

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BATU
SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON PADA MUTU
30 MPA**

***(INFLUENCE OF STONE DUST AS A SUBSTITUTION
PARTIAL OF FINE AGGREGATE ON THE 30 MPA
CONCRETE)***

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



Raditya Pradhipta

17511166

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

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BATU SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK BETON PADA MUTU 30 MPA

*(INFLUENCE OF STONE DUST AS A SUBSTITUTION
PARTIAL OF FINE AGGREGATE ON THE 30 MPA
CONCRETE)*

Disusun Oleh

Raditya Pradhipta
17511166

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil
Diuji pada tanggal 30 Juni 2022

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
NIK: 155111306

Penguji I

Astria Harlawati, S.T., M.Eng.
NIK: 165111301

Penguji II

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

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya 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 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, 30 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,



Raditya Pradhipta

(17511166)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,

Alhamdulillah rabbi'alam. Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia menjalankan syariat hingga yaumul akhir. Sesuai dengan kurikulum dan persyaratan akademis, Tugas Akhir merupakan salah satu syarat untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Sipil program strata satu pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan secara materi maupun spiritual, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Untuk itu izinkanlah penyusun menyampaikan ucapan terimakasih 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. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng., selaku dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, nasehat, dan dukungan kepada penulis selama penyusun Tugas Akhir.
3. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten, karyawan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan pembelajaran penyusun selama kuliah.
4. Bapak Rinto Kertopati dan ibu Suryati Yulce Rensiana, yang selalu mendoakan dan menjadi motivasi terbesar bagi penyusun dalam menuntut ilmu. Terimakasih yang tiada akhir atas semua doa yang diberikan, kasih sayang, kesabaran, dan ketegaran membesarkan dan mendidik sehingga penulis menjadi seperti sekarang.

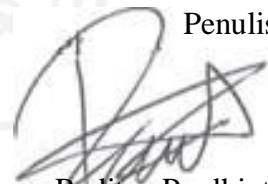
5. Kakak, Wiedy Pradhana dan Ketty Cherry Nindhita yang selalu mendukung, mendoakan serta memberi nasihat untuk penulis.
6. Sahabat SMP Gibran, Deni, Fikri, Panca, Patriya, dan bagas, yang terus menjalin silaturahmi serta semangat untuk penulis.
7. Putri Rizka Karima, Ikhlasul Amal, Anandya D Ramadhan, Dikky Pamungkas, M Ridwan Nur Cahya, Bagus Andriansyah, Teuku Annas P, Fariza Aulia R, Ilham Nuruddin, Kisna Hafizh J, Ahya Safira H, Komala Safitri, Anggita Putri, dan Raisha Qhibtyah Sagraan, yang telah meluangkan waktunya untuk membantu penelitian di laboratorium, sehingga pelaksanaan penelitian terasa ringan.
8. Keluarga Teknik Sipil 2017 UII yang menjadi keluarga selama menjalani masa kuliah, berjuang bersama, saling membantu satu sama lain.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penyusun berharap semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 30 Juni 2022

Penulis,



Raditya Pradhipta

17511166

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Tinjauan Umum	8
2.2. Penelitian Terdahulu	8
2.3. Perbandingan Penelitian	11
2.4. Keaslian Penelitian	14
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1. Beton	15
3.2. Material Penyusun Beton	16
3.2.1. Agregat	16
3.2.2. Semen <i>Portland</i> (Pc)	24
3.2.3. Air	25
3.3. Bahan Tambah	26

3.3.1. Abu Batu	27
3.3.2. <i>Superplasticizer (Viscocrete 3115N)</i>	27
3.4. Perencanaan Campuran Beton Normal	28
3.5. Berat Volume Beton	41
3.6. Kuat Tekan	42
3.7. Kuat Tarik	43
3.8. Kuat Lentur	44
3.9. Modulus Elastisitas	46
3.10. Daya penyerapan Air	48
BAB IV METODE PENELITIAN	50
4.1. Umum	50
4.2. Lokasi dan Sampel Penelitian	50
4.3. Bahan dan Peralatan Penelitian	51
4.3.1. Bahan yang Digunakan	51
4.3.2. Peralatan yang Digunakan	52
4.4. Tahap Persiapan Penelitian	57
4.4.1. Persiapan Material	58
4.4.2. Pengujian Material	58
4.5. Tahapan Penelitian	65
4.5.1. Pembuatan Sampel Benda Uji	65
4.5.2. Pengujian <i>Workability</i> Campuran Beton	67
4.5.3. Perawatan Sampel Benda Uji	67
4.5.4. Pengujian Sampel Benda Uji	68
4.5.5. Analisis Pengujian Benda Uji	71
4.6. Kerangka Konsep Penelitian	71
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN	74
5.1. Tinjauan Umum	74
5.2. Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	74
5.2.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	74
5.2.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	79
5.2.3. Hasil Pemeriksaan Abu Batu	84
5.3. Perencanaan Campuran Beton	89

5.4. Pengujian Nilai Slump	97
5.5. Pengujian Penyerapan Air Beton	100
5.6. Pengujian Berat Volume Beton	102
5.7. Pengujian Kuat Tekan Beton	104
5.8. Pengujian Modulus Elastisitas Beton	108
5.9. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	117
5.10. Pengujian Kuat Lentur	120
5.11. Pembahasan Secara Keseluruhan	122
BAB VI_KESIMPULAN DAN SARAN	124
6.1. Kesimpulan	124
6.2. Saran	126
DAFTAR PUSTAKA	127
LAMPIRAN	131



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	12
Tabel 3.1 Senyawa penyusun semen portland	24
Tabel 3.2 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang Dari 30	30
Tabel 3.3 Perkiraan Kekuatan Tekan beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat kasar yang bisa dipakai di Indonesia	31
Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	33
Tabel 3.5 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat	34
Tabel 3.6 Ketentuan Minimum untuk Beton bertulang dalam Air	35
Tabel 3.7 Nilai Slump	36
Tabel 3.8 Batas-batas Ukuran butir agregat kasar	36
Tabel 3.9 Perkiraan kadar air bebas (kg/m ³) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump	37
Tabel 4.1 Jumlah benda uji beton	66
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus	75
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Halus	76
Tabel 5.3 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus	77
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat pada Agregat Halus	78
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur pada Agregat Halus	78
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200	79
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat	80
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar	81
Tabel 5.9 Batas Gradasi Agregat Kasar	82
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	83
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	83

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Abu Batu	84
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Halus	85
Tabel 5.14 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus	86
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu	87
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu batu	88
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200	89
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200	92
Tabel 5.19 Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material dengan Variasi Abu batu dan viscocrete 3115N 0%	97
Tabel 5.20 Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material dengan Variasi Abu batu dan viscocrete 3115N 0,4%	97
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Nilai Slump	98
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Penyerapan Air Beton dengan superplasticizer 0%	100
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Berat Volume Beton	102
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	105
Tabel 5.25 Hasil Tegangan dan Regangan AB 0% V0,4% Silinder 4	109
Tabel 5.26 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton ASTM C-469	112
Tabel 5.27 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton SNI 2847-2019	114
Tabel 5.28 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas ASTM C-469 dan SNI 2847- 2019	115
Tabel 5.29 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah beton	118
Tabel 5.30 Hasil Pengujian Kuat Lentur Belah beton	121

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan rata-rata dan Faktor Air Semen	32
Gambar 3.2 Cetakan untuk Uji Slump (kerucut Abram)	35
Gambar 3.3 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm	38
Gambar 3.4 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	39
Gambar 3.5 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm	39
Gambar 3.6 Perkiraan berat Isi Beton yang telah selesai didapatkan	40
Gambar 3.7 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	43
Gambar 3.8 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Beton	44
Gambar 3.9 Sketsa Pengujian Kuat Lentur Beton	46
Gambar 3.10 Kurva tegangan regangan beton	46
Gambar 3.11 Modulus sekan dan modulus tangen beton	47
Gambar 3.12 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas	48
Gambar 4.1 Timbangan	52
Gambar 4.2 Piknometer	53
Gambar 4.3 Gelas Ukur	53
Gambar 4.4 Ayakan Mesh	54
Gambar 4.5 Cetakan Silinder dan Balok	54
Gambar 4.6 Alat Ukur	55
Gambar 4.7 Oven	55
Gambar 4.8 Ember	56
Gambar 4.9 Mixer	56
Gambar 4.10 Kerucut Abram	57
Gambar 4.11 <i>Dial Gauge</i>	58

Gambar 4.12 Flow chart tahapan pengujian benda uji di laboratorium	73
Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III	76
Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Kasar	82
Gambar 5.3 Batas Gradasi Abu Batu pada Daerah III	86
Gambar 5.4 Nilai faktor air semen	89
Gambar 5.5 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total	93
Gambar 5.6 Grafik Perkiraan Berat Isi beton Basah yang Telah Selesai dipadatkan	94
Gambar 5.7 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi	96
Gambar 5.8 Contoh Pengujian slump	97
Gambar 5.9 Grafik Nilai Angka Penyerapan Air pada Tiap Variasi	99
Gambar 5.10 Grafik Nilai Berat Volume Beton Tiap Variasi	103
Gambar 5.11 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton pada Tiap Variasi	106
Gambar 5.12 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan	107
Gambar 5.13 Grafik Tegangan-regangan Kombinasi AB 0% V0,4% Silinder 4	111
Gambar 5.14 Grafik Modulus Elastisitas Beton Viscocrete 3115N 0%	116
Gambar 5.15 Grafik Modulus Elastisitas Beton Viscocrete 3115N 0,4%	116
Gambar 5.16 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton pada Tiap Variasi	119
Gambar 5.17 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	120
Gambar 5.18 Grafik Nilai Kuat Lentur Beton pada Tiap Variasi	122

DAFTAR LAMPIRAN

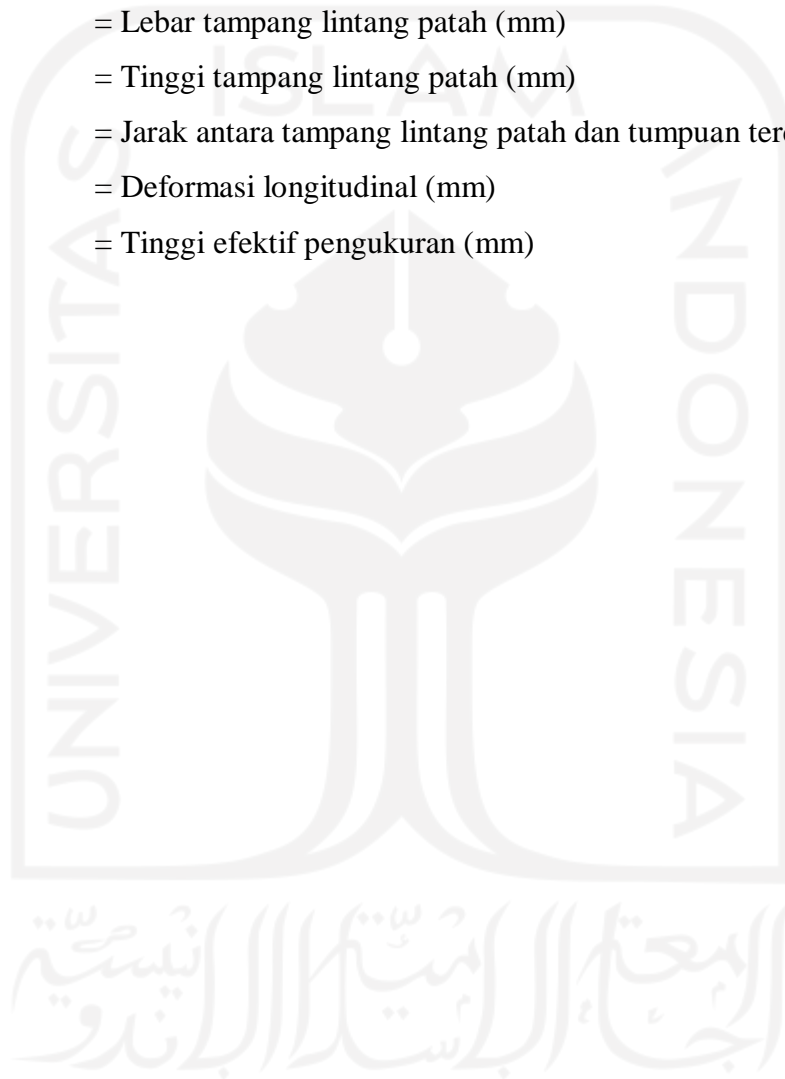
Lampiran 1 Gambar Alat yang digunakan	132
Lampiran 2 Gambar Bahan yang digunakan	139
Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan Benda Uji	141
Lampiran 4 Gambar Proses Pengujian Benda Uji	146
Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan bahan	152
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Beton	157



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f'c$	= Kuat Tekan Beton (MPa)
$f'cr$	= Kuat Tekan Rata-Rata yang Direncanakan (MPa)
M	= Nilai Tambah (MPa)
Sd	= Standar Deviasi (MPa)
k	= Faktor Pengali Deviasi Standar
Wh	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Halus
Wk	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Kasar
BJAG	= Berat Jenis Agregat Gabungan
BJAH	= Berat Jenis Agregat Halus
BJAK	= Berat Jenis Agregat Kasar
%AH	= Persentase Agregat Halus
%AK	= Persentase Agregat Kasar
FAS	= Faktor Air Semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
PCC	= <i>Portland Composit Cement</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface-Dry</i>
Wc	= Berat Isi Beton (kg/m^3)
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm^2)
σ	= Tegangan (N/mm^2)
ϵ	= Regangan
Ec	= Modulus Elastisitas (MPa)
S2	= Tegangan saat 40% dari Beban Maksimum (MPa)
S1	= Tegangan pada saat Regangan Longitudinal, $\epsilon_1 = 0,00005$ (MPa)
ϵ_2	= Regangan Longitudinal yang dihasilkan pada saat S2

f_{ct}	= Kuat Tarik Belah (MPa)
l	= Panjang benda uji pada bagian yang tertekan (mm)
d	= Diameter benda uji (mm)
f_{lt}	= Kuat Lentur benda uji (MPa)
L	= Jarak (bentang) antara dua perletakkan (mm)
b	= Lebar tampang lintang patah (mm)
h	= Tinggi tampang lintang patah (mm)
c	= Jarak antara tampang lintang patah dan tumpuan terdekat (mm)
ΔL	= Deformasi longitudinal (mm)
L_0	= Tinggi efektif pengukuran (mm)



ABSTRAK

Agregat halus atau pasir merupakan material yang harus ada dalam proses setiap pembangunan konstruksi. Melihat pembangunan konstruksi di Indonesia saat ini sangatlah maju dan berkembang. Sehingga akan meningkatkan permintaan material bangunan secara besar-besaran digunakan untuk pembangunan konstruksi. Hal ini berujung pada keterbatasan pasir untuk penggunaan material konstruksi. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif untuk mencari pengganti sebagian pasir tersebut. Salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan dari limbah industri pemecahan batu yang berupa abu batu.

Dalam penelitian ini perencanaan campuran beton menggunakan standar beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat tekan rencana 30 MPa ditambahkan abu batu sebagai pengganti sebagian agregat halus (pasir) dan *superplasticizer* berjenis sika *viscocrete 3115N* sebesar 0,4% dari berat semen. Variasi penambahan abu batu yang digunakan sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap berat pasir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik beton dari pengujian kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, dan berat volume beton dengan benda uji silinder serta kuat lentur beton dengan benda uji balok. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.

Penelitian yang dilakukan menunjukkan nilai persentase tertinggi pada abu batu sebesar 20% dengan penambahan *viscocrete 3115N* sebesar 0,4%. Pada pengujian kuat tekan didapatkan nilai tertinggi sebesar 33,52 MPa, kuat tarik dengan nilai sebesar 2,91 MPa, dan kuat lentur dengan nilai sebesar 3,90 MPa. Pada pengujian penyerapan air menunjukkan persentase abu batu 30% memiliki nilai penyerapan air tertinggi sebesar 2,13%. Pada berat volume menunjukkan nilai berat volume beton menurun hal ini disebabkan berat jenis dari abu batu lebih kecil dibandingkan agregat halus sehingga mempengaruhi nilai berat volume.

Kata kunci: Abu Batu, Karakteristik beton, *Superplasticizer*

ABSTRACT

Fine aggregate or sand is a material that must be present in the process of every construction construction. Seeing that construction development in Indonesia is currently very advanced and growing. This will increase the demand for building materials on a large scale used for construction. This leads to the limitation of sand for the use of construction materials. Therefore, it is necessary to find an alternative to find a replacement for some of the sand. One alternative is the utilization of stone crushing industrial waste in the form of stone dust.

In this research, concrete job mix is designed using SNI 03-2834-2000 of of 30 MPa compressive strength standard by, adding stone dusk as a substitute partial for fine aggregate and Sika Viscocrete 3115N's superplasticizer with amount of 0,4% of the cement weight. Variations in the addition of stone dusk used were 0%, 10%, 20%, and 30% of the weight of the sand. This research aims to determine the characteristics of concrete from testing the compressive strength, tensile strength, modulus elasticity, water absorption, and volume weight of concrete with cylindrical specimens and flexural strength of concrete with beam specimens. The experiment was carried out after the age of the concrete reached 28 days.

Research conducted showed the highest percentage value in stone dusk by 20% with the addition of viscocrete 3115N of 0,4%. In the compressive strength test, the highest value was 33,52 MPa, the tensile strength was 2,91 MPa, and the flexural strength was 3,90 MPa. In the water absorption test, the percentage of stone dusk 30% has the highest water absorption value of 2,13%. On the volume weight, the value of the weight of the concrete volume decreases this is due to the type of weight of the stone dust is smaller than the fine aggregate so that it affects the value of the volume weight.

Keywords: *Stone Dust, Concrete Characteristics, Superplasticizer*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dalam bidang konstruksi tidak terlepas dari penggunaan beton sebagai salah satu bagian konstruksi bangunan. Konstruksi beton lebih diminati karena relatif kuat, mudah dibentuk dan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan konstruksi yang menggunakan baja maupun kayu. Beton merupakan material yang terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen dan air, kadang-kadang dengan menggunakan bahan atau material tambahan (*additive*). Campuran material tersebut akan mengeras seperti batuan karena pada pengerasan tersebut terjadi peristiwa reaksi kimia antara semen dengan air. Ahadi (2010) menyatakan bahwa beton yang sudah mengeras dapat juga dikatakan sebagai batuan tiruan, dengan rongga-rongga antara kerikil (agregat kasar), dan diisi oleh pasir (agregat halus), dan pori-pori antara agregat halus diisi oleh semen dan air.

Dalam menghasilkan sebuah konstruksi yang baik harus diikuti dengan material penyusun campuran beton yang baik sehingga akan dihasilkan sebuah konstruksi yang kuat saat bangunan digunakan. Hal ini mendasari pemilihan dan penggunaan beton sebagai bahan konstruksi adalah faktor efektivitas dan tingkat efisiensinya. Pemilihan dari material penyusun beton sangat mempengaruhi kualitas beton dan mendukung untuk mencapai beton dengan mutu yang baik.

Salah satunya adalah pasir yang merupakan material yang harus ada dalam proses setiap pembangunan konstruksi. Melihat pembangunan konstruksi di Indonesia saat ini sangatlah maju dan berkembang. Sehingga akan meningkatkan permintaan material bangunan secara besar-besaran digunakan untuk pembangunan konstruksi. Ardianti (2020) menyatakan bahwa dengan semakin meningkatnya permintaan material bangunan akan menyebabkan terbatasnya ketersediaan material yang diambil dari alam. Hal ini berujung pada keterbatasan pasir untuk penggunaan material konstruksi. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif untuk mencari pengganti sebagian pasir tersebut. Material yang dimanfaatkan sebagai alternatif

pengganti sebagian pasir harus memberikan peningkatan mutu pada beton sebagai bahan konstruksi yang umumnya digunakan. Salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan limbah batuan yang berupa abu batu.

Pemanfaatan limbah abu batu masih sangat minim pemanfaatannya akan tetapi abu batu memiliki harga yang relatif lebih murah jika dibandingkan dengan harga pasir. Harga pasir dijual dengan harga Rp.190.000/m³ sedangkan abu batu relatif lebih murah dengan harga jual Rp.110.000/m³. Abu batu merupakan hasil dari proses pemecahan batu pada industri batu pecah dengan menggunakan *stone crusher* menghasilkan berupa butiran halus sehingga tergolong limbah batuan yang dapat digunakan untuk kombinasi pada campuran beton. Abu batu mempunyai kriteria lolos ayakan diameter 4,75 mm dan tertagan ayakan 0,075 mm sehingga abu batu menjadi limbah yang berguna sebagai bahan substitusi agregat halus atau pasir.

Abu batu juga memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat. Agregat halus yang dihasilkan dari lokasi *stone crusher* mengandung kurang lebih 17% sampai 25% fraksi abu batu, sehingga abu batu memiliki volume produksi yang cukup potensial untuk dimanfaatkan lebih lanjut penggunaannya (Celik & Marar, 1996). Namun, penambahan abu batu pada campuran beton akan menyebabkan workabilitas pada beton segar menurun. Beton segar yang dibuat akan menjadi tidak mudah dikerjakan atau kental sehingga untuk menjaga kecacakan adukan beton diperlukan bahan tambah kimia berupa *superplasticizer*.

Superplasticizer merupakan bahan tambah kimia yang memiliki sifat *high range water reduce admixtures* yang dapat meningkatkan kecacakan campuran beton. Salah satu produk *superplasticizer* adalah produksi dari PT. Sika Indonesia yaitu *viscocrete 3115N*, yang berfungsi untuk produksi beton dengan kemudahan mengalir dan sifat mengalir yang tinggi. Tujuan lainnya yaitu mengurangi jumlah air pencampuran sampai 30% atau lebih yang mana kandungan zatnya dapat mendispersikan molekul semen menjadi lebih merata sehingga menghasilkan hidrasi beton yang baik. Sehingga dengan bahan tambah *superplasticizer* maka pengerjaan beton bisa jadi lebih mudah dan dapat meningkatkan kekuatan beton.

Pada penelitian yang dilakukan berikut ini, digunakan komposisi pengganti sebagian abu batu dengan interval 0%, 10%, 20%, dan 30% serta bahan tambah *superplasticizer* dengan jenis yang sama yaitu sika *viscocrete 3115N* sebanyak 0,4%. Pada penelitian ini juga digunakan beton dengan mutu beton yaitu 30 Mpa dengan kadar abu batu yang sama pada setiap mutu beton.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, berat volume beton dan kuat lentur pada karakteristik beton normal dengan mutu 30 MPa?
2. Berapa persentase dari penggunaan limbah abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen untuk mendapatkan mutu beton yang tertinggi?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, penyerapan air, berat volume, dan kuat lentur pada karakteristik beton normal dengan mutu 30 MPa.
2. Mengetahui persentase dari penggunaan limbah abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen untuk mendapatkan mutu beton yang tertinggi.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap perkembangan teknologi beton khususnya, serta pengetahuan bagi masyarakat umum sebagai berikut.

1. Penambahan abu batu sebagai substitusi sebagian pasir dapat mengurangi biaya pembangunan karena harga abu batu lebih murah bila dibandingkan agregat halus.
2. Dapat mengurangi limbah pabrik yang ada agar tidak terjadi pencemaran lingkungan.
3. Penggunaan limbah abu batu dapat digunakan sebagai alternatif substitusi parsial agregat halus dalam pembuatan campuran beton.
4. Dapat menjadi referensi penelitian-penelitian selanjutnya mengenai penggunaan limbah abu batu dengan penambahan atau kombinasi bahan-bahan lainnya.

1.5. Batasan Penelitian

Adapun Batasan penelitian yang diperlukan agar penelitian terarah. Batasan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mutu yang direncanakan adalah 30 MPa
2. Abu batu yang digunakan adalah sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap agregat halus, sedangkan *superplasticizer* yang digunakan berjenis *viscocrete* 3115N dengan kadar 0,4% dari berat semen.
3. Limbah abu batu yang digunakan berasal dari merapi.
4. Bahan substitusi yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu.
5. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland Composite Cemen* (PCC) merek Semen Gresik.
6. Agregat halus yang digunakan berasal dari progo, agregat kasar dari clereng dan air yang digunakan dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil FTSP UII.
7. Metode perencanaan campuran adukan beton menggunakan SNI 03-2834-2000.

8. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji didalam bak yang berisi air hingga seluruh permukaan.
9. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.
10. Penelitian ini menggunakan benda uji berupa silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta benda uji berupa balok dengan ukuran Panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm.
11. Jumlah benda uji beton sebanyak 72 buah.
12. Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Menurut SNI-03-2847-2019, beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Agregat halus yang digunakan biasanya berupa pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat kasar yang digunakan biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Seiring dengan penambahan umur, beton akan menjadi semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik oleh karena itu beton banyak dipakai atau digunakan untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan.

Campuran beton setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, tergantung pada cara pembuatannya serta komposisi bahan yang digunakan. Perbandingan campuran, cara pencampuran, mengangkut, mencetak, memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat-sifat beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Tjokrodimuljo, 2007). Pada saat beton sudah keras diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air.

2.2. Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yang sebelumnya yang telah dilakukan untuk menunjang proses penyelesaian serta sebagai bahan informasi maupun bahan acuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Penelitian yang sudah dilakukan mengenai beton menggunakan abu batu serta bahan tambah *superplasticizer* diantaranya sebagaimana yang diuraikan berikut ini.

Penelitian Jordy Harjono Mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta tahun 2017 yang berjudul “Pengaruh Abu Batu sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah, dan daya serapan air pada beton dengan menggunakan variasi abu batu 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% sebagai substitusi agregat halus serta *viscocrete-1003* sebagai bahan tambah. Total benda uji yang dibuat pada penelitian ini yaitu sebanyak 54 benda uji dengan rincian 6 buah silinder berdiameter 15 cm x 30 cm, serta 3 buah silinder berdiameter 7 cm x 14 cm pada setiap variasi dengan mutu beton sebesar 20 Mpa. Benda uji yang telah mencapai kemudian diuji untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton, kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan penyerapan air pada betonnya. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil nilai modulus elastisitas untuk variasi 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% berturut-turut adalah 18340,401 MPa, 20467,862 MPa, 23942,147 MPa, 16530,589 MPa, 13550,579 MPa dan 15021,273 MPa. Nilai kuat tekan berturut-turut adalah 23,12 MPa, 23,51 MPa, 25,38 MPa, 21,37 MPa, 19,50 MPa, dan 19,05 MPa. Nilai kuat tarik belah berturut-turut adalah 9,98 MPa, 11,08 MPa, 10,82 MPa, 10,78 MPa, 8,81 MPa dan 8,08 MPa. Sedangkan hasil penelitian menunjukkan untuk persentase penyerapan air pada beton normal masih lebih rendah daripada beton dengan menggunakan abu batu dengan nilai sebesar berturut-turut adalah 10,906%, 11,425%, 11,318%, 12,223%, 11,978% dan 12,111%. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan 0% sampai 40% terjadi kenaikan dan 60% sampai 100% terjadi proporsi campuran abu batu terhadap berat pasir menghasilkan penurunan kekuatan beton.

Penelitian Muhammad Iqbal mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta tahun 2017 yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Superplasticizer Viscocrete 3115N* Terhadap Kuat Tekan Optimum *Self Compacting Concrete*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar optimal dari *viscocrete 3115N* terhadap kekuatan *self compacting concrete* dengan variasi 0,8%, 0,9%, 1%, 1,1%, dan 1,2% terhadap beton serta pengaruh *superplasticizer* terhadap kelecakan aliran *self compacting concrete*. Benda uji menggunakan

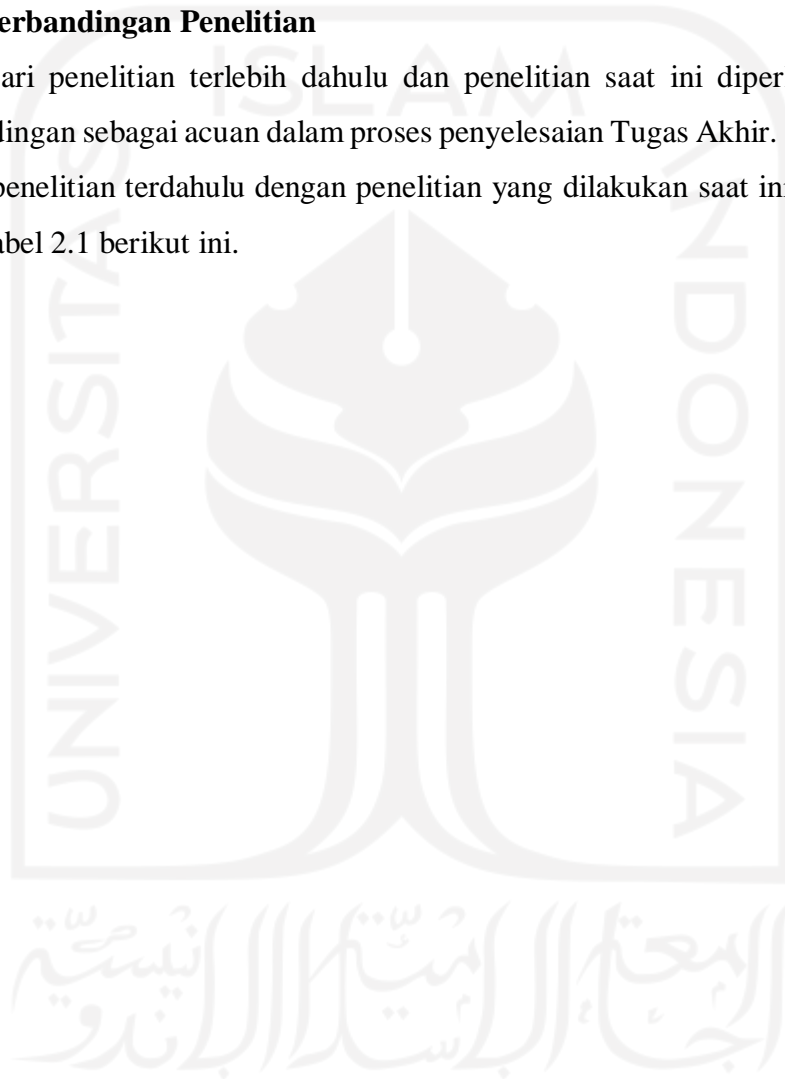
silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 63 sampel dengan 60 sampel beton SCC dan 3 sampel beton normal serta menggunakan kuat tekan rencana 43 Mpa. Pada penelitian ini didapatkan hasil nilai kuat tekan tertinggi pada dosis 0,9% yaitu sebesar 46,32 Mpa pada umur 28 hari. Semakin tinggi kadar *superplasticizer* maka semakin tinggi tingkat kelecakan aliran (*flowability*) SCC yang diukur dengan uji *slump flow*.

Penelitian Abdullah Afif mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta tahun 2019 yang berjudul “Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Penambahan Superplasticizer terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dengan menggunakan variasi 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% sebagai substitusi agregat halus serta *viscocrete 3115N* sebagai bahan tambah. Benda uji menggunakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm sebanyak 5 buah serta mutu beton yang digunakan sebesar 45 Mpa. Pada setiap variasi dilakukan pengujian nilai slump, penyerapan air beton, berat volume, kuat tekan dan kuat tarik. Dari pengujian nilai slump didapatkan berturut-turut sebesar 4,5 cm, 4,3 cm, 4,1 cm, 4 cm, 3,8 cm, dan 3,6cm. Pada campuran adukan beton pemberian bahan tambah tidak mengurangi komposisi campuran beton yang direncanakan. Pada penyerapan didapatkan nilai terkecil yaitu 1,16% dan nilai penyerapan terbesar yaitu 2,93%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai penyerapan air semakin meningkat dengan bertambahnya abu batu dikarenakan daya serap abu batu cukup besar. Pengujian berat volume yang dilakukan didapatkan berat volume terbesar pada variasi 0% yaitu 2394,560 Kg/m³ sedangkan yang terendah pada variasi 40% yaitu 2344,639 Kg/m³. Berat volume saling berhubungan dengan penyerapan air karena beton yang padat dengan penyerapan air rendah menghasilkan berat volume beton yang tinggi. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa berat volume beton semakin menurun seiring bertambahnya abu batu karena berat jenis dari abu batu lebih ringan dibandingkan dengan berat agregat halus. Didapatkan hasil dari penelitian untuk kuat tekan dengan variasi 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% berturut-turut didapatkan 43,34 Mpa, 45,44 MPa, 44,48 Mpa, 43,97 Mpa, 40,73 Mpa, dan 38,46 Mpa. Pada nilai kuat tarik belah beton didapatkan berturut-turut sebesar 2,93

Mpa, 3,21, Mpa, 2,90 Mpa, 2,80 Mpa, 2,65 Mpa, dan 2,52 Mpa. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan 0% sampai 25% terjadi kenaikan dan 30% sampai 40% terjadi proporsi campuran abu batu terhadap berat pasir menghasilkan penurunan kekuatan.

2.3. Perbandingan Penelitian

Dari penelitian terlebih dahulu dan penelitian saat ini diperlukan adanya perbandingan sebagai acuan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir. Perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan saat ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.



Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Penelitian Terlebih Dahulu				Rencana Penelitian
Penelitian	Jordy Harjono (2017)	Muhammad Ikbal (2017)	Abdullah Afif (2018)	Raditya Pradhipta (2022)
Judul Penelitian	Pengaruh Abu Batu sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton	Pengaruh Penambahan <i>Superplasticizer Viscocrete 3115N</i> terhadap Kuat tekan Optimum <i>Self Compacting Concrete</i>	Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan <i>Superplasticizer</i> Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi	Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus dan Penambahan <i>Superplasticizer</i> Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30MPa.
Tujuan	Mengetahui nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah dan daya serap air dengan menggunakan varian abu batu	Mengetahui kadar optimal dari <i>viscocrete 3115N</i> terhadap kekuatan <i>self compacting concrete</i> dengan variasi 0,8%, 0,9%, 1%, 1,1%, dan 1,2% terhadap beton serta pengaruh <i>superplasticizer</i> terhadap kelecakan aliran <i>self compacting concrete</i>	Mengetahui pengaruh digantinya sebagian agregat halus dengan menggunakan abu batu agar didapat kuat tekan dan kuat tarik beton serta penambahan bahan tambah <i>superplasticizer</i>	Mengetahui nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah dan daya serap air dengan menggunakan varian abu batu dengan penambahan bahan tambah <i>superplasticizer</i> jenis <i>viscocrete 3115N</i>
Parameter yang diuji	Nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah dan daya serap air	Nilai kuat tekan beton	Kuat tekan beton dan kuat tarik beton	Nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik belah, berat volume dan daya serap air
Mutu Beton	20 MPa	43 MPa	45 MPa	30 MPa
Metode Penelitian	Pengujian ini menggunakan silinder beton ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan benda uji sebanyak 9 buah silinder beton normal (tanpa <i>filler</i> abu batu) dan 45 buah silinder beton dengan tambahan <i>filler</i> abu batu. Variasi abu batu 0%, 20%, 40%, 60%, 80% dan 100% dengan perencanaan SNI 03-2834-2000	Pengujian ini menggunakan sampel silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 63 sampel dengan 60 sampel beton SCC dan 3 sampel beton normal serta menggunakan kuat tekan rencana 43 Mpa. Dengan penambahan variasi penambahan <i>superplasticizer viscocrete 3115N</i> sebesar	Pengujian ini menggunakan sampel silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan umur beton 28 hari sebanyak 5 buah dengan tambahan abu batu. Variasi abu batu 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% sebagai substitusi agregat halus serta penambahan bahan tambah <i>superplasticizer</i>	Penelitian ini menggunakan sampel silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm dengan total benda uji sebanyak 72 buah. Umur beton yang direncanakan 28 hari dengan menggunakan mutu beton 30 MPa

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terlebih Dahulu dan Rencana Penelitian

Penelitian Terlebih Dahulu				Rencana Penelitian
Penelitian	Jordy Harjono (2017)	Muhammad Ikbal (2017)	Abdullah Afif (2018)	Raditya Pradhipta (2022)
Metode Penelitian	dengan perencanaan kuat tekan beton 20 Mpa, faktor air semen (fas) 0,57 dan variasi penambahan filler 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% abu batu dari berat semen.	0,8%, 0,9%, 1%, 1,1%, dan 1,2% terhadap berat semen dengan menggunakan kombinasi <i>EFNARC</i> 2002 dengan SNI 03-2834-2000 serta kontrol dilakukan pengujian <i>slump flow test</i> yaitu T50 dan diameter akhir <i>slump flow</i>		Variasi abu batu sebagai substitusi agregat halus sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30%. Penambahan <i>superplasticizer</i> jenis <i>viscocrete 3115N</i> sebanyak 0,4% dari berat semen. Tahapan pengujian ini dilakukan dengan tahap persiapan, pemeriksaan bahan, perencanaan, pembuatan benda uji dan perawatan benda uji serta pengujian benda uji.
Hasil Penelitian	Variasi 0% 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% didapatkan modulus elastisitas berturut-turut adalah 18340,401 MPa, 20467,862 MPa, 23942,147 MPa, 16530,589 MPa, 13550,579 MPa dan 15021,273 MPa. Nilai kuat tekan berturut-turut adalah 23,12 MPa, 23,51 MPa, 25,38 MPa, 21,37 MPa, 19,50 MPa, dan 19,05 MPa. Nilai kuat tarik belah berturut-turut adalah 9,98 MPa, 11,08 MPa, 10,82 MPa, 10,78 MPa, 8,81 MPa dan 8,08 MPa. Nilai persentase penyerapan air didapatkan sebesar berturut-turut adalah 10,906%, 11,425%, 11,318%, 12,223%, 11,978% dan 12,111%.	Pada penelitian ini didapatkan hasil nilai kuat tekan tertinggi pada dosis 0,9% yaitu sebesar 46,32 Mpa pada umur 28 hari. Semakin tinggi kadar <i>superplasticizer</i> maka semakin tinggi tingkat kelecakan aliran (<i>flowability</i>) <i>SCC</i> yang diukur dengan uji <i>slump flow</i> .	Nilai kuat tekan pada pengujian ini dengan variasi 20%, 25%, 30%, 35% dan 40% berturut-turut didapatkan 43,34 Mpa, 45,44 MPa, 44,48 Mpa, 43,97 Mpa, 40,73 Mpa, dan 38,46 Mpa. Pada nilai kuat tarik belah beton didapatkan berturut-turut sebesar 2,93 Mpa, 3,21, Mpa, 2,90 Mpa, 2,80 Mpa, 2,65 Mpa, dan 2,52 Mpa.	

