂O₃</td></tr> <tr><td>Re</td><td>Re₂O₇</td></tr> <tr><td>Hg</td><td>HgO</td></tr> </tbody> </table>	Compound	Compound	Al	Al ₂ O ₃	Si*	SiO ₂	S	SO ₃	K	K ₂ O	Ca*	CaO	Ti*	TiO ₂	V	V ₂ O ₅	Cr	Cr ₂ O ₃	Mn	MnO	Fe	Fe ₂ O ₃	Cu	CuO	Zn	ZnO	Sr	SrO	Mo	MoO ₃	Ba	BaO	Eu	Eu ₂ O ₃	Re	Re ₂ O ₇	Hg	HgO
Compound	Compound																																						
Al	Al ₂ O ₃																																						
Si*	SiO ₂																																						
S	SO ₃																																						
K	K ₂ O																																						
Ca*	CaO																																						
Ti*	TiO ₂																																						
V	V ₂ O ₅																																						
Cr	Cr ₂ O ₃																																						
Mn	MnO																																						
Fe	Fe ₂ O ₃																																						
Cu	CuO																																						
Zn	ZnO																																						
Sr	SrO																																						
Mo	MoO ₃																																						
Ba	BaO																																						
Eu	Eu ₂ O ₃																																						
Re	Re ₂ O ₇																																						
Hg	HgO																																						
-Hasil pengujian juga diminta dalam bentuk unsur & oksida -Hasil analisa hanya berlaku untuk sampel yang diuji *Dibawah parameter terakreditasi.																																							

Mengetahui,
Manajer Teknis



Dra. Surjani Wonorahardjo, Ph.D.
NIP.196605281991032001

Malang, 05 Januari 2022

Mengetahui
Kepala Lab

Mineral dan Material Maju FMIPA UM



Nandang Mufti, S.Si, M.T, Ph.D
NIP.197208152005011001

05-jan-2022 09:00:43

Sample results

Page 1

Sample ident	
E	4

Application	<Standardless>
Sequence	1 of 1
Measurement time	05-jan-2022 08:32:44
Position	9

Compound	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO
Conc	10	29,6	1,1	1,43	25,0	1,29	0,05	0,080	0,35	28,6	0,053	0,04
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Compound	SrO	MoO ₃	BaO	Eu ₂ O ₃	Re ₂ O ₇	HgO
Conc	0,56	0,7	0,2	0,31	0,06	0,21
Unit	%	%	%	%	%	%

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Agregat Kasar



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

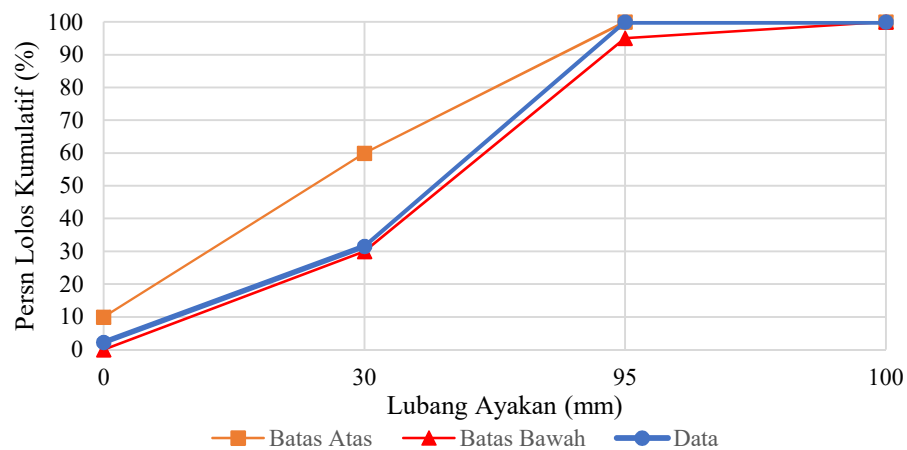
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4945,00	4960,00	4952,50	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000,00	5000,00	5000,00	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3160,00	3162,00	3161,00	gram
Berat jenis Curah Bk / (Bj-Ba)	2,69	2,70	2,69	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,72	2,72	2,72	
Berat jenis semu Bk / (Bk-Ba)	2,77	2,76	2,76	
Penyerapan air (Bj-Bk) / Bk x 100%	1,11	0,81	0,96	%



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

SAMPEL I				
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	3421	68,42	68,42	31,58
4,80	1466	29,32	97,74	2,26
2,40	87	1,74	99,48	0,52
1,20	4	0,08	99,56	0,44
0,60	0	0,00	99,56	0,44
0,30	0	0,00	99,56	0,44
0,15	0	0,00	99,56	0,44
Sisa	22	0,44	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	663,88	
			MHB =	6,639

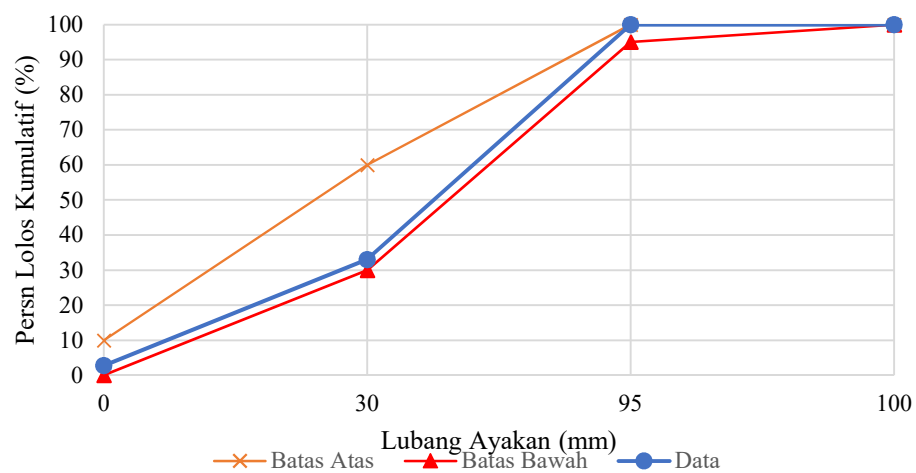




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR
(SNI 03-1968-1990)

SAMPEL II				
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	3348	66,96	66,96	33,04
4,80	1513	30,26	97,22	2,78
2,40	126	2,52	99,74	0,26
1,20	2	0,04	99,78	0,22
0,60	0	0,00	99,78	0,22
0,30	0	0,00	99,78	0,22
0,15	0	0,00	99,78	0,22
Sisa	11	0,22	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	663,04	
			MHB =	6,630





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Berat Isi Gembur Agregat Kasar				
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17725	17677	17701	gram
Berat Agregat (W3)	7206	7158	7182	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm
Volume Tabung (V)	5294,94	5294,94	5294,94	cm ³
Berat Isi Gembur	1,36	1,35	1,36	gram/cm ³

Berat Isi Padat Agregat Kasar				
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	10519	10519	10519	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18531	18482	18506,5	gram
Berat Agregat (W3)	8012	7963	7987,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,98	14,98	14,98	cm
Tinggi Tabung (t)	30,06	30,06	30,06	cm
Volume Tabung (V)	5294,94	5294,94	5294,94	cm ³
Berat Isi Padat	1,51	1,50	1,51	gram/cm ³

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Agregat Halus



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

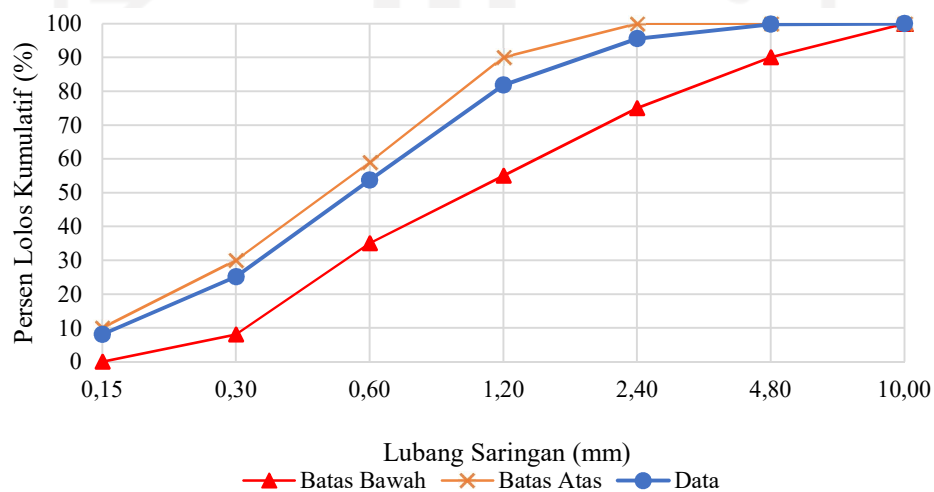
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat pasir kering mutlak (Bk)	476,00	479,00	477,50	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (Bj)	500,00	500,00	500,00	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1140,00	1143,00	1141,50	gram
Berat piknometer berisi air (B)	839,00	837,00	838,00	gram
Berat Jenis Curah $Bk / (B+Bj-Bt)$	2,39	2,47	2,43	
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $Bj / (B+Bj-Bt)$	2,51	2,58	2,54	
Berat Jenis semu $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,72	2,77	2,74	
Penyerapan Air $(Bj-Bk)/Bk \times 100\%$	5,04	4,38	4,71	%



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

SAMPEL I				
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	4	0,20	0,20	99,80
2,40	85	4,26	4,46	95,54
1,20	274	13,72	18,18	81,82
0,60	562	28,14	46,32	53,68
0,30	571	28,59	74,91	25,09
0,15	340	17,03	91,94	8,06
Sisa	161	8,06		
Jumlah	1997	100	236,00	
			MHB =	2,36

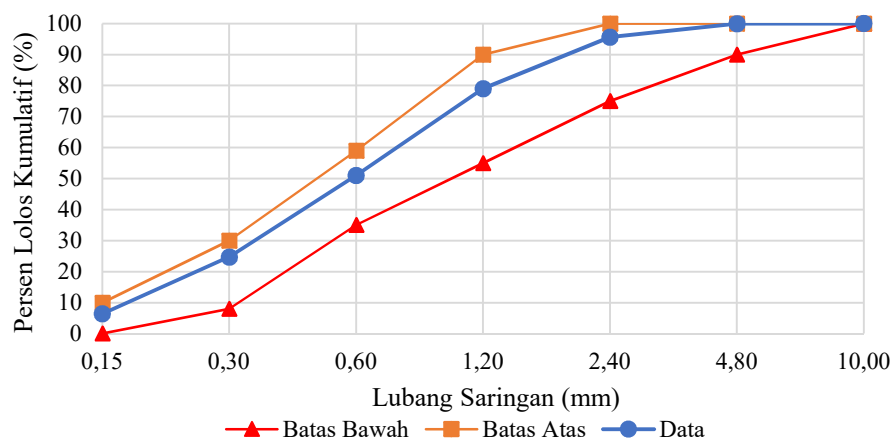




LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)

SAMPEL II				
Lubang Saringan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	1	0,05	0,05	99,95
2,40	87	4,36	4,41	95,59
1,20	332	16,62	21,03	78,97
0,60	558	27,94	48,97	51,03
0,30	526	26,34	75,31	24,69
0,15	366	18,33	93,64	6,36
Sisa	129	6,46		
Jumlah	1999	100	243,42	
			MHB =	2,43





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

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

Berat Isi Gembur Agregat Halus				
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	12585	12468	12526,5	gram
Berat Agregat (W3)	7063	6946	7004,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm
Volume Tabung (V)	5163,45	5163,45	5163,45	cm ³
Berat Volume Gembur	1,37	1,35	1,36	gram/cm ³

Berat Isi Padat Agregat Halus				
Uraian	Hasil			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Tabung (W1)	5522	5522	5522	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	13942	13983	13962,5	gram
Berat Agregat (W3)	8420	8461	8440,5	gram
Diameter Tabung (d)	14,75	14,75	14,75	cm
Tinggi Tabung (t)	30,23	30,23	30,23	cm
Volume Tabung (V)	5163,45	5163,45	5163,45	cm ³
Berat Volume Gembur	1,63	1,64	1,63	gram/cm ³



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4142-1996)

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel I	Sampel II	Rerata	
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500		gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	491	491		gram
Berat yang Lolos Saringan No. 200	1,8	1,8	1,8	%

Lampiran 4 Data Hasil Perencanaan dan Pengadukan Beton



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

FORMULIR PERENCANAAN CAMPURAN BETON METODE SNI (SNI 03-2834-2000)

No	Uraian	Nilai	Tabel/Grafik/Hitungan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Ditetapkan
2	Standar Deviasi	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	$M = 1,64 \times k \times S_d$
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	(1) + (3)
5	Jenis Semen	Tipe I	Ditetapkan
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	Ditetapkan
	Jenis Agregat Halus	Alami	Ditetapkan
7	Faktor air semen bebas (Fas)	0,5	Tabel 2 dan Grafik 1&2
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	Slump	80-120	Ditetapkan
10	Ukuran agregat maksimum	20	Ditetapkan
11	Kadar air bebas	205	Tabel 3
12	Kadar semen	410	(11) : (8)
13	Kadar semen maksimum	-	
14	Kadar semen minimum	275	Tabel 4
15	Kadar semen digunakan	410	
16	Kadar air disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	Daerah Gradasi
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,72	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,54	
19	Persen Agregat Halus	41,50	Grafik 13/14/15
20	Persen Agregat Kasar	58,50	
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,65	
22	Berat isi Beton	2375	Grafik 16
23	Kadar agregat gabungan	1760	$22 - 15 - 11$
24	Kadar agregat halus	730,4	19×23
25	Kadar agregat kasar	1029,6	$23 - 24$

Proporsi campuran teoritis Agregat kondisi (SSD)				
	Semen (kg)	Air (kg)	A. Halus (kg)	A. Kasar (kg)
Setiap m ³	410	205	730,4	1029,6
Setiap variasi	32,604	16,302	58,083	81,875
Proporsi campuran dengan angka penyusutan (25%)				
	Semen (kg)	Air (kg)	A. Halus (kg)	A. Kasar (kg)
Setiap m ³	512,5	256,25	913	1287
Setiap variasi	40,755	20,377	72,603	102,344

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON (SNI 1974:2011)

Nama : Mohammad Fachry Ferdiansyah
NIM : 17511004
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
 Umur benda uji = 3 hari

II. Data Pengujian

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
1	BN3-1	150,6	303,0	17820,2829	270000	15,15
2	BN3-2	150,7	301,9	17843,9564	250000	14,01
3	BN3-3	152,3	300,6	17749,3564	270000	15,21
4	BN3-4	151,8	301,4	17867,6457	290000	16,23
5	BN3-5	150,6	305,1	17820,2829	260000	14,59
6	BFB3.0-1	150,2	300,5	17592,2485	110000	6,25
7	BFB3.0-2	149,0	301,9	17451,4485	115000	6,59
8	BFB3.0-3	151,2	301,1	17958,6002	110000	6,13
9	BFB3.0-4	149,6	303,2	17576,5761	130000	7,40
10	BFB3.0-5	150,8	302,9	17875,5456	140000	7,83
11	BFB3.0,2-1	150,5	302,8	17792,6047	125000	7,03
12	BFB3.0,2-2	149,4	301,4	17777,0009	115000	6,47
13	BFB3.0,2-3	149,7	301,8	17993,4613	130000	7,22
14	BFB3.0,2-4	150,2	303,2	17729,7584	135000	7,61
15	BFB3.0,2-5	151,0	302,8	17911,0378	160000	8,93



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalihurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

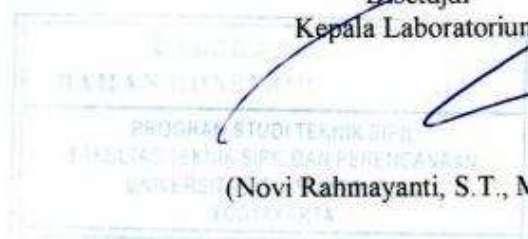
LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 1974:2011)

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
16	BFB3.0,4-1	149,8	302,0	17631,4600	150000	8,51
17	BFB3.0,4-2	150,5	302,6	17560,9107	160000	9,11
18	BFB3.0,4-3	150,6	304,1	17812,3952	180000	10,11
19	BFB3.0,4-4	150,8	302,7	17765,1056	140000	7,88
20	BFB3.0,4-5	149,7	302,0	17607,9279	170000	9,65
21	BFB3.0,6-1	150,2	302,4	17717,9576	200000	11,29
22	BFB3.0,6-2	150,4	304,2	17765,1844	200000	11,26
23	BFB3.0,6-3	148,9	304,0	17427,9588	200000	11,48
24	BFB3.0,6-4	150,8	302,8	17451,3704	175000	10,03
25	BFB3.0,6-5	151,4	302,7	17757,1514	190000	10,70

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON (SNI 1974:2011)

Nama : Mohammad Fachry Ferdiansyah
NIM : 17511004
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
 Umur benda uji = 7 hari