2.4. Keaslian Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan saat ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan penelitian abu batu dengan variasi 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40% disubstitusikan dengan agregat halus dan mutu beton yang digunakan sebesar 45 Mpa serta bahan tambah *superplasticizer* jenis *viscocrete 3115N* sebanyak 0,6% dari berat semen. Sedangkan untuk penelitian saat ini dilakukan dengan persentase abu batu dengan varian 0%, 10%, 20%, dan 30% disubstitusi dengan agregat halus dan penambahan *superplasticizer* jenis *viscocrete 3115N* sebanyak 0,4% dari berat semen dengan menggunakan mutu beton yaitu 30 MPa. Selain itu penelitian ini dilakukan dengan 2 benda uji yaitu benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan badan uji balok ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm dengan total sebanyak 72 buah benda uji. Penelitian ini dilakukan untuk mencari nilai modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik dan daya penyerapan air dengan umur rencana beton 28 hari.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI-2847-2019). Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara agregat halus, agregat kasar, air, semen dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu. Beton merupakan komposit, maka kualitas beton sangat berpengaruh dari kualitas masing-masing material pembentuk yang digunakan. (Tjokrodinuljo, 2007).

Menurut (Murdock & Brook, 1999), faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton terdiri dari bahan – bahan, cara menakar, mencampur, dan cara pelaksanaan. Bahan-bahan ini terdiri dari kualitas dan kecepatan pengerasan semen, gradasi, kadar air, dan kebersihan agregat, kadar lumpur agregat halus, kuantitas dari air yang digunakan, dan bahan tambah lain yang digunakan. Cara menakar dan mencampurnya bahan penyusun beton berdasarkan volume, berat, bahan-bahan yang terbuang ketika pelaksanaan, dan efisiensi dari mesin pencampur yang digunakan. Cara pelaksanaan yang dilakukan ketika pemadatan agar rongga-rongga udara pada beton berkurang yang dapat mempengaruhi kekuatan beton, perawatan diperlukan untuk meningkatkan kekuatan dan menjaga sifat-sifat beton, dan keadaan cuaca selama mencetak dan merawat beton.

Beton Mempunyai kelebihan dan kekurangan. (Mulyono, 2004), menyatakan ada banyak kelebihan dari beton sebagai struktur bangunan diantaranya sebagai berikut:

1. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran seberapa pun sesuai dengan kebutuhan konstruksi.

2. Beton termasuk bahan yang awet, tahan api dan air, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh lingkungan, sehingga biaya perawatannya murah.
3. Beton memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan bahan lain dunia konstruksi.
4. Beton memiliki ketahanan terhadap temperatur yang tinggi.
5. Beton bertulang tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.

(Mulyono, 2004), juga menyatakan kekurangan dari beton diantaranya sebagai berikut:

1. Bentuk yang dibuat sulit untuk diubah
2. Pelaksanaan pekerjaan butuh ketelitian yang tinggi
3. Mempunyai beban yang berat
4. Daya pantul suara yang besar.

3.2. Material Penyusun Beton

(Murdock & Brook, 1999) menyatakan bahan penyusun beton adalah ikatan keras yang ditimbulkan oleh reaksi kimia antara semen dan air, serta agregat kasar dimana semen yang mengeras itu ber-adhesi dengan baik maupun kurang baik. Agregat biasanya berupa kerikil, batu pecah, sisa-sisa bahan mentah tambang, agregat normal buatan, pasir, atau bahan sejenis lainnya.

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis atau semen portland, agregat kasar, agregat halus, air dan atau menggunakan bahan tambah, (Mulyono, 2004). Berikut merupakan bahan tambah penjelasan dari bahan penyusun pembuatan beton, sebagai berikut:

3.2.1. Agregat

Agregat merupakan butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Kira-kira 70% volume mortar atau beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar atau beton (Tjokrodinuljo, 2007). Pada agregat yang digunakan dikelompokkan atau dibedakan berdasarkan ukurannya yaitu agregat yang

butirannya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar dan agregat yang butirannya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus.

1. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang semua butirnya lolos ayakan 4,8 mm dan agregat halus yang digunakan harus memenuhi syarat karena sangat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Menurut SNI 03-6821-2002, persyaratan umum agregat halus yang digunakan sebagai material campuran beton sebagai berikut:

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras, bersifat tidak mudah hancur karena cuaca panas ataupun hujan.
- b. Butir-butir halus pada agregat halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Sifat kekal dari agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
- c. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering). Apabila agregat tersebut memiliki kadar lumpur melebihi 5% maka pasir harus dicuci terlebih dahulu.

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir dari progo. Pengujian agregat agregat halus dilakukan untuk mengetahui kualitas dari pasir atau agregat halus yang digunakan sebagai material dalam pembuatan campuran beton. Pengujian yang dilakukan pada agregat halus, sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air pada agregat sebelum merencanakan *mix design*. Berikut berat jenis pada agregat halus terbagi menjadi 3 kategori sebagai berikut:

1) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak merupakan perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu. Perhitungan analisis berat jenis kering mutlak dapat menggunakan persamaan 3.1 dibawah ini.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B+500- Bt} \quad (3.1)$$

2) Berat jenis kering permukaan (*saturated and surface dry/SSD*)

Berat jenis kering permukaan merupakan perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Perhitungan analisis berat jenis kering permukaan (SSD) dapat menggunakan persamaan 3.2 dibawah ini.

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{B+500- Bt} \quad (3.2)$$

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu tertentu. Perhitungan analisis berat jenis semu dapat menggunakan persamaan 3.3 dibawah ini.

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

4) Penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Perhitungan analisis dari penyerapan dapat menggunakan persamaan 3.4 dibawah ini. Perhitungan analisis dari penyerapan dapat menggunakan persamaan 3.4 dibawah ini.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \quad (3.4)$$

dengan:

B_k = berat pasir kering mutlak (gram),

B_t = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Berat isi padat merupakan perbandingan dari berat agregat dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan dalam pengujian. Perhitungan berat isi padat agregat halus dapat menggunakan Persamaan 3.5 berikut ini.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{\text{Vol}} \quad (3.5)$$

dengan:

W = berat agregat (gram),

Vol. = volume silinder yang digunakan (cm³).

c. Analisa saringan

Analisa saringan merupakan pengujian yang bertujuan untuk pengelompokan besarnya butiran agregat pada analisa agregat kasar dan agregat halus yang menjadi komposisi gabungan untuk pengujian pencampuran beton yang ditinjau berdasarkan saringan. Adapun tujuan dari analisa saringan sebagai berikut:

- 1) untuk mendapatkan beton yang mudah dikerjakan (diaduk, dialirkan, dan didapatkan) yang mempunyai tingkat *workability* yang tinggi,
- 2) untuk mendapatkan harga beton yang ekonomis, kekuatan tinggi,
- 3) untuk mendapatkan beton yang memiliki kepadatan yang baik,
- 4) untuk mendapatkan batas gradasi dari agregat halus maupun agregat kasar, dan
- 5) untuk mendapatkan komposisi campuran analisa agregat halus dalam bentuk yang ideal dalam proses pelaksanaan pencampuran.

Dalam pengujian analisa saringan ini analisis perhitungan persentase berat yang hilang dan modulus kehausan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\Sigma (\%kom) - 100}{100} \quad (3.7)$$

dengan:

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

Σ (%kom.) = berat tertinggal kumulatif (%).

d. Pengujian lolos saringan no.200

Menurut SNI 03-4142-1996 pengujian lolos saringan no.200 merupakan banyaknya bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Tujuan dari pengujian lolos saringan no.200 untuk menentukan kadar lumpur yang lolos saringan no.200 yang terkandung dalam agregat halus dan agregat kasar yang diambil dari uji bahan dengan cara melakukan pencucian. Lumpur merupakan gumpalan atau lapisan yang menutupi permukaan butiran agregat dan lolos ayakan No. 200. Kandungan kadar lumpur pada permukaan butiran agregat akan mempengaruhi pada kekuatan ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga akan mengurangi kekuatan dan ketahanan beton. Lumpur dan debu halus hasil pemecahan batu adalah partikel berukuran antara 0,002 mm s/d 0,006 mm (2 s/d 6 mikron). Adanya lumpur dan tanah liat menyebabkan bertambahnya air pengaduk yang diperlukan dalam pembuatan beton, di samping itu akan dapat menyebabkan berkurangnya ikatan antara pasta semen dengan agregat sehingga akan menyebabkan turunnya kekuatan beton yang bersangkutan serta menambah penyusutan dan *creep*. Sehingga hal ini penting bagi kita untuk melakukan pengujian tersebut, sehingga didapatkan kadar lumpur yang memenuhi syarat menurut SNI 03-2461-2002, yaitu tidak boleh lebih dari 5% untuk agregat halus dan 1% untuk agregat kasar.

Pengujian kandungan lumpur dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.8)$$

dengan:

W1 = berat agregat halus kering oven (gram),

W2 = berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material pengisi adukan campuran beton. Sesuai dengan SNI 03-2847-2019, menyatakan bahwa agregat kasar merupakan agregat yang mempunyai ukuran butir antara 5,00 mm sampai 40 mm. Agregat kasar dapat berupa kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu-batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Menurut SK SNI S-04-1989-F, persyaratan umum agregat kasar yang digunakan sebagai campuran beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak berpori.
- c. Agregat kasar bersifat kekal yang artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif sehingga dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
- f. Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi 1/5 jarak terkecil antara bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, 3/4 jarak bersih antar tulangan.

Untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar dapat dilakukan dengan melakukan pengujian berat jenis, penyerapan air pada agregat, pengujian analisa

saringan, dan pengujian abrasi/keausan agregat dengan mesin *los angeles*. Berikut pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat.

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air sebelum merencanakan *mix design*. Berat jenis pada agregat kasar terbagi menjadi 3 kategori sebagai berikut:

1) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suatu suhu tertentu.

2) Berat jenis kering permukaan (*saturated and surface dry/SSD*)

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

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

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

4) Penyerapan air

Penyerapan air adalah persentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering.

Perhitungan analisa dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan persamaan 3.9 sampai 3.12.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B_j - b_a} \quad (3.9)$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.10)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.11)$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \quad (3.12)$$

dengan:

BK = berat kerikil kering mutlak (gram),

BJ = berat kerikil kondisi jenuh kering muka/SSD (gram),

Ba = berat kerikil dalam air (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Berat isi padat merupakan perbandingan dari berat agregat dalam keadaan padat dengan volume silinder yang digunakan dalam pengujian. Perhitungan berat isi padat agregat kasar sama dengan perhitungan berat isi padat pada agregat halus dengan menggunakan Persamaan 3.5.

c. Pengujian analisa saringan

Analisa saringan merupakan pengelompokan besarnya butiran agregat pada analisa agregat kasar dan agregat halus yang menjadi komposisi gabungan untuk pengujian pencampuran beton yang ditinjau berdasarkan saringan. Adapun tujuan dari analisa saringan sebagai berikut:

- 1) untuk mendapatkan beton yang mudah dikerjakan (diaduk, dialirkan, dan didapatkan) yang mempunyai tingkat *workability* yang tinggi,
- 2) untuk mendapatkan harga beton yang ekonomis, kekuatan tinggi,
- 3) untuk mendapatkan beton yang memiliki kepadatan yang baik,
- 4) untuk mendapatkan batas gradasi dari agregat halus maupun agregat kasar, dan
- 5) untuk mendapatkan komposisi campuran analisa agregat halus dalam bentuk yang ideal dalam proses pelaksanaan pencampuran.

Dalam pengujian analisa saringan pada perhitungan persentase berat yang hilang dan modulus kehausan sama dengan perhitungan dari analisa saringan pada agregat halus, maka dari itu analisa saringan agregat kasar menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.

3.2.2. Semen *Portland* (Pc)

Semen *portland* merupakan jenis semen yang paling umum yang digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan beton, karena pada dasarnya semen memiliki fungsi untuk mengikat agregat kasar dan agregat halus sehingga dapat menyatu dan mengeras seperti batuan pada saat pencampuran beton. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi suatu masa padat atau kompak walaupun jumlah berkisar 10% dari volume beton (Tjokrodinuljo, 2007). Semen juga akan berfungsi sebagai pasta jika direaksikan dengan air sehingga dalam pencampuran beton dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok aktif dan kelompok pasif. Kelompok aktif yaitu dari semen dan air, sedangkan kelompok pasif yaitu dari agregat kasar dan agregat halus.

Semen memiliki macam senyawa kimia aktif seperti kapur, silika, oksida besi dan alumina, senyawa tersebut akan bereaksi dengan air dan membentuk pasta yang akan mengeras setelah beberapa saat.

Tabel 3.1 Senyawa penyusun semen portland

Bahan Penyusun	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO ₂)	20 -25
Oksida Besi (Fe ₂ O ₃)	7 – 12
Alumina	7 - 12

Sumber: Mulyono (2004)

Kandungan senyawa yang terdapat di semen dapat membentuk senyawa yang dapat membentuk karakter dan jenis semen, jenis semen yang beredar di pasaran meliputi semen portland putih, semen portland hal ini mengacu pada SNI 14-2049-2004, semen portland komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen portland pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004 (Mulyono, 2004).

Menurut SNI 15-2049-2004 semen memiliki beberapa macam tipe yang sesuai dengan tujuan pemakaiannya dibagi 5 kategori sebagai berikut:

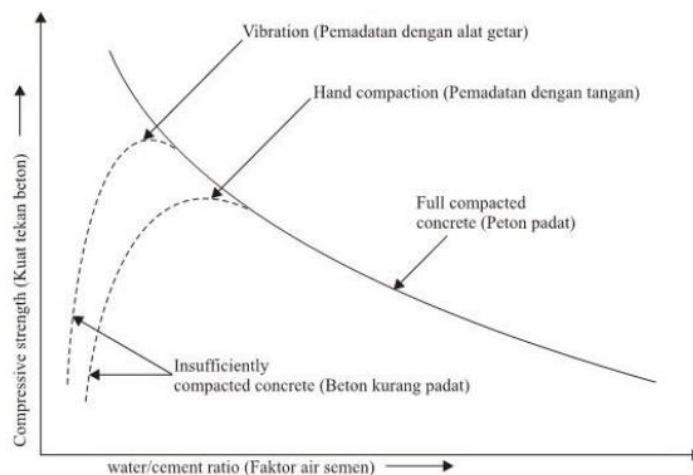
1. Semen *portland* tipe I, yaitu semen portland yang biasanya untuk pemakaian umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Semen *portland* tipe II, yaitu semen portland yang biasanya dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Semen *portland* tipe III, yaitu semen portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah proses pengikatan terjadi.
4. Semen *portland* tipe IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Semen *portland* tipe V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.3. Air

Menurut Subakti (1994), Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada didalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, akan tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta, sehingga membuat beton menjadi lecah (*workable*).

Air merupakan bahan dasar pada saat proses pembuatan beton karena harganya murah dan mudah didapat. Penggunaan air dalam proses pembuatan beton juga diperlukan dalam pembentukan semen karena mudah dikerjakan dalam pengadukan beton (*workabilty*), kekuatan, susut dan keawetan beton. Air digunakan untuk mereaksikan semen sehingga menghasilkan pasta semen yang berfungsi untuk proses pengikatan agregat. Selain itu, fungsi dari air untuk membasahi agregat dan memberi kemudahan dalam pengerjaan, namun, penggunaan air juga dapat berpengaruh pada kuat tekan beton. Penggunaan FAS (faktor air semen) yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan bertambahnya kebutuhan air sehingga mengakibatkan pada saat kering beton mengandung banyak pori udara yang berdampak pada kuat tekan beton yang rendah. Penggunaan FAS yang rendah dapat meningkatkan kuat tekan beton namun kemudahan pekerjaan akan semakin sulit

sehingga dibutuhkan bahan tambahan kimia. Penjelasan nilai FAS tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat tekan
(Tjokrodinuljo, 2007)

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

(Tjokrodinuljo, 2007) menyatakan dalam penggunaan air untuk beton sebaiknya air memiliki persyaratan sebagai berikut ini.

- 1) Tidak mengandung lumpur atau benda melayang lainnya lebih dari 2 gr/ltr.
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik) lebih dari 15 gr/ltr.
- 3) Tidak mengandung Klorida (Cl) lebih dari 0,5 gr/ltr.

- 4) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gr/ltr.

3.3. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan untuk merubah karakteristik dari beton, misalnya mudah dikerjakan (*workabilty*), menghemat dalam segi biaya, dan meningkatkan kekuatan pada beton. Bahan tambah merupakan material yang digunakan dalam pembuatan beton selain air, agregat, dan semen yang ditambahkan ketika sebelum atau selama pengadukan sedang berlangsung.

Suatu bahan tambah pada umumnya dimasukkan ke dalam campuran beton dengan jumlah sedikit, sehingga tingkat kontrolnya harus lebih besar daripada pekerjaan beton biasa. Oleh karena itu, kontrol terhadap bahan tambah perlu dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan bahwa pemberian bahan tambah pada beton tidak menimbulkan efek samping seperti kenaikan penyusutan kering, pengurangan elastisitas (Murdock & Brook, 1999).

Bahan tambah yang digunakan dalam pembuatan beton dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah bersifat mineral (*additive*). Pada penelitian ini dalam proses pembuatan beton menggunakan 2 bahan tambah yaitu abu batu dan bahan kimia *superplasticizer*.

3.3.1. Abu Batu

Abu batu merupakan bahan tambah yang berasal dari hasil pemecahan batu yang berupa butiran halus yang dapat digunakan untuk kombinasi campuran beton. Dikarenakan jumlahnya abu batu tidak sedikit sehingga diupayakan pemanfaatannya untuk mengurangi pasir dalam campuran beton.

Abu batu pada umumnya berwarna abu-abu yang terdiri dari butiran yang kasar. Abu batu mempunyai kriteria lolos ayakan diameter 4,75 mm dan tertahan ayakan 0,075 mm sehingga abu batu menjadi limbah yang berguna sebagai bahan substitusi agregat halus atau pasir. Kelebihan abu batu memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat karena abu batu berasal dari proses pemecahan batu.

3.3.2. *Superplasticizer (Viscocrete 3115N)*

Superplasticizer (high range water reducer admixtures) adalah bahan tambah (*admixture*) yang di definisikan sebagai meterial selain air, agregat, semen dan fiber yang digunakan dalam campuran beton atau mortar, yang ditambahkan dalam adukan segera sebelum atau selama proses pengadukan dilakukan (Murdock & Brook, 1999)

Menurut subakti (2005) dalam Sulistyani (2005) menyatakan pada umumnya pemakaian *superplasticizer* dalam campuran beton memberikan keuntungan sebagai berikut.

1. Pada pembuatan beton kinerja tinggi umumnya menggunakan fas rendah yang berakibat *workability* pada campuran beton rendah, dengan penambahan *superplasticizer* pada campuran beton yang digunakan dapat meningkatkan *workability* campuran beton tersebut.
2. Jika dibandingkan dengan campuran beton yang mempunyai fas normal, penambahan *superplasticizer* mempunyai sifat-sifat yang lebih baik.
3. Memperlambat proses hidrasi pada semen dengan jalan menghambat hidrasi silikat dan hidrasi aluminat sehingga dapat memperlambat *setting time*.

Pada penggunaan *superplasticizer* juga dapat memberikan kelemahan pada campuran beton yaitu *flowability* yang tinggi pada campuran beton sehingga dapat menimbulkan *slump loss* dan pemberian dosis yang berlebih selain tidak ekonomis juga akan menyebabkan penundaan *setting* yang lama sehingga beton akan kehilangan kekuatan akhir.

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini adalah *Sika Viscocrete 3115N*. *Superplasticizer* jenis ini merupakan generasi ketiga dari *superplasticizer* yang diproduksi oleh PT Sika Indonesia. *Superplasticizer* ini berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam jumlah besar yaitu hingga 30%, kemudahan mengalir yang sangat baik dalam waktu bersamaan dengan kohesi yang optimal dan sifat beton yang memadat dengan sendirinya. Berdasarkan lembar data produk *Viscocrete 3115N* dari Sika, penggunaan *superplasticizer* pada beton plastis konvensional berada dikisaran 0,3-0,8% dari berat semen.

Keuntungan sika *viscocrete 3115N* bekerja melalui penyerapan permukaan partikel-partikel semen yang menghasilkan efek-efek separasi sterikal. Beton yang dihasilkan dengan sika *viscocrete 3115N* memperlihatkan sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kemampuan mengalir yang sangat baik (dihasilkan pada tingginya pengurangan penempatan dan usaha dalam pemadatan)
2. Kemampuan Self compact-nya kuat
3. Pengurangan air yang tinggi (ditunjukkan pada kepadatan dan kuat beton)
4. Mengurangi retak dan susut
5. Mengurangi retak dan susut
6. Meningkatkan ketahanan karbonasi pada beton
7. Meningkatkan hasil akhir

Sika *viscocrete 3115N* dapat memberikan beton dengan kelecakan yang panjang dan tergantung pada desain pencampuran dan kualitas material yang digunakan. Pencampuran sika *viscocrete 3115N* ditambahkan ke air yang sudah ditakar atau ditambahkan ke dalam *mixer* pada saat proses pengadukan, untuk memperoleh manfaat optimal dari pengurangan air dalam jumlah besar, disarankan pengadukan dalam kondisi basah minimal 60 detik. Penambahan air takaran yang tersisa (untuk memperoleh konsisten beton yang baik) hanya dapat dimulai setelah 2/3 waktu pengadukan dalam kondisi basah, untuk menghindari jumlah air yang berlebihan dalam beton.

3.4. Perencanaan Campuran Beton Normal

Desain pencampuran beton normal digunakan acuan dari SNI 03-2834-2000 tentang tata cara rencana pembuatan campuran beton normal. Perencanaan campuran beton (*mix design*) dimaksudkan untuk mendapatkan kuat tekan beton memenuhi kuat tekan yang direncanakan. Adapun tahapan-tahapan dalam perencanaan proporsi campuran beton sebagai berikut.

1. Kuat tekan rata-rata yang di targetkan

Ketetapan kuat tekan beton yang disyaratkan $f'c$, yaitu kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari ($f'c$) yang dipergunakan dalam perencanaan struktur

2. Nilai standar deviasi

Nilai standar deviasi yang didapat dari pengalaman dilapangan selama pembuatan beton normal menurut rumus pada Persamaan 3.13 dan 3.14.

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.13)$$

dengan:

S_r = Standar deviasi,

x_i = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji,

\bar{x} = Kuat tekan beton rerata,

$$\bar{x}_{rerata} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.14)$$

n = jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji.)

dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus sebagai berikut:

- 1) mewakili bahan - bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan;
- 2) mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan $f'c$ yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan;
- 3) paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari;
- 4) bila suatu produksi beton tidak memiliki dua hasil uji yang memenuhi syarat standar deviasi, tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi

standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan factor pengali dari Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 1.2 Faktor Pengali untuk Standar Deviasi Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang Dari 30

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

Bila data uji lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rata-rata yang di targetkan $f'cr$ harus diambil tidak kurang dari ($f'c + 12$ MPa).

3. Nilai tambah

Nilai tambah (margin) dalam *mix design* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times Sr \quad (3.15)$$

dengan:

M = nilai tambah,

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

Sr = deviasi standar

4. Kuat tekan rata-rata ($f'cr$) yang di targetkan

Kuat tekan rata-rata beton yang di targetkan dapat digunakan Persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$f'cr = f'c + M \quad (3.16)$$

dengan:

f'_{cr} = Kuat tekan beton rata-rata (MPa),

f'_c = kuat tekan beton yang direncanakan (Mpa),

M = Nilai tambah/margin (MPa)

5. Pemilihan faktor air semen

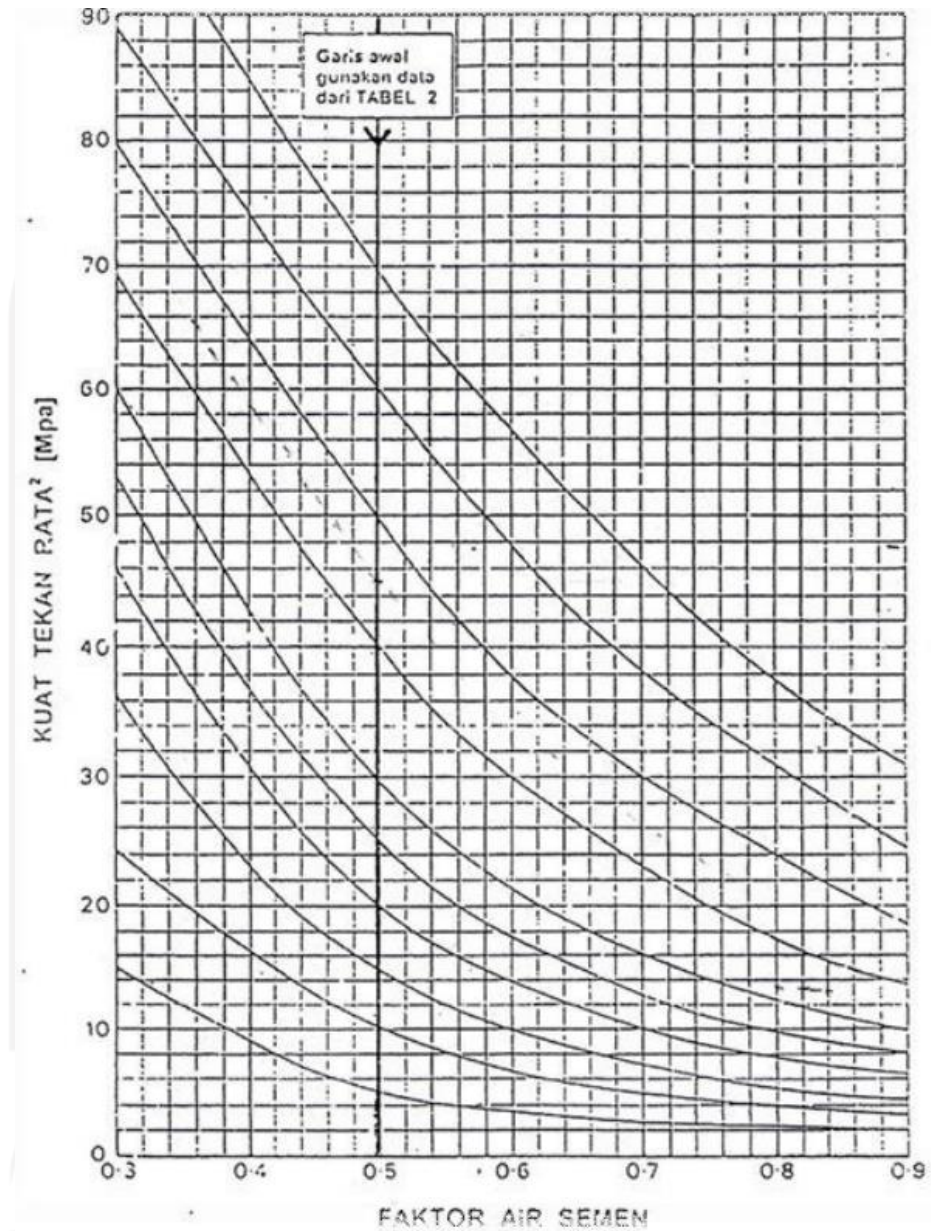
Dalam melakukan pemilihan faktor air semen yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang direncanakan berdasarkan grafik pada Gambar 3.1 tentang hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm) dan menggunakan Tabel 3.3 sebagai perkiraan kekuatan tekan beton dengan faktor air semen, dan agregat kasar sebagai acuan awal dalam menentukan faktor air semen menggunakan grafik pada Gambar 3.1.

Tabel 3.3 Perkiraan Kekuatan Tekan beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat kasar yang bisa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI-03-2834-2000

Setelah memperkirakan kuat tekan beton ditentukan dari tabel diatas, maka didapat cara nilai faktor air semen menggunakan grafik pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kuat Tekan rata-rata dan Faktor Air Semen

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Setelah diketahui fas menggunakan grafik diatas, maka dilanjutkan dengan menentukan faktor air semen (fas) maksimum yang dapat ditentukan dari Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m ³ beton (kg)	Nilai fas maksimum
Beton didalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atauuap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 3.4
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Lihat Tabel 3.5

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Tabel 3.5 dapat digunakan untuk perencanaan beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat, sedangkan pada Tabel 3.6 dapat digunakan untuk perencanaan beton yang berada didalam air.

Tabel 3.5 Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Kadar gangguan sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO ₃			Tipe Semen	Kandungan semen minimum pada ukuran normal agregat maksimum (Kg/m ³)			Faktor air semen
	Dalam tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/L)		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah =2:1(g/L)						
1	<0,2	<1,0	<0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	300	350	0,5
2	0,2-0,5	1,0–1,9	0,4-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	290	330	350	0,5
				Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	270	310	360	0,55
3	0,5-1,0	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	>20	>5,6	>5,0	Tipe II atau Tipe V dan Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

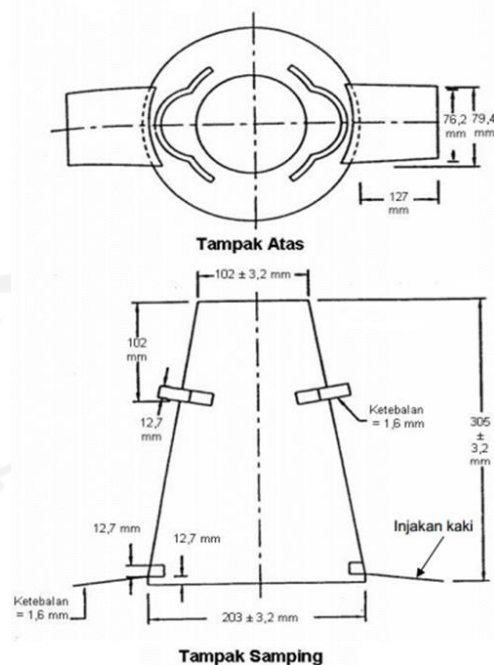
Tabel 3.6 Ketentuan Minimum untuk Beton bertulang dalam Air

Jenis beton	Kondisi Lingkungan	Faktor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum(kg/m ³)	
				Ukuran nominal maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air Tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I Pozzolan(15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380
	Air Laut	0,50	Tipe II atau V	330	370

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

6. Nilai *Slump*

Pengujian *slump* merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui tingkat *workability* beton segar. Cara pengujian *slump* mengacu pada SNI 1972-2008. Pengujian *slump* menggunakan kerucut Abram sebagai cetakan beton segar.



Gambar 3.3 Cetakan untuk Uji Slump (kerucut Abram)

(Sumber: SNI 1972-2000)

Nilai slump dapat ditentukan berdasarkan kegunaan beton yang dapat dilihat di Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3.7 Nilai Slump

No	Elemen Struktur	Slump maks (cm)	Slump (min)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tak bertulang, kaisan, dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

7. Ukuran butir agregat maksimum

Pada ukuran agregat dapat mempengaruhi kemudahan pengerjaan (*workability*) dan kekuatan pada beton. Pada SNI-03-2834-2000 besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari.

- a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
- b. sepertiga dari tebal pelat,
- c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

Batas-batas ukuran butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Batas-batas Ukuran butir agregat kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat lolos saringan		
	Ukuran maksimum agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
38,1	95-100	100	100
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

8. Kadar air bebas

Kadar air bebas merupakan kebutuhan air per meter kubik beton yang digunakan dalam perencanaan proporsi campuran beton. Untuk mendapatkan nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.9 dan setelah itu dihitung menggunakan Persamaan 3.17.

Tabel 3.9 Perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump

Ukuran maksimum agregat (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)

$$W = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.17)$$

dengan:

W = jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³),

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

9. Kebutuhan semen

Dalam kebutuhan akan dapat menjadi perekat hidraulis pada beton bila bercampur dengan air. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan dalam menentukan kebutuhan semen agar menghasilkan kekuatan beton yang diinginkan. Kebutuhan dapat ditentukan menggunakan dua cara berikut.

a. Menghitung kebutuhan semen

Kebutuhan semen didapat dari faktor air semen (fas) menggunakan persamaan 3.18.

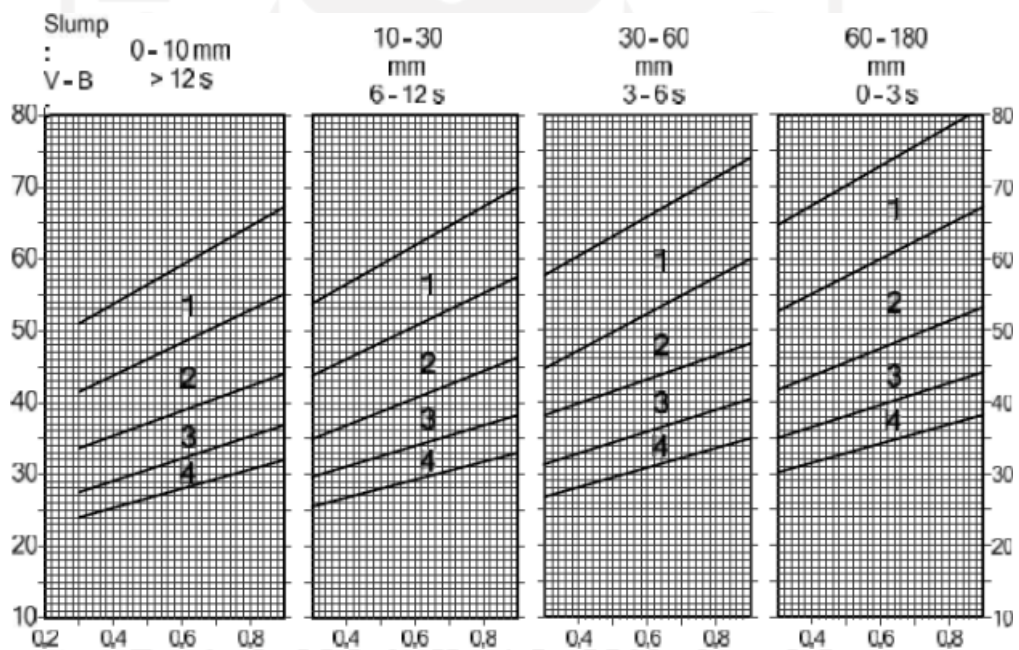
$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{fas} \quad (3.18)$$

b. Menentukan kebutuhan semen minimum

Kebutuhan semen minimum dapat ditentukan berdasarkan Tabel 3.4, Tabel 3.5, Tabel 3.6. Jika kebutuhan semen yang diperoleh dari cara pertama lebih sedikit dari kebutuhan semen minimum, maka kebutuhan semen yang digunakan adalah nilai terbesar dari kedua cara tersebut.

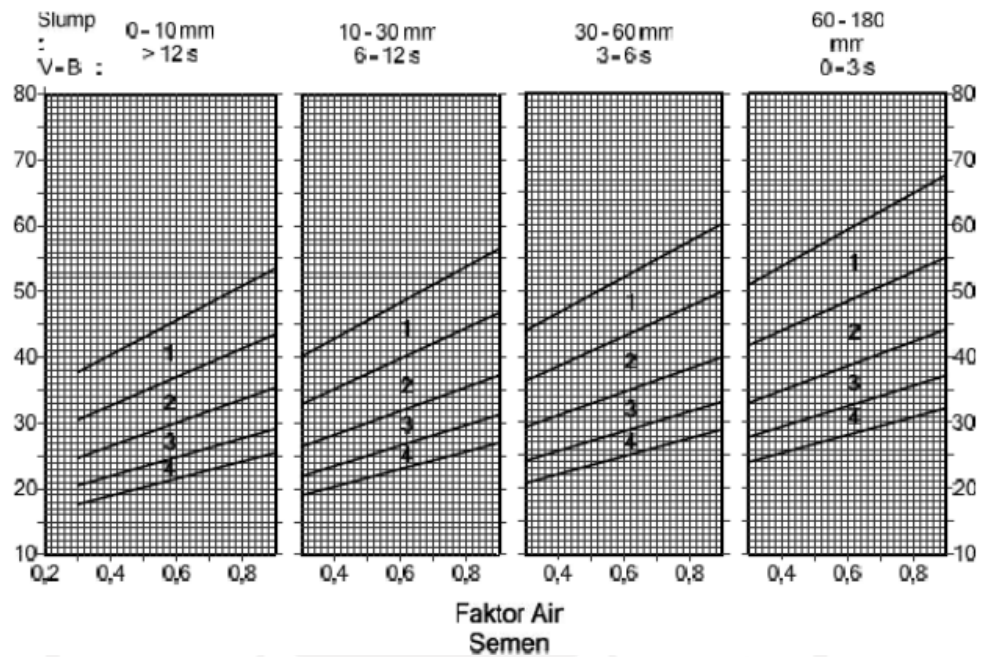
10. Persentase jumlah agregat halus

Persentase jumlah agregat halus ditentukan berdasarkan besar ukuran maksimum dari agregat kasar, nilai *slump*, faktor air semen, dan daerah gradasi agregat halus. Menentukan persentase jumlah agregat halus dapat dilihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, Gambar 3.5.



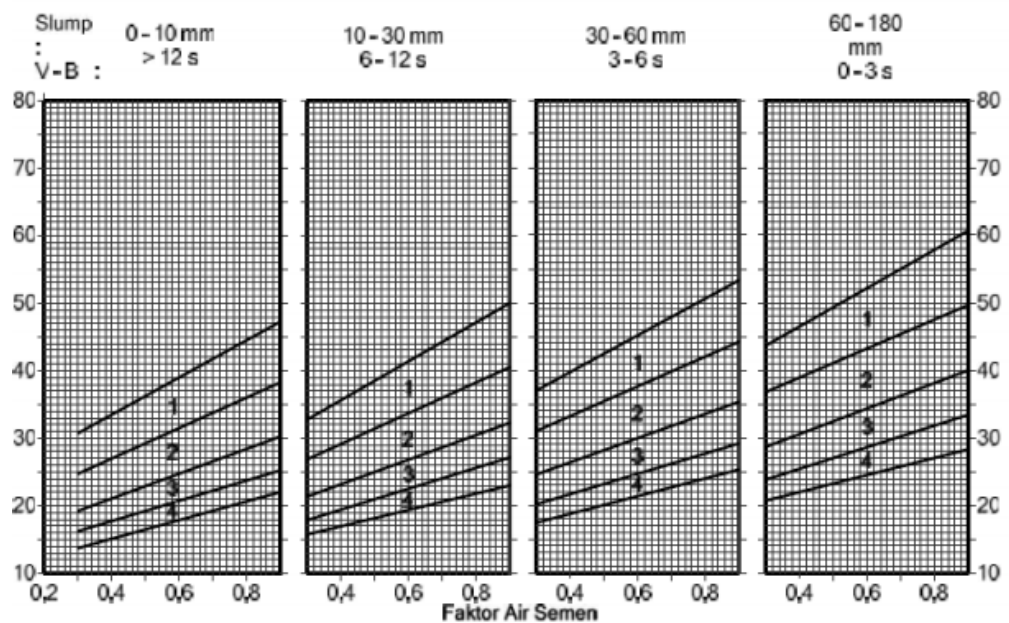
Gambar 3.4 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.5 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.6 Persen Pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

11. Berat jenis relatif gabungan

Berat jenis relative gabungan antara agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19.

$$Bj_{gabungan} = \%AH \times Bj_{halus} + \%AK \times Bj_{kasar} \quad (3.19)$$

dengan:

$Bj_{gabungan}$ = berat jenis agregat gabungan,

Bj_{halus} = berat jenis agregat halus,

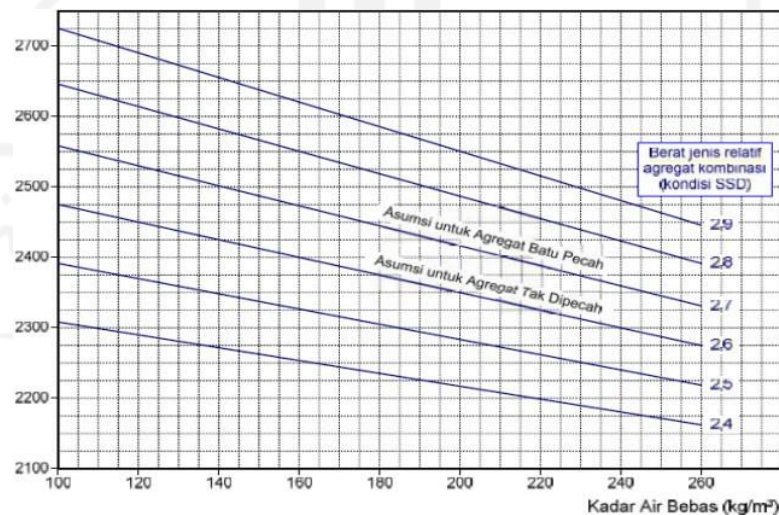
Bj_{kasar} = berat jenis agregat kasar,

$\%AH$ = persen agregat halus,

$\%AK$ = persen agregat kasar.

12. Berat isi beton

Berat isi beton yaitu berat dari seluruh campuran yang terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus salam kilogram per meter kubik. Dalam menentukan berat isi beton dapat digunakan grafik pada Gambar 3.6 dengan memasukkan berat jenis gabungan relatif agregat dan kadar air bebas yang sudah ditentukan sebelumnya.



Gambar 3.7 Perkiraan berat Isi Beton yang telah selesai didapatkan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

13. Proporsi campuran beton

Campuran beton terdiri dari semen, air, agregat kasar, dan agregat halus. Proporsi campuran beton perlu dihitung terlebih dahulu sebelum dilakukan pencampuran. Proporsi campuran dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20 dan 3.21.

$$W_{halus} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AH \quad (3.20)$$

$$W_{kasar} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) \times \%AK \quad (3.21)$$

dengan:

W_{halus} = berat isi beton,

W_{halus} = berat semen,

W_{halus} = berat air,

$\%AH$ = persen agregat halus,

$\%AK$ = persen agregat kasar.

3.5. Berat Volume Beton

Berat volume beton didapat dari perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton dipengaruhi oleh berat jenis dari bahan-bahan penyusunnya, sehingga bahan penyusun yang mempunyai berat jenis yang besar maka beton yang dihasilkan mempunyai berat volume yang besar. Demikian juga sebaliknya apabila digunakan bahan penyusun dengan berat jenis ringan maka beton yang dihasilkan akan mempunyai berat volume yang kecil. Rumus berat volume beton dengan sampel beton menggunakan Persamaan 3.22 berikut ini.

$$\text{Berat Volume} = \frac{\text{Berat Beton (kg)}}{\text{Volume Beton (m}^3\text{)}} \quad (3.22)$$

$$\text{Berat Volume} = \frac{\text{Berat Beton (kg)}}{\frac{1}{4} \pi D^2 t}$$

dengan:

D = diameter silinder (m),

T = tinggi silinder (m^3)

3.6. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah perbandingan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur jika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. (Mulyono, 2004) menyatakan bahwa kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur tersebut.

Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton adalah nilai FAS (faktor air semen) dan juga kualitas material yang digunakan untuk campuran beton. Beton dengan nilai FAS rendah memiliki kecenderungan menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi dibanding beton dengan nilai FAS yang tinggi.

Menurut SNI 1974-2011 nilai kuat tekan didapatkan dengan melakukan pengujian menggunakan mesin uji tekan. Rumus kuat tekan beton dari hasil pengujian di laboratorium dengan sampel beton menggunakan Persamaan 3.23 berikut ini.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.23)$$

dengan:

f'_c = kuat tekan (MPa),

P = beban tekan (N), dan

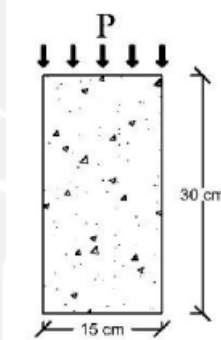
A = luas penampang benda uji (mm^2).

Kuat tekan beton di pengaruhi oleh faktor selain perbandingan faktor air semen (fas) dan tingkat pematannya. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

1. Jenis semen dan kualitasnya
2. Jenis dan bentuk permukaan agregat

3. Efisiensi peralatan
4. Faktor umum
5. Mutu agregat

Menurut (Dipohusodo, Istimawan, 1994), nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya ditentukan waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran dilakukan. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% sampai 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari. Pada tahap pelaksanaan konstruksi, beton yang telah direncanakan campurannya harus diproduksi sedemikian rupa sehingga memperkecil frekuensi terjadinya beton dengan kuat tekan yang lebih dari kuat tekan yang disyaratkan.



Gambar 3.8 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

3.7. Kuat Tarik

Menurut SNI 03-2491-2002 kuat tarik belah pada benda uji silinder beton dilakukan bertujuan untuk menentukan nilai kuat tarik/belah dari benda uji tersebut yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan cara meletakkan benda uji secara mendatar/sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

Pengujian kuat tarik/belah beton menggunakan benda uji berbentuk silinder beton dengan diameter 15 cm dan panjang 30 cm, diletakkan arah memanjang atau horizontal diatas alat penguji. Kemudian diberi beban tekan secara merata arah tegak lurus dari atas keseluruhan panjang silinder

Menurut SNI 03-2491-2014 rumus yang digunakan dalam menganalisis kuat tarik/belah menggunakan Persamaan 3.24 berikut ini.

$$f_{ct} = \frac{2.P}{D.L} \quad (3.24)$$

dengan:

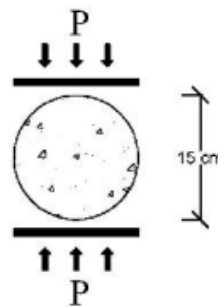
f_{ct} = Kuat tarik/belah beton pada umur 28 hari (MPa),

P = Beban maksimum (N),

L = Tinggi silinder beton (mm), dan

D = diameter silinder beton (mm).

Nilai kuat tekan dan kuat tarik/belah beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9-15 % dari kuat tekannya.



Gambar 3.9 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Beton

3.8. Kuat Lentur

Berdasarkan SNI 03-4154-1996 (BSN, 1996) kuat lentur merupakan momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang benda uji yang menghasilkan nilai tegangan tarik. Pengujian kuat lentur pada penelitian ini dilakukan dengan pembebanan dua titik pada tengah bentang benda uji. Pengujian kuat lentur dalam penelitian ini dilakukan pada saat beton berumur 28 hari.

Pada penelitian ini menggunakan sistem pembebanan dua titik mengacu pada SNI 03-4431-1996. Kuat lentur beton dihitung dengan ketentuan dan rumus sebagai berikut.

1. Kondisi I

Bila akibat pengujian patahnya benda uji berada didaerah pusat pada 1/3 jarak titik peletakan pada bagian tarik beton, maka dihitung menurut persamaan.

$$f_{lt} = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (3.25)$$

2. Kondisi II

Bila akibat pengujian benda uji patah diluar pusat (diluar 1/3 jarak titik peletakan) dibagian tarik beton, dan jarak antara titik patah dan titik pusat (beban) kurang dari 5% jarak titik peletakan, maka kuat lentur beton dihitung dengan rumus.

$$f_{lt} = \frac{3.P.c}{b.h^2} \quad (3.26)$$

3. Kondisi III

Untuk benda uji akibat pengujian patah di luar pusat pada bagian tarik beton dan jarak antara titik patah dan titik pembebanan melebihi dari 5% dari bentang, maka hasil pengujian tidak dipergunakan.

dengan:

f_{lt} = Kuat Lentur benda uji (Mpa)

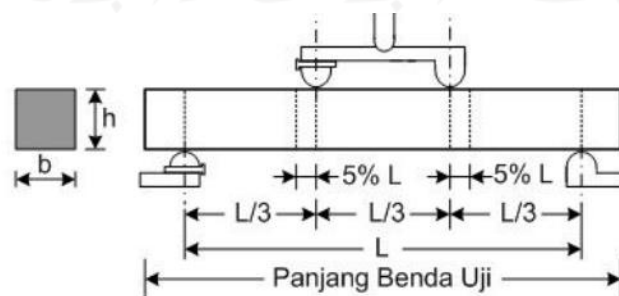
P = Beban maksimum mesin uji (N)

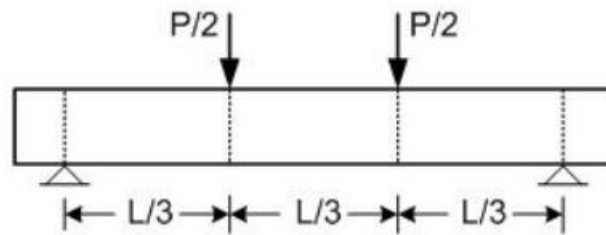
L = Panjang bentang (mm)

b = Lebar rata-rata specimen didaerah runtuh (mm)

d = Tinggi rata-rata specimen didaerah runtuh (mm)

c = Jarak rata-rata antara tampang melintang patah dan tumpuan terdekat, diukur pada empat tempat pada sisi titik dari bentang.





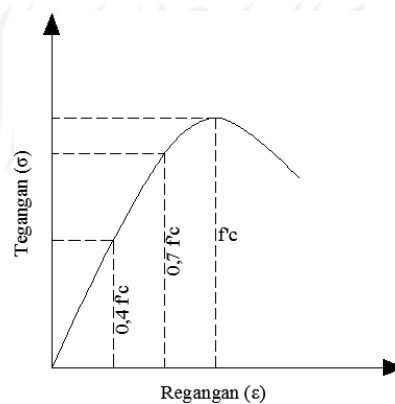
Sistem Dua Beban Titik

Gambar 3.10 Sketsa Pengujian Kuat Lentur Beton

3.9. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton sering disebut sebagai modulus *young* yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis, sehingga modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk dan kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban pada benda uji. Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu material, sehingga jika nilai modulus bahan semakin besar, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya dan semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku (SNI 2826-2008).

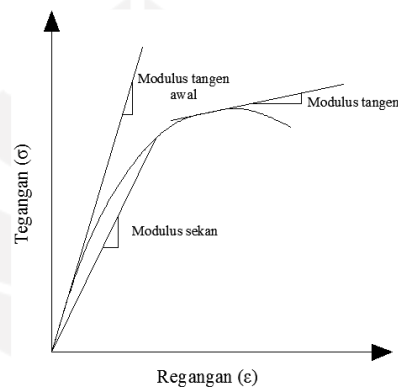
Menurut Nawy (1990) hubungan antara tegangan regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain serta prosedur-prosedur pada struktur beton. Hubungan tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar



Gambar 3.11 Kurva tegangan regangan beton

(Sumber: Nawy, 1990)

Kurva tegangan regangan pada Gambar 3.4 merupakan kurva linier pada taraf pembebanan awal, maka modulus elastisitas (*modulus young*) pada kurva tersebut yaitu garis singgung pada kurva tegangan regangan dari titik pusat. Kemiringan garis singgung ini di definisikan sebagai modulus tangen awal, bila dibuat modulus tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar $0,4 \cdot f'c$ disebut sebagai modulus elastisitas sekan dari beton, pada modulus elastisitas sekan ini merupakan hasil modulus elastisitas yang ditinjau. untuk lebih jelasnya dari penjelasan tersebut dapat dilihat pada Gambar



Gambar 3.12 Modulus sekan dan modulus tangen beton

(Sumber: Nawy, 1990)

Penjelasan tersebut untuk analisis modulus elastisitas dari kurva tegangan regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini dari ASTM C-469 sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (3.27)$$

dengan:

E_c = modulus elastisitas beton (MPa),

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

S_1 = Kuat tekan pada saat regang longitudinal mencapai $\epsilon_1 = 0,00005$

ϵ_2 = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.28)$$

dengan:

ΔL = Deformasi Longitudinal (mm),

L_0 = Tinggi efektif pengukuran (mm)

Menurut SNI-2847-2019 Pasal 19.2.2, modulus elastisitas untuk beton normal dengan W_c antara 1440 dan 2560 kg/m^3 dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \quad (3.29)$$

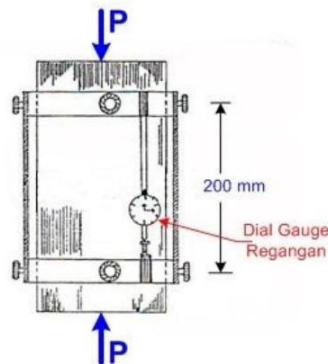
dan

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c} \quad (3.30)$$

dengan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa),

W_c = Berat isi beton (kg/m^3)



Gambar 3.13 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas

(Sumber: Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia)

3.10. Daya penyerapan Air

Penyerapan air merupakan persentase penyerapan air pada beton. Beton dengan agregat atau bahan tambah pembuat ringan berat beton akan membuat penyerapan sebagai kendala utama. Pada pengujian penyerapan air maka dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.26 berikut.

$$W = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100\% \quad (3.31)$$

dengan:

W = Persentase Penyerapan air

W_w = Berat beton SSD (Kg)

W_s = Berat beton kering oven (Kg)

Berdasarkan SNI 03 – 2914 – 1990 tentang spesifikasi beton bertulang kedap air, beton dapat dikategorikan beton kedap air apabila beton normal direndam air dan memenuhi syarat sebagai berikut.

- a. Beton direndam selama $10 \pm 0,5$ menit ditimbang, resapan maksimum 2,5% dari beton kering oven
- b. Beton direndam selama 24 jam, resapan maksimum 6,5% dari berat kering oven

3.11. Umur Beton

Kuat tekan beton bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton. Kekuatan beton akan naiknya secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya akan kecil. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung dalam 28 hari (Mulyono, 2004).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Umum

Metode penelitian merupakan suatu cara untuk mengambil, menganalisis dan mengidentifikasi suatu pokok permasalahan yang dilakukan untuk mendapatkan suatu hasil dengan tujuan dapat di deskripsikan, dibuktikan, dikembangkan dan ditemukan pengetahuan dari permasalahan tersebut. Secara umum tahapan penelitian berikut ini.

1. Tahap persiapan meliputi lokasi, sampel penelitian serta bahan dan peralatan penelitian sesuai dengan standar yang berlaku.
2. Tahap pelaksanaan penelitian meliputi pembuatan benda uji dan pengecekan nilai *slump* pada beton segar.
3. Tahapan pengujian setelah benda uji selesai dicetak dan dilakukan proses perawatan, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik beton yaitu kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, kuat lentur dan daya penyerapan air pada benda uji.
4. Tahap pengumpulan data yang dilakukan pada saat didapatkan hasil pengujian di laboratorium.
5. Tahapan pengolahan data data meliputi data hasil pengujian sesuai dengan standar yang digunakan.

4.2. Lokasi dan Sampel Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia. Sampel penelitian adalah benda uji berupa silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik, penyerapan air, berat volume isi beton dan modulus elastisitas serta benda uji berupa balok berukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm untuk pengujian kuat lentur. Pada benda uji juga dilakukan pengujian daya penyerapan air. Mutu beton yang digunakan 30 MPa pada masing-masing mutu diberi 8 variasi

dan setiap variasi menggunakan benda uji sebanyak 12 benda uji yaitu 9 silinder dan 3 balok.

4.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

4.3.1. Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan untuk pembuatan beton menggunakan semen *Portland Composite Cemen (PCC)* merek Semen gresik. Semen yang digunakan harus dijaga kualitasnya, yaitu dengan cara menyimpannya ditempat teduh dan kering.

2. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan yaitu abu batu (*stone dust*) dan *superplasticizer* jenis *sika viscocrete 3115N*. Abu batu berasal dari pemecahan batu yang diambil dari merapi. Abu batu yang digunakan adalah sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap agregat halus. Bahan tambah selanjutnya adalah *superplasticizer* jenis *sika viscocrete 3115N* berfungsi untuk mengurangi kadar air dalam jumlah besar, kemudahan mengalir yang sangat baik dalam waktu bersamaan dengan kohesi yang optimal dan sifat beton yang memadat dengan sendirinya. Kadar *superplasticizer* yang digunakan berjenis *viscocrete 3115N* dengan kadar 0,6% dari berat semen.

3. Agregat

Agregat halus yang digunakan berasal dari merapi sedangkan agregat kasar yang digunakan berasal dari clereng.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan harus tampak jernih secara visual, tidak berwarna dan tidak berbau.

4.3.2. Peralatan yang Digunakan

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang valid, maka diperlukan berbagai peralatan dengan kondisi yang baik sebagai alat bantu dalam melakukan pembuatan dan pengujian benda uji. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Timbangan dengan kapasitas 20 kg yang digunakan untuk menimbang berat benda uji yang digunakan sebagai penelitian. Selain itu untuk menakar kebutuhan material yang digunakan dalam pembuatan benda uji.



Gambar 4.1 Timbangan

2. Piknometer

Piknometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida. Penelitian ini menggunakan piknometer dengan ukuran 500 ml, nilai volume ini valid pada temperatur yang tertera pada piknometer tersebut selain itu digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus dan kadar lumpur.



Gambar 4.2 Piknometer

3. Gelas Ukur

Gelas ukur untuk menakar kebutuhan material cair. Gelas ukur digunakan pada pengujian ini untuk menakar bahan tambah yaitu *superplasticizer viscocrete 3115N*.



Gambar 4.3 Gelas Ukur

4. Ayakan *mesh*

Ayakan *mesh* atau saringan yang digunakan untuk memisahkan agregat sesuai ukuran ayakan untuk pengujian analisa lolos saringan dan modulus halus butir.



Gambar 4.4 Ayakan Mesh

5. Cetakan silinder dan balok

Cetakan beton berupa silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta benda uji berupa balok berukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm, dimana berfungsi sebagai cetakan pembuatan sampe uji beton.



Gambar 4.5 Cetakan Silinder dan Balok

6. Alat ukur

Alat ukur yang dimaksud dalam penelitian ini adalah alat ukur dimensi, bisa berupa penggaris maupun kaliper. Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi dari suatu benda seperti cetakan, benda uji dan pengukuran lain dalam pengujian.



Gambar 4.6 Alat Ukur

7. Oven

Digunakan untuk mengeringkan benda uji untuk beberapa pengujian seperti berat jenis air dan penyerapan air.



Gambar 4.7 Oven

8. Ember

Ember digunakan sebagai tempat menampung material dan sebagai alat pembantu untuk memasukan material ke dalam mesin pengaduk atau *mixer*.



Gambar 4.8 Ember

9. Mixer

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pengaduk dengan mesin bertenaga listrik. Mesin ini dimiliki oleh Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.9 Mixer

10. Kerucut Abram

Digunakan untuk mengetahui nilai *slump* sebelum beton dimasukkan ke dalam cetakan.



Gambar 4.10 Kerucut Abram

11. *Dial Gauge*

Digunakan untuk pembacaan regangan beton pada saat pengujian modulus elastisitas



Gambar 4.11 Dial Gauge

4.4. Tahap Persiapan Penelitian

Untuk melakukan penelitian agar mendapatkan hasil yang baik diperlukan adanya prosedur yang harus dilakukan secara bertahap. Tahapan harus dilakukan dengan pengendalian mutu agar sesuai dengan persyaratan penelitian.

4.4.1. Persiapan Material

Sebelum melakukan penelitian, bahan dan peralatan harus disiapkan terlebih dahulu. Persiapan bahan harus dibutuhkan untuk menyediakan bahan-bahan dengan mutu atau kualitas yang baik. Persiapan yang digunakan harus dilakukan berupa membersihkan material dari kotoran yang menempel agar tidak dapat merusak dari hasil dari penelitian.

Adapun persiapan yang dilakukan sebagai berikut.

1. Penyiapan material

Material yang harus dipersiapkan seperti agregat, semen, air dan bahan tambah yang digunakan yaitu abu batu dan *superplasticizer*. Setelah mempersiapkan bahan-bahan, selanjutnya dipersiapkan juga alat-alat yang mendukung penelitian seperti alat untuk pengujian material dan alat untuk pengujian sampel benda uji.

2. Pembersihan material

Pembersihan material dilakukan pada material yang padat, yaitu agregat. Tujuannya agar menghasilkan material yang memenuhi syarat untuk campuran beton. Selain itu alat yang digunakan juga harus dibersihkan sehingga tidak adanya kotoran yang menempel pada alat. Jika ada kotoran maka akan mempengaruhi kualitas dalam pembuatan serta pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

4.4.2. Pengujian Material

Sebelum dilakukannya pembuatan benda uji dalam penelitian ini perlu dilakukan pengujian pada material yaitu pengujian agregat. Berikut tahapan pengujian agregat adalah seperti berikut.

1. Agregat Halus dan Abu Batu

Pada penelitian ini, pengujian agregat halus dan abu batu dilakukan dengan metode pengujian yang sama karena abu batu pada penelitian ini sebagai substitusi dari agregat halus. Pengujian agregat dan abu batu terdiri dari beberapa pengujian yaitu meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat,

pengujian berat isi padat, pengujian analisa saringan dan pengujian lolos saringan no.200. Berikut tahapan pengujian agregat halus dan abu batu.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan SNI 03-1970-1990. Tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai agregat dalam keadaan berat uji tetap. Artinya keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%, selanjutnya agregat mendinginkan pada suhu ruangan, kemudian merendam dalam air selama 24 jam,
- 2) Tahapan selanjutnya membuang air perendam dengan hati-hati agar tidak ada butiran yang hilang, selanjutnya menebarkan agregat diatas talam/nampan, mengeringkan di udara panas dengan cara membalik-balik benda uji. Pengeringan dilakukan hingga agregat mencapai keadaan kering permukaan jenuh,
- 3) Setelah itu pemeriksaan dilakukan dalam keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan agregat ke dalam kerucut terpancung, lalu memadatkan dengan besi/batang penumbuk sebanyak 25 kali dan meratakan permukaannya. Benda uji dengan keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila kerucut diangkat lalu benda uji runtuk akan tetapi masih dalam keadaan bentuk cetakan,
- 4) Pada point 1,2,3 merupakan pengecekan benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Apabila telah tercapai SSD, maka masukan benda uji sebanyak 500gr ke dalam piknometer, selanjutnya masukan air suling hingga 90% ke dalam piknometer, lalu memutar piknometer sambil diguncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalam piknometer,
- 5) Merendam piknometer dalam air dan mengukur suhu air untuk menyesuaikan perhitungan suhu air dengan standar suhu 25°C

- 6) Selanjutnya menambahkan air suling mencapai tanda batas,
- 7) Menimbang piknometer yang berisi air dan benda uji sampai ketelitian 0,1gr,
- 8) Selanjutnya mengeluarkan benda uji, dan mengeringkannya dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sampai berat tetap lalu mendinginkan benda uji dalam desikator,
- 9) Setelah benda uji dingin, kemudian menimbangya kembali,
- 10) Selanjutnya menimbang berat piknometer yang penuh dengan air dan mengukur suhu air sesuai standar yang ditetapkan
- 11) Setelah semua data pengujian didapatkan, maka hasil data pengujian sudah bisa dihitung dengan persamaan 3.1 – 3.4.

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat volume padat/gembur agregat halus berdasarkan atau mengacu pada SNI 03-4804-1998. Tahapan pengujian berat isi padat pada agregat halus sebagai berikut:

- 1) Pengujian berat isi padat dilakukan dengan cara menggunakan benda uji dalam keadaan jenuh atau kering permukaan (SSD),
- 2) Selanjutnya menimbang cetakan berupa silinder yang akan dijadikan dalam penelitian ini. Proses pengujian menggunakan cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
- 3) Selanjutnya meletakkan cetakan silinder ketempat yang datar,
- 4) Memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder. Dalam memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder ada beberapa tahap yaitu memasukkan benda uji sebanyak 1/3 dari volume isi cetakan silinder, setelah itu menumbuk benda uji yang telah dimasukkan ke dalam cetakan silinder sebanyak 25 kali, lakukan tahap tersebut sampai cetakan silinder penuh dengan benda uji lalu menimbang cetakan silinder untuk menentukan beratnya,
- 5) Setelah melakukan tahapan diatas, maka berat isi padat pada agregat sudah bisa dianalisis dengan menggunakan persamaan 3.5.

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian analisa saringan agregat halus dan abu batu mengacu pada SNI 03-1968. Tahapan pengujian analisa saringan pada agregat halus dan abu batu sebagai berikut:

- 1) Pada tahap pertama yaitu mengeringkan benda uji dalam *oven* pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian yang tinggi, sebaiknya melakukan pengujian minimal 2 kali,
- 2) Selanjutnya mengeluarkan benda uji dari oven, kemudian benda uji didinginkan pada suhu ruang selama 1-3 jam,
- 3) Pada tahapan 1 dan 2 adalah suatu proses dalam membuat benda uji agar menjadi kering mutlak. Setelah benda uji kering oven, selanjutnya menimbang benda uji sebanyak 2000 gram,
- 4) Setelah itu melakukan penyusunan saringan dari lubang yang paling besar (atas) ke lubang yang kecil (bawah) sesuai urutan lubang ayakan. memasukkan benda uji ke dalam ayakan, selanjutnya meletakkan ayakan pada mesin pengguncang. Apabila mesin pengguncang tidak tersedia, maka pengayakan dilakukan dengan cara manual,
- 5) Pada proses penggetaran mesin ayakan dilakukan sekitar 10-15 menit,
- 6) Setelah proses penggetaran pada mesin ayakan, selanjutnya mengeluarkan benda uji dari masing-masing saringan dan diletakkan masing-masing pada cawan (jangan sampai ada yang tercecer),
- 7) Lalu pada tahap selanjutnya menimbang serta mencatat berat benda uji yang tertahan di masing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan, menggunakan sikat kawat untuk saringan yang lubang besar dan kuas untuk lubang yang kecil/halus,
- 8) Setelah dilakukan semua tahapan dan didapat semua data pengujian, maka hasil data pengujian sudah bisa dianalisis.

d. Pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kandungan lumpur)

Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur) mengacu pada SNI 03-4142-1996. Tahapan pengujian lolos saringan no.200 pada agregat halus dan abu batu sebagai berikut:

- 1) Pada pengujian ini dilakukan menggunakan benda uji dalam keadaan kering oven,
- 2) Selanjutnya benda uji diletakkan diatas saringan dan mengalirkan air diatasnya,
- 3) Lalu pada tahap selanjutnya menggerakkan benda uji dalam saringan dengan aliran air. Benda uji dialiri air secukupnya sehingga bagian yang halus menembus saringan no. 200 dan bagian yang kasar tertinggal diatasnya,
- 4) Selanjutnya dilakukan pengulangan pekerjaan pada *point* 3 hingga air pencucian menjadi jernih,
- 5) Kemudian benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$. Setelah kering, melakukan penimbangan benda uji dengan ketelitian 0,1 gram,
- 6) Setelah dilakukan semua tahapannya dan didapatkan semua data pengujian, maka hasil data pengujian sudah bisa dianalisis.

2. Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar terdiri dari beberapa pengujian yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat, pengujian berat isi padat, pengujian analisa saringan. Berikut tahapan pengujian agregat kasar.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar mengacu pada SNI 03-1969-1990. Tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar sebagai berikut:

- 1) Agregat kasar dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga agregat dalam keadaan berat uji tetap. Artinya keadaan agregat selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak akan mengalami perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%, selanjutnya benda uji didinginkan pada suhu ruangan, kemudian merendam dalam air selama 24 jam,

- 2) Selanjutnya mengeluarkan benda uji dari rendaman air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air benda uji pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan halus satu persatu,
- 3) Setelah dilap dengan kain, benda uji ditimbang untuk mendapatkan benda uji kering permukaan jenuh,
- 4) Tahap selanjutnya benda uji diletakkan didalam keranjang, lalu digoncangkan benda uji untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air, dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar 25 °C,
- 5) Setelah semua data pengujian didapatkan, maka hasil data pengujian sudah bisa dihitung dengan persamaan 3.9 – 3.12.

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat/gembur agregat kadar mengacu pada SNI 03-4804-1998. Tahapan pengujian berat isi padat pada agregat kasar sebagai berikut:

- 1) Pengujian berat isi padat dilakukan dengan menggunakan benda uji dalam keadaan jenuh atau kering permukaan (SSD),
- 2) Selanjutnya menimbang cetakan berupa silinder yang akan dijadikan dalam penelitian ini. Menggunakan cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
- 3) Selanjutnya meletakkan cetakan silinder ketempat yang datar,
- 4) Memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder. Dalam memasukkan benda uji ke dalam cetakan silinder ada beberapa tahap yaitu memasukkan benda uji sebanyak 1/3 dari volume isi cetakan silinder dan balok, setelah itu menumbuk benda uji yang telah dimasukkan ke dalam cetakan silinder sebanyak 25 kali, lakukan tahap tersebut sampai cetakan silinder penuh dengan benda uji lalu menimbang cetakan silinder, selanjutnya benda uji untuk menentukan beratnya,
- 5) Setelah melakukan tahapan diatas, maka berat isi padat pada agregat sudah bisa dianalisis dengan menggunakan persamaan 3.5.

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 03-1968.