II. Data Pengujian

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
1	BN7-1	150,8	303,2	17867,6457	290000	16,23
2	BN7-2	151,3	306,4	17986,3279	370000	20,57
3	BN7-3	151,0	301,7	17915,0714	330000	18,42
4	BN7-4	151,3	303,4	17986,3279	320000	17,79
5	BN7-5	150,1	302,9	17702,1507	310000	17,51
6	BFB7.0-1	149,8	302,4	17627,5369	170000	9,64
7	BFB7.0-2	150,5	302,0	17796,6250	155000	8,71
8	BFB7.0-3	150,2	299,5	17729,6797	170000	9,59
9	BFB7.0-4	151,0	304,4	17915,0714	180000	10,05
10	BFB7.0-5	149,9	303,3	17655,0079	150000	8,50
11	BFB7.0,2-1	149,3	303,1	17513,9564	190000	10,85
12	BFB7.0,2-2	150,9	302,6	17651,0036	155000	8,78
13	BFB7.0,2-3	151,3	302,8	17982,2862	160000	8,90
14	BFB7.0,2-4	149,6	303,4	17572,6591	220000	12,52
15	BFB7.0,2-5	150,7	302,7	17836,1424	140000	7,85



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

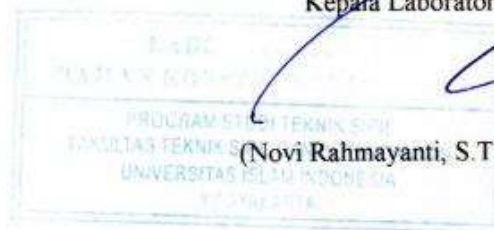
LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 1974:2011)

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
16	BFB7.0,4-1	149,9	304,2	17662,8606	180000	10,19
17	BFB7.0,4-2	150,1	299,4	17694,2892	220000	12,43
18	BFB7.0,4-3	151,2	299,7	17958,6002	135000	7,52
19	BFB7.0,4-4	150,6	302,5	17828,1723	240000	13,46
20	BFB7.0,4-5	151,1	302,9	17934,8507	220000	12,27
21	BFB7.0,6-1	150,7	304,8	17725,7457	290000	16,36
22	BFB7.0,6-2	149,8	300,1	17623,6927	300000	17,02
23	BFB7.0,6-3	151,2	302,9	17970,4017	250000	13,91
24	BFB7.0,6-4	149,7	303,9	17615,6917	310000	17,60
25	BFB7.0,6-5	149,3	304,4	17513,9564	300000	17,13

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON (SNI 1974:2011)

Nama : Mohammad Fachry Ferdiansyah
NIM : 17511004
Asal Instansi : Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
 Umur benda uji = 28 hari

II. Data Pengujian

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
1	BN28-1	149,6	304,3	17584,4114	440000	25,02
2	BN28-2	151,7	302,9	18081,5564	580000	32,08
3	BN28-3	150,6	300,1	17820,2829	490000	27,50
4	BN28-4	151,7	303,9	18081,5564	420000	23,23
5	BN28-5	150,8	300,7	17867,6457	540000	30,22
6	BFB28.0-1	151,6	299,5	18049,7856	370000	20,50
7	BFB28.0-2	149,9	303,9	17647,1568	330000	18,70
8	BFB28.0-3	149,3	303,9	17506,1368	330000	18,85
9	BFB28.0-4	149,6	304,5	17580,4936	350000	19,91
10	BFB28.0-5	149,7	301,4	17607,9279	300000	17,04
11	BFB28.0.2-1	150,8	301,2	17404,5629	305000	17,52
12	BFB28.0.2-2	151,3	303,1	17978,4827	430000	23,92
13	BFB28.0.2-3	150,6	302,0	17812,4740	340000	19,09
14	BFB28.0.2-4	150,3	303,2	17509,9682	300000	17,13
15	BFB28.0.2-5	149,6	301,8	17350,1114	410000	23,63



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

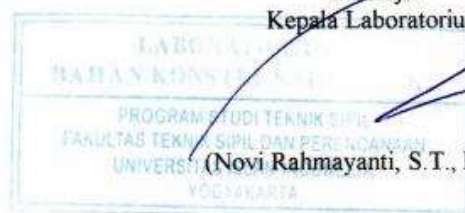
LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON
(SNI 1974:2011)

No	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan (MPa)
16	BFB28.0,4-1	150,6	301,0	17816,3388	450000	25,26
17	BFB28.0,4-2	149,6	301,2	17576,5761	320000	18,21
18	BFB28.0,4-3	150,7	298,5	17832,1177	435000	24,39
19	BFB28.0,4-4	150,4	301,6	17537,4257	500000	28,51
20	BFB28.0,4-5	149,7	302,7	17615,7702	450000	25,55
21	BFB28.0,6-1	151,0	303,3	17915,0714	560000	31,26
22	BFB28.0,6-2	151,1	304,7	17946,6443	530000	29,53
23	BFB28.0,6-3	149,9	304,0	17662,7821	570000	32,27
24	BFB28.0,6-4	149,5	303,9	17490,5029	320000	18,30
25	BFB28.0,6-5	150,3	301,7	17749,3564	450000	25,35

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium



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

Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Modulus Elastisitas



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BN3 – Sampel 1

Mutu beton = 25 MPa
Diameter = 150,6 mm
Tinggi = 303,0 mm

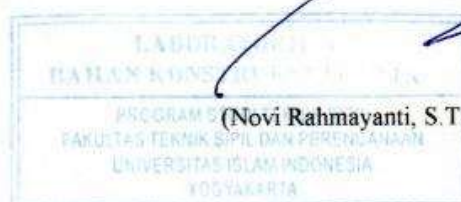
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	313
10	13	220	345
20	20	230	380
30	29	240	419
40	40	250	467
50	49	260	523
60	60	270	635
70	72	260	710
80	84	250	791
90	97	240	826
100	110		
110	123		
120	136		
130	152		
140	167		
150	184		
160	204		
170	223		
180	246		
190	268		
200	292		

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3289 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BN7 – Sampel 4

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 151,3 mm
 Tinggi = 303,4 mm

II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	224,4
10	15	220	236,4
20	21,5	230	247,4
30	30,5	240	262,4
40	40	250	275,3
50	48	260	292,8
60	61	270	309,8
70	72	280	329,8
80	82	290	344,3
90	90,9	300	364,8
100	101	310	384,3
110	111,3	320	403,8
120	121,1	310	427,8
130	132,8	300	462,8
140	144,4	290	488,8
150	158,4	280	518,3
160	169,4		
170	179,4		
180	190,9		
190	201,4		
200	212,9		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Signature)

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BN28 – Sampel 2

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 151,7 mm
 Tinggi = 302,9 mm

II. Data Pengujian

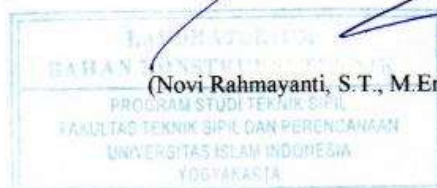
Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	158,9	420	343,3
10	14	220	165,4	430	356,3
20	19,5	230	171,9	440	368,3
30	26,5	240	178,9	450	384,8
40	33	250	187,4	460	395,8
50	39,5	260	192,4	470	415,3
60	45	270	199,9	480	429,8
70	51	280	205,9	490	448,2
80	57	290	213,4	500	462,2
90	62,5	300	221,4	510	486,7
100	71,5	310	233,9	520	511,2
110	83,5	320	242,9	530	532,7
120	89	330	249,9	540	565,2
130	99	340	258,9	550	605,2
140	105,9	350	269,4	560	700,1
150	112,4	360	277,4	570	777
160	120,9	370	288,8	580	836,5
170	130,4	380	297,8	570	897,5
180	138,9	390	307,3	550	948,9
190	147,9	400	320,8	530	974,8
200	153,9	410	333,3		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium

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





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3289 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB3.0 - Sampel 5

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 150,8 mm
 Tinggi = 302,9 mm

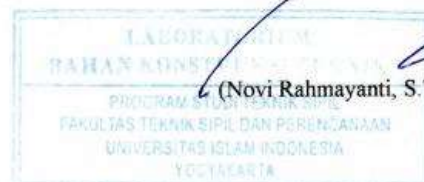
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0
10	15
20	25
30	36,5
40	49,5
50	66
60	86,9
70	109,4
80	125,4
90	165,4
100	197,9
110	244,4
120	302,8
130	388,3
140	571,2
130	613,6
120	725,4

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB7.0 - Sampel 4

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 151,0 mm
 Tinggi = 304,4 mm

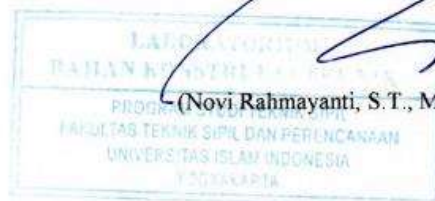
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0
10	15
20	21
30	28,5
40	42,5
50	54
60	65,5
70	78,5
80	93,9
90	116,4
100	150,4
110	193,9
120	254,3
130	299,8
140	353,3
150	411,3
160	488,2
170	613,6
180	722,1
170	788,4
160	853,4

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON (SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB28.0 – Sampel 2