Tahapan pengujian analisa saringan pada agregat halus sebagai berikut:

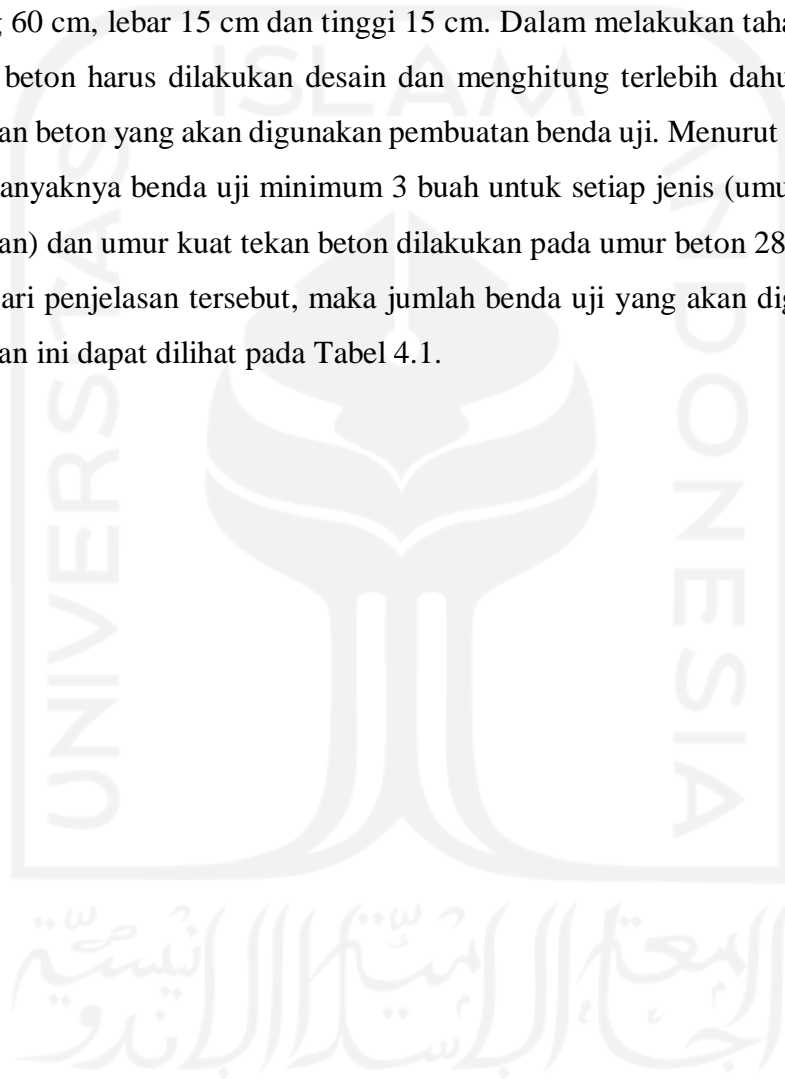
- 1) Pada tahap pertama yaitu mengeringkan benda uji dalam *oven* pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian yang tinggi, sebaiknya melakukan pengujian minimal 2 kali,
- 2) Selanjutnya mengeluarkan benda uji dari oven, kemudian benda uji didinginkan pada suhu ruang selama 1-3 jam,
- 3) Pada tahapan 1 dan 2 adalah suatu proses dalam membuat benda uji agar menjadi kering mutlak. Setelah benda uji kering oven, selanjutnya menimbang benda uji sebanyak 2000 gram,
- 4) Setelah itu melakukan penyusunan saringan dari lubang yang paling besar (atas) ke lubang yang kecil (bawah) sesuai urutan lubang ayakan. memasukkan benda uji ke dalam ayakan, selanjutnya meletakkan ayakan pada mesin pengguncang. Apabila mesin pengguncang tidak tersedia, maka pengayakan dilakukan dengan cara manual,
- 5) Pada proses penggetaran mesin ayakan dilakukan sekitar 10-15 menit,
- 6) Setelah proses penggetaran pada mesin ayakan, selanjutnya mengeluarkan benda uji dari masing-masing saringan dan diletakkan masing-masing pada cawan (jangan sampai ada yang tercecer),
- 7) Lalu pada tahap selanjutnya menimbang serta mencatat berat benda uji yang tertahan dimasing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan, menggunakan sikat kawat untuk saringan yang lubang besar dan kuas untuk lubang yang kecil/halus,
- 8) Setelah dilakukan semua tahapan dan didapat semua data pengujian, maka hasil data pengujian sudah bisa dianalisis.

4.5. Tahapan Penelitian

4.5.1. Pembuatan Sampel Benda Uji

Benda uji adalah benda yang digunakan pada suatu penelitian untuk diuji berdasarkan acuan pengujian tertentu. Dalam penelitian ini digunakan 2 benda uji berupa silinder dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 30 cm dan juga balok ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. Dalam melakukan tahap pembuatan sampel beton harus dilakukan desain dan menghitung terlebih dahulu komposisi campuran beton yang akan digunakan pembuatan benda uji. Menurut SNI 03-2847-2019, banyaknya benda uji minimum 3 buah untuk setiap jenis (umur dan kondisi pengujian) dan umur kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 28 hari.

Dari penjelasan tersebut, maka jumlah benda uji yang akan digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Tabel 4.1 Jumlah benda uji beton

Mutu Beton	Variasi Campuran (%)		Jumlah Benda Uji dan Jenis Pengujian				Jumlah Benda Uji (bh)			
	Abu Batu	Superplasticizer	Silinder	Jenis Pengujian	Balok	Jenis Pengujian				
30 MPa	0	0	6	Kuat Tekan, Kuat Tarik, Modulus Elastisitas dan Penyerapan Air	3	Kuat Lentur	9			
	10	0	6		3		9			
	20	0	6		3		9			
	30	0	6		3		9			
	0	0,4	6		3		9			
	10	0,4	6		3		9			
	20	0,4	6		3		9			
	30	0,4	6		3		9			
	Total Keseluruhan Benda Uji							72		

Pada tahap ini, peneliti mulai melakukan perencanaan campuran beton dengan pedoman dari SNI 03-2834-2000 tentang tata cara rencana pembuatan campuran beton normal. Pada komposisi bahan untuk *mix design* dibedakan dalam takaran penggunaan abu batu. Dengan penambahan abu batu akan menurunkan *workability* pada campuran beton, hal ini berhubungan dengan pengujian nilai *slump*. Oleh karena itu, dilakukan penambahan *superplasticer* jenis Sika *viscocrete 3115N*. Penggunaan *superplasticer* jenis Sika *viscocrete 3115N* untuk beton normal memiliki dosis penggunaan 0,3-0,8%. Pada penelitian ini *superplasticizer* digunakan sebesar 0,4% dari berat semen karena jika menggunakan 0,3% maka nilai *slump* yang akan dihasilkan tidak secara signifikan meningkatkan pada pengujian *slump*.

4.5.2. Pengujian *Workability* Campuran Beton

Pada tahapan ini sebelum campuran dimasukkan ke dalam cetakan, campuran beton harus melalui proses pengujian *workability*. Pengujian ini untuk mencari kelacakan (*workability*) melalui beton segar. Pengujian ini menggunakan kerucut Abraham yang dimasukkan beton segar dari proporsi campuran yang telah ditentukan. Ketika kerucut diangkat secara vertical, nilai *slump* dapat diketahui dengan cara mengukur dari tinggi Kerucut Abraham ke titik tertinggi beton segar.

4.5.3. Perawatan Sampel Benda Uji

Pada tahapan perawatan benda uji juga didasarkan pada SNI-2493-2011 Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. Penelitian yang dilakukan ini menggunakan metode perawatan benda uji dengan melakukan perendaman benda uji dalam air setelah dikeluarkan dari cetakan. Lama perawatan beton dilakukan hingga 1 hari sebelum pengujian dilakukan, hal ini bertujuan agar beton sudah kering saat diuji.

4.5.4. Pengujian Sampel Benda Uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengujian kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, kuat lentur, dan daya penyerapan air. Berikut penjelasan dari setiap pengujian.

1. Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 03-1974-2011. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton terhadap beton. Pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari setelah pengecoran. Prosesnya setelah benda uji dikeluarkan dari bak perendam lalu dijemur/dikeringkan setelah itu benda uji dihitung beratnya. Berikut langkah-langkah pengujian kuat tekan beton.

- a) Menyiapkan alat dan benda uji yaitu silinder yang sudah dilakukan pengeringan dari perendaman dibak,
- b) Benda uji diletakkan ke dalam mesin tekan dengan memberikan alas menggunakan belerang yang dipanaskan lalu dicetak pada bagian atas benda uji,
- c) Setelah itu alat dinyalakan dengan pembebanan yang konstan, sekitar 5 kN per detik, dan
- d) Dilakukan pembebanan sampai benda uji hancur dan dicatat pembebanan maksimum yang terjadi selama pengujian.

2. Kuat tarik/belah beton

Pengujian kuat tarik beton mengacu pada SNI 03-2491-2002. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kuat tarik/belah beton terhadap beton. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari setelah pengecoran. Berikut langkah-langkah pengujian kuat tarik beton.

- a) Menyiapkan alat dan benda uji yaitu silinder
- b) Memberikan tanda pada benda uji dengan cara menarik garis tengah pada setiap sisi ujung pada benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, sehingga dipastikan bahwa kedua garis tersebut berada dalam bidang aksial yang sama,

- c) Meletakkan bantalan bantu pembebanan diatas meja tekan bagian bawah dari mesin uji pada bagian tengah-tengahnya,
- d) Meletakkan benda uji diatas bantalan sedemikian rupa sehingga tanda garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan tersebut,
- e) Mengatur posisi pengujian hingga tercapai kondisi: proyeksi dari bidang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat sejajar dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji,
- f) Selanjutnya menjalankan mesin uji dengan pemberian beban dilakukan secara konstan hingga benda uji terbelah dan selanjutnya beban maksimum dicatat.

3. Modulus elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-4169-1996. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tegangan regangan yang terjadi pada pengujian beton. Pengujian modulus elastisitas beton bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, dikarenakan ke dua pengujian tersebut saling berhubungan, pada saat proses pengambilan data pengujian modulus elastisitas benda uji dipasang alat dial yang berguna untuk membaca perpindahan beton pada saat beton itu diberi beban. Tolak ukur yang umum dari sifat elastisitas suatu bahan adalah modulus elastisitas, yang merupakan perbandingan dari tekanan yang diberikan dengan perubahan bentuk per-satuan panjang, sebagai akibat dari tekanan yang diberikan itu (Murdock & Brook, 1999).

4. Kuat lentur beton

Pengujian kuat lentur beton pada penelitian ini dilakukan dengan sistem pembebanan dua titik mengacu pada SNI 03-4431-1997. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui kuat lentur beton terhadap beton. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari setelah pengecoran. Berikut langkah-langkah pengujian kuat lentur beton.

- a) Menyiapkan alat dan benda uji yaitu balok,

- b) Membuat garis melintang sebagai tanda dan petunjuk titik-titik peletakan, titik pembebanan dan titik-titik sejauh 5% dari jarak bentang di luar titik peletakan,
 - c) Memasang 2 buah perletakan dengan lebar bentak 3 kali jarak titik-titik pembebanan dan pasang alat pembebanan sehingga mesin tekan pada beton berfungsi sebagai alat uji lentur serta mengatur pembebanan dan skala pembacaannya,
 - d) Menempatkan benda uji yang sudah diberi tanda diatas perletakan sedemikian tanda tumpuan yang dibuat pada benda uji, tepat pada pusat tumpuan dari alat uji, dengan kedudukan sisi atas benda uji pada waktu pengecoran berada pada bagian samping alat penekan dan menyentuh benda uji pada sepertiga bentang titik tumpuan,
 - e) Selanjutnya menghidupkan mesin uji yang telah disiapkan, tunggu kira-kira 30 detik,
 - f) Meletakkan benda uji pada tumpuan dan atur benda uji sehingga siap untuk pengujian
 - g) Mengatur pembebanan untuk menghindari terjadi benturan serta mengatur katup-katup pada kedudukan pembebanan dan kecepatan pembebanan pada kedudukan yang tepat sehingga jarum skala bergerak secara perlahan dan kecepatannya $8 \text{ kg/cm}^2 - 10 \text{ kg/cm}^2$ tiap menit,
 - h) Kurangi kecepatan pembebanan pada saat menjelang patah yang ditandai dengan kecepatan gerak jarum pada skala beban agak lambat, sehingga tidak terjadi kejut,
 - i) Hentikan pembebanan dan catan beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah, pembebanan dilakukan pada 2 titik pembebanan.
5. Daya penyerapan air

Pengujian daya penyerapan air dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dengan variasi abu batu dan penambahan *superplasticizer viscocrete 3115N* dengan cara merendam pada suatu wadah atau baskom berisi air selama 26 hari. Lalu dilakukan proses penimbangan pada saat sebelum dikeringkan dan sesudah dikeringkan menggunakan oven.

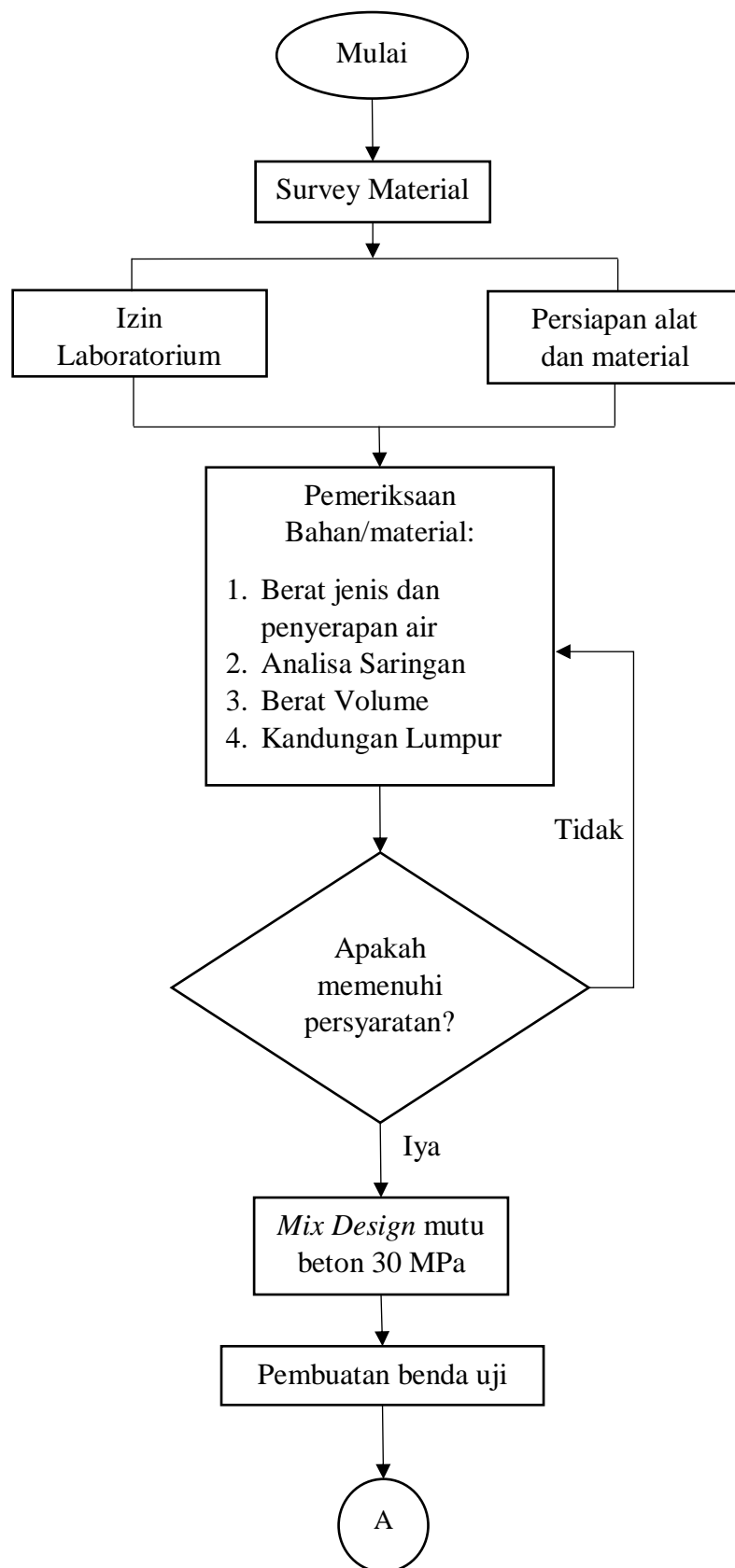
Penentuan daya serap air dapat diperoleh dari hasil pengukuran massa kering dan massa basah. Beton dengan persentase penyerapan terkecil merupakan beton dengan kualitas baik dimana jumlah pori-pori pada permukaan sedikit dan rapat.

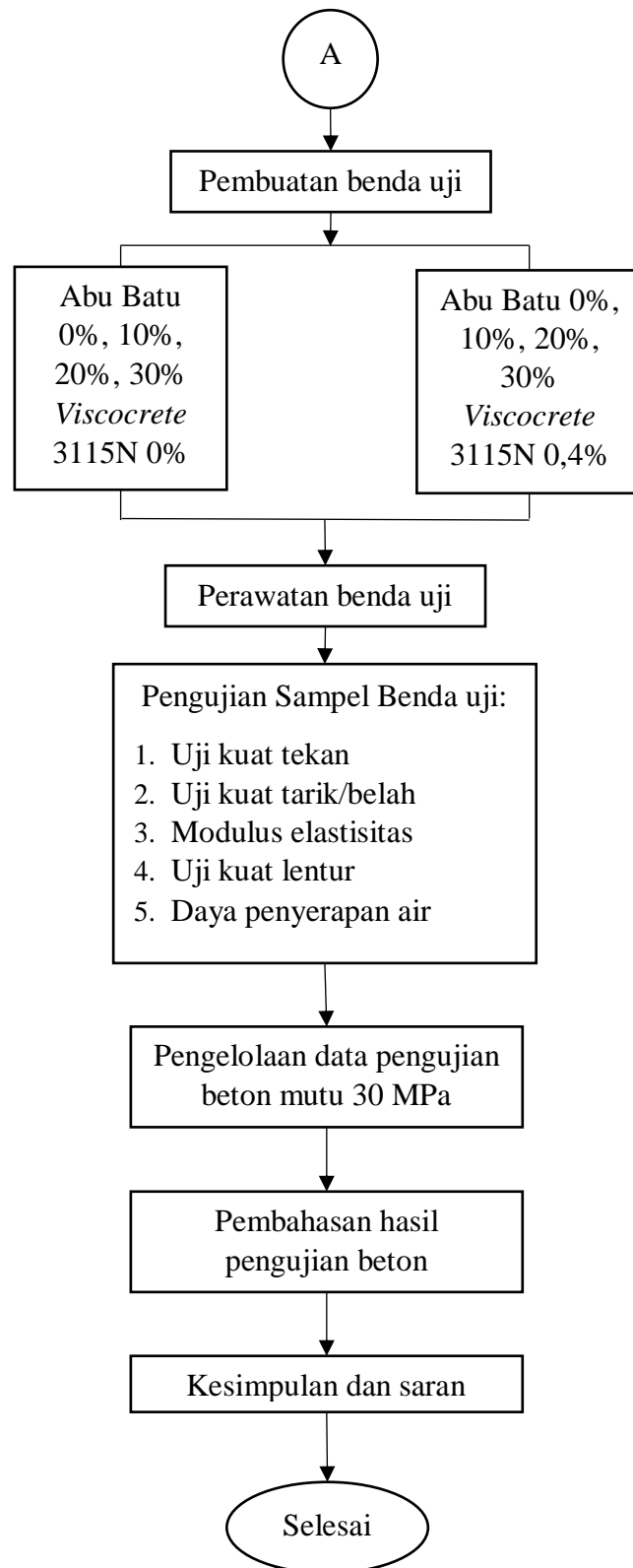
4.5.5. Analisis Pengujian Benda Uji

Pada tahapan analisis dilakukan terhadap data hasil pengujian benda uji beton. Dalam penelitian ini analisis yang dilakukan adalah analisis perbandingan sebab akibat yang berkaitan dengan kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur, modulus elastisitas dan daya penyerapan air, selanjutnya dipaparkan ke dalam grafik.

4.6. Kerangka Konsep Penelitian

Dari penjelasan tersebut dapat digambarkan skema penelitian mengikuti alur flow chart dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.12 *Flowchart* tahapan pengujian benda uji di laboratorium

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1. Tinjauan Umum

Sebuah data penelitian perlu dilakukan sebuah analisis dan pembahasan untuk memperoleh tujuan yang direncanakan dari penelitian. Pada bab ini akan dijabarkan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) yang diawali dengan pemeriksaan bahan penyusun beton, perencanaan campuran beton, pencampuran bahan penyusun beton, dan pengujian beton yang telah dibuat.

5.2. Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pada pemeriksaan bahan penyusunan beton peneliti memperoleh data material meliputi berat jenis dan penyerapan air, berat isi gembur dan berat isi padat agregat. Bahan-bahan yang akan digunakan pada pencampuran beton memiliki persyaratan yang harus dipenuhi sehingga perlu dilakukan pemeriksaan bahan penyusun beton.

5.2.1. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini digunakan pasir yang berasal dari progo. Pada agregat halus ini dilakukan pemeriksaan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume padat dan berat volume gembur agregat halus, dan pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur pasir)

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pelaksanaan pengujian ini digunakan dari SNI 03-1970-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{B_k}{B+500 - B_t}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{484}{733+500- 1037} \\
 &= 2,469 \\
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{500}{B+500- Bt} \\
 &= \frac{500}{733+500- 1037} \\
 &= 2,551 \\
 \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk- Bt} \\
 &= \frac{484}{733+484- 1037} \\
 &= 2,689 \\
 \text{Penyerapan air} &= \frac{500-Bk}{Bk} \\
 &= \frac{500-484}{484} \\
 &= 3,31\%
 \end{aligned}$$

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

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	484	487	485,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1037	1045	1041
Berat piknometer berisi air, gram (B)	733	733	733
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,469	2,5904	2,53
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,551	2,660	2,605
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,689	2,7829	2,736
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	3,31%	2,67%	2,99%

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar $2,605 \text{ gram/m}^3$ dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,99%. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodimuljo, 2007). Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	4	0,20	0,20	99,8
2.40	75	3,75	3,95	96,05
1.20	140	7,00	10,95	89,05
0.60	546	27,30	38,25	61,75
0.30	822	41,10	79,35	20,65
0.15	321	16,05	95,40	4,6
Sisa	92	4,60		0
Jumlah	2000	100	228,1	

Berdasarkan tabel 5.2 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

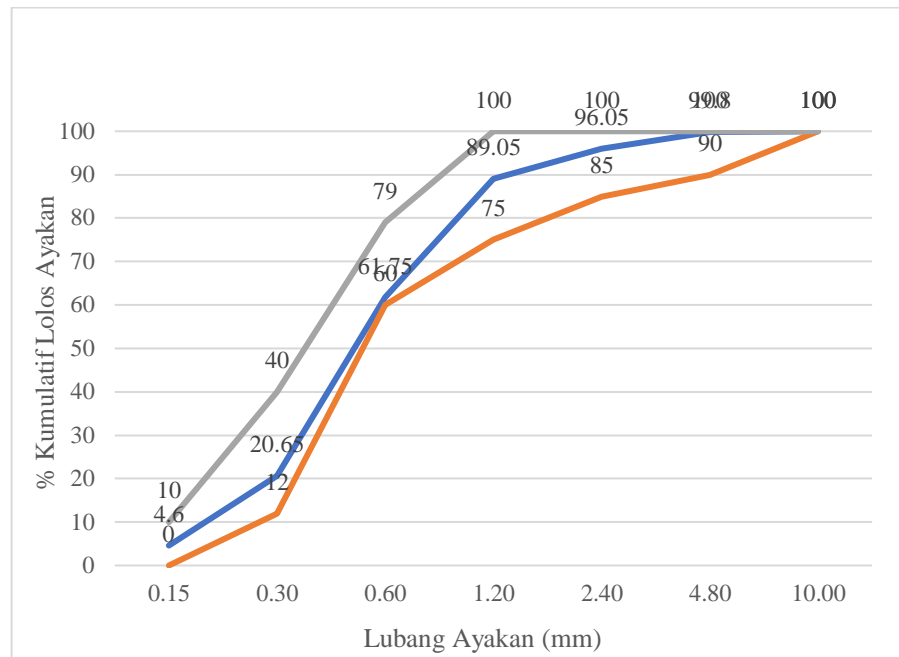
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100} \\
 &= \frac{228,1}{100} \\
 &= 2,28
 \end{aligned}$$

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) pada umumnya modulus halus butir agregat halus mempunyai nilai antara 1,5 sampai 3,8. Pada pengujian ini diperoleh nilai sebesar 2,28 yang berarti agregat halus memenuhi persyaratan. Pengujian analisa saringan juga untuk mengetahui gradasi agregat halus. Daerah agregat halus dapat dilihat pada Tabe 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan tabel 5.3 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi III dengan jenis pasir agak halus. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi III dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III

3. Hasil pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus. Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat volume padat dan gembur dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan 5.5 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{9400}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,013^2 \times 30,223} \\
 &= \frac{9400}{5350,403} \\
 &= 1,757 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Padat pada Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10200	10300	10250
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19600	19860	19730
Berat Agregat (W3), gram	9400	9560	9480
Volume Tabung (V), cm ³	5350,403	5422,129	5386,118
Berat Volume Padat, gram/cm ³	1,757	1,763	1.,760

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur pada Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10200	10300	10250
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18900	19100	19000
Berat Agregat (W3), gram	8700	8800	8750
Volume Tabung (V), cm ³	5350,403	5422.12	5386,266
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,626	1,623	1,625

Berdasarkan hasil analisa perhitungan berat volume diperoleh berat volume gembur agregat halus rata-rata 1,625 gram/cm³ dan volume berat padat agregat halus rata-rata sebesar 1,760 gram/cm³. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari gembur karena dalam pengujian yang dimasukkan ke tabung atau silinder dilakukan proses penumbukan setiap 1/3 tabung untuk mengurangi pori-pori udara sehingga diperoleh nilai berat volume padat lebih besar. Berat volume padat yang disyaratkan pada beton normal sekitar 1,5-1,8 sehingga berat volume padat agregat halus yang dilakukan memenuhi syarat.

4. Hasil pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) Pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 497}{500} \times 100\% \\
 &= 0,60\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	497	495	496
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	0,60%	1,00%	0,80%

Berdasarkan pengujian lolos saringan no.200 didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar 0,80%. Menurut PUBI-1982 dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia bahwa suatu agregat halus tidak diperbolehkan memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi kelekatan agregat halus dengan pasta semen karena ikatan pasta antara semen dan agregat halus diisi oleh kandungan lumpur. Hal ini akan mempengaruhi juga dari kekuatan beton. Pada pengujian ini sudah memenuhi syarat <5% sehingga agregat halus dapat digunakan untuk pencampuran beton.

5.2.2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian digunakan agregat kasar yang diperoleh dari Clereng. Pada agregat kasar dilakukan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air kasar, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume padat dan berat volume gembur.

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode dari SNI 03-1969-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\
 &= \frac{4909}{5000 - 3133} \\
 &= 2,629 \\
 \\
 \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\
 &= \frac{5000}{5000 - 3133} \\
 &= 2,678 \\
 \\
 \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\
 &= \frac{4909}{4909 - 3133} \\
 &= 2,764 \\
 \\
 \text{Penyerapan air} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \\
 &= \frac{5000 - 4909}{4909} \\
 &= 1,85\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4909	4923	4916
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3133	3127	3130
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,629	2,628	2,629
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,678	2,670	2,674
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,764	2,741	2,753
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,85%	1,56%	1,71%

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,629 gram/m³ dan penyerapan air

rata-rata sebesar 1,71%. Penyerapan agregat kasar lebih kecil dari agregat halus, hal ini menunjukkan rongga-rongga yang diisi air oleh air lebih sedikit daripada agregat halus. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo, 2007). Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar untuk mencari nilai modulus halus butir agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	10	0.2	0.2	99.8
10.00	4097	81.94	82.14	17.86
4.80	837	16.74	98.88	1.12
2.40	38	0.76	99.64	
1.20	1	0.02	99.66	
0.60	0	0	99.66	
0.30	0	0	99.66	
0.15	0	0	99.66	
Sisa	17	0.34		
Jumlah	5000	100	679.5	

Berdasarkan tabel 5.2 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

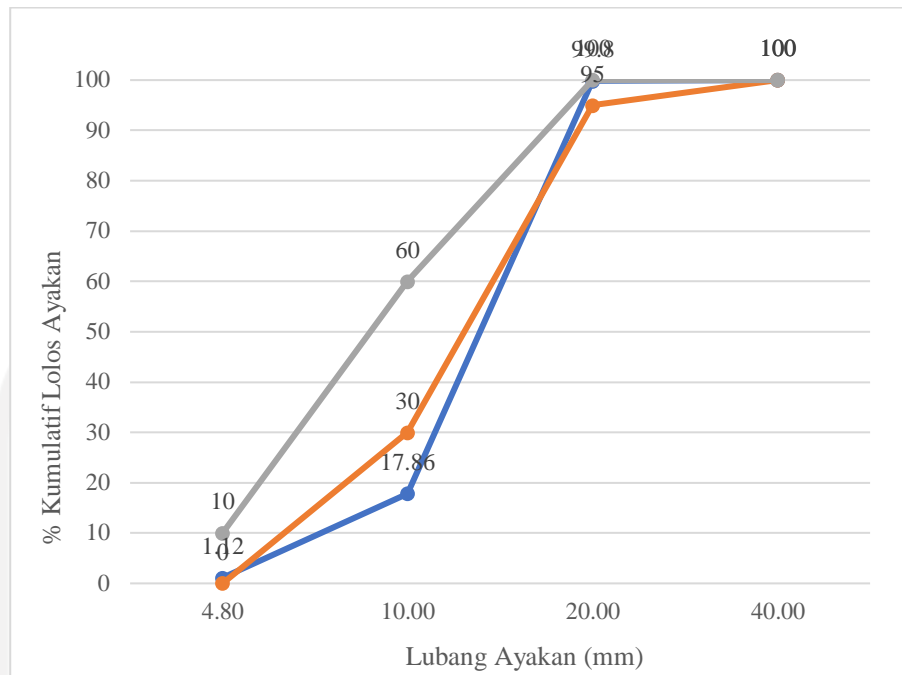
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{679,5}{100} \\
 &= 6,795
 \end{aligned}$$

Pada pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 6,795. Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) pada umumnya modulus halus butir agregat kasar mempunyai nilai antara 6,0 - 7,0. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa hasil dari pengujian modulus halus butir memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar juga didapat batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besarnya Butiran Maksimum		
	40mm	20mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	37-70	95-100	100
10,00	10-40	30-60	50-85
4,80	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 5.9 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan menggunakan maksimum 20 mm, tetapi dalam analisa saringan agregat kasar yang didapat yaitu gradasi sela karena adanya fraksi ukuran 10 mm yang tidak memenuhi persyaratan, apabila salah satu fraksi ukuran agregat yang tidak memenuhi syarat maka akan mengakibatkan volume pori pada beton menjadi lebih banyak. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Kasar

3. Hasil pengujian berat volume padat dan berat volume gembur
Pelaksanaan pengujian berat volume padat dan berat volume gembur agregat kasar menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat volume padat dan gembur dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan 5.11 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{7800}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,073^2 \times 30,103} \\
 &= \frac{7800}{5371,543} \\
 &= 1,452 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10600	10400	10500
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18400	18100	18250
Berat Agregat (W3), gram	7800	7700	7750
Volume Tabung (V), cm ³	5371,543	5426,097	5398,820
Berat Volume Padat, gram/cm ³	1,452	1,419	1,436

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10600	10400	10500
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17500	17200	17350
Berat Agregat (W3), gram	6900	6800	6850
Volume Tabung (V), cm ³	5371,543	5426,097	5398,820
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,285	1,253	1,269

Berdasarkan hasil analisa berat volume diperoleh berat volume gembur agregat kasar rata-rata sebesar 1,442 gram/m³ dan berat volume padat agregat kasar rata-rata sebesar 1,269 gram/m³. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari berat volume gembur karena dalam pengujian agregat yang dimasukkan ke tabung atau silinder dilakukan penumbukan setiap 1/3 tabung untuk mengurangi pori-pori udara sehingga nilai yang diperoleh lebih besar. Berat volume agregat kasar lebih kecil dari pada halus, hal ini dikarenakan ukuran butir kasar memiliki spesifikasi tertahan saringan 4,8 mm yang mengakibatkan antar butir memiliki rongga kosong yang lebih banyak dari pada agregat halus yang mempunyai spesifikasi lolos saringan 4,8 mm.

5.2.3. Hasil Pemeriksaan Abu Batu

Pemeriksaan abu batu dilakukan dikarenakan abu batu sebagai bahan substitusi parsial dari agregat halus. pada penelitian ini digunakan abu batu yang

berasal dari merapi. Pada abu batu ini dilakukan pemeriksaan yang sama dengan agregat halus yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume padat dan berat volume gembur, dan pengujian lolos saringan no.200.

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air abu batu

Pelaksanaan pengujian ini digunakan dengan metode yang sama dengan agregat halus yaitu SNI 03-1970-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B+500- B_t} \\ &= \frac{471}{715+500- 1016} \\ &= 2,367 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{500}{B+500- B_t} \\ &= \frac{500}{715+500- 1016} \\ &= 2,513 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B+B_k- B_t} \\ &= \frac{471}{715+471- 1016} \\ &= 2,771 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{500-B_k}{B_k} \\ &= \frac{500-471}{471} \\ &= 6,16\% \end{aligned}$$

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Abu Batu

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	471	477	474
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1016	1020	1018
Berat piknometer berisi air, gram (B)	715	716	715,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,367	2,434	2,400
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,513	2,551	2,532
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,771	2,757	2,764
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	6,16%	4,82%	5,49%

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,532 gram/ m^3 dan penyerapan air rata-rata sebesar 5,49%. Jika dikomparasikan dengan syarat sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodimuljo, 2007) maka berat jenis memenuhi syarat. Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7. Pada penyerapan air abu batu nilai penyerapan lebih tinggi dibandingkan agregat halus, hal ini ini dikarenakan karakteristik dari abu batu lebih halus dan juga sifat dari abu batu yang memiliki sifat penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan agregat halus.

2. Hasil pengujian analisa saringan abu batu

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Abu Batu

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100,00
20,00	0	0	0	100,00
10,00	0	0	0	100,00
4,80	53	2,65	2,65	97,35
2,40	238	11,90	14,55	85,45
1,20	202	10,10	24,65	75,35
0,60	299	14,95	39,60	60,40
0,30	634	31,70	71,30	28,70
0,15	433	21,65	92,95	7,05
Sisa	141	7,05		100,00
Jumlah	2000	100	245,7	

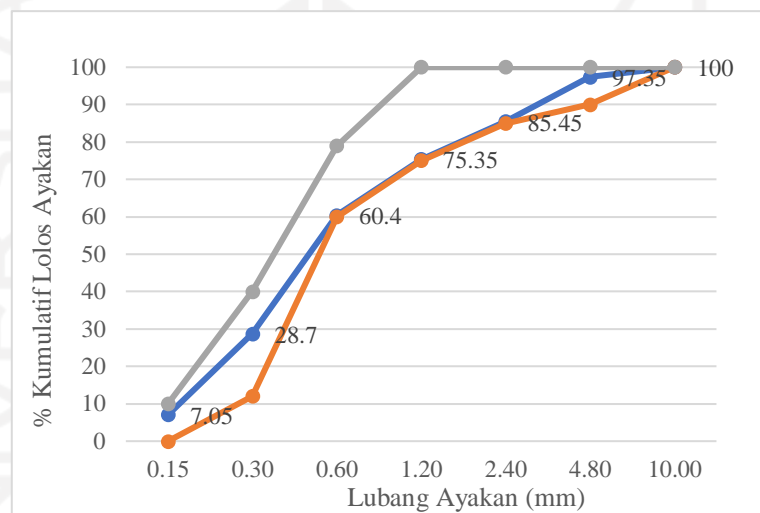
Berdasarkan tabel 5.13 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100} \\
 &= \frac{245,7}{100} \\
 &= 2,5
 \end{aligned}$$

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) pada umumnya modulus halus butir agregat halus mempunyai nilai antara 1,5 sampai 3,8. Jika dikomparasikan dengan syarat agregat halus maka pada pengujian ini diperoleh nilai sebesar 2,5 yang berarti abu batu memenuhi persyaratan. Pengujian analisa saringan juga untuk mengetahui gradasi dari abu batu. Daerah gradasi abu batu dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan pada Gambar 5.3 berikut ini.

Tabel 5.14 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

**Gambar 5.3 Batas Gradasi Abu Batu pada Daerah III**

Berdasarkan tabel 5.14 dan gambar 5.3 abu batu yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi III dengan jenis pasir agak halus dan didapatkan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi III. Jika dilihat pada lubang saringan 4,8 – 1,2 mm, berat tertinggal dari abu batu masih memiliki ukuran butir yang besar jika dibandingkan pasir karena abu batu memiliki sisa butir ukuran besar dari hasil proses pemecahan batuan. Sedangkan pada lubang saringan 0,6-sisa pada abu batu memiliki ukuran butir yang lebih halus dibanding pasir, hal ini dikarenakan sisa pecahan dari abu batu meninggalkan butiran dari pecahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pasir alami. Maka dapat

disimpulkan pada pengujian ini abu batu masih termasuk dalam gradasi III (agak halus) akan tetapi masih memiliki butiran besar sehingga abu batu mendekati gradasi II (agak kasar).