Mutu beton = 25 MPa
Diameter = 149,9 mm
Tinggi = 303,9 mm

II. Data Pengujian

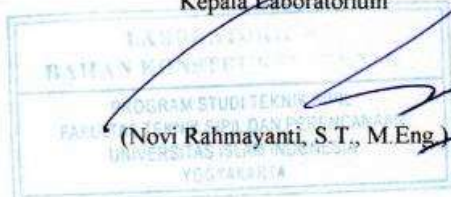
Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	209,9
10	10	220	221,9
20	17,5	230	237,9
30	26,5	240	250,9
40	35,5	250	268,8
50	46,5	260	280,8
60	55	270	295,8
70	66	280	322,3
80	76,5	290	345,8
90	85	300	377,3
100	95	310	459,7
110	105,9	320	559,7
120	114,9	330	714,6
130	127,4	320	820,6
140	137,9	310	910,5
150	146,9		
160	155,9		
170	166,9		
180	173,4		
190	184,4		
200	198,4		

Diperiksa Oleh
Laboran

Darusalam

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB3.0,2 – Sampel 5

Mutu beton = 25 MPa
Diameter = 151,0 mm
Tinggi = 302,8 mm

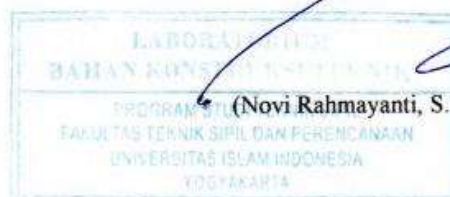
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0
10	14
20	22
30	31
40	44
50	58
60	78
70	94,4
80	116,9
90	140,4
100	171,4
110	206,4
120	241,9
130	285,8
140	343,8
150	435,7
160	697,1
150	833,4
140	916,1

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB7.0,2 – Sampel 1

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 149,3 mm
 Tinggi = 303,1 mm

II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	170	560,9
10	10		
20	16		
30	25		
40	37		
50	48		
60	60		
70	74,5		
80	88,9		
90	100,4		
100	113,9		
110	127,4		
120	141,4		
130	154,9		
140	177,9		
150	200,4		
160	224,4		
170	258,3		
180	296,3		
190	421,2		
180	489,2		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB28.0,2 – Sampel 2

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 151,3 mm
 Tinggi = 303,1 mm

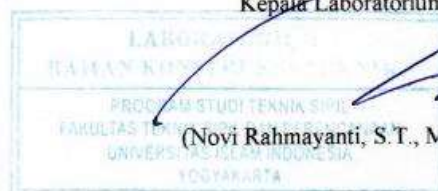
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	169,9	420	524,8
10	11	220	177,8	430	633,9
20	17	230	184,3	420	675,4
30	23	240	193,3	410	712,9
40	32	250	201,4	400	735,6
50	39	260	211,9		
60	46	270	220,4		
70	53	280	227,8		
80	60	290	238,6		
90	68	300	254,7		
100	77	310	267,9		
110	84	320	280,4		
120	91	330	297,7		
130	98	340	316,7		
140	107,9	350	338,6		
150	118,8	360	358,5		
160	127,6	370	372,6		
170	135,4	380	397,6		
180	142,6	390	428,9		
190	151,6	400	453,8		
200	161,7	410	482,5		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jalan Kalurahan Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)**

I. Data Benda Uji BFB3.0,4 – Sampel 3

Mutu beton = 25 MPa
Diameter = 150,6 mm
Tinggi = 304,1 mm

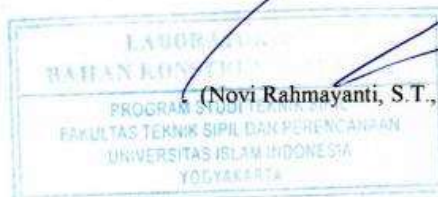
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0
10	17,5
20	28,5
30	43
40	56,5
50	69,5
60	83,9
70	98,4
80	113,4
90	133,9
100	145,4
110	162,4
120	183,4
130	203,4
140	222,9
150	245,9
160	282,3
170	350,8
180	423,2
170	487,3
160	524,8

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB7.0,4 – Sampel 4

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 150,6 mm
 Tinggi = 302,5 mm

II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	331,8
10	8	220	406,3
20	17	230	728,1
30	24	240	869,5
40	35	230	957,4
50	46	220	1075,8
60	58		
70	74		
80	85		
90	97,5		
100	110		
110	121,4		
120	130,1		
130	143,9		
140	156,4		
150	168,9		
160	188,9		
170	204,9		
180	224,9		
190	249,9		
200	284,4		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium

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





LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB28.0,4 – Sampel 5

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 149,7 mm
 Tinggi = 302,7 mm

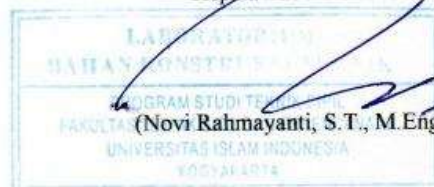
II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	172,9	420	482,7
10	11,5	220	189,4	430	520,2
20	18,5	230	200,9	440	587,7
30	24,5	240	212,4	450	739,6
40	30,5	250	223,9	440	814,5
50	38	260	235,4	430	909,5
60	46,5	270	248,4	420	1043,4
70	54	280	260,9		
80	61,5	290	276,9		
90	67,5	300	291,9		
100	75	310	306,9		
110	83	320	318,9		
120	93	330	329,9		
130	100	340	339,8		
140	107	350	350,8		
150	117,3	360	366,3		
160	126,9	370	381,8		
170	135,4	380	395,8		
180	147,9	390	409,8		
190	154,4	400	437,8		
200	161,9	410	459,2		

Diperiksa Oleh
 Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalitirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB3.0,6 – Sampel 2

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 150,4 mm
 Tinggi = 304,2 mm

II. Data Pengujian

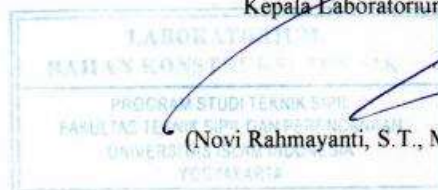
Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	190	719,3
10	11,5	180	782,2
20	21		
30	32		
40	43,5		
50	55,5		
60	68		
70	80,5		
80	94		
90	109		
100	121,4		
110	135,9		
120	151,9		
130	177,9		
140	202,4		
150	222,4		
160	269,9		
170	324,3		
180	383,8		
190	466,2		
200	640,1		

Diperiksa Oleh
 Laboran

Darusssalam

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kaliurang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3289 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB7.0,6 – Sampel 5

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 149,3 mm
 Tinggi = 304,4 mm

II. Data Pengujian

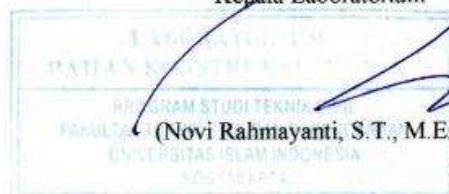
Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	232,5
10	16	220	245,3
20	24	230	264,1
30	32	240	281,8
40	40	250	302,4
50	51	260	316,7
60	61,5	270	343,9
70	70	280	379,8
80	81	290	417,2
90	93	300	467,2
100	102	290	517,3
110	115	280	546,2
120	127,9		
130	138,4		
140	148,1		
150	159,8		
160	172,8		
170	185,2		
180	196,9		
190	207,5		
200	221,4		

Diperiksa Oleh
 Laboran

Darusssalam

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium



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



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
 Jalan Kalihirang Km 14,5 Telepon (0274) 858444 eks 3250 & 3259 Yogyakarta

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI TEKAN DAN REGANGAN BETON
(SNI 03-4169-1996)

I. Data Benda Uji BFB28.0,6 – Sampel 1

Mutu beton = 25 MPa
 Diameter = 151,0 mm
 Tinggi = 303,3 mm

II. Data Pengujian

Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial	Beban (kN)	Pembacaan Dial
0	0	210	152,9	420	357,3
10	12,5	220	163,4	430	369,8
20	17	230	170,9	440	382,8
30	24,5	240	177,9	450	395,3
40	32,5	250	186,4	460	409,3
50	41	260	193,4	470	428,3
60	47	270	201,9	480	443,2
70	53,5	280	209,9	490	461,7
80	59	290	222,9	500	488,2
90	65,5	300	234,4	510	508,7
100	70	310	243,4	520	528,7
110	79	320	254,9	530	550,7
120	86	330	263,9	540	584,7
130	92,5	340	273,9	550	625,1
140	99,9	350	284,8	560	790
150	106,4	360	294,3	570	839,5
160	115,4	370	305,3	580	896,5
170	124,4	380	316,3	570	956,4
180	131,9	390	325,8		
190	138,9	400	337,3		
200	145,4	410	348,3		

Diperiksa Oleh
 Laboran

Darusalam

(Darusalam, A.Md.)