3. Hasil pengujian berat volume padat dan gembur abu batu.

Pelaksanaan pengujian berat volume pada dan gembur pada abu batu ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat volume padat dan gembur dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan 5.16 berikut ini serta dapat dilihat grafik perbandingan antara berat volume agregat halus, agregat kasar dan abu batu pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

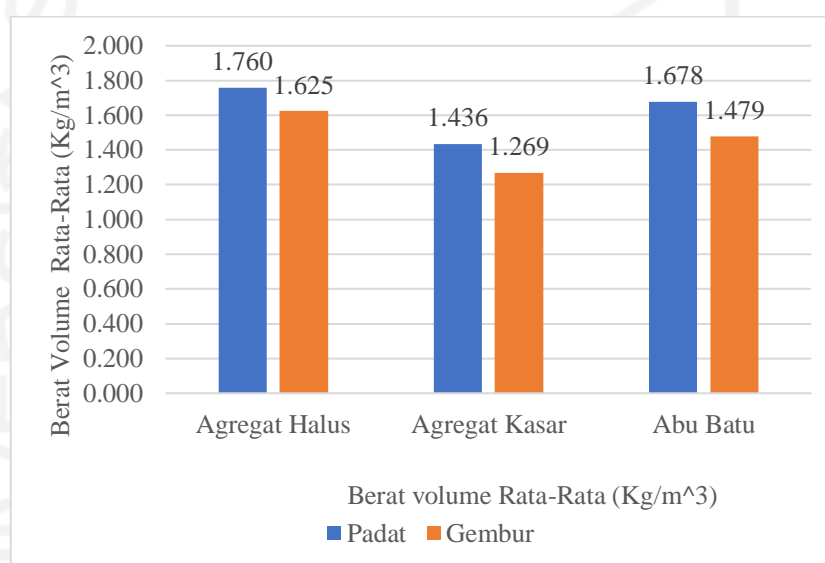
$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{9039}{\frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,667} \\
 &= \frac{9039}{5383,289} \\
 &= 1,679 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Abu Batu

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10629	10637	10633
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19668	19689	19678,5
Berat Agregat (W3), gram	9039	9052	9045,5
Volume Tabung (V), cm ³	5383,238	5398,631	5390,934
Berat Volume Padat, gram/cm ³	1,679	1,677	1,678

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Abu batu

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10629	10689	10659
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18474	18794	18634
Berat Agregat (W3), gram	7845	8105	7975
Volume Tabung (V), cm ³	5383,24	5398,631	5390,934
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,4573	1,501	1,479

**Gambar 5.4 Perbandingan Berat Volume Material**

Berdasarkan pada Tabel 5.15 dan 5.16 bahwa hasil analisa perhitungan berat volume diperoleh berat volume gembur abu batu rata-rata 1,479 gram/cm³ dan volume berat padat abu batu rata-rata sebesar 1,678 gram/cm³. Berat volume padat memiliki nilai yang lebih besar dari gembur karena dalam pengujian yang dimasukkan ke tabung atau silinder dilakukan proses penumbukan setiap 1/3 tabung untuk mengurangi pori-pori udara sehingga diperoleh nilai berat volume padat lebih besar. Berat volume padat yang disyaratkan pada beton normal sekitar 1,5-1,8 jika disesuaikan dengan persyaratan berat volume dengan hasil berat volume abu batu maka memenuhi persyaratan. Pada perbandingan berat volume pada Gambar 5.4 menunjukkan pada pengujian berat volume abu batu didapatkan nilainya

lebih kecil jika dibandingkan dengan berat volume pasir. Hal ini bisa dilihat pada pengujian gradasi, abu batu masih memiliki sisa batu yang berukuran besar dari hasil proses pecahan batuan sehingga membuat nilai berat volume lebih kecil jika dibandingkan berat volume pasir akan tetapi nilai tidak berbeda secara signifikan.

4. Hasil pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur)

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Kandungan lumpur} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{500-472}{500} \times 100\% \\ &= 5,60\% \end{aligned}$$

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	472	475	473.5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	5,60%	5,00%	5,30%

Berdasarkan pengujian lolos saringan no.200 didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar 5,30%. Menurut PUBLI-1982 dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia bahwa suatu agregat halus tidak diperbolehkan memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi kelekatan agregat halus dengan pasta semen karena ikatan pasta antara semen dan agregat halus diisi oleh kandungan lumpur serta mempengaruhi juga dari kekuatan beton. Pada pengujian abu batu tidak memenuhi syarat <5% dikarenakan pada bagian saringan no.200 sebagian abu batu tidak mengandung lumpur akan tetapi

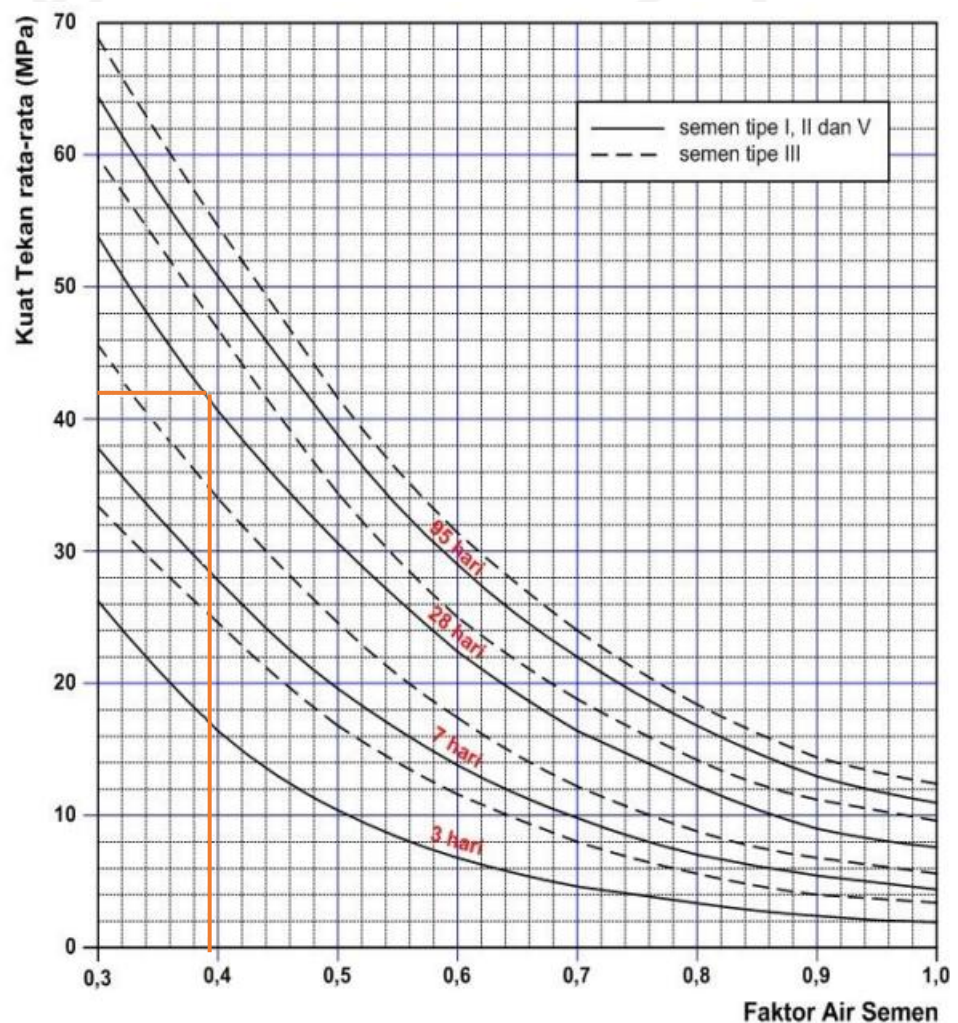
karakteristik pada abu batu memiliki bentuk yang lebih halus dikarenakan abu batu adalah sisa batu pecahan.

5.3. Perencanaan Campuran Beton

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Perencanaan beton bertujuan untuk memperoleh proporsi campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton yang direncanakan. (Tjokrodinuljo, 2007) menyatakan beton normal memiliki nilai kuat tekan diantara 15-30 MPa. Pada perencanaan beton normal ini direncanakan memiliki nilai kuat tekan rencana 30 MPa yang perhitungannya sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ($f'c$) = 30 MPa dan benda uji dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Nilai deviasi standar 7 MPa diambil dari nilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
3. Nilai tambah (M) = 12 MPa, diambil dari rumus $M = 1,64 \times S = 11,48$ atau 12 MPa.
4. Kekuatan yang direncanakan didapat $f'cr = f'c + M = 42$ MPa.
5. Semen yang digunakan semen portland tipe I yaitu PCC merek semen Gresik.
6. Agregat yang digunakan berupa agregat halus dari progo dan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm dari Clereng, Kulon Progo.
7. Bahan tambah yang digunakan yaitu abu batu yang berasal dari merapi dengan penggunaan variasi substitusi parsial agregat halus sebesar 0%, 10%, 20% dan 30%.
8. Penggunaan *superplasticizer* 3115N sebesar 0,4% dari berat semen pada setiap variasi.
9. Pada penelitian ini tidak menggunakan garis bantu untuk mendapatkan nilai FAS yang lebih kecil. Semakin kecil nilai FAS mengakibatkan nilai mutu beton yang dihasilkan akan semakin tinggi. Sebaliknya, jika nilai FAS semakin tinggi berarti mengakibatkan penurunan mutu kekuatan beton. Menurut (Tjokrodinuljo, 2007) umumnya nilai FAS yang diberikan dalam praktek pembuatan beton minimal 0,4 dan maksimal 0,65. Menurut Talbot dan Richard

(Ilsley, 1942:248) mengatakan bahwa rasio air semen 0,2 sampai 0,5, kekuatan beton akan mengalami kenaikan. Akan tetapi menurut (Duff Abrams, 1919) menunjukkan semakin bertambahnya nilai FAS hingga lebih dari 0,6 akan menurunkan kekuatan beton sampai nol pada nilai FAS 4,0 untuk beton yang berumur 28 hari. Oleh karena itu untuk mendapatkan nilai FAS yang rendah dilakukan tanpa menggunakan garis bantu. Penentuan nilai faktor air semen (FAS) diambil dari sesuai dengan kuat tekan rencana yaitu 42 MPa. Sehingga didapatkan nilai faktor air semen pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5.5 Nilai faktor air semen

Jika dilihat pada gambar grafik penentuan faktor air semen, diambil kuat tekan rencana 42 MPa dan dilakukan penarikan garis pada garis linear umur beton 28 hari maka didapatkan nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,39.

10. Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump rencana sebesar 60-180 mm.
11. Kadar air bebas agregat campuran, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 20 mm dan nilai slump 60-180 mm. Sehingga diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200

Ukuran maksimum Agregat (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

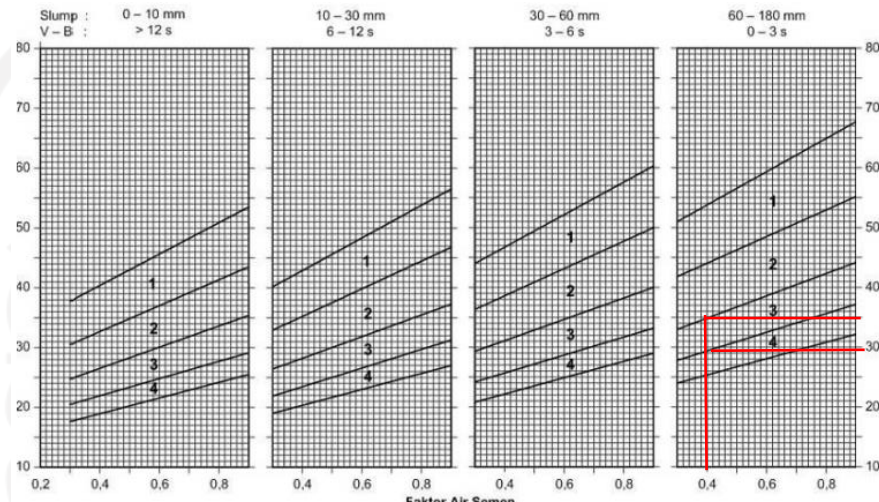
Diperoleh pada tabel diatas nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 195 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 225 didapatkan hasil kadar air bebas dengan persamaan berikut.

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

12. Kadar air semen minimum untuk beton yang direncanakan diluar ruangan dan tidak terlindungi dari hujan serta terik matahari dari Tabel 3.4 mempunyai kadar semen minimum per- m^3 sebesar 325 kg dan nilai faktor air semen maksimum 0,6. Maka didapatkan jumlah semen minimum dari persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah semen minimum per } m^3 \text{ beton} &= \frac{\text{kadar air bebas}}{FAS} \\
 &= \frac{205}{0,39} \\
 &= 525, 641 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Persentase agregat halus dan agregat kasar dengan mengacu pada nilai slump rencana 60-180 mm, faktor air semen 0,39 dan ukuran butir maksimum 20 mm serta agregat halus berada pada gradasi 3 maka persentase agregat halus terhadap kadar agregat total sesuai pada gambar 5.5 Dibawah ini.



Gambar 5.6 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Dari gambar 5.6 diatas diperoleh persentase agregat halus batas bawah sebesar 29,5% dan batas atas sebesar 34,5%. Nilai yang digunakan rata-rata sehingga digunakan sebesar 32%, sedangkan persentase agregat kasar berdasarkan persamaan diperoleh sebagai berikut.

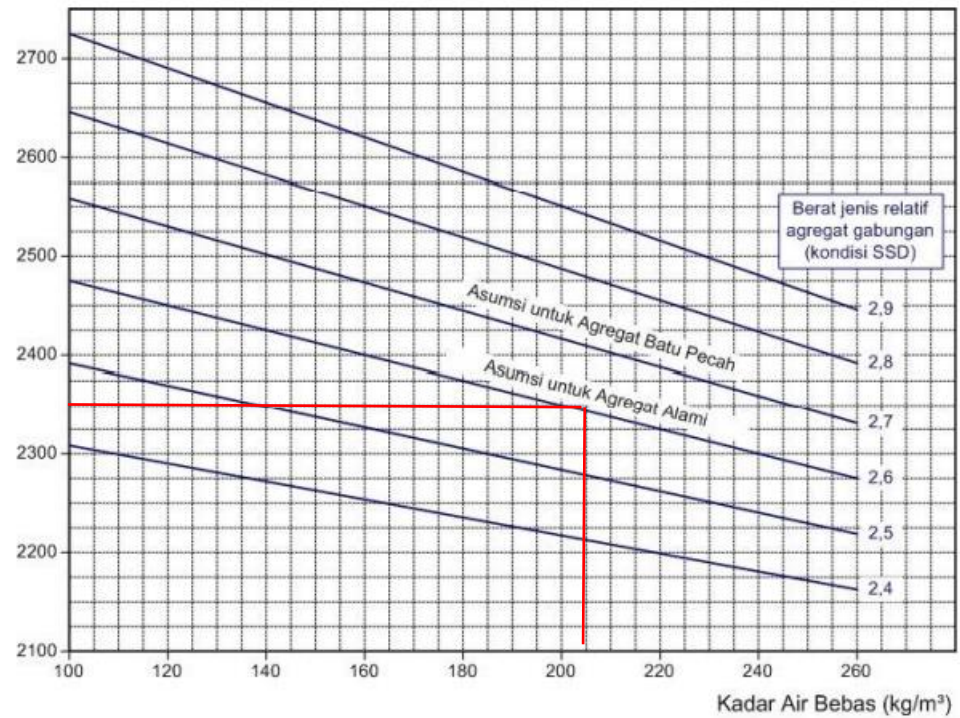
$$\begin{aligned}
 \text{Nilai persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\
 &= 100\% - 32\% \\
 &= 68\%
 \end{aligned}$$

14. Menghitung berat jenis gabungan agregat dengan nilai yang diperoleh dari pemeriksaan bahan susun beton nilai berat jenis agregat (B_{AH}) sebesar 2,605 dan berat jenis agregat kasar (B_{AK}) sebesar 2,67. Maka berdasarkan persamaan diperoleh perhitungan berat jenis gabungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis agregat gabungan } (B_{AG}) &= (\%AH \times B_{AH}) + (\%AK \times B_{AK}) \\
 &= (32\% \times 2,605) + (68\% \times 2,67)
 \end{aligned}$$

$$= 2,6$$

15. Nilai berat isi beton diperoleh dari gambar 5.6 dengan nilai kadar air bebas yang digunakan 205 dan berat jenis gabungan 2,6, maka diperoleh nilai berat isi beton sebagai berikut.



Gambar 5.7 Grafik Perkiraan Berat Isi beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

Berdasarkan Gambar 5.7 diperoleh nilai berat isi beton basah untuk penelitian ini sebesar 2350 kg/m^3 .

16. Kadar agregat gabungan berdasarkan persamaan 3 diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2350 - 525,641 - 205 \\ &= 1619,36 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Kadar agregat halus berdasarkan persamaan diperoleh sebagai berikut

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan}$$

$$= \frac{32}{100} \times 1619,36$$

$$= 518,195 \text{ kg/m}^3$$

18. Kadar agregat kasar berdasarkan persamaan diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1618,36 - 518,195 \\ &= 1101,16 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, sehingga didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk 1 m^3 beton adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Semen} &= 525,641 \text{ kg} \\ \text{b. Air} &= 205 \text{ kg} \\ \text{c. Agregat halus} &= 518,195 \text{ kg} \\ \text{d. Agregat kasar} &= 1101,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

20. Proporsi campuran dengan angka penyusutan dalam penelitian ini digunakan sebesar 20%, maka didapatkan susunan beton campuran proporsi teoritis dengan angka penyusutan setiap 1 m^3 beton adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Semen} &= 525,641 \times 1,2 \\ &= 630,769 \text{ kg} \\ \text{b. Air} &= 205 \times 1,2 \\ &= 246 \text{ kg} \\ \text{c. Agregat halus} &= 518,195 \times 1,2 \\ &= 621,834 \text{ kg} \\ \text{d. Agregat kasar} &= 1101,16 \times 1,2 \\ &= 1231,397 \text{ kg} \end{aligned}$$

21. Proporsi campuran setiap variasi, pada penelitian ini digunakan benda uji silinder sebanyak 6 buah dan balok sebanyak 3 buah.

$$\begin{aligned} \text{Volume 6 silinder (D = 0,15 m; t = 0,30 m)} &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,03181 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume 3 balok (p = 0,6m; l = 0,15m; l = 0,15m)} = 3 \times p \times l \times t$$

$$= 3 \times 0,6 \times 0,15 \times 0,15$$

$$= 0,0405 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= \text{volume 6 silinder} + \text{volume 3 balok} \\ &= 0,03181 + 0,0405 \\ &= 0,07231 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat masing-masing bahan setiap kombinasi campuran (6 silinder dan 3 balok)

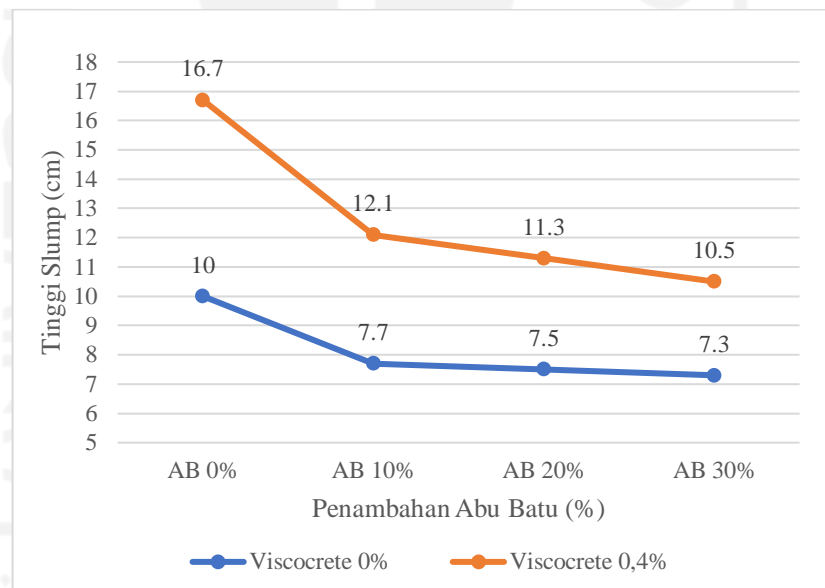
$$\begin{aligned} \text{a. Semen} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 630,769 \times 0,07231 \\ &= 45,61 \text{ kg} \\ \text{b. Air} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 246 \times 0,07231 \\ &= 17,79 \text{ kg} \\ \text{c. Agregat halus} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 621,834 \times 0,07231 \\ &= 44,96 \text{ kg} \\ \text{d. Agregat kasar} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume benda uji} \\ &= 1231,397 \times 0,07231 \\ &= 95,55 \text{ kg} \end{aligned}$$

5.4. Pengujian Nilai Slump

Pengujian nilai slump dilakukan ketika proses pengadukan campuran beton menggunakan mesin pengaduk sudah tercampur secara baik. Nilai slump yang digunakan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Nilai Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180mm)
	Abu Batu (%)	Viscocrete (%)		
AB0% V0%	0%	0%	10	Memenuhi
AB10% V0%	10%	0%	7,7	Memenuhi
AB20% V0%	20%	0%	7,5	Memenuhi
AB30% V0%	30%	0%	7,3	Memenuhi
AB0% V0,4%	0%	0,4%	16,7	Memenuhi
AB10% V0,4%	10%	0,4%	12,1	Memenuhi
AB20% V0,4%	20%	0,4%	11,3	Memenuhi
AB30% V0,4%	30%	0,4%	10,5	Memenuhi

**Gambar 5.8 Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi**



Gambar 5.8 Contoh Pengujian slump

Berdasarkan Gambar 5.8 diatas nilai slump secara keseluruhan memenuhi syarat perencanaan yaitu 60 – 180 cm. Pada persentase abu batu 0% tanpa *viscocrete* didapatkan nilai slump tertinggi sebesar 10 cm. Sedangkan pada penambahan persentase abu batu 10%, 20%, dan 30% didapatkan nilai slump menurun secara berturut sebesar 7,7cm, 7,5 cm, dan 7,3 cm. Hal ini dapat dilihat pada penambahan limbah abu batu dapat menurunkan nilai slump yang dihasilkan. Penambahan abu batu menunjukkan bahwa air dalam adukan diserap oleh abu batu yang mempunyai tingkat penyerapan tinggi. Penurunan nilai slump ini juga mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan beton (*workability*), karena dengan turunnya nilai slump berarti kelecakan beton berkurang, sehingga beton semakin kental dan sulit untuk dikerjakan. Pada persentase abu batu 0% dengan penambahan *superplasticizer* sika *viscocrete 3115N* 0,4% didapatkan nilai slump tertinggi sebesar 16,7 cm. Sedangkan pada penambahan persentase abu batu 10%, 20%, dan 30% dengan penambahan *superplasticizer* sika *viscocrete 3115N* 0,4% didapatkan nilai slump yang menurun secara berturut sebesar 12,1 cm, 11,3 cm, dan 10,5 cm. Disimpulkan bahwa *superplasticizer* sika *viscocrete 3115N* 0,4% dapat memberikan peningkatan pada nilai slump jika dibandingkan dengan tanpa menggunakan *viscocrete*. (Murdock, L.J dan Brook, K. M, 1986) mendefinisikan

superplasticizer mempunyai pengaruh dalam peningkatan *workability* beton sampai pada tingkat yang cukup besar. Alternatif lain, bahan ini dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton karena memungkinkan pengurangan kadar air guna mempertahankan *workability* yang sama. Menurut PT Sika Indonesia *superplasticizer* jenis Sika *Viscocrete 3115N* mempunyai fungsi dalam pengurangan air yang ekstrim hingga dapat mengurangi air mencapai 30%. Sehingga perlu mereduksi air pada komposisi campuran beton untuk mendapatkan *workability* yang lebih baik. Pada penelitian ini dilakukan pengurangan air pada komposisi campuran beton sebesar 10%. Komposisi air pada penelitian ini sebesar 17,79 kg sehingga jika diambil pengurangan air 10% maka menjadi sebesar 1,779 kg untuk pengurangan air pada campuran beton. Maka hasil dari pengurangan air tersebut didapatkan rekapitulasi perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel yang berada pada Lampiran 5.

5.5. Pengujian Penyerapan Air Beton

Pengujian penyerapan air beton dilaksanakan pada benda uji yang telah direndam selama 26 hari. Benda uji tersebut kemudian ditimbang berat basah dan kemudian dioven selama 24 jam dengan suhu 110°C. setelah benda uji dioven, benda uji ditimbang kembali sehingga diperoleh benda uji saat kondisi kering mutlak. Berdasarkan persamaan 3.31 diperoleh perhitungan dan hasil pengujian penyerapan air beton dengan variasi *superplasticizer* 0% dan 0,4% yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21 sebagai berikut.

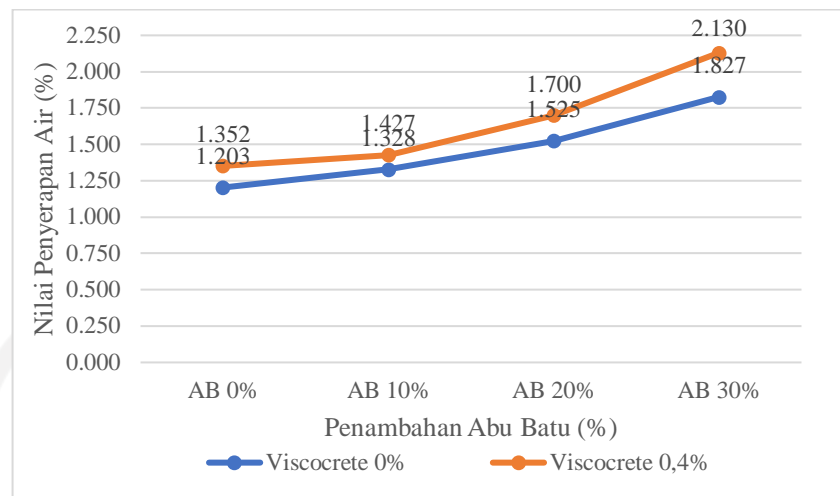
1. Silinder 1 AB 0% V0%

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Penyerapan Air} &= \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100\% \\
 &= \frac{13,081 - 12,922}{12,922} \times 100\% \\
 &= 1,203\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Penyerapan Air Beton dengan
superplasticizer 0%**

Kode Benda Uji	Kode	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat Basah (Ww) kg	Berat Kering (Ws) kg	Serapan Air (%)	Serapan Air rata-rata (W)%
AB 0% V0%	S1	14,97	30,187	13,081	12,922	1,230	1,203
	S2	14,993	30,13	13,21	13,057	1,172	
	S3	14,96	30,127	12,99	12,835	1,208	
AB 10% V 0%	S1	14,99	30,1	12,72	12,554	1,322	1,328
	S2	14,89	30,01	12,75	12,577	1,376	
	S3	15,02	30,19	12,85	12,687	1,285	
AB 20% V 0%	S1	15,15	30,36	12,911	12,717	1,526	1,525
	S2	15,04	30,2	12,753	12,56	1,537	
	S3	15,07	30,17	12,893	12,701	1,512	
AB 30% V 0%	S1	14,96	30,33	12,82	12,589	1,835	1,827
	S2	14,97	30,51	13,121	12,891	1,784	
	S3	15,18	30,25	12,921	12,685	1,860	

Kode Benda Uji	Kode	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Berat Basah (Ww) kg	Berat Kering (Ws) kg	Serapan Air (%)	Serapan Air rata-rata (W)%
AB 0% V 0,4%	S1	15,04	30,17	12,76	12,588	1,366	1,352
	S2	15,07	30,24	12,811	12,64	1,353	
	S3	14,856	30,236	12,887	12,717	1,337	
AB 10% V 0,4%	S1	14,883	30,25	12,893	12,71	1,440	1,427
	S2	15,14	30,2	12,903	12,718	1,455	
	S3	15,06	30,38	12,861	12,685	1,387	
AB 20% V 0,4%	S1	15,1	30,37	12,954	12,728	1,776	1,700
	S2	15,117	30,783	13,282	13,059	1,708	
	S3	15,003	30,37	13,262	13,051	1,617	
AB 30% V 0,4%	S1	15,1	30,27	13,321	13,039	2,163	2,13
	S2	15,193	30,57	13,072	12,797	2,149	
	S3	15,153	30,25	12,772	12,512	2,078	



Gambar 5.9 Grafik Nilai Angka Penyerapan Air pada Tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 5.9 tentang nilai penyerapan air beton rata-rata terhadap abu batu sebesar 30% dan penambahan *superplasticizer* 0,4% memiliki nilai penyerapan air yang tertinggi sebesar 2,13% meningkat dari beton dengan abu batu 0% dan penambahan *viscocrete* 0,4%. Hal ini dikarenakan sifat abu batu yang memiliki daya serap terhadap air lebih tinggi sehingga ketika air lebih banyak masuk pada pori-porinya. Peningkatan nilai penyerapan didasarkan dengan penambahan abu batu secara terus menerus.

5.6. Pengujian Berat Volume Beton

Pengujian ini dilaksanakan setelah benda uji silinder yang didiamkan selama 24 jam setelah proses pembuatan beton. Berat volume ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Pada penelitian ini dipakai benda uji berbentuk silinder. Perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian berat volume beton dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Grafik 5.10 sebagai berikut.

1. Silinder 1 AB 0% V 0%

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\ &= \frac{13,05}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,22^2 \times 30,05} \end{aligned}$$

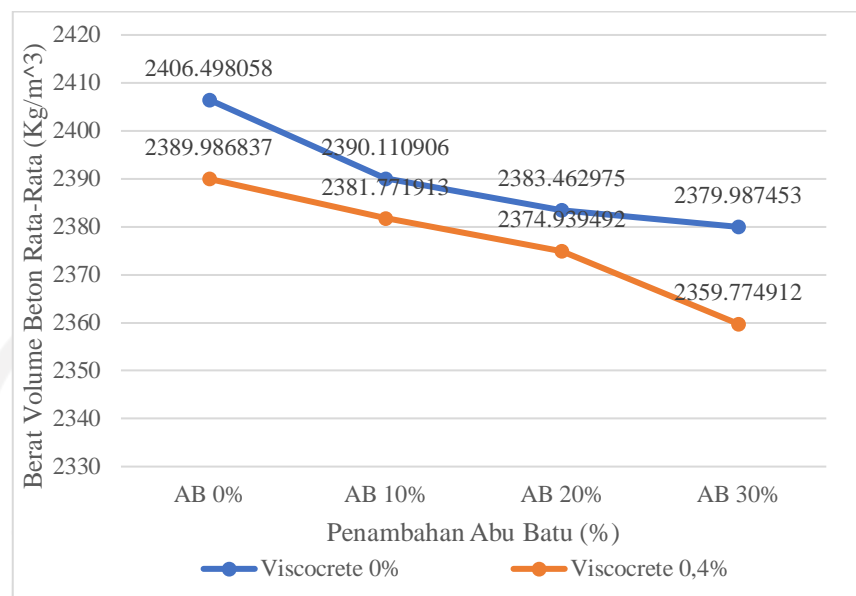
$$= \frac{13,05}{5467,1836}$$

$$= 2388,7985 \text{ gram/cm}^3$$

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Kode Benda Uji		Berat Volume Beton (kg/m ³)	Berat Volume Beton Rata-Rata (kg/m ³)
AB 0% V0%	S1	2388,7985	2406,498
	S2	2460,3663	
	S3	2370,3294	
AB 10% V0%	S1	2384,2157	2390,11
	S2	2413,2608	
	S3	2372,8562	
AB 20% V0%	S1	2409,9826	2383,46
	S2	2352,3464	
	S3	2388,0600	
AB 30% V0%	S1	2380,5119	2379,99
	S2	2421,7799	
	S3	2337,6705	

Kode Benda Uji		Berat Volume Beton (kg/m ³)	Berat Volume Beton Rata-Rata (kg/m ³)
AB 0% V0,4%	S1	2365,6930	2389,99
	S2	2360,0991	
	S3	2444,1684	
AB 10% V0,4%	S1	2430,7608	2381,77
	S2	2361,2871	
	S3	2353,2678	
AB 20% V0,4%	S1	2333,8649	2374,934
	S2	2381,7207	
	S3	2409,2328	
AB 30% V0,4%	S1	2434,9208	2359,77
	S2	2334,3243	
	S3	2310,0797	



Gambar 5.10 Grafik Nilai Berat Volume Beton Tiap Variasi

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.10 diatas, nilai berat volume terbesar pada variasi abu batu 0% dengan *superplasticizer* 0% yaitu $2390,97 \text{ kg/m}^3$ sedangkan nilai terendah berat volume beton pada variasi substitusi abu batu 30% dengan *superplasticizer* 0,4% yaitu $2369,82 \text{ kg/m}^3$. Menurut (Afif, 2019) menyatakan bahwa berat volume beton dengan penyerapan air saling berkaitan apabila angka penyerapan air rendah maka berat volume beton yang tinggi. Namun apabila penyerapan airnya tinggi maka berat volume volume beton akan semakin menurun. Berdasarkan hasil dari penelitian yang diperoleh berat volume beton semakin rendah dengan seiring bertambahnya abu batu, hal ini dikarenakan pada berat jenis abu batu lebih ringan dari berat jenis agregat halus serta volume beton yang menurun di pengaruhi dari agregat kasar yang salah satu fraksi tidak memenuhi syarat sehingga volume pori pada beton bertambah. Pada penambahan *superplasticizer* nilai berat volume beton menurun jika dibandingkan dengan tanpa *superplasticizer* disebabkan pengurangan air pada saat penambahan *superplasticer* pada campuran beton sehingga beton akan lebih ringan.

5.7. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilaksanakan setelah benda uji atau beton berumur 28 hari yang bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton dari pemberian beban oleh alat uji tekan. Benda uji yang akan dilaksanakan pengujian dilakukan proses kaping bagian atasnya dengan belerang untuk meratakan permukaan bidang yang akan ditekan oleh alat uji tekan. Benda uji yang dilakukan pengujian tekan sebanyak 24 buah silinder dari tiap variasi. Perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Grafik 5.11 sebagai berikut.

1. Silinder 1 AB 0% V 0%

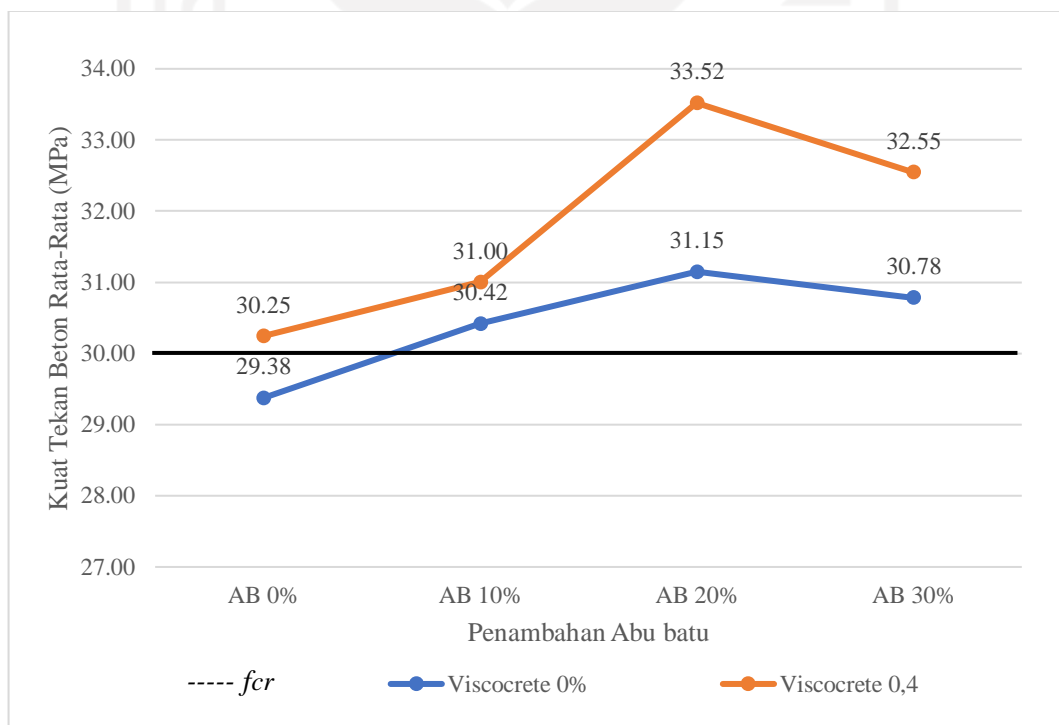
$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{505000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,22^2} \\
 &= 27,76 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S1	18193,6228	505000	27,76
	S2	17671,4587	520000	29,43
	S3	18098,1184	560000	30,94
AB 10% V0%	S1	17647,9046	480000	27,20
	S2	17413,2276	575000	33,02
	S3	17718,6140	550000	31,04
AB 20% V0%	S1	17695,0285	560000	31,65
	S2	17765,8321	580000	32,65
	S3	17836,7771	520000	29,15
AB 30% V0%	S1	17577,3366	540000	30,72
	S2	17600,8435	540000	30,68
	S3	18098,1184	560000	30,94

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0,4%	S1	17765,8321	550000	30,96	30,25
	S2	17836,7771	490000	27,47	
	S3	17333,7953	560000	32,31	
AB 10% V0,4%	S1	17396,8591	530000	30,47	31,00
	S2	18002,8653	560000	31,11	
	S3	17813,1131	560000	31,44	
AB 20% V0,4%	S1	17907,8635	565000	31,55	33,52
	S2	17948,2086	665000	37,05	
	S3	17678,5280	565000	31,96	
AB 30% V0%	S1	17907,8635	560000	31,27	32,55
	S2	18129,1297	580000	31,99	
	S3	18033,7950	620000	34,38	



Gambar 5.11 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton pada Tiap Variasi

Berdasarkan dari nilai kuat tekan beton rata-rata yang paling tinggi pada kombinasi AB20% V0,4% dengan persentase abu batu 20% dengan penambahan *viscocrete* 0,4% dari berat semen sebesar 33,52 MPa. Nilai kuat tekan beton rata-rata paling kecil pada kombinasi AB0% V0,4% dengan persentase abu batu 0% dengan penambahan *viscocrete* 3155N 0,4% sebesar 30,25 MPa, hal ini dikarenakan penambahan abu batu pada campuran beton mempengaruhi nilai dari kuat tekan pada beton dan pada saat pencampuran komposisi air yang digunakan tidak dikurangi sehingga membuat nilai slump tinggi. Hal ini mengakibatkan kekuatan beton abu batu 0% paling rendah, karena pada pencampuran terdapat bahan *superplasticizer* yang bertujuan untuk meningkatkan *workability* beton. Penambahan bahan tambah tersebut harus diikuti dengan pengurangan air untuk memperoleh nilai kekuatan beton yang lebih baik. Pada kombinasi AB20% V0% dengan persentase abu batu 20% tanpa penambahan *viscocrete* 3155N didapatkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 31,15 MPa, jika dibandingkan dengan nilai kuat AB20% V0,4% lebih tinggi daripada AB20% V0%, hal ini dikarenakan penambahan *viscocrete* 3155N juga mempengaruhi nilai kuat tekan dan *workability* pada saat pencampuran beton. Penambahan abu batu pada beton meningkatkan nilai kuat tekan beton dengan penambahan *superplasticizer* seiring dengan persentasenya tetapi memiliki kekuatan paling tinggi saat persentase penambahan abu batu 20% dan turun pada saat persentase abu sekam pada sebanyak 30%. Pada beton normal dengan penambahan abu batu 0% dan tanpa penambahan *superplasticizer* didapatkan nilai sebesar 29,38 MPa yang ternyata tidak mencapai $f'c$ rencana sebesar 30 MPa dengan penurunan sebesar 2,06% terhadap $f'c$ rencana sebesar 30 MPa. Hal ini dikarenakan pada saat pemadatan kurang maksimal sehingga pada campuran beton terdapat rongga-rongga udara dalam beton segar yang umumnya harus dipadatkan secara merata untuk meminimalisir rongga pada beton.



Gambar 5.12 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 5.13 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan

5.8. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Pengujian modulus elastisitas beton dilaksanakan untuk mengetahui nilai regangan beton diperoleh dari perubahan panjang dibagi panjang awal sesuai persamaan 3.28.

Pembacaan *dial gauge* dilaksanakan seiring kelipatan beban yang diberikan hingga beban mengalami penurunan. Pengujian modulus elastisitas beton menghasilkan data berupa tegangan dan regangan aksial yang terjadi saat pengujian. Hasil pengujian modulus dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan contoh pengujian modulus elastisitas bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton pada gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.14 Pengujian Modulus Elastisitas

Tabel 5.23 Hasil Tegangan dan Regangan AB 0% V0,4% Silinder 1

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL (mm)	L (mm)	Regangan (N/mm ²)	Tegangan (Mpa)
	kN	N					
1	10	10000	8	0,004	200	0,00002	0,5628782
2	20	20000	12	0,006	200	0,00003	1,1257564
3	30	30000	20	0,01	200	0,00005	1,6886347
4	40	40000	29	0,0145	200	0,0000725	2,2515129
5	50	50000	36	0,018	200	0,00009	2,8143911
6	60	60000	45	0,0225	200	0,0001125	3,3772693
7	70	70000	54	0,027	200	0,000135	3,9401476
8	80	80000	64	0,032	200	0,00016	4,5030258
9	90	90000	70	0,035	200	0,000175	5,0659040
10	100	100000	84	0,042	200	0,00021	5,6287822
11	110	110000	89	0,0445	200	0,0002225	6,1916604
12	120	120000	97	0,0485	200	0,0002425	6,7545387
13	130	130000	109	0,0545	200	0,0002725	7,3174169
14	140	140000	113	0,0565	200	0,0002825	7,8802951
15	150	150000	119	0,0595	200	0,0002975	8,4431733
16	160	160000	122	0,061	200	0,000305	9,0060516
17	170	170000	127	0,0635	200	0,0003175	9,5689298
18	180	180000	139	0,0695	200	0,0003475	10,131808
19	190	190000	142	0,071	200	0,000355	10,694686
20	200	200000	150	0,075	200	0,000375	11,257564
21	210	210000	165	0,0825	200	0,0004125	11,820443
22	220	220000	179	0,0895	200	0,0004475	12,383321
23	230	230000	187	0,0935	200	0,0004675	12,946199
24	240	240000	197	0,0985	200	0,0004925	13,509077
25	250	250000	208	0,104	200	0,00052	14,071956
26	260	260000	218	0,109	200	0,000545	14,634834

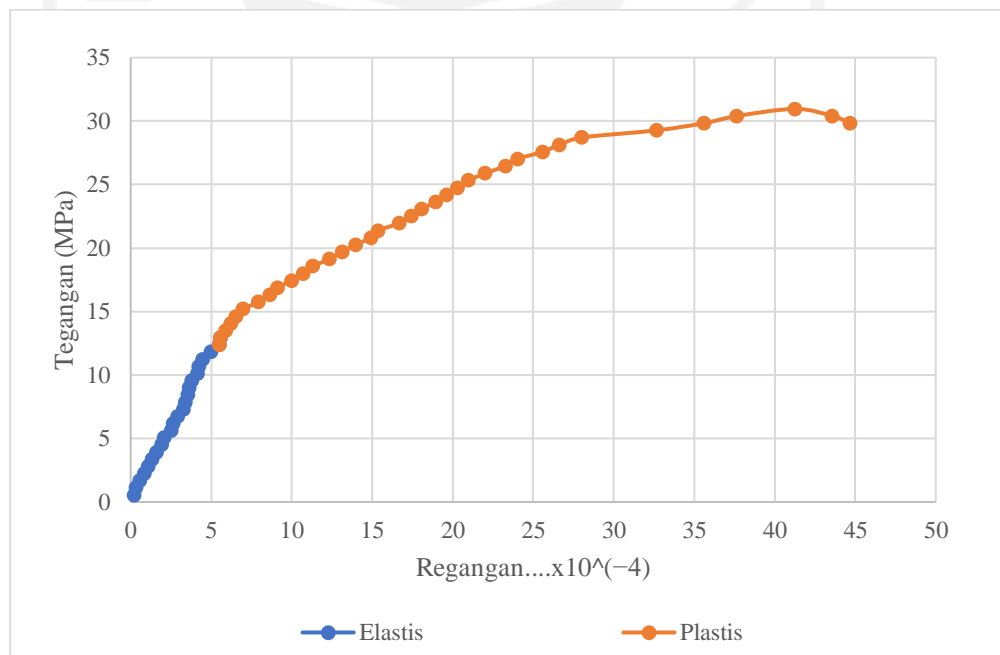
Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Tegangan dan Regangan AB 0% V0,4% Silinder 1

27	270	270000	233	0,1165	200	0,0005825	15,197712
28	280	280000	265	0,1325	200	0,0006625	15,760590
29	290	290000	289	0,1445	200	0,0007225	16,323468
30	300	300000	304	0,152	200	0,00076	16,886347
31	310	310000	333	0,1665	200	0,0008325	17,449225
32	320	320000	358	0,179	200	0,000895	18,012103
33	330	330000	377	0,1885	200	0,0009425	18,574981
34	340	340000	412	0,206	200	0,00103	19,137859
35	350	350000	438	0,219	200	0,001095	19,700738
36	360	360000	466	0,233	200	0,001165	20,263616
37	370	370000	498	0,249	200	0,001245	20,826494
38	380	380000	513	0,2565	200	0,0012825	21,389372
39	390	390000	556	0,278	200	0,00139	21,952251
40	400	400000	581	0,2905	200	0,0014525	22,515129
41	410	410000	603	0,3015	200	0,0015075	23,078007
42	420	420000	632	0,316	200	0,00158	23,640885
43	430	430000	654	0,327	200	0,001635	24,203764
44	440	440000	677	0,3385	200	0,0016925	24,766642
45	450	450000	700	0,35	200	0,00175	25,329520
46	460	460000	734	0,367	200	0,001835	25,892398
47	470	470000	776	0,388	200	0,00194	26,452764
48	480	480000	801	0,4005	200	0,0020025	27,018155
49	490	490000	853	0,4265	200	0,0021325	27,581033
50	500	500000	888	0,444	200	0,00222	28,143911
51	510	510000	934	0,467	200	0,002335	28,706789

Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Tegangan dan Regangan AB 0% V0,4% Silinder 1

52	520	520000	1089	0,5445	200	0,0027225	29,269668
53	530	530000	1187	0,5935	200	0,0029675	29,832546
54	540	540000	1255	0,6275	200	0,0031375	30,395424
55	550	550000	1376	0,688	200	0,00344	30,958302
56	540	540000	1453	0,7265	200	0,0036325	30,395424
57	530	530000	1490	0,745	200	0,003725	29,832546

Berdasarkan tabel 5.23 dari nilai tegangan-regangan, dapat dicari nilai modulus elastisitas dari sebuah grafik menggunakan bantuan program *Microsoft excel*. Pada program tersebut menggunakan persamaan regresi linear (daerah elastisitas) batas daerah ini diambil kurang dari 40% kuat tekan maksimumnya. Hasil yang diperoleh dari beton kombinasi AB0% V0,4% silinder 1 dapat dilihat pada Gambar 5.15



Gambar 5.15 Grafik Tegangan-regangan Kombinasi AB 0% V0,4% Silinder 1

Berdasarkan gambar 5.9 diperoleh daerah plastis dan daerah elastis. Dari data tersebut dilakukan koreksi sehingga didapatkan nilai modulus elastisitas

berdasarkan rumus dari ASTM C-469 sebagai pada Persamaan 3.27 sebagai berikut.

$$S_2 = 12,383 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 1,689 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_2 = 0,000448$$

$$\epsilon_1 = 0,00005$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\ &= \frac{12,383 - 1,689}{0,000448 - 0,00005} \\ &= 26904,871 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lainnya untuk nilai modulus elastisitas berdasarkan rumus dari ASTM C-469 yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton ASTM C-469

Kode Benda Uji		Ec (MPa)	Ec rata-rata (MPa)
AB 0% V0%	S1	24881,544	25880,676
	S2	26494,326	
	S3	26266,158	
AB 10% V0%	S1	25015,524	26417,602
	S2	27970,623	
	S3	26266,66	
AB 20% V0%	S1	26843,698	27137,418
	S2	27995,785	
	S3	26572,771	
AB 30% V0%	S1	26198,747	26700,167
	S2	27094,477	
	S3	26807,278	

Lanjutan 5.24 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton ASTM C-469

AB 0% V0,4%	S1	26084,601	26163,528
	S2	24868,257	
	S3	27537,728	
AB 10% V0,4%	S1	26460,989	26761,833
	S2	26432,574	
	S3	27391,936	
AB 20% V0,4%	S1	27263,738	28214,570
	S2	29317,461	
	S3	28062,512	
AB 30% V0,4%	S1	26906,626	27225,226
	S2	27682,705	
	S3	27086,346	

Pada pengujian ini untuk memperoleh nilai modulus elastisitas selain rumus ASTM C-469 terdapat pendekatan rumus secara empiris dari SNI-2847-2019 Pasal 19.2.2. benda uji kombinasi AB 0% V0,4% silinder 1 memiliki nilai berat isi sebesar $2317,745 \text{ kg/cm}^3$ dan mempunyai nilai pendekatan kuat tekan beton sebesar 30,96 MPa berdasarkan Persamaan 3.29 dan Persamaan 3.30 sebagai berikut.

Persamaan modulus elastisitas benda uji kombinasi AB 0% V0,4% silinder 1 berdasarkan Persamaan 3.28 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E_c &= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2365,693^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{30,96} \\
 &= 27529,264 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Nilai modulus elastisitas benda uji kombinasi Ab 0% V0,4% silinder 1 berdasarkan persamaan 3.29 dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30,96} \\
 &= 26150,887 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan lainnya untuk nilai modulus elastisitas berdasarkan rumus dari SNI-2847-2019 Pasal 19.2.2 yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas Beton SNI 2847-2019

Kode Benda Uji		Wc (kg/cm ³)	f' _c (MPa)	Ec = 4700 x √f' _c		Ec = Wc ^{1,5} x 0,043 x √f' _c	
				Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S1	2374,532	27,757	24761,899	25467,192	26449,887	27506,505
	S2	2383,550	29,426	25495,488		28466,467	
	S3	2355,987	30,942	26144,188		27603,161	
AB 10% V0%	S1	2370,850	27,199	24511,614	25901,768	26107,232	27697,268
	S2	2355,852	33,021	27007,982		29293,355	
	S3	2381,082	31,041	26185,709		27691,218	
AB 20% V0%	S1	2409,607	31,647	26440,291	26223,992	28619,213	27914,940
	S2	2341,163	32,647	26854,624		28031,193	
	S3	2369,477	29,153	25377,062		27094,415	
AB 30% V0%	S1	2368,882	30,721	26050,628	26076,014	27681,801	27700,738
	S2	2409,862	30,680	26033,226		28385,764	
	S3	2327,990	30,942	26144,188		27034,647	

AB 0% V0,4%	S1	2317,745	30,958	26150,887	25833,140	27529,264	27634,417
	S2	2332,660	27,471	24634,157		25840,663	
	S3	2345,715	32,307	26714,376		29533,324	
AB 10% V0,4%	S1	2411,759	30,465	25941,816	26169,195	28443,583	27828,232
	S2	2342,894	31,106	26213,261		27517,872	
	S3	2353,268	31,438	26352,508		27523,242	
AB 20% V0,4%	S1	2352,252	31,550	26399,773	27192,977	27232,302	28800,732
	S2	2399,820	37,051	28608,700		30423,206	
	S3	2409,233	31,960	26570,457		28746,686	
AB 30% V0,4%	S1	2416,473	31,271	26282,700	26808,347	28891,350	28105,245
	S2	2316,280	31,993	26584,187		27430,628	
	S3	2299,081	34,380	27558,155		27993,757	

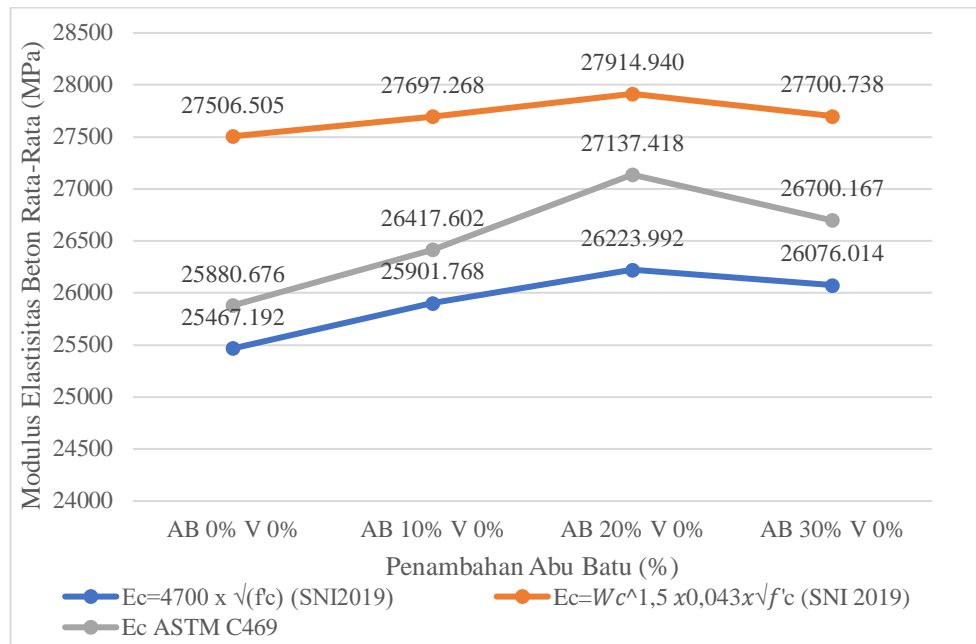
Pada pengujian ini setelah dilakukan perhitungan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan rumus dari ASTM C-469 dan SNI 2847-2019 didapatkan hasil

perbandingan antara kedua metode yang digunakan dan dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

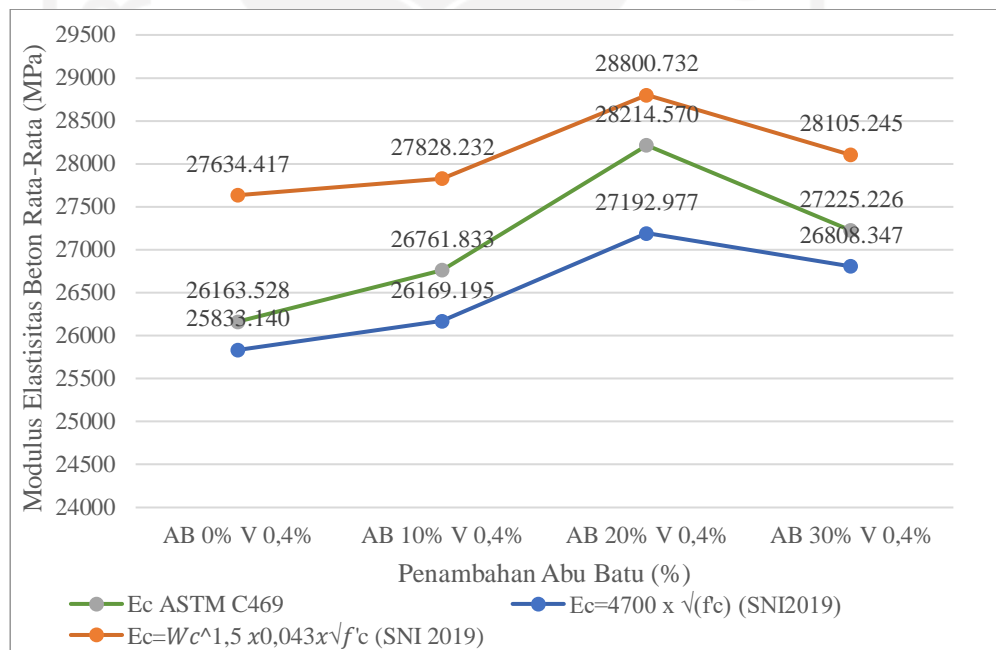
Tabel 5.26 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas ASTM C-469 dan SNI 2847-2019

Kode Benda Uji		ASTM C-469		SNI 2847-2019			
		$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$		$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$		$E_c = Wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$	
		Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S1	24881,544	25880,676	24761,899	25467,192	26449,887	27506,505
	S2	26494,326		25495,488		28466,467	
	S3	26266,158		26144,188		27603,161	
AB 10% V0%	S1	25015,524	26417,602	24511,614	25901,768	26107,232	27697,268
	S2	27970,623		27007,982		29293,355	
	S3	26266,660		26185,709		27691,218	
AB 20% V0%	S1	26843,698	27137,418	26440,291	26223,992	28619,213	27914,940
	S2	27995,785		26854,624		28031,193	
	S3	26572,771		25377,062		27094,415	
AB 30% V0%	S1	26198,747	26700,167	26050,628	26076,014	27681,801	27700,738
	S2	27094,477		26033,226		28385,764	
	S3	26807,278		26144,188		27034,647	

Kode Benda Uji		ASTM C-469		SNI 2847-2019			
		$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$		$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$		$E_c = Wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$	
		Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai E_c (MPa)	Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0,4%	S1	26084,601	26163,528	24761,899	25467,192	27529,264	27634,417
	S2	24868,257		25495,488		25840,663	
	S3	27537,728		26144,188		29533,324	
AB 10% V0,4%	S1	26460,989	26761,833	24511,614	25901,768	28443,583	27828,232
	S2	26432,574		27007,982		27517,872	
	S3	27391,936		26185,709		27523,242	
AB 20% V0,4%	S1	27263,738	28214,570	26440,291	26223,992	27232,302	28800,732
	S2	29317,461		26854,624		30423,206	
	S3	28062,512		25377,062		28746,686	
AB 30% V0,4%	S1	26906,626	27225,226	26050,628	26076,014	28891,350	28105,245
	S2	27682,705		26033,226		27430,628	
	S3	27086,346		26144,188		27993,757	



Gambar 5.16 Grafik Modulus Elastisitas Beton Viscocrete 3115N 0%



Gambar 5.17 Grafik Modulus Elastisitas Beton Viscocrete 3115N 0,4%

Berdasarkan Gambar 5.16 dan 5.17 pengujian modulus elastisitas yang diperoleh dari metode ASTM C-469 menunjukkan lebih kecil dari metode SNI 2847-2019, hal ini dikarenakan pengujian metode SNI untuk menghitung nilai

modulus elastisitas menggunakan pendekatan empiris dari nilai kuat tekan dan berat isi beton sangat berbeda dari metode ASTM C-C469. Metode ASTM dalam memperoleh nilai modulus elastisitas didapatkan dari kondisi yang terjadi pada saat pengujian kuat tekan beton. Modulus elastisitas beton menunjukkan kemampuan bahan menerima beban yang besar dengan nilai regangan yang kecil yang artinya bahan dari campuran tersebut mampu menerima kuat tekan yang cukup besar pada suatu regangan yang kecil. Pada pengujian modulus elastisitas beton dengan kombinasi AB 20% V 0,4% persentase abu batu 20% dengan penambahan *viscocrete 3115N* 0,4% memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan metode ASTM C-469. Penambahan abu batu dengan *superplasticizer* sika *viscocrete 3115N* membuat beton semakin padat sehingga menambah nilai modulus elastisitas beton. Beton yang memiliki nilai modulus elastisitas semakin tinggi menunjukkan bahwa beton semakin daktile atau mampu melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang, sedangkan beton yang memiliki nilai modulus rendah menunjukkan beton semakin mudah getas. Pada kombinasi persentase abu batu 30% mengalami penurunan nilai modulus dikarenakan beton kekurangan air untuk proses hidrasi akibat luas permukaan yang meningkat seiring penambahan abu batu serta peran abu batu memiliki daya serap yang tinggi terhadap air. Sehingga penambahan abu batu diatas 20% mengakibatkan nilai modulus elastisitas semakin menurun.

5.9. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik beton dilaksanakan setelah benda uji berumur 28 hari. Pengujian ini dengan memberikan beban yang mampu diterima pada posisi beton yang diletakkan mendatar pada mesin. Pengujian ini menggunakan metode SNI 03-2491-2002 tentang pengujian kuat tarik belah beton, beban yang mampu diterima oleh benda uji silinder berdasarkan persamaan 3.24 diperoleh perhitungan dan hasil pengujian kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 sebagai berikut.

1. Silinder 4 AB 0% V0%

$$f_{ct} = \frac{2.P}{D.L}$$

$$= \frac{2 \times 160000}{142785,386}$$

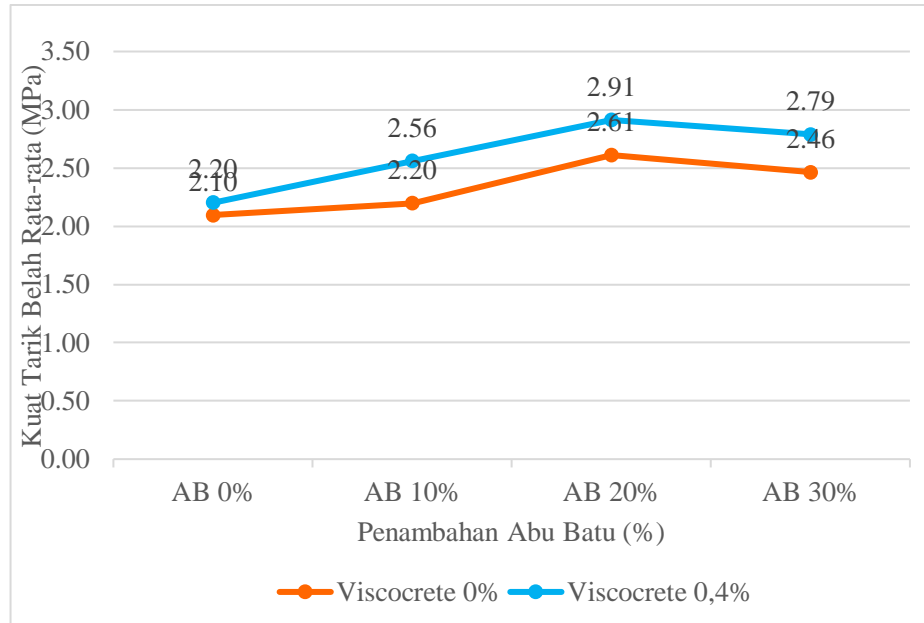
$$= 2,24 \text{ MPa}$$

Tabel 5.27 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah beton

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S4	142785,3861	160000	2,24	2,10
	S5	142028,7225	138000	1,94	
	S6	142589,7277	150000	2,10	
AB 10% V0%	S4	142217,6375	153000	2,15	2,20
	S5	144641,7218	157000	2,17	
	S6	141228,6013	160000	2,27	
AB 20% V0%	S4	141982,4893	195000	2,75	2,61
	S5	142877,3719	189000	2,65	
	S6	141842,9083	173000	2,44	
AB 30% V0%	S4	141890,0322	180000	2,54	2,46
	S5	143300,9215	185000	2,58	
	S6	141745,8331	161000	2,27	

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0,4%	S4	144542,8245	150000	2,08	2,20
	S5	143832,1648	152000	2,11	
	S6	139161,7475	168000	2,41	
AB 10% 0,4%	S4	144258,3847	188000	2,61	2,56
	S5	143686,8661	182000	2,53	
	S6	143310,0321	182000	2,54	
AB 20% V0,4%	S4	141375,4833	204000	2,89	2,91
	S5	143163,5082	195000	2,72	
	S6	143306,0737	224000	3,13	
AB 30% V0,4%	S4	140195,7144	188000	2,68	2,79
	S5	145338,2474	218000	3,00	
	S6	143322,3035	192000	2,68	

Berdasarkan Tabel 5.27 diperoleh Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 Sebagai berikut.



Gambar 5.18 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton pada Tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 5.18 tentang nilai kuat tarik belah beton rata-rata terhadap penambahan abu batu, pada penambahan abu batu 20% dan *superplasticizer* 0,4% dari berat semen memiliki nilai kuat tarik belah beton tertinggi sebesar 2,91 MPa sedangkan abu batu 0% dan *superplasticizer* 0,4% dari berat semen memiliki nilai kuat tarik belah beton terendah sebesar 2,20 MPa. Hal ini dikarenakan abu batu membuat beton semakin padat. Pada persentase 20%-30% mengalami penurunan dikarenakan banyaknya agregat kasar yang terlepas pada ikatan yang terjadi dan letak agregat kasar yang pecah tidak merata diakibatkan pemadatan yang kurang maksimal pada saat proses pembuatan beton, sehingga mempengaruhi nilai kuat tarik belah beton rata-rata yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 5.19 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

5.10. Pengujian Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan dengan sistem pembebanan dua titik pada benda uji balok. Pengujian ini dilaksanakan pada benda uji setelah berumur 28 hari dengan menggunakan metode SNI 03-4431-1997. Sistem pembebanan dua titik pada benda uji dengan memberikan beban tegak lurus sumbu benda uji hingga diperoleh beban maksimum yang mampu diterima benda uji. Dari pengujian yang telah dilakukan beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji, sehingga perhitungan dan hasil nilai kuat lentur beton dapat dilihat pada tabel 5.28 sebagai berikut.

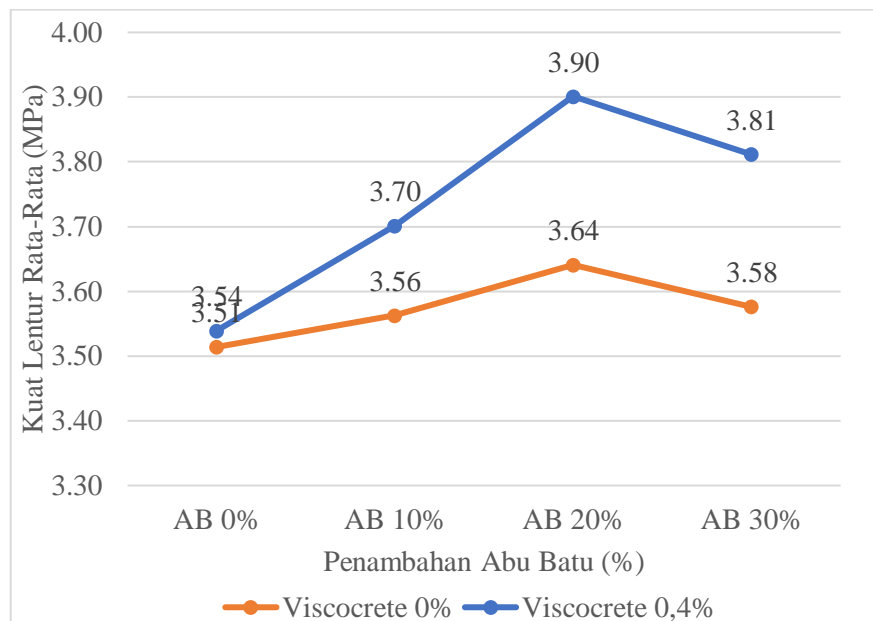
1. Balok 1 AB 0% V0%

$$\begin{aligned}
 \text{Kondisi I} \quad flt &= \frac{P.L}{b.h^2} \\
 P &= 2485 \text{ kgf} \\
 &= 2486 \times 9,81 \\
 &= 24377,85 \text{ N} \\
 flt &= \frac{P.L}{b.h^2} \\
 &= \frac{24377,85 \cdot 510}{150,03.154,1^2} \\
 &= 3,49 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.28 Hasil Pengujian Kuat Lentur Belah beton

Kode Benda Uji		Beban Maksimum (kgf)	Jarak Bidang Patah ke Tumpuan (mm)	Lebar Tampang Patah (mm)	Tinggi Tampang Patah (mm)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
AB 0% V0%	B1	2485	252	150,03	154,10	3,49	3,51
	B2	2460	177	151,20	154,67	3,55	
	B3	2520	10	150,43	154,73	3,50	
AB 10% V0%	B1	2460	198	150,30	151,67	3,56	3,56
	B2	2350	211	151,23	150,93	3,41	
	B3	2650	195	151,03	153,70	3,72	
AB 20% V0%	B1	2600	181	149,80	153,07	3,71	3,64
	B2	2430	175	149,50	151,60	3,54	
	B3	2560	233	149,93	152,40	3,68	
AB 30% V0%	B1	2450	197	150,83	153,13	3,47	3,58
	B2	2475	217	150,57	153,90	3,47	
	B3	2630	231	150,30	151,97	3,79	

Kode Benda Uji		Beban Maksimum (kgf)	Jarak Bidang Patah ke Tumpuan (mm)	Lebar Tampang Patah (mm)	Tinggi Tampang Patah (mm)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
AB 0% V0,4%	B1	2260	185	149,90	151,80	3,27	3,54
	B2	2320	215	148,70	152,40	3,36	
	B3	2500	187	147,70	153,10	3,98	
AB 10% V0,4%	B1	2570	187	150,50	152,00	4,08	3,70
	B2	2550	250	150,00	153,20	3,62	
	B3	2480	242	151,20	155,30	3,40	
AB 20% V0,4%	B1	2910	173	151,10	154,30	4,13	3,90
	B2	2890	182	151,30	154,20	4,02	
	B3	2520	216	150,10	153,70	3,56	
AB 30% V0,4%	B1	2430	183	151,90	148,40	3,92	3,81
	B2	2790	171	150,30	153,30	3,95	
	B3	2465	202	150,30	151,80	3,56	



Gambar.5.20 Grafik Nilai Kuat Lentur Beton pada Tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 5.20 pada pengujian kuat lentur beton menunjukkan penambahan abu batu pada persentase 20% memiliki nilai kuat lentur beton terbesar sebesar 3,90 MPa dan benda uji dengan penambahan abu batu pada persentase 0% memiliki nilai kuat lentur beton terendah sebesar 3,54 MPa. Seiring dengan pertambahannya persentase abu batu mengalami peningkatan hingga batas penambahan 20% tetapi setelah penambahan persentase berikutnya mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan penambahan abu batu membuat balok beton menjadi tidak elastis sehingga nilai kuat lentur mengalami penurunan hingga penambahan persentase pada 30%.

5.11. Pembahasan Secara Keseluruhan

Berdasarkan pembahasan secara keseluruhan diatas, maka dapat diketahui persentase paling tinggi pada penelitian ini diperoleh penambahan abu batu sebesar 20% dengan penambahan *viscocrete 3115N* sebesar 0,4% memiliki nilai kuat tekan, nilai kuat tarik, nilai modulus elastisitas dan nilai kuat lentur yang tinggi diantara persentase lainnya. Disimpulkan bahwa dengan penambahan abu batu dapat meningkatkan mutu beton yang direncanakan. Hal ini dikarenakan abu batu memiliki butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan pasir untuk dapat mengisi

rongga-rongga yang ada pada beton. Dengan terisinya rongga-rongga pada beton akan membuat beton akan semakin padat tanpa adanya rongga udara pada beton. Keunggulan lainnya adalah abu batu memiliki tekstur yang tajam jika dibandingkan dengan pasir sehingga dengan tekstur yang tajam, abu batu dapat memberikan kemudahan atau membantu dalam proses pengikatan sehingga hal ini dapat memberikan peningkatan mutu pada beton.

Pada penelitian sebelumnya digunakan persentase abu batu sebesar 0%, 20%, 25%, 30%, 35%, dan 40%. Dari hasil penelitian sebelumnya didapatkan penggunaan abu batu persentase tertinggi sebesar 20%. Sehingga pada penelitian ini digunakan interval 0%, 10%, 20%, dan 30% untuk mengetahui pada penelitian sebelumnya apakah beton mengalami peningkatan pada 0% hingga 20%. Melihat dari hasil penelitian ini, beton mengalami peningkatan kekuatan dengan penggunaan persentase abu batu sebesar 20%.

Namun beton dengan persentase diatas 20% menunjukkan penurunan kekuatan. Menurut (Ibrahim & Saelan, 2019) hal ini dikarenakan abu batu memiliki penyerapan air yang lebih tinggi sehingga membuat beton kekurangan air. Penambahan abu batu akan mengurangi kadar air dalam beton, hal ini berkaitan dengan berkurang atau menurunnya nilai FAS rencana pada pencampuran beton. Hal ini dinyatakan oleh (Tjokrodinuljo, 2007) rendahnya nilai FAS akan menyebabkan kesulitan dalam proses pemadatan beton karena beton akan mengalami kekurangan air sehingga reaksi kimia yang terjadi akan menyebabkan proses pengikatan dan berlangsungnya pengerasan kurang maksimal. Dengan kata lain, pada proses campuran penambahan abu batu akan mempercepat pemadatan pada beton segar sehingga akan menurunkan *workability* pada beton.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengaruh abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen pada karakteristik beton normal dengan mutu 30 MPa adalah sebagai berikut.
 - a. Penambahan abu batu pada campuran dapat menurunkan nilai slump pada *mix design* yang direncanakan. Hal ini menunjukkan abu batu memiliki daya serap tinggi terhadap air sehingga abu batu sendiri memerlukan penambahan air. Jika diberi *superplasticizer* 0,4% dapat meningkatkan *workability* pada campuran beton sehingga nilai slump pada campuran beton mendapat peningkatan daripada tanpa penambahan *superplasticizer*. Akan tetapi seiring penambahan abu batu juga akan mengalami penurunan nilai slump pada campuran beton.
 - b. Penambahan abu batu pada campuran dapat menurunkan nilai berat volume. Hal ini menunjukkan pada berat jenis abu batu lebih ringan dari berat jenis agregat halus serta volume beton yang menurun di pengaruhi dari agregat kasar yang salah satu fraksi tidak memenuhi syarat sehingga volume pori pada beton bertambah dan dengan adanya sifat penyerapan yang tinggi abu batu akan lebih banyak menyerap air sehingga beton akan menjadi lebih ringan. Pada penambahan *superplasticizer*, berat volume beton menurun hal ini dikarenakan pengurangan air ketika adanya penambahan *superplasticizer*.
 - c. Abu batu berfungsi sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dalam beton untuk meningkatkan kekuatan pada beton. Dapat dilihat pada grafik nilai pengujian pada bab sebelumnya, penambahan abu batu memiliki peningkatan grafik. Akan tetapi pada saat persentase yang didapatkan

sudah optimal grafik nilai pengujian mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan penambahan abu batu yang persentasenya terlalu tinggi akan mengakibatkan nilai kekuatan pada beton menurun.