Disetujui
 Kepala Laboratorium

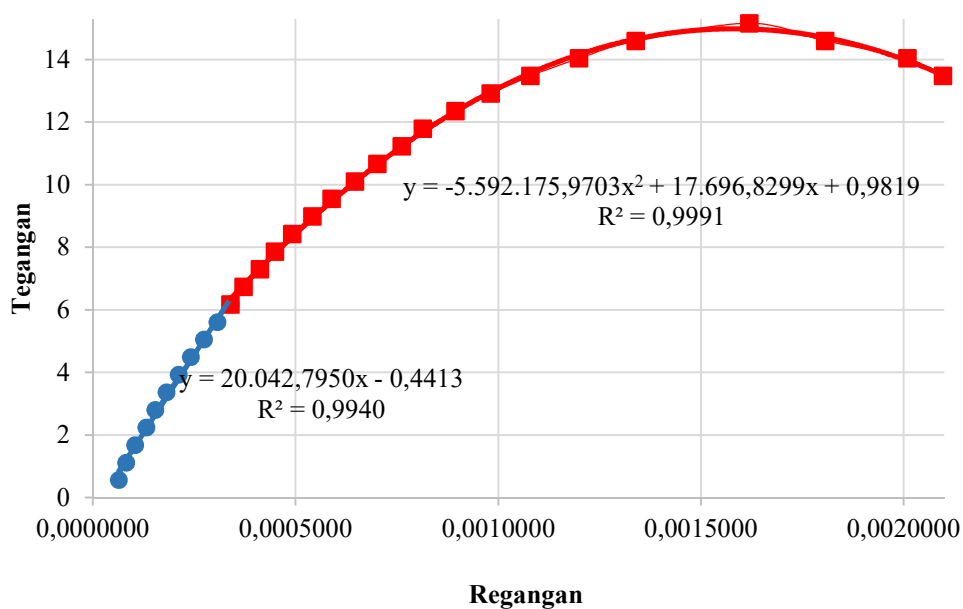


(Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.)

Lampiran 7 Grafik Modulus Elastisitas

1. Benda Uji BN3 – Sampel 1

BN3 - Sampel 1		
Lo	200	mm
Diameter (D)	150,6	mm
Luas Penampang (A)	17813,113	mm ²
Beban Maksimum (P)	270000	N
Kuat Tekan	15,157	MPa

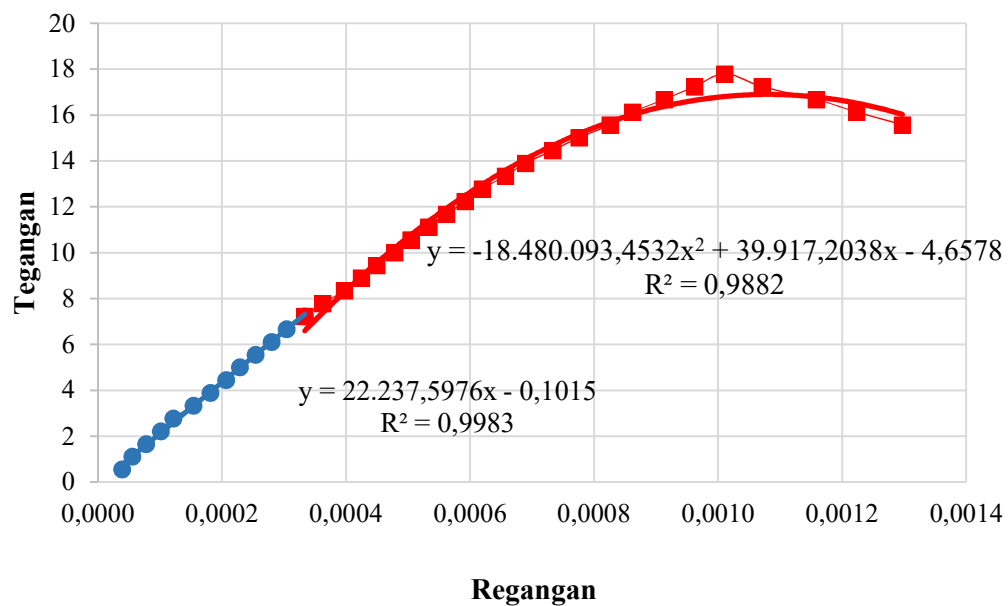


Gambar L-7.1 Modulus Elastisitas BN3-1

Modulus Elastisitas BN3 - 1		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ max)	14,975	MPa
40% τ max (S_2)	5,990	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000321	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,561	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	20042,795	MPa

2. Benda Uji BN7 – Sampel 4

BN7 - Sampel 4		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,3	mm
Luas Penampang (A)	17979,091	mm ²
Beban Maksimum (P)	320000	N
Kuat Tekan	17,798	MPa

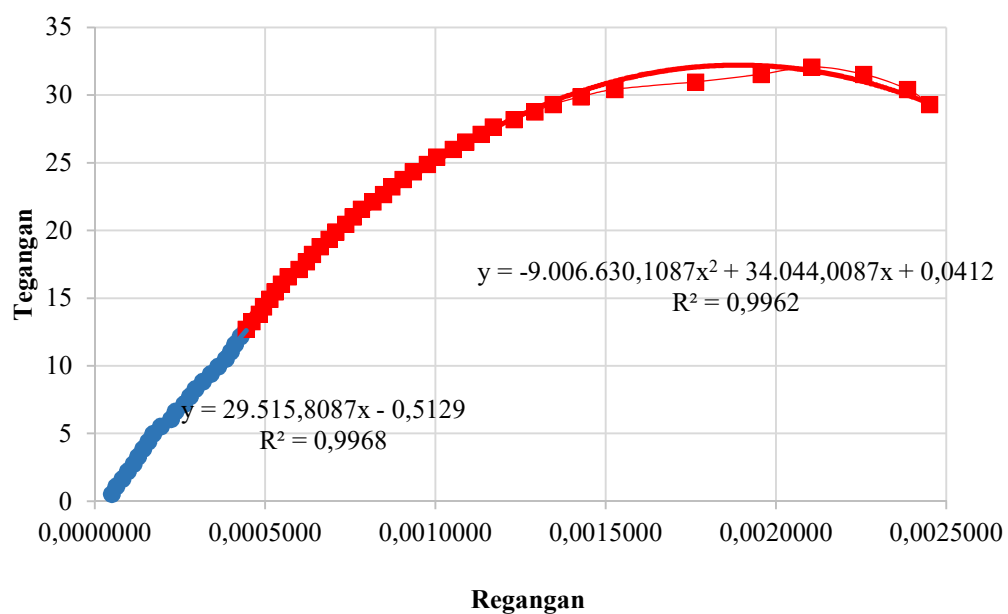


Gambar L-7.2 Modulus Elastisitas BN7-4

Modulus Elastisitas BN7 - 4		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	16,809	MPa
40% τ_{max} (S_2)	6,724	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000307	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	1,010	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	22237,598	MPa

3. Benda Uji BN28 – Sampel 2

BN28 - Sampel 2		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,7	mm
Luas Penampang (A)	18074,282	mm ²
Beban Maksimum (P)	580000	N
Kuat Tekan	32,090	MPa

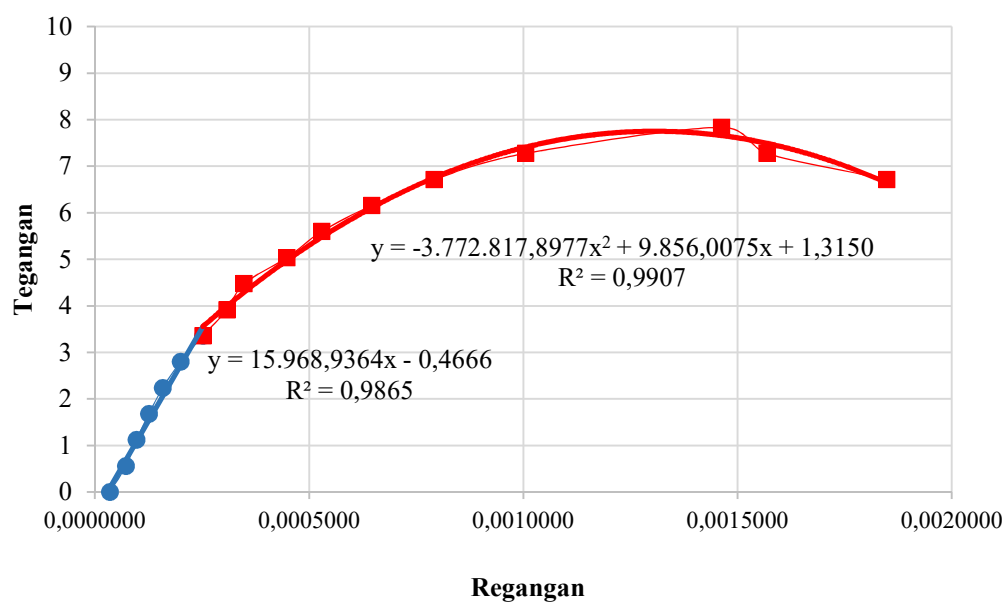


Gambar L-7.3 Modulus Elastisitas BN28-2

Modulus Elastisitas BN28 - 2		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ max)	31,793	MPa
40% τ max (S_2)	12,717	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000448	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,963	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	29515,809	MPa

4. Benda Uji BFB3.0 – Sampel 5

BFB3.0 - Sampel 5		
Lo	200	mm
Diameter (D)	150,8	mm
Luas Penampang (A)	17868,354	mm ²
Beban Maksimum (P)	140000	N
Kuat Tekan	7,835	MPa

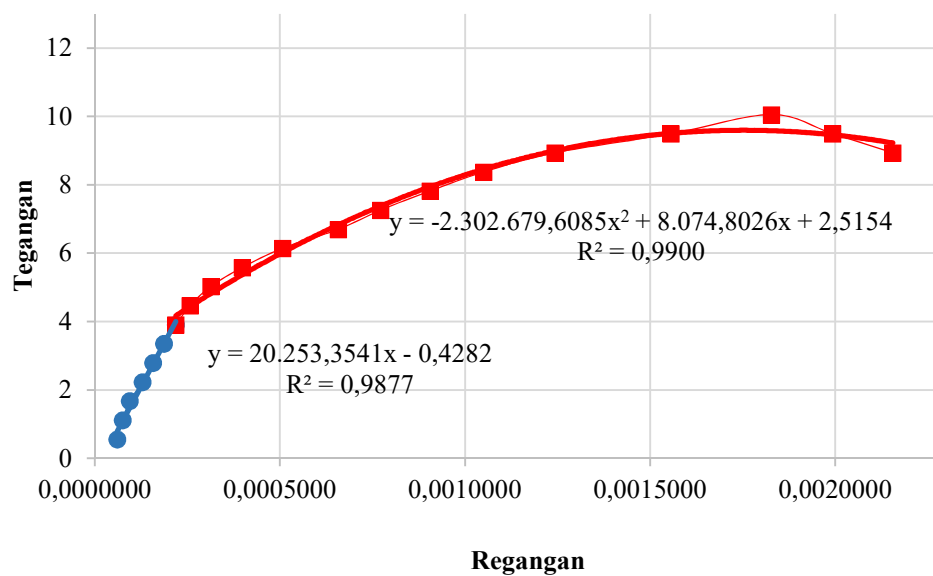


Gambar L-7.4 Modulus Elastisitas BFB3.0-5

Modulus Elastisitas BFB3.0 - 5		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	7,659	MPa
40% τ_{max} (S_2)	3,064	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000222	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,393	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	15509,677	MPa

5. Benda Uji BFB7.0 – Sampel 4

BFB7.0 - Sampel 4		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,0	mm
Luas Penampang (A)	17907,864	mm ²
Beban Maksimum (P)	180000	N
Kuat Tekan	10,051	MPa

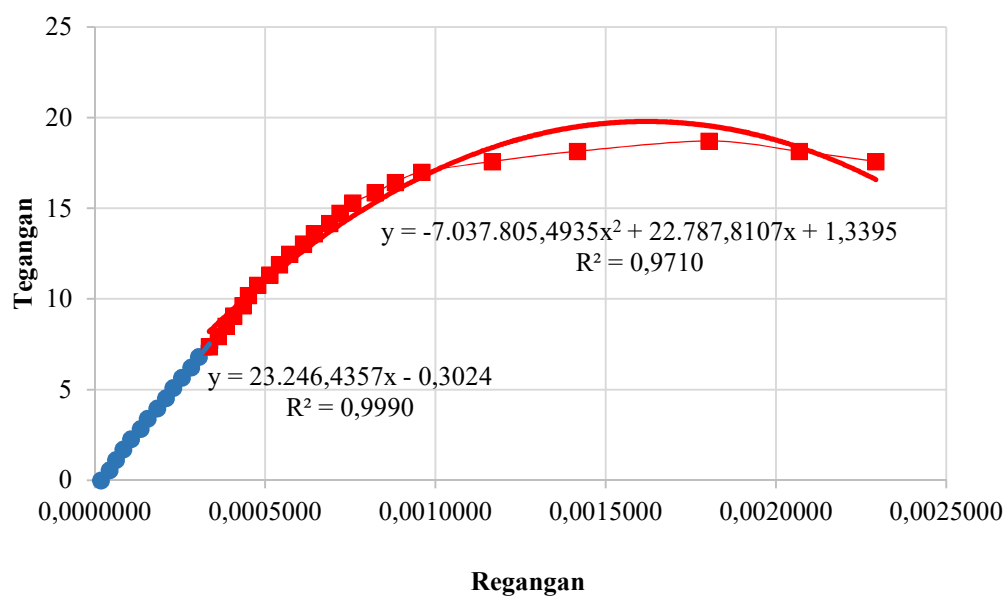


Gambar L-7.5 Modulus Elastisitas BFB7.0-4

Modulus Elastisitas BFB7.0 - 4		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	9,582	MPa
40% τ_{max} (S_2)	3,833	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000210	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,584	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	20253,354	MPa

6. Benda Uji BFB28.0 – Sampel 2

BFB28.0 - Sampel 2		
Lo	200	mm
Diameter (D)	149,9	mm
Luas Penampang (A)	17640,057	mm ²
Beban Maksimum (P)	330000	N
Kuat Tekan	18,707	MPa

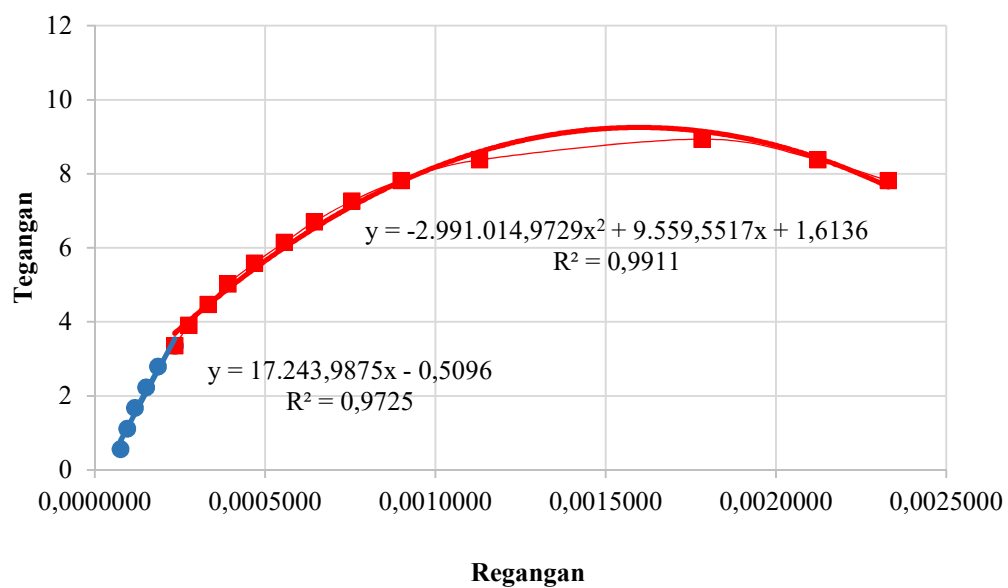


Gambar L-7.6 Modulus Elastisitas BFB28.0-2

Modulus Elastisitas BFB28.0 - 2		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ max)	19,544	MPa
40% τ max (S_2)	7,818	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000350	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,890	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	23083,599	MPa

7. Benda Uji BFB3.0,2 – Sampel 5

BFB3.0,2 - Sampel 5		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,0	mm
Luas Penampang (A)	17903,832	mm ²
Beban Maksimum (P)	160000	N
Kuat Tekan	8,937	MPa

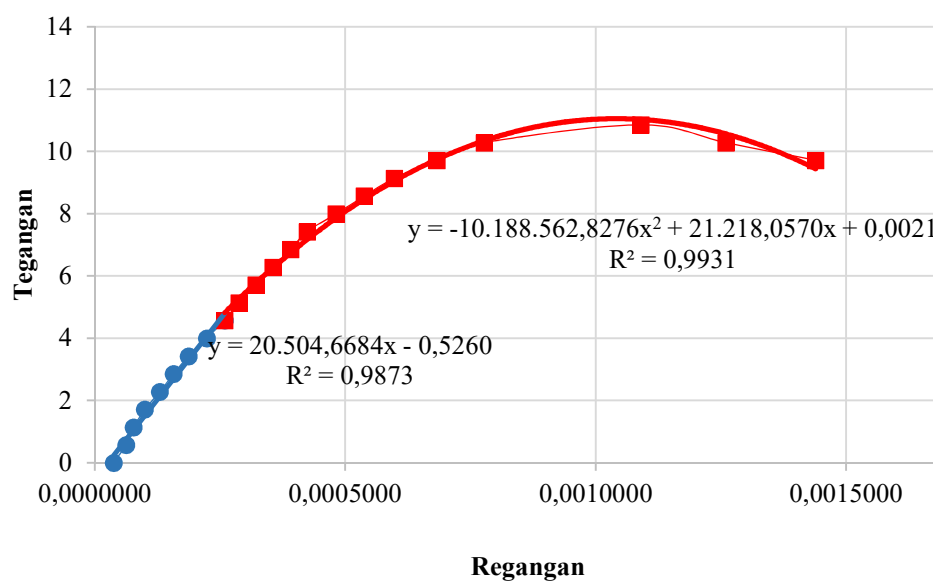


Gambar L-7.7 Modulus Elastisitas BFB3.0,2-5

Modulus Elastisitas BFB3.0,2 - 5		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	9,150	MPa
40% τ_{max} (S_2)	3,660	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000242	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,353	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	17243,988	MPa