2. Hasil persentase dari penggunaan limbah abu batu sebagai bahan substitusi parsial agregat halus dengan *superplasticizer* 0% dan 0,4% dari berat semen untuk mendapatkan mutu beton yang tertinggi adalah sebagai berikut.
 - a. Hasil pengujian nilai slump menunjukkan bahwa penambahan persentase abu batu menurunkan *workability* dari beton. Hal ini ditunjukkan dengan nilai slump beton abu batu 0% dan *superplasticizer* 0,4% sebesar 10 cm, sedangkan nilai slump menggunakan abu batu persentase 10% sebesar 7,7 cm, menurun sebesar 23% dari beton dengan abu batu 0%. Persentase abu batu 20% didapatkan nilai slump 7,5 cm dan persentase abu batu 30% didapatkan nilai slump 7,3 cm. Penambahan *superplasticizer* 0,4% meningkatkan nilai slump pada persentase abu batu 0% sebesar 16,7 cm, mengalami peningkatan sebesar 40% dari abu batu 0% dan *superplasticizer* 0,4%. Hal ini dikarenakan tidak ada pengurangan komposisi pada campuran beton sehingga didapatkan nilai slump yang tinggi. Persentase abu batu 10% dengan *superplasticizer* 0,4% didapatkan sebesar 12,1cm, menurun 27,5% dari beton dengan abu batu 0% dengan *superplasticizer* 0,4%. Persentase abu batu 20% didapatkan nilai slump 11,3 cm dan persentase abu batu 30% didapatkan nilai slump 10,3 cm.
 - b. Hasil pengujian penyerapan air beton menunjukkan, semakin besar persentase abu batu semakin tinggi nilai penyerapan air. Penyerapan beton *superplasticizer* 0% dan *superplasticizer* 0,4% secara bersama mengalami peningkatan dengan nilai maksimal penyerapan sebesar 1,827% dan 2,13%
 - c. Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan penambahan abu batu sebanyak 20% dengan *superplasticizer* 0,4% memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 33,52 MPa, meningkat 9,77% dari penambahan abu batu sebanyak 0% dengan *superplasticizer* 0,4%.

- d. Hasil pengujian modulus elastisitas beton menunjukkan penambahan abu batu sebanyak 20% dengan penambahan *superplasticizer* memiliki nilai modulus elastisitas paling tinggi berdasarkan ASTM C-469 dan metode SNI 2847-2019. Sebaliknya pada abu batu sebanyak 0% tanpa penambahan *superplasticizer* memiliki nilai modulus elastisitas beton paling kecil.
- e. Hasil pengujian kuat tarik belah beton menunjukkan penambahan abu batu sebanyak 20% dengan *superplasticizer* 0,4% memiliki nilai paling tinggi yaitu sebesar 2,91 MPa, meningkat 24,4% dari penambahan abu batu sebanyak 0% dengan *superplasticizer* 0,4%.
- f. Hasil pengujian kuat lentur beton menunjukkan, beton dengan penambahan abu batu 20% dengan *superplasticizer* 0,4% memiliki nilai yang tinggi sebesar 3,90 MPa, meningkat 9,28% dari penambahan abu batu sebanyak 0% dengan *superplasticizer* 0,4%.

6.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat menjadi saran untuk penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

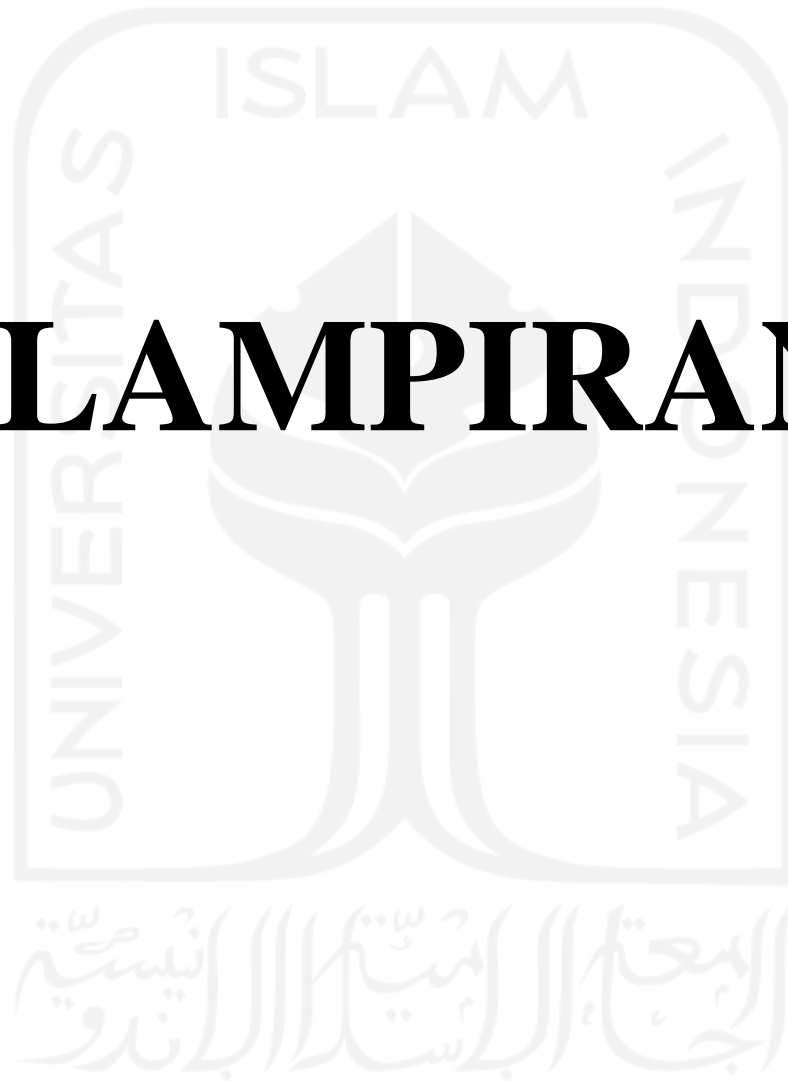
1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan penambahan garis bantu pada kebutuhan Faktor Air Semen (FAS) karena tanpa penambahan garis bantu maka kebutuhan air pada perencanaan akan lebih sedikit.
2. Pada saat proses pembuatan beton sebaiknya tercampur merata dengan baik, pada proses penumbukan harus maksimal karena proses pemadatan kurang maksimal dapat membuat kondisi sampel atau benda uji mengalami keropos sehingga dapat mempengaruhi hasil dari benda uji.
3. Penambahan *superplasticizer* tanpa mengurangi komposisi air tidak disarankan peneliti karena dapat mengurangi kualitas dari beton.
4. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan interval yang lebih kecil atau dapat dicoba menggunakan variasi bahan tambah lainnya untuk memperoleh peningkatan mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A. (2019). *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Ahadi. (2010, September 24). *Pengertian beton*. Retrieved from Diambil kembali dari Ilmusipil.com: <https://www.ilmusipil.com/pengertian-beton-adalah>
- Ardianti, M. (2020). *Pengaruh Variasi Bubuk Cangkang Telur dan Abu Batu sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknikm Universitas Bangka Belitung.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *Metode Pengujian modulus elastisitas statis dan raio poison beton dengan kompresometer (SNI 03-4169)*. BSN.Jakarta.
- Badan Standarisasi. (2000). *Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm) (SNI 03-4142-1996)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). *Metode pengujian kuat lentur dengan balok uji sederhana yang dibebani terpusat langsung (SNI 03-4154-1996)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). *Tata Cara Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2843-2000)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton (SNI 03-2491-2002)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2004). *Semen Portland (SNI 03-15-2049-2004)*. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969:2008)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton. (SNI 03-1973-2008)*. Jakarta.

- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970:2008)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *Cara Uji Slump Beton. (SNI 03-1972-2008)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. (SNI 1974-2011)*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2019)*. BSN. Jakarta.
- Celik, T., & Marar, T. (1996). *Effects of Crushed Stone Dust on Some Properties of Concrete Research Vol.26, No.7*. Pergamon.
- Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*.
- Duff Abrams. (1919). *Hubungan antara faktor air semen dengan kekuatan beton*.
- Harjono, J. (2017). *Pengaruh Abu Batu Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton*. Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Ibrahim, M. M., & Saelan, P. (2019, September). Studi Perancangan Campuran Beton Menggunakan Abu Batu Sebagai Agregat Halus. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*.
- Ikbal, M. (2017). *Pengaruh Penambahan Superplasticizer Viscocrete 3115N Terhadap Kuat Tekan Optimum Self Compacting Concrete*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Khang, D.B. and Moe, T.L. (2004). Successcriteria and factors fot international developmentprojects: A Lifecycle-based framework. *Thailand: School of Management Asian Institute of Technology (AIT)*.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi.
- Murdock, L., & Brook, K. (1999). *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Murdock, L.J dan Brook, K. M. (1986). *BAHAN DAN PRAKTIK BETON*. Jakarta: Erlangga.
- Tjokrodimuljo. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Gambar Alat yang digunakan**Gambar L-1.1 Timbangan****Gambar L-1.2 Pikhometer**



Gambar L-1.3 Gelas Ukur



Gambar L-1.4 Ayakan Mesh



Gambar L-1.5 Cetakan Silinder dan Balok



Gambar L-1.6 Alat Ukur



Gambar L-1.7 Oven



Gambar L-1.8 Ember



Gambar L-1.9 Mixer



Gambar L-1.10 Kerucut Abram



Gambar L-1.11 Sekop



Gambar L-1.12 Wadah/Nampan



Gambar L-1.12 Sekop Kecil



Gambar L-1.13 Compressing Testing Machine (CTM)



Gambar L-1.14 *Universal Testing Machine*

Lampiran 2 Gambar Bahan yang digunakan



Gambar L-2.1 Agregat Kasar



Gambar L-2.2 Semen



Gambar L-2.3 Abu Batu

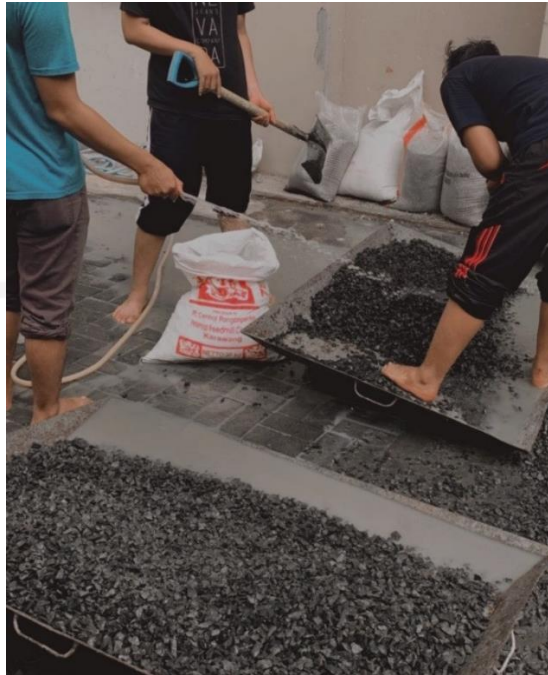


Gambar L-2.4 Agregat Halus

Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan Benda Uji



Gambar L-3.1 Penyaringan Agregat Halus



Gambar L-3.2 Pencucian Agregat Kasar



Gambar L-3.3 Persiapan Alat dan Bahan



Gambar L-3.4 Persiapan proses Pembuatan Campuran beton



Gambar L-3.5 Proses Pembuatan Campuran beton



Gambar L-3.6 Pembacaan Nilai Slump



Gambar L-3.7 Proses penuangan campuran beton kedalam ember



Gambar L-3.8 Proses Memasukan campuran beton kedalam cetakan



Gambar L-3.9 Proses Perendaman benda Uji

Lampiran 4 Gambar Proses Pengujian Benda Uji



Gambar L-4.1 Proses Kapping Benda Uji



Gambar L-4.2 Proses Pengujian Kuat tekan dan Modulus Elastisitas Beton



الجامعة الإسلامية



Gambar L-4.3 Hasil Proses Pengujian Kuat Tekan





الجامعة الإسلامية



Gambar L-4.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik



Gambar L-4.5 Pengujian Kuat Lentur

Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan bahan

Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	484	487	485,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1037	1045	1041
Berat piknometer berisi air, gram (B)	733	733	733
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,4694	2,5904	2,529906644
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,551	2,660	2,605
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,6889	2,7829	2,735873016
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,31%	2,67%	2,99%

Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4909	4923	4916
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3133	3127	3130
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,629	2,628	2,629
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,678	2,670	2,674
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,764	2,741	2,753
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,85%	1,56%	1,71%

ABU BATU

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	471	477	474
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1016	1020	1018
Berat piknometer berisi air, gram (B)	715	716	715,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,3668	2,4337	2,400254
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,513	2,551	2,532
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,7706	2,7572	2,763907
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	6,16%	4,82%	5,49%

AGREGAT HALUS				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	4	0,20	0,20	99,8
2,40	75	3,75	3,95	96,05
1,20	140	7,00	10,95	89,05
0,60	546	27,30	38,25	61,75
0,30	822	41,10	79,35	20,65
0,15	321	16,05	95,40	4,6
Sisa	92	4,60		100
Jumlah	2000	100	228,1	

AGREGAT KASAR				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	10	0,2	0,2	99,8
10,00	4097	81,94	82,14	17,86
4,80	837	16,74	98,88	1,12
2,40	38	0,76	99,64	0,36
1,20	1	0,02	99,66	0,34
0,60	0	0	99,66	0,34
0,30	0	0	99,66	0,34
0,15	0	0	99,66	0,34
Sisa	17	0,34		100
Jumlah	5000	100	679,5	

ABU BATU				
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100,00
20,00	0	0	0	100,00
10,00	0	0	0	100,00
4,80	53	2,65	2,65	97,35
2,40	238	11,90	14,55	85,45
1,20	202	10,10	24,65	75,35
0,60	299	14,95	39,60	60,40
0,30	634	31,70	71,30	28,70
0,15	433	21,65	92,95	7,05
Sisa	141	7,05		100,00
Jumlah	2000	100	245,7	

Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	15,013	15,132
Tinggi Silinder (cm)	30,223	30,150
Berat Tabung (W1), gram	10200	10300
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19600	19860
Berat Agregat (W3), gram	9400	9560
Volume Tabung (V), cm ³	5350,106	5422,129
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,757	1,763

Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	15,073	15,125
Tinggi Silinder (cm)	30,103	30,200
Berat Tabung (W1), gram	10600	10400
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18400	18100
Berat Agregat (W3), gram	7800	7700
Volume Tabung (V), cm ³	5371,5430	5426,097
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,4521	1,419

Berat Isi Padat Abu Batu

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	14,95	15,000
Tinggi Silinder (cm)	30,667	30,550
Berat Tabung (W1), gram	10629	10637
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19668	19689
Berat Agregat (W3), gram	7800	7700
Volume Tabung (V), cm ³	5371,5430	5426,097
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,4521	1,419

Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	15,013	15,132
Tinggi Silinder (cm)	30,223	30,150
Berat Tabung (W1), gram	10200	10300
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18900	19100
Berat Agregat (W3), gram	8700	8800
Volume Tabung (V), cm ³	5350,106	5422,129
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,626	1,623

Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	15,073	15,125
Tinggi Silinder (cm)	30,103	30,200
Berat Tabung (W1), gram	10600	10400
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17500	17200
Berat Agregat (W3), gram	6900	6800
Volume Tabung (V), cm ³	5371,543	5426,097
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,285	1,253

Abu Batu

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Silinder (cm)	14,95	15,000
Tinggi Silinder (cm)	30,667	30,550
Berat Tabung (W1), gram	10629	10689
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18474	18794
Berat Agregat (W3), gram	7845	8105
Volume Tabung (V), cm ³	5383,24	5398,631
Berat Volume Gembur, gram/cm ³	1,4573	1,501

Lolos Saringan NO.200 Pasir

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	497	495
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	0,60%	1,00%

Lolos Saringan NO.200 Abu Batu

Uraian	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	472	475
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	5,60%	5,00%

Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material dengan Variasi Abu batu dan viscocrete 3115N 0%

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Abu batu (kg)		Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Viscocrete 3115N (kg)	
AB 0% V 0%	45,61	17,79	0	0	44,96	95,55	0%	0
AB 10% V 0%	45,61	17,79	0,1	4,496	40,47	95,55	0%	0
AB 20% V 0%	45,61	17,79	0,2	8,993	35,97	95,55	0%	0
AB 30% V 0%	45,61	17,79	0,3	13,49	31,47	95,55	0%	0
	182,44	71,15		26,97	152,88	382,19		0

Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material dengan Variasi Abu batu dan viscocrete 3115N 0,4%

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Abu batu (kg)		Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Viscocrete 3115N (kg)	
AB 0% V 0,4%	45,61	17,79	0	0	44,96	95,55	0,4%	0,182
AB 10% V 0,4%	45,61	16,01	0,1	4,496	40,47	95,55	0,4%	0,182
AB 20% V 0,4%	45,61	16,01	0,2	8,993	35,97	95,55	0,4%	0,182
AB 30% V 0,4%	45,61	16,01	0,3	13,49	31,47	95,55	0,4%	0,182
	182,44	65,82		26,97	152,88	382,19		0,73

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Beton

Lampiran 1 Pengujian Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump	Keterangan
	Abu Batu	Superplasticizer		
AB0% V0%	0%	0%	10	Memenuhi
AB10% V0%	10%	0%	7,7	Memenuhi
AB20% V0%	20%	0%	7,5	Memenuhi
AB30% V0%	30%	0%	7,3	Memenuhi
AB0% V0,4%	0%	0,4%	16,7	Memenuhi
AB10% V0,4%	10%	0,4%	12,1	Memenuhi
AB20% V0,4%	20%	0,4%	11,3	Memenuhi
AB30% V0,4%	30%	0,4%	10,5	Memenuhi

Lampiran 2 Pengujian Penyerapan Air pada Beton

	VARIASI	KODE	Lebar	Tinggi	Ww	Ws	W	W
VISCO 0%	AB 0%	S1	14,97	30,187	13,081	12,922	1,230	1,204
		S2	14,993	30,13	12,8	12,651	1,178	
		S3	14,96	30,127	12,866	12,713	1,203	
	AB 10%	S1	14,99	30,1	12,72	12,554	1,322	1,328
		S2	14,89	30,01	12,45	12,281	1,376	
		S3	15,02	30,19	12,85	12,687	1,285	
	AB 20%	S1	15,15	30,36	12,911	12,717	1,526	1,525
		S2	15,04	30,2	12,683	12,491	1,537	
		S3	15,07	30,17	12,893	12,701	1,512	
	AB 30%	S1	14,96	30,33	12,82	12,589	1,835	1,827
		S2	14,97	30,51	13,121	12,891	1,784	
		S3	15,18	30,25	12,921	12,685	1,860	

	VARIASI	KODE	Lebar	Tinggi	Ww	Ws	W	W
VISCO 0,4%	AB 0%	S1	15,04	30,17	12,56	12,391	1,364	1,352
		S2	15,07	30,24	12,611	12,442	1,358	
		S3	14,856	30,236	12,387	12,224	1,333	
	AB 10%	S1	14,883	30,25	12,793	12,612	1,435	1,426
		S2	15,14	30,2	12,903	12,718	1,455	
		S3	15,06	30,38	12,861	12,685	1,387	
	AB 20%	S1	15,1	30,37	12,984	12,758	1,771	1,699
		S2	15,117	30,783	13,282	13,059	1,708	
		S3	15,003	30,37	13,262	13,051	1,617	
	AB 30%	S1	15,1	30,27	13,321	13,039	2,163	2,130
		S2	15,193	30,57	13,072	12,797	2,149	
		S3	15,153	30,25	12,772	12,512	2,078	

Lampiran 3 Pengujian Kuat tekan

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S1	18193,6228	505000	27,76	29,38
	S2	17671,4587	520000	29,43	
	S3	18098,1184	560000	30,94	
AB 10% V0%	S1	17647,9046	480000	27,20	30,42
	S2	17413,2276	575000	33,02	
	S3	17718,6140	550000	31,04	
AB 20% V0%	S1	17695,0285	560000	31,65	31,15
	S2	17765,8321	580000	32,65	
	S3	17836,7771	520000	29,15	
AB 30% V0%	S1	17577,3366	540000	30,72	30,78
	S2	17600,8435	540000	30,68	
	S3	18098,1184	560000	30,94	

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (N)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0,4%	S1	17884,1524	525000	29,36	30,25
	S2	17813,1131	550000	30,88	
	S3	17860,4569	535000	29,95	
AB 10% V0,4%	S1	18145,8392	620000	34,17	31,00
	S2	17955,3330	555000	30,91	
	S3	17624,3662	535000	30,36	
AB 20% V0,4%	S1	17813,1131	610000	34,24	33,52
	S2	17560,8910	700000	39,86	
	S3	17836,7771	480000	26,91	
AB 30% V0%	S1	17907,8635	600000	33,50	32,55
	S2	17843,8794	570000	31,94	
	S3	17600,8435	555000	31,53	

Lampiran 4 Hasil Berat Volume

Kode Benda Uji		Berat Volume Beton (kg/m ³)	Berat Volume Beton Rata-Rata (kg/m ³)
AB 0% V0%	S1	2388,798	2406,498
	S2	2460,366	
	S3	2370,329	
AB 10% V0%	S1	2384,216	2390,111
	S2	2413,261	
	S3	2372,856	
AB 20% V0%	S1	2409,983	2383,463
	S2	2352,346	
	S3	2388,060	
AB 30% V0%	S1	2380,512	2379,987
	S2	2421,780	
	S3	2337,671	

Kode Benda Uji		Berat Volume Beton (kg/m ³)	Berat Volume Beton Rata-Rata (kg/m ³)
AB 0% V0,4%	S1	2365,693	2389,987
	S2	2360,099	
	S3	2444,168	
AB 10% V0,4%	S1	2430,761	2381,772
	S2	2361,287	
	S3	2353,268	
AB 20% V0,4%	S1	2333,865	2374,939
	S2	2381,721	
	S3	2409,233	
AB 30% V0,4%	S1	2434,921	2359,775
	S2	2334,324	
	S3	2310,080	

Lampiran 5 Hasil Pengujian Kuat tarik belah

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0%	S4	142785,3861	160	2,24	2,10
	S5	142028,7225	138	1,94	
	S6	142589,7277	150	2,10	
AB 10% V0%	S4	142217,6375	153	2,15	2,20
	S5	144641,7218	157	2,17	
	S6	141228,6013	160	2,27	
AB 20% V0%	S4	141982,4893	195	2,75	2,61
	S5	142877,3719	189	2,65	
	S6	141842,9083	173	2,44	
AB 30% V0%	S4	141890,0322	180	2,54	2,46
	S5	143300,9215	185	2,58	
	S6	141745,8331	161	2,27	

Kode Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
AB 0% V0,4%	S4	144542,8245	150	2,08	2,20
	S5	143832,1648	152	2,11	
	S6	139161,7475	168	2,41	
AB 10% V0,4%	S4	144258,3847	188	2,61	2,56
	S5	143686,8661	182	2,53	
	S6	143310,0321	182	2,54	
AB 20% V0,4%	S4	141375,4833	204	2,89	2,91
	S5	143163,5082	195	2,72	
	S6	143306,0737	224	3,13	
AB 30% V0,4%	S4	140195,7144	188	2,68	2,79
	S5	145338,2474	218	3,00	
	S6	143322,3035	192	2,68	

Lampiran 6 Hasil Pengujian Kuat Lentur balok

Kode Benda Uji		Beban Maksimum (kgf)	Jarak Bidang Patah ke Tumpuan (mm)	Lebar Tampang Patah (mm)	Tinggi Tampang Patah (mm)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
AB 0% V0%	B1	2485	252	150,03	154,10	3,49	3,51
	B2	2460	177	151,20	154,67	3,55	
	B3	2520	10	150,43	154,73	3,50	
AB 10% V0%	B1	2460	198	150,30	151,67	3,56	3,56
	B2	2350	211	151,23	150,93	3,41	
	B3	2650	195	151,03	153,70	3,72	
AB 20% V0%	B1	2600	181	149,80	153,07	3,71	3,64
	B2	2430	175	149,50	151,60	3,54	
	B3	2560	233	149,93	152,40	3,68	
AB 30% V0%	B1	2450	197	150,83	153,13	3,47	3,58
	B2	2475	217	150,57	153,90	3,47	
	B3	2630	231	150,30	151,97	3,79	

Kode Benda Uji		Beban Maksimum (kgf)	Jarak Bidang Patah ke Tumpuan (mm)	Lebar Tampang Patah (mm)	Tinggi Tampang Patah (mm)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
AB 0% V0%	B1	2260	185	149,90	151,80	3,27	3,54
	B2	2320	215	148,70	152,40	3,36	
	B3	2500	187	147,70	153,10	3,98	
AB 10% V0%	B1	2570	187	150,50	152,00	4,08	3,70
	B2	2550	250	150,00	153,20	3,62	
	B3	2480	242	151,20	155,30	3,40	
AB 20% V0%	B1	2910	173	151,10	154,30	4,13	3,90
	B2	2890	182	151,30	154,20	4,02	
	B3	2520	216	150,10	153,70	3,56	
AB 30% V0%	B1	2430	183	151,90	148,40	3,92	3,81
	B2	2790	171	150,30	153,30	3,95	
	B3	2465	202	150,30	151,80	3,56	

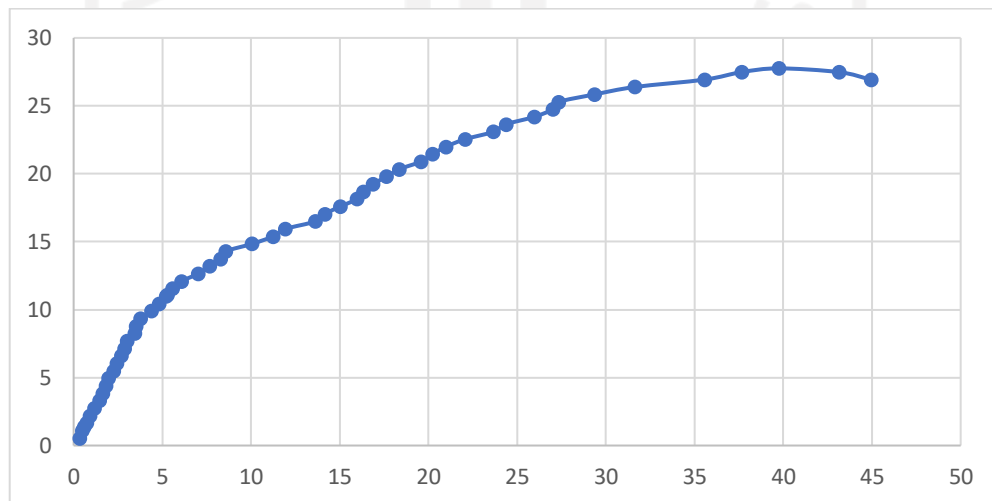
Silinder1

f'c rencana	27,76	Mpa	Berat Volume	2388,798
Diameter	15,22	mm		
Tinggi	30,05	mm		

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Silinder Beton

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	11	0,0055	0,0000275	0,549643142
2	20	20000	16	0,008	0,00004	1,099286285
2'	25	25000	20	0,01	0,00005	1,374107856
3	30	30000	24	0,012	0,00006	1,648929427
4	40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,198572569
5	50	50000	39	0,0195	0,0000975	2,748215711
6	60	60000	48	0,024	0,00012	3,297858854
7	70	70000	54	0,027	0,000135	3,847501996
8	80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,397145138
9	90	90000	66	0,033	0,000165	4,94678828
10	100	100000	75	0,0375	0,0001875	5,496431423
11	110	110000	81	0,0405	0,0002025	6,046074565
12	120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,595717707
13	130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,145360849
14	140	140000	100	0,05	0,00025	7,695003992
15	150	150000	115	0,0575	0,0002875	8,244647134
16	160	160000	117	0,0585	0,0002925	8,794290276
17	170	170000	125	0,0625	0,0003125	9,343933418
18	180	180000	146	0,073	0,000365	9,893576561
19	190	190000	161	0,0805	0,0004025	10,4432197
20	200	200000	174	0,087	0,000435	10,99286285
					0,000441	11,10279147
21	210	210000	186	0,093	0,000465	11,54250599
22	220	220000	203	0,1015	0,0005075	12,09214913
23	230	230000	234	0,117	0,000585	12,64179227
24	240	240000	256	0,128	0,00064	13,19143541
25	250	250000	276	0,138	0,00069	13,74107856
26	260	260000	286	0,143	0,000715	14,2907217
27	270	270000	335	0,1675	0,0008375	14,84036484
28	280	280000	375	0,1875	0,0009375	15,39000798
29	290	290000	398	0,199	0,000995	15,93965113
30	300	300000	454	0,227	0,001135	16,48929427
31	310	310000	472	0,236	0,00118	17,03893741
32	320	320000	501	0,2505	0,0012525	17,58858055
33	330	330000	532	0,266	0,00133	18,13822369

34	340	340000	544	0,272	0,00136	18,68786684
35	350	350000	562	0,281	0,001405	19,23750998
36	360	360000	588	0,294	0,00147	19,78715312
37	370	370000	612	0,306	0,00153	20,33679626
38	380	380000	652	0,326	0,00163	20,88643941
39	390	390000	674	0,337	0,001685	21,43608255
40	400	400000	699	0,3495	0,0017475	21,98572569
41	410	410000	735	0,3675	0,0018375	22,53536883
42	420	420000	788	0,394	0,00197	23,08501197
43	430	430000	812	0,406	0,00203	23,63465512
44	440	440000	865	0,4325	0,0021625	24,18429826
45	450	450000	900	0,45	0,00225	24,7339414
46	460	460000	911	0,4555	0,0022775	25,28358454
47	470	470000	978	0,489	0,002445	25,83322769
48	480	480000	1054	0,527	0,002635	26,38287083
49	490	490000	1186	0,593	0,002965	26,93251397
50	500	500000	1255	0,6275	0,0031375	27,48215711
51	505	505000	1325	0,6625	0,0033125	27,75697868
52	500	500000	1438	0,719	0,003595	27,48215711
53	490	490000	1498	0,749	0,003745	26,93251397



Lampiran 7 Beton Silinder 1 Abu Batu 0% Visco 0%

Silinder 2f_c rencana

29,43

Mpa

Diameter

15,00

mm

2460,366

Tinggi

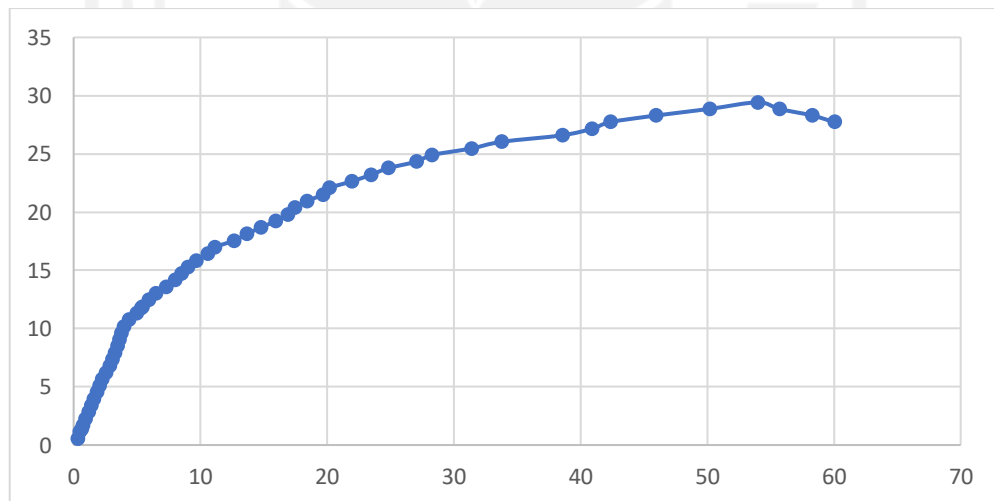
30,05

mm

AB 0% V 0%**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	10	0,005	0,000025	0,565884242
2	20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,131768484
2'	24	24000	20	0,01	0,00005	1,358122181
3	30	30000	24	0,012	0,00006	1,697652726
4	40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,263536968
5	50	50000	40	0,02	0,0001	2,829421211
6	60	60000	46	0,023	0,000115	3,395305453
7	70	70000	53	0,0265	0,0001325	3,961189695
8	80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,527073937
9	90	90000	68	0,034	0,00017	5,092958179
10	100	100000	75	0,0375	0,0001875	5,658842421
11	110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,224726663
12	120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,790610905
13	130	130000	102	0,051	0,000255	7,356495147
14	140	140000	109	0,0545	0,0002725	7,922379389
15	150	150000	115	0,0575	0,0002875	8,488263632
16	160	160000	120	0,06	0,0003	9,054147874
17	170	170000	125	0,0625	0,0003125	9,620032116
18	180	180000	132	0,066	0,00033	10,18591636
19	190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,7518006
20	200	200000	166	0,083	0,000415	11,31768484
					0,000443	11,77039224
21	210	210000	180	0,09	0,00045	11,88356908
22	220	220000	198	0,099	0,000495	12,44945333
23	230	230000	217	0,1085	0,0005425	13,01533757
24	240	240000	243	0,1215	0,0006075	13,58122181
25	250	250000	266	0,133	0,000665	14,14710605
26	260	260000	284	0,142	0,00071	14,71299029
27	270	270000	301	0,1505	0,0007525	15,27887454
28	280	280000	323	0,1615	0,0008075	15,84475878
29	290	290000	352	0,176	0,00088	16,41064302
30	300	300000	371	0,1855	0,0009275	16,97652726
31	310	310000	421	0,2105	0,0010525	17,54241151
32	320	320000	455	0,2275	0,0011375	18,10829575
33	330	330000	492	0,246	0,00123	18,67417999
34	340	340000	532	0,266	0,00133	19,24006423
35	350	350000	564	0,282	0,00141	19,80594847
36	360	360000	582	0,291	0,001455	20,37183272
37	370	370000	613	0,3065	0,0015325	20,93771696

38	380	380000	655	0,3275	0,0016375	21,5036012
39	390	390000	673	0,3365	0,0016825	22,06948544
40	400	400000	731	0,3655	0,0018275	22,63536968
41	410	410000	782	0,391	0,001955	23,20125393
42	420	420000	827	0,4135	0,0020675	23,76713817
43	430	430000	901	0,4505	0,0022525	24,33302241
44	440	440000	943	0,4715	0,0023575	24,89890665
45	450	450000	1046	0,523	0,002615	25,46479089
46	460	460000	1125	0,5625	0,0028125	26,03067514
47	470	470000	1285	0,6425	0,0032125	26,59655938
48	480	480000	1364	0,682	0,00341	27,16244362
49	490	490000	1412	0,706	0,00353	27,72832786
50	500	500000	1532	0,766	0,00383	28,29421211
51	510	510000	1673	0,8365	0,0041825	28,86009635
52	520	520000	1800	0,9	0,0045	29,42598059
53	510	510000	1856	0,928	0,00464	28,86009635
54	500	500000	1943	0,9715	0,0048575	28,29421211
55	490	490000	2001	1,0005	0,0050025	27,72832786