8. Benda Uji BFB7.0,2 – Sampel 1

BFB7.0,2 - Sampel 1		
Lo	200	mm
Diameter (D)	149,3	mm
Luas Penampang (A)	17506,910	mm ²
Beban Maksimum (P)	190000	N
Kuat Tekan	10,853	MPa

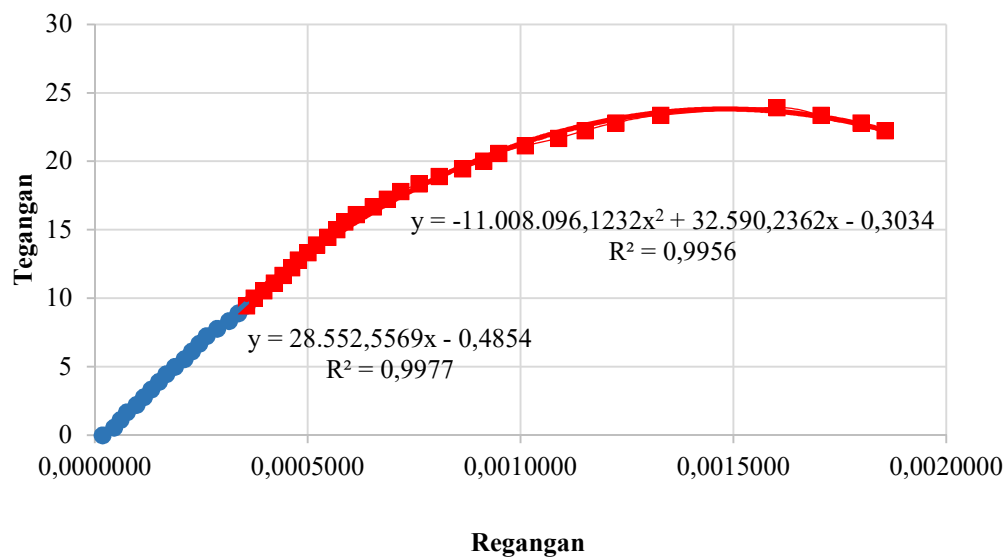


Gambar L-7.8 Modulus Elastisitas BFB7.0,2-1

Modulus Elastisitas BFB7.0,2 - 1		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	11,025	MPa
40% τ_{max} (S_2)	4,410	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000243	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,605	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	19736,411	MPa

9. Benda Uji BFB28.0,2 – Sampel 2

BFB28.0,2 - Sampel 2		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,3	mm
Luas Penampang (A)	17971,249	mm ²
Beban Maksimum (P)	430000	N
Kuat Tekan	23,927	MPa

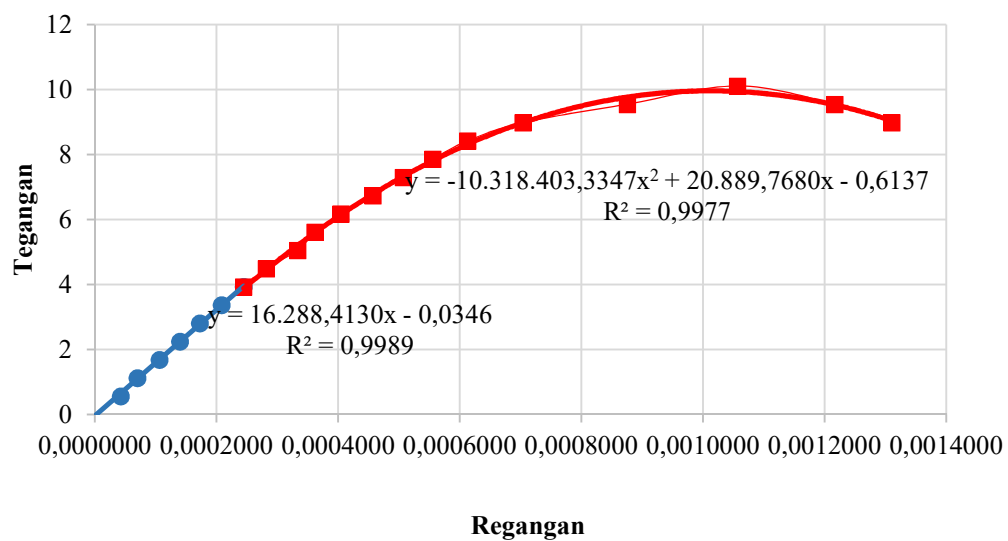


Gambar L-7.9 Modulus Elastisitas BFB28.0,2-2

Modulus Elastisitas BFB28.0,2 - 2		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	23,654	MPa
40% τ_{max} (S_2)	9,462	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000348	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,946	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	28534,673	MPa

10. Benda Uji BFB3.0,4 – Sampel 3

BFB3.0,4 - Sampel 3		
Lo	200	mm
Diameter (D)	150,6	mm
Luas Penampang (A)	17805,229	mm ²
Beban Maksimum (P)	180000	N
Kuat Tekan	10,109	MPa

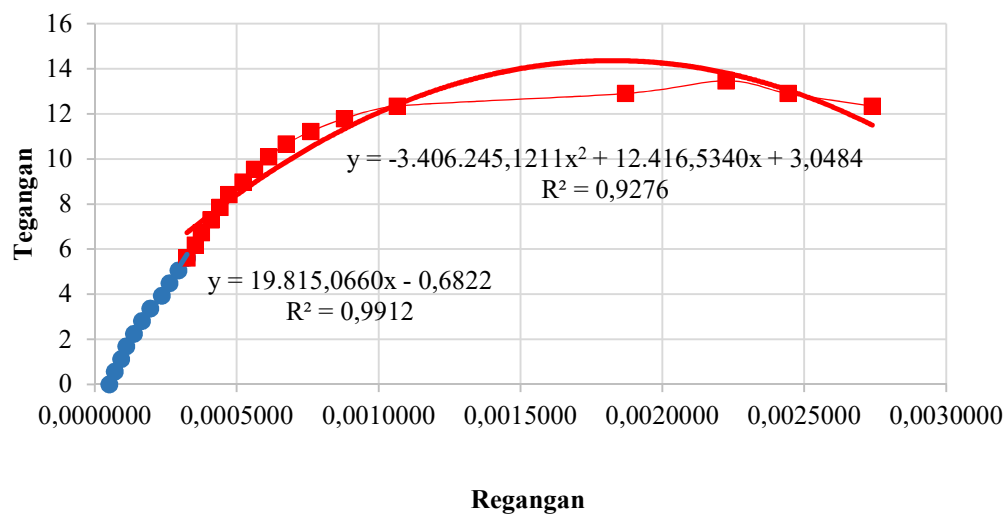


Gambar L-7.10 Modulus Elastisitas BFB3.0,4-3

Modulus Elastisitas BFB3.0,4 - 3		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	9,939	MPa
40% τ_{max} (S_2)	3,976	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000245	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,749	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	16537,308	MPa

11. Benda Uji BFB7.0,4 – Sampel 4

BFB7.0,4 - Sampel 4		
Lo	200	mm
Diameter (D)	150,6	mm
Luas Penampang (A)	17820,999	mm ²
Beban Maksimum (P)	240000	N
Kuat Tekan	13,467	MPa

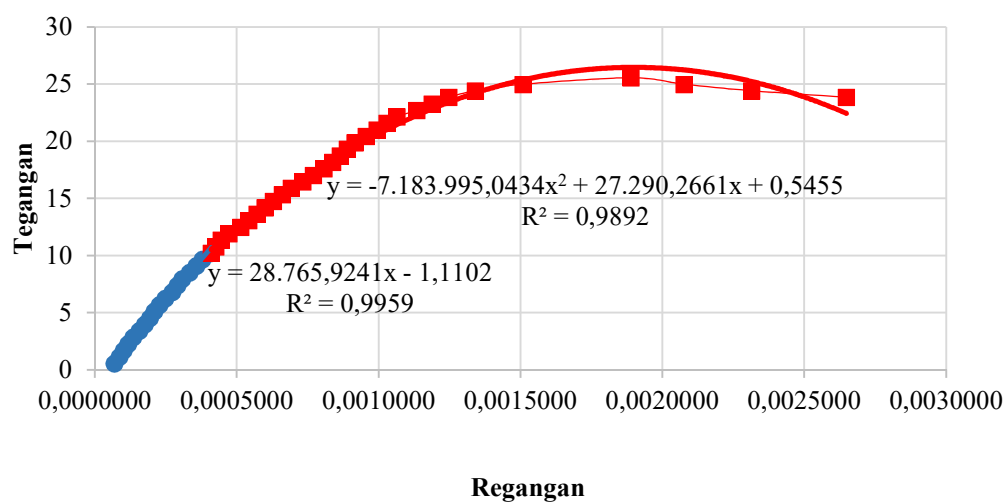


Gambar L-7.11 Modulus Elastisitas BFB7.0,4-4

Modulus Elastisitas BFB7.0,4 - 4		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	13,816	MPa
40% τ_{max} (S_2)	5,526	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000316	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,424	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	19203,751	MPa

12. Benda Uji BFB28.0,4 – Sampel 5

BFB28.0,4 - Sampel 5		
Lo	200	mm
Diameter (D)	149,7	mm
Luas Penampang (A)	17608,683	mm ²
Beban Maksimum (P)	450000	N
Kuat Tekan	25,556	MPa

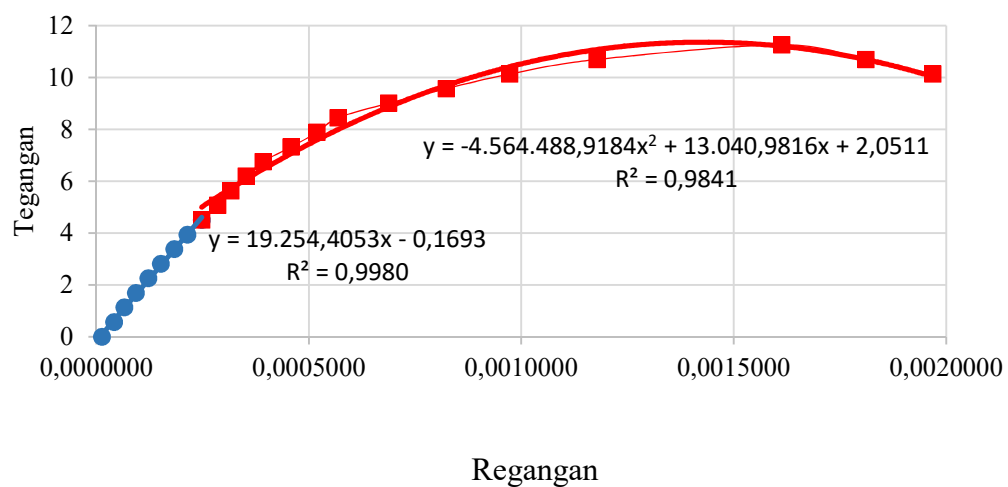


Gambar L-7.12 Modulus Elastisitas BFB28.0,4-5

Modulus Elastisitas BFB28.0,4 - 5		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	26,462	MPa
40% τ_{max} (S_2)	10,585	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000407	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,328	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	28765,924	MPa

13. Benda Uji BFB3.0,6 – Sampel 2

BFB3.0,6 - Sampel 2		
Lo	200	mm
Diameter (D)	150,4	mm
Luas Penampang (A)	17758,037	mm ²
Beban Maksimum (P)	200000	N
Kuat Tekan	11,263	MPa

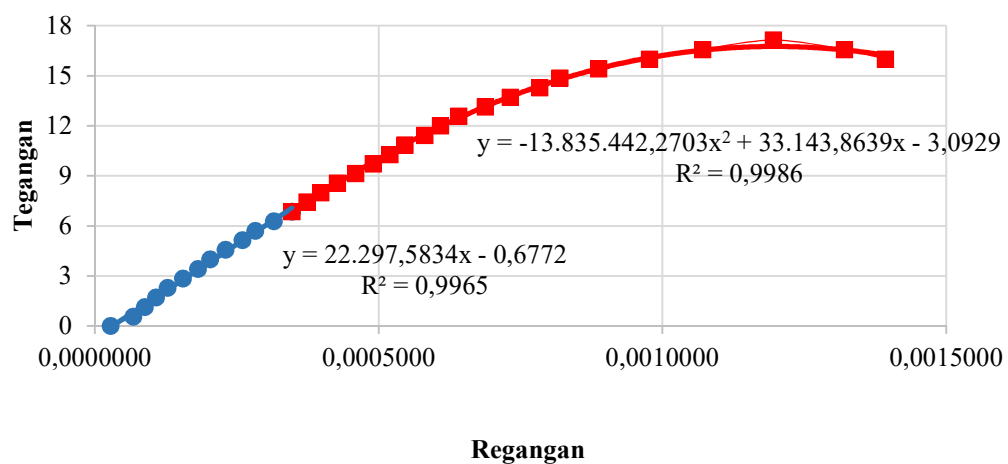


Gambar L-7.13 Modulus Elastisitas BFB3.0,6-2

Modulus Elastisitas BFB3.0,6 - 2		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ max)	10,035	MPa
40% τ max (S_2)	4,014	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000218	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,829	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	18975,859	MPa

14. Benda Uji BFB7.0,6 – Sampel 5

BFB7.0,6 - Sampel 5		
Lo	200	mm
Diameter (D)	149,3	mm
Luas Penampang (A)	17506,910	mm ²
Beban Maksimum (P)	300000	N
Kuat Tekan	17,136	MPa

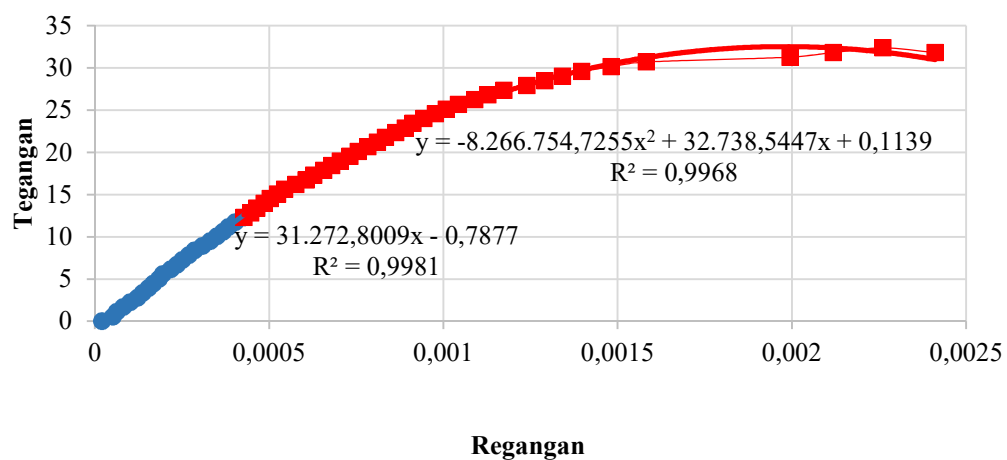


Gambar L-7.14 Modulus Elastisitas BFB7.0,6-5

Modulus Elastisitas BFB7.0,6 - 5		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ_{max})	16,757	MPa
40% τ_{max} (S_2)	6,703	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000331	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,416	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	22408,659	MPa

15. Benda Uji BFB28.0,6 – Sampel 1

BFB28.0,6 - Sampel 1		
Lo	200	mm
Diameter (D)	151,0	mm
Luas Penampang (A)	17907,864	mm ²
Beban Maksimum (P)	580000	N
Kuat Tekan	32,388	MPa



Gambar L-7.15 Modulus Elastisitas BFB28.0,6-1

Modulus Elastisitas BFB28.0,6 - 1		
Tegangan Maksimum Koreksi (τ max)	31,876	MPa
40% τ max (S_2)	12,750	MPa
Regangan saat S_2 (ϵ_2)	0,000432	
Tegangan saat ϵ_1 (S_1)	0,744	MPa
Modulus Elastisitas (E_c)	31405,263	MPa

Lampiran 8 Gambar Proses Pembuatan Benda Uji



Gambar L-8.1 Persiapan Pembuatan Benda Uji



Gambar L-8.2 Pengujian *Slump*



Gambar L-8.3 Pemadatan Campuran Beton pada Cetakan Silinder



Gambar L-8.4 Proses *Curing* Silinder Beton



Gambar L-8.5 Pengeringan Silinder Beton Setelah *Curing*



Gambar L-8.6 Pelelehan Belerang untuk Kaping



Gambar L-8.7 Proses Kaping Beton Silinder



Gambar L-8.8 Silinder Beton yang Telah Dikaping



Gambar L-8.9 Pemasangan *Dial Gauge*



Gambar L-8.10 Persiapan Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-8.11 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar L-8.12 Pola Keretakan Benda Uji