Lampiran 8 Beton Silinder 2 Abu Batu 0% Visco 0%

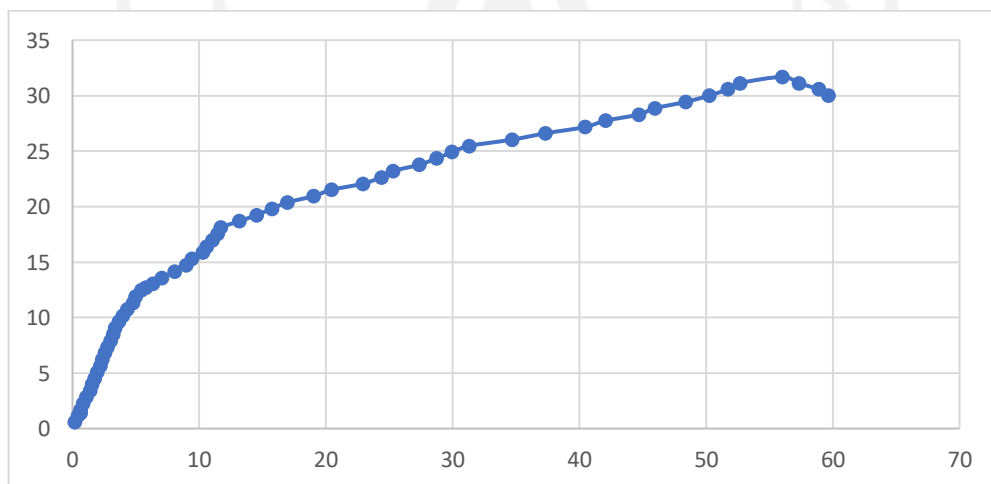
Silinder 3**AB 0% V 0%**

f _c rencana	30,94	Mpa	
Diameter	15,18	mm	2370,329
Tinggi	30,05	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	6	0,003	0,000015	0,565884242
2	20	20000	14	0,007	0,000035	1,131768484
	25	25000	20	0,01	0,00005	1,381359072
3	30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,697652726
4	40	40000	28	0,014	0,00007	2,263536968
5	50	50000	36	0,018	0,00009	2,829421211
6	60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,395305453
7	70	70000	51	0,0255	0,0001275	3,961189695
8	80	80000	58	0,029	0,000145	4,527073937
9	90	90000	64	0,032	0,00016	5,092958179
10	100	100000	72	0,036	0,00018	5,658842421
11	110	110000	78	0,039	0,000195	6,224726663
12	120	120000	85	0,0425	0,0002125	6,790610905
13	130	130000	92	0,046	0,00023	7,356495147
14	140	140000	99	0,0495	0,0002475	7,922379389
15	150	150000	107	0,0535	0,0002675	8,488263632
16	160	160000	112	0,056	0,00028	9,054147874
17	170	170000	121	0,0605	0,0003025	9,620032116
18	180	180000	132	0,066	0,00033	10,18591636
19	190	190000	143	0,0715	0,0003575	10,7518006
20	200	200000	158	0,079	0,000395	11,31768484
21	210	210000	165	0,0825	0,0004125	11,88356908
22	220	220000	180	0,09	0,00045	12,44945333
					0,00048	12,67580702
23	230	230000	210	0,105	0,000525	13,01533757
24	240	240000	234	0,117	0,000585	13,58122181
25	250	250000	268	0,134	0,00067	14,14710605
26	260	260000	298	0,149	0,000745	14,71299029
27	270	270000	313	0,1565	0,0007825	15,27887454
28	280	280000	342	0,171	0,000855	15,84475878
29	290	290000	352	0,176	0,00088	16,41064302
30	300	300000	368	0,184	0,00092	16,97652726
31	310	310000	381	0,1905	0,0009525	17,54241151
32	320	320000	390	0,195	0,000975	18,10829575
33	330	330000	438	0,219	0,001095	18,67417999
34	340	340000	484	0,242	0,00121	19,24006423

35	350	350000	524	0,262	0,00131	19,80594847
36	360	360000	565	0,2825	0,0014125	20,37183272
37	370	370000	633	0,3165	0,0015825	20,93771696
38	380	380000	681	0,3405	0,0017025	21,5036012
39	390	390000	764	0,382	0,00191	22,06948544
40	400	400000	812	0,406	0,00203	22,63536968
41	410	410000	843	0,4215	0,0021075	23,20125393
42	420	420000	912	0,456	0,00228	23,76713817
43	430	430000	957	0,4785	0,0023925	24,33302241
44	440	440000	998	0,499	0,002495	24,89890665
45	450	450000	1043	0,5215	0,0026075	25,46479089
46	460	460000	1156	0,578	0,00289	26,03067514
47	470	470000	1243	0,6215	0,0031075	26,59655938
48	480	480000	1347	0,6735	0,0033675	27,16244362
49	490	490000	1401	0,7005	0,0035025	27,72832786
50	500	500000	1489	0,7445	0,0037225	28,29421211
51	510	510000	1532	0,766	0,00383	28,86009635
52	520	520000	1612	0,806	0,00403	29,42598059
53	530	530000	1674	0,837	0,004185	29,99186483
54	540	540000	1723	0,8615	0,0043075	30,55774907
55	550	550000	1756	0,878	0,00439	31,12363332
56	560	560000	1867	0,9335	0,0046675	31,68951756
57	550	550000	1911	0,9555	0,0047775	31,12363332
58	540	540000	1963	0,9815	0,0049075	30,55774907
59	530	530000	1987	0,9935	0,0049675	29,99186483



Lampiran 9 Beton Silinder 3 Abu Batu 0% Visco 0%

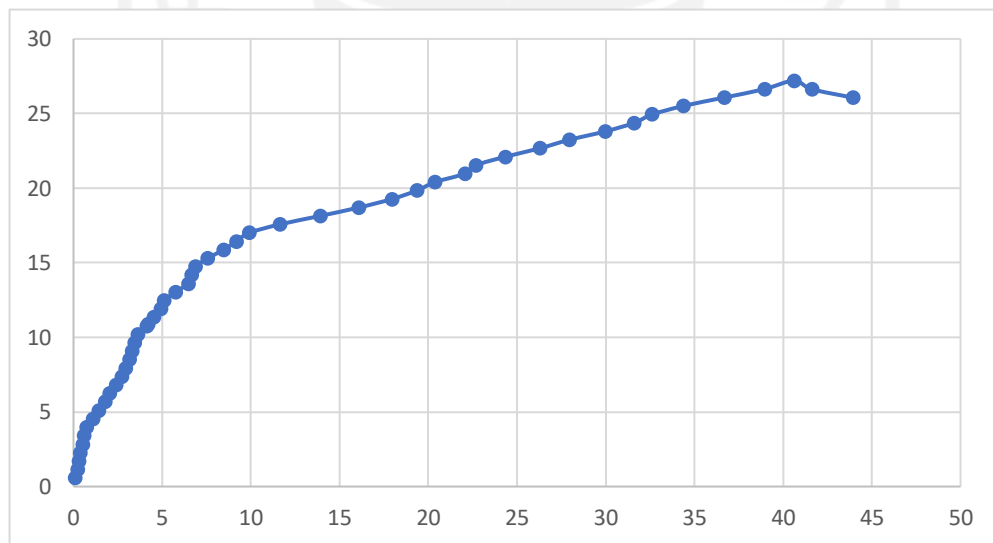
Silinder 1**AB 10% V 0%**

f _c rencana	27,20	Mpa	
Diameter	14,99	mm	2384,215
Tinggi	30,10	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56663951
2	20	20000	7	0,0035	0,0000175	1,133279019
3	30	30000	10	0,005	0,000025	1,699918529
4	40	40000	12	0,006	0,00003	2,266558038
5	50	50000	17	0,0085	0,0000425	2,833197548
6	60	60000	20	0,01	0,00005	3,399837058
7	70	70000	24	0,012	0,00006	3,966476567
8	80	80000	36	0,018	0,00009	4,533116077
9	90	90000	47	0,0235	0,0001175	5,099755586
10	100	100000	59	0,0295	0,0001475	5,666395096
11	110	110000	67	0,0335	0,0001675	6,233034606
12	120	120000	80	0,04	0,0002	6,799674115
13	130	130000	90	0,045	0,000225	7,366313625
14	140	140000	98	0,049	0,000245	7,932953135
15	150	150000	105	0,0525	0,0002625	8,499592644
16	160	160000	110	0,055	0,000275	9,066232154
17	170	170000	114	0,057	0,000285	9,632871663
18	180	180000	121	0,0605	0,0003025	10,19951117
19	190	190000	137	0,0685	0,0003425	10,76615068
					0,000349	10,87947858
20	200	200000	150	0,075	0,000375	11,33279019
21	210	210000	164	0,082	0,00041	11,8994297
22	220	220000	170	0,085	0,000425	12,46606921
23	230	230000	192	0,096	0,00048	13,03270872
24	240	240000	215	0,1075	0,0005375	13,59934823
25	250	250000	222	0,111	0,000555	14,16598774
26	260	260000	229	0,1145	0,0005725	14,73262725
27	270	270000	252	0,126	0,00063	15,29926676
28	280	280000	282	0,141	0,000705	15,86590627
29	290	290000	306	0,153	0,000765	16,43254578
30	300	300000	330	0,165	0,000825	16,99918529
31	310	310000	387	0,1935	0,0009675	17,5658248
32	320	320000	463	0,2315	0,0011575	18,13246431
33	330	330000	536	0,268	0,00134	18,69910382
34	340	340000	598	0,299	0,001495	19,26574333

35	350	350000	645	0,3225	0,0016125	19,83238284
36	360	360000	679	0,3395	0,0016975	20,39902235
37	370	370000	735	0,3675	0,0018375	20,96566186
38	380	380000	756	0,378	0,00189	21,53230137
39	390	390000	811	0,4055	0,0020275	22,09894087
40	400	400000	876	0,438	0,00219	22,66558038
41	410	410000	931	0,4655	0,0023275	23,23221989
42	420	420000	999	0,4995	0,0024975	23,7988594
43	430	430000	1053	0,5265	0,0026325	24,36549891
44	440	440000	1087	0,5435	0,0027175	24,93213842
45	450	450000	1145	0,5725	0,0028625	25,49877793
46	460	460000	1222	0,611	0,003055	26,06541744
47	470	470000	1298	0,649	0,003245	26,63205695
48	480	480000	1354	0,677	0,003385	27,19869646
49	470	470000	1387	0,6935	0,0034675	26,63205695
50	460	460000	1464	0,732	0,00366	26,06541744



Lampiran 10 Beton Silinder 1 Abu Batu 10% Visco 0%

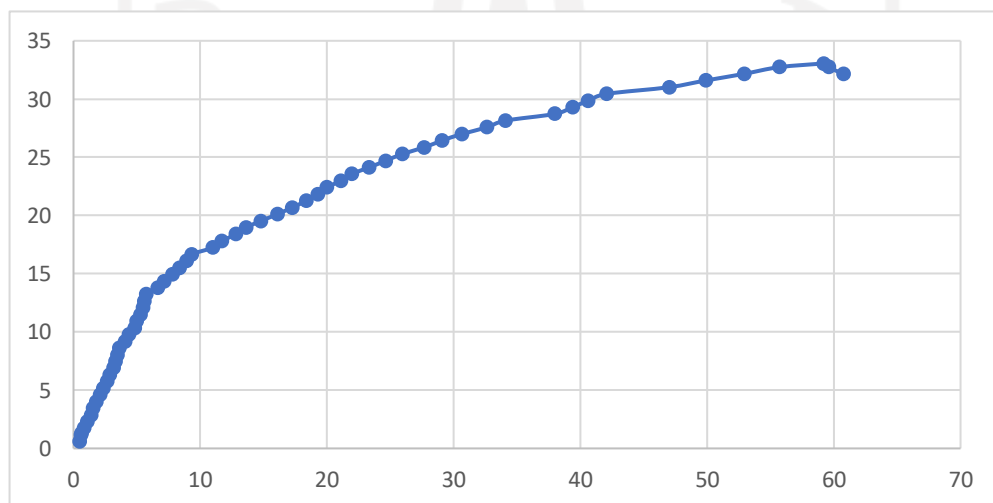
Silinder 2**AB 10% V 0%**

f _c rencana	33,02	Mpa	
Diameter	14,89	mm	2413,261
Tinggi	30,01	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	15	0,0075	0,0000375	0,574276075
2	20	20000	19	0,0095	0,0000475	1,148552149
2'	23	23000	20	0,01	0,00005	1,320834972
3	30	30000	27	0,0135	0,0000675	1,722828224
4	40	40000	36	0,018	0,00009	2,297104298
5	50	50000	46	0,023	0,000115	2,871380373
6	60	60000	51	0,0255	0,0001275	3,445656447
7	70	70000	60	0,03	0,00015	4,019932522
8	80	80000	69	0,0345	0,0001725	4,594208597
9	90	90000	78	0,039	0,000195	5,168484671
10	100	100000	88	0,044	0,00022	5,742760746
11	110	110000	95	0,0475	0,0002375	6,31703682
12	120	120000	105	0,0525	0,0002625	6,891312895
13	130	130000	110	0,055	0,000275	7,465588969
14	140	140000	115	0,0575	0,0002875	8,039865044
15	150	150000	120	0,06	0,0003	8,614141119
16	160	160000	135	0,0675	0,0003375	9,188417193
17	170	170000	145	0,0725	0,0003625	9,762693268
18	180	180000	160	0,08	0,0004	10,33696934
19	190	190000	165	0,0825	0,0004125	10,91124542
20	200	200000	175	0,0875	0,0004375	11,48552149
21	210	210000	182	0,091	0,000455	12,05979757
22	220	220000	185	0,0925	0,0004625	12,63407364
23	230	230000	190	0,095	0,000475	13,20834972
24	240	240000	221	0,1105	0,0005525	13,78262579
25	250	250000	237	0,1185	0,0005925	14,35690186
26	260	260000	259	0,1295	0,0006475	14,93117794
27	270	270000	278	0,139	0,000695	15,50545401
28	280	280000	296	0,148	0,00074	16,07973009
29	290	290000	310	0,155	0,000775	16,65400616
30	300	300000	365	0,1825	0,0009125	17,22828224
31	310	310000	389	0,1945	0,0009725	17,80255831
32	320	320000	427	0,2135	0,0010675	18,37683439
33	330	330000	454	0,227	0,001135	18,95111046
34	340	340000	492	0,246	0,00123	19,52538654
35	350	350000	536	0,268	0,00134	20,09966261

36	360	360000	574	0,287	0,001435	20,67393868
37	370	370000	612	0,306	0,00153	21,24821476
38	380	380000	642	0,321	0,001605	21,82249083
39	390	390000	666	0,333	0,001665	22,39676691
40	400	400000	702	0,351	0,001755	22,97104298
41	410	410000	731	0,3655	0,0018275	23,54531906
42	420	420000	777	0,3885	0,0019425	24,11959513
43	430	430000	821	0,4105	0,0020525	24,69387121
44	440	440000	864	0,432	0,00216	25,26814728
45	450	450000	922	0,461	0,002305	25,84242336
46	460	460000	968	0,484	0,00242	26,41669943
47	470	470000	1021	0,5105	0,0025525	26,9909755
48	480	480000	1087	0,5435	0,0027175	27,56525158
49	490	490000	1135	0,5675	0,0028375	28,13952765
50	500	500000	1265	0,6325	0,0031625	28,71380373
51	510	510000	1313	0,6565	0,0032825	29,2880798
52	520	520000	1353	0,6765	0,0033825	29,86235588
53	530	530000	1401	0,7005	0,0035025	30,43663195
54	540	540000	1566	0,783	0,003915	31,01090803
55	550	550000	1662	0,831	0,004155	31,5851841
56	560	560000	1764	0,882	0,00441	32,15946018
57	570	570000	1856	0,928	0,00464	32,73373625
58	575	575000	1973	0,9865	0,0049325	33,02087429
59	570	570000	1986	0,993	0,004965	32,73373625
60	560	560000	2024	1,012	0,00506	32,15946018



Lampiran 11 Beton Silinder 5 Abu Batu 10% Visco 0%

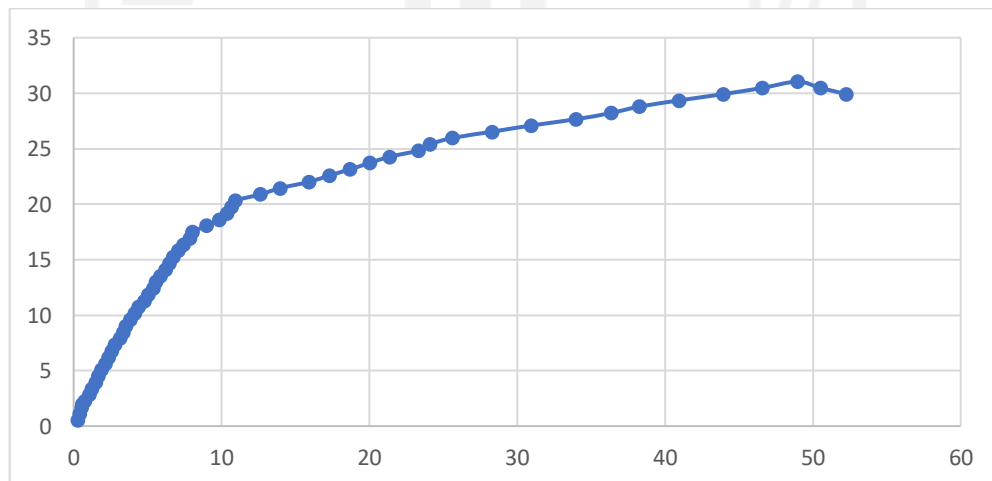
Silinder 3**AB 10% V 0%**

f'c rencana	31,04	Mpa	
Diameter	15,02	mm	2372,856
Tinggi	30,19	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,56437823
2	20	20000	14	0,007	0,000035	1,12875646
3	30	30000	18	0,009	0,000045	1,69313469
3'	35	35000	20	0,01	0,00005	1,975323806
4	40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,257512921
5	50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,821891151
6	60	60000	41	0,0205	0,0001025	3,386269381
7	70	70000	49	0,0245	0,0001225	3,950647611
8	80	80000	56	0,028	0,00014	4,515025841
9	90	90000	63	0,0315	0,0001575	5,079404071
10	100	100000	71	0,0355	0,0001775	5,643782302
11	110	110000	79	0,0395	0,0001975	6,208160532
12	120	120000	86	0,043	0,000215	6,772538762
13	130	130000	93	0,0465	0,0002325	7,336916992
14	140	140000	104	0,052	0,00026	7,901295222
15	150	150000	111	0,0555	0,0002775	8,465673452
16	160	160000	118	0,059	0,000295	9,030051682
17	170	170000	128	0,064	0,00032	9,594429913
18	180	180000	138	0,069	0,000345	10,15880814
19	190	190000	147	0,0735	0,0003675	10,72318637
20	200	200000	160	0,08	0,0004	11,2875646
21	210	210000	168	0,084	0,00042	11,85194283
22	220	220000	179	0,0895	0,0004475	12,41632106
23	230	230000	185	0,0925	0,0004625	12,98069929
24	240	240000	195	0,0975	0,0004875	13,54507752
25	250	250000	207	0,1035	0,0005175	14,10945575
26	260	260000	215	0,1075	0,0005375	14,67383398
27	270	270000	225	0,1125	0,0005625	15,23821221
28	280	280000	236	0,118	0,00059	15,80259044
29	290	290000	247	0,1235	0,0006175	16,36696867
30	300	300000	262	0,131	0,000655	16,9313469
31	310	310000	268	0,134	0,00067	17,49572513
32	320	320000	300	0,15	0,00075	18,06010336
33	330	330000	328	0,164	0,00082	18,6244816
34	340	340000	345	0,1725	0,0008625	19,18885983
35	350	350000	355	0,1775	0,0008875	19,75323806

36	360	360000	365	0,1825	0,0009125	20,31761629
37	370	370000	421	0,2105	0,0010525	20,88199452
38	380	380000	466	0,233	0,001165	21,44637275
39	390	390000	531	0,2655	0,0013275	22,01075098
40	400	400000	576	0,288	0,00144	22,57512921
41	410	410000	623	0,3115	0,0015575	23,13950744
42	420	420000	667	0,3335	0,0016675	23,70388567
43	430	430000	712	0,356	0,00178	24,2682639
44	440	440000	777	0,3885	0,0019425	24,83264213
45	450	450000	803	0,4015	0,0020075	25,39702036
46	460	460000	854	0,427	0,002135	25,96139859
47	470	470000	943	0,4715	0,0023575	26,52577682
48	480	480000	1032	0,516	0,00258	27,09015505
49	490	490000	1133	0,5665	0,0028325	27,65453328
50	500	500000	1212	0,606	0,00303	28,21891151
51	510	510000	1275	0,6375	0,0031875	28,78328974
52	520	520000	1365	0,6825	0,0034125	29,34766797
53	530	530000	1464	0,732	0,00366	29,9120462
54	540	540000	1553	0,7765	0,0038825	30,47642443
55	550	550000	1632	0,816	0,00408	31,04080266
56	540	540000	1684	0,842	0,00421	30,47642443
57	530	530000	1742	0,871	0,004355	29,9120462



Lampiran12 Beton Silinder 3 Abu Batu 10% Visco 0%

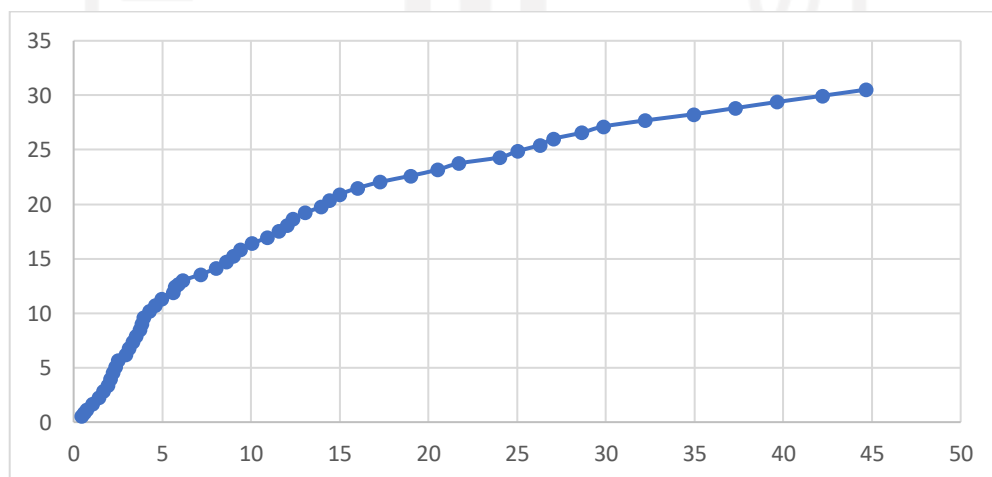
Silinder 1**AB 20% V 0%**

f _c rencana	31,65	Mpa	
Diameter	15,01	mm	2341,163361
Tinggi	30,06	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	15	0,0075	0,0000375	0,565130484
1'	15	15000	20	0,01	0,00005	0,847695725
2	20	20000	25	0,0125	0,0000625	1,130260967
3	30	30000	35	0,0175	0,0000875	1,695391451
4	40	40000	47	0,0235	0,0001175	2,260521934
5	50	50000	56	0,028	0,00014	2,825652418
6	60	60000	64	0,032	0,00016	3,390782902
7	70	70000	69	0,0345	0,0001725	3,955913385
8	80	80000	74	0,037	0,000185	4,521043869
9	90	90000	79	0,0395	0,0001975	5,086174353
10	100	100000	84	0,042	0,00021	5,651304836
11	110	110000	98	0,049	0,000245	6,21643532
12	120	120000	104	0,052	0,00026	6,781565803
13	130	130000	111	0,0555	0,0002775	7,346696287
14	140	140000	117	0,0585	0,0002925	7,911826771
15	150	150000	124	0,062	0,00031	8,476957254
16	160	160000	128	0,064	0,00032	9,042087738
17	170	170000	132	0,066	0,00033	9,607218222
18	180	180000	142	0,071	0,000355	10,17234871
19	190	190000	153	0,0765	0,0003825	10,73747919
20	200	200000	165	0,0825	0,0004125	11,30260967
21	210	210000	187	0,0935	0,0004675	11,86774016
22	220	220000	190	0,095	0,000475	12,43287064
					0,000490	12,65892283
28	230	230000	205	0,1025	0,0005125	12,99800112
29	240	240000	239	0,1195	0,0005975	13,56313161
30	250	250000	267	0,1335	0,0006675	14,12826209
31	260	260000	287	0,1435	0,0007175	14,69339257
32	270	270000	300	0,15	0,00075	15,25852306
33	280	280000	313	0,1565	0,0007825	15,82365354
34	290	290000	335	0,1675	0,0008375	16,38878403
35	300	300000	364	0,182	0,00091	16,95391451
36	310	310000	385	0,1925	0,0009625	17,51904499
37	320	320000	401	0,2005	0,0010025	18,08417548
38	330	330000	412	0,206	0,00103	18,64930596
39	340	340000	435	0,2175	0,0010875	19,21443644

40	350	350000	465	0,2325	0,0011625	19,77956693
41	360	360000	480	0,24	0,0012	20,34469741
42	370	370000	500	0,25	0,00125	20,90982789
43	380	380000	533	0,2665	0,0013325	21,47495838
44	390	390000	576	0,288	0,00144	22,04008886
45	400	400000	633	0,3165	0,0015825	22,60521934
46	410	410000	684	0,342	0,00171	23,17034983
47	420	420000	723	0,3615	0,0018075	23,73548031
48	430	430000	800	0,4	0,002	24,3006108
49	440	440000	834	0,417	0,002085	24,86574128
50	450	450000	876	0,438	0,00219	25,43087176
51	460	460000	901	0,4505	0,0022525	25,99600225
52	470	470000	954	0,477	0,002385	26,56113273
53	480	480000	995	0,4975	0,0024875	27,12626321
54	490	490000	1074	0,537	0,002685	27,6913937
55	500	500000	1165	0,5825	0,0029125	28,25652418
56	510	510000	1243	0,6215	0,0031075	28,82165466
57	520	520000	1322	0,661	0,003305	29,38678515
58	530	530000	1407	0,70335	0,00351675	29,95191563
59	540	540000	1489	0,7445	0,0037225	30,51704612
60	550	550000	1571	0,78565	0,00392825	31,0821766
61	560	560000	1654	0,8268	0,004134	31,64730708
62	550	550000	1736	0,86795	0,00433975	31,0821766
63	540	540000	1818	0,9091	0,0045455	30,51704612



Lampiran 13 Beton Silinder 1 Abu Batu 20% Visco 0%

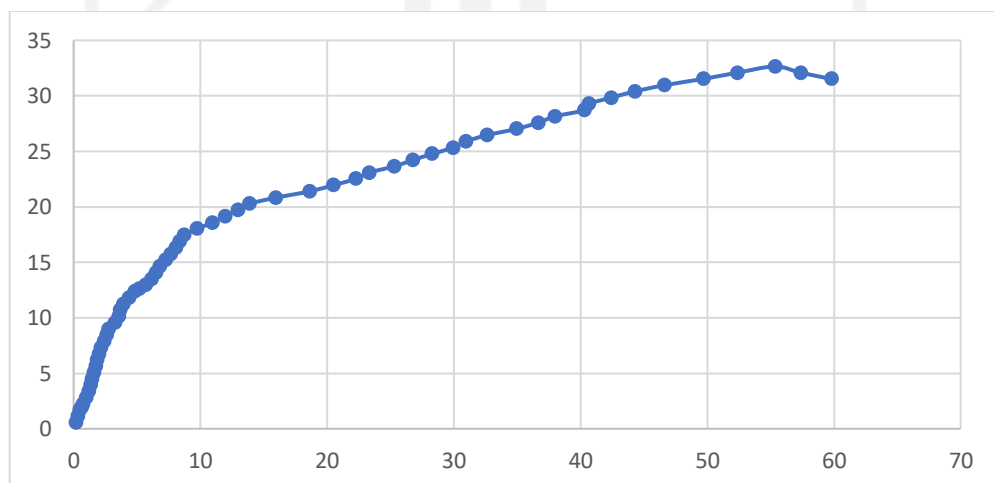
Silinder 2**AB 20% V 0%**

f _c rencana	32,65	Mpa	
Diameter	15,04	mm	2409,982
Tinggi	30,20	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	6	0,003	0,000015	0,562878222
2	20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,125756444
3	30	30000	16	0,008	0,00004	1,688634667
	35	35000	20	0,01	0,00005	1,970073778
4	40	40000	24	0,012	0,00006	2,251512889
5	50	50000	32	0,016	0,00008	2,814391111
6	60	60000	39	0,0195	0,0000975	3,377269333
7	70	70000	44	0,022	0,00011	3,940147556
8	80	80000	48	0,024	0,00012	4,503025778
9	90	90000	53	0,0265	0,0001325	5,065904
10	100	100000	58	0,029	0,000145	5,628782222
11	110	110000	61	0,0305	0,0001525	6,191660445
12	120	120000	67	0,0335	0,0001675	6,754538667
13	130	130000	72	0,036	0,00018	7,317416889
14	140	140000	80	0,04	0,0002	7,880295111
15	150	150000	87	0,0435	0,0002175	8,443173333
16	160	160000	91	0,0455	0,0002275	9,006051556
17	170	170000	108	0,054	0,00027	9,568929778
18	180	180000	119	0,0595	0,0002975	10,131808
19	190	190000	122	0,061	0,000305	10,69468622
20	200	200000	130	0,065	0,000325	11,25756444
21	210	210000	145	0,0725	0,0003625	11,82044267
22	220	220000	160	0,08	0,0004	12,38332089
					0,00043	12,60847218
23	230	230000	190	0,095	0,000475	12,94619911
24	240	240000	204	0,102	0,00051	13,50907733
25	250	250000	217	0,1085	0,0005425	14,07195556
26	260	260000	226	0,113	0,000565	14,63483378
27	270	270000	241	0,1205	0,0006025	15,197712
28	280	280000	255	0,1275	0,0006375	15,76059022
29	290	290000	268	0,134	0,00067	16,32346844
30	300	300000	278	0,139	0,000695	16,88634667
31	310	310000	291	0,1455	0,0007275	17,44922489
32	320	320000	324	0,162	0,00081	18,01210311
33	330	330000	365	0,1825	0,0009125	18,57498133
34	340	340000	398	0,199	0,000995	19,13785956
35	350	350000	432	0,216	0,00108	19,70073778

36	360	360000	462	0,231	0,001155	20,263616
37	370	370000	532	0,266	0,00133	20,82649422
38	380	380000	621	0,3105	0,0015525	21,38937244
39	390	390000	683	0,3415	0,0017075	21,95225067
40	400	400000	742	0,371	0,001855	22,51512889
41	410	410000	777	0,3885	0,0019425	23,07800711
42	420	420000	843	0,4215	0,0021075	23,64088533
43	430	430000	891	0,4455	0,0022275	24,20376356
44	440	440000	943	0,4715	0,0023575	24,76664178
45	450	450000	998	0,499	0,002495	25,32952
46	460	460000	1032	0,516	0,00258	25,89239822
47	470	470000	1087	0,5435	0,0027175	26,45527644
48	480	480000	1165	0,5825	0,0029125	27,01815467
49	490	490000	1222	0,611	0,003055	27,58103289
50	500	500000	1266	0,633	0,003165	28,14391111
51	510	510000	1343	0,6715	0,0033575	28,70678933
52	520	520000	1354	0,677	0,003385	29,26966756
53	530	530000	1414	0,707	0,003535	29,83254578
54	540	540000	1476	0,738	0,00369	30,395424
55	550	550000	1554	0,777	0,003885	30,95830222
56	560	560000	1656	0,828	0,00414	31,52118044
57	570	570000	1746	0,873	0,004365	32,08405867
58	580	580000	1845	0,9225	0,0046125	32,64693689
59	570	570000	1913	0,9565	0,0047825	32,08405867
60	560	560000	1993	0,9965	0,0049825	31,52118044



Lampiran 13 Beton Silinder 2 Abu Batu 20% Visco 0%

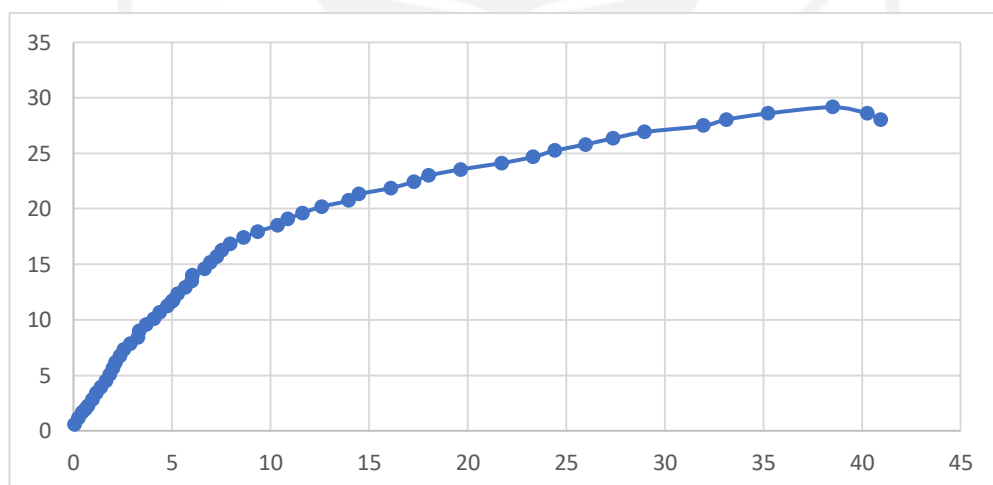
Silinder 3**AB 20% V 0%**

f'c rencana	29,15	Mpa	
Diameter	15,07	mm	2352,346
Tinggi	30,17	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	1	0,0005	0,0000025	0,560639398
2	20	20000	8	0,004	0,00002	1,121278796
3	30	30000	14	0,007	0,000035	1,681918195
3'	35	35000	20	0,01	0,00005	1,962237894
4	40	40000	24	0,012	0,00006	2,242557593
5	50	50000	32	0,016	0,00008	2,803196991
6	60	60000	38	0,019	0,000095	3,363836389
7	70	70000	46	0,023	0,000115	3,924475788
8	80	80000	54	0,027	0,000135	4,485115186
9	90	90000	61	0,0305	0,0001525	5,045754584
10	100	100000	66	0,033	0,000165	5,606393982
11	110	110000	70	0,035	0,000175	6,167033381
12	120	120000	78	0,039	0,000195	6,727672779
13	130	130000	85	0,0425	0,0002125	7,288312177
14	140	140000	95	0,0475	0,0002375	7,848951575
15	150	150000	108	0,054	0,00027	8,409590974
16	160	160000	111	0,0555	0,0002775	8,970230372
17	170	170000	122	0,061	0,000305	9,53086977
18	180	180000	135	0,0675	0,0003375	10,09150917
19	190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,65214857
20	200	200000	158	0,079	0,000395	11,21278796
					0,000415	11,66129948
21	210	210000	168	0,084	0,00042	11,77342736
22	220	220000	176	0,088	0,00044	12,33406676
23	230	230000	189	0,0945	0,0004725	12,89470616
24	240	240000	199	0,0995	0,0004975	13,45534556
25	250	250000	200	0,1	0,0005	14,01598496
26	260	260000	221	0,1105	0,0005525	14,57662435
27	270	270000	231	0,1155	0,0005775	15,13726375
28	280	280000	242	0,121	0,000605	15,69790315
29	290	290000	250	0,125	0,000625	16,25854255
30	300	300000	264	0,132	0,00066	16,81918195
31	310	310000	287	0,1435	0,0007175	17,37982135
32	320	320000	311	0,1555	0,0007775	17,94046074
33	330	330000	344	0,172	0,00086	18,50110014
34	340	340000	362	0,181	0,000905	19,06173954
35	350	350000	387	0,1935	0,0009675	19,62237894

36	360	360000	419	0,2095	0,0010475	20,18301834
37	370	370000	465	0,2325	0,0011625	20,74365773
38	380	380000	482	0,241	0,001205	21,30429713
39	390	390000	536	0,268	0,00134	21,86493653
40	400	400000	575	0,2875	0,0014375	22,42557593
41	410	410000	600	0,3	0,0015	22,98621533
42	420	420000	654	0,327	0,001635	23,54685473
43	430	430000	723	0,3615	0,0018075	24,10749412
44	440	440000	777	0,3885	0,0019425	24,66813352
45	450	450000	813	0,4065	0,0020325	25,22877292
46	460	460000	865	0,4325	0,0021625	25,78941232
47	470	470000	912	0,456	0,00228	26,35005172
48	480	480000	965	0,4825	0,0024125	26,91069112
49	490	490000	1065	0,5325	0,0026625	27,47133051
50	500	500000	1103	0,5515	0,0027575	28,03196991
51	510	510000	1174	0,587	0,002935	28,59260931
52	520	520000	1283	0,6415	0,0032075	29,15324871
53	510	510000	1342	0,671	0,003355	28,59260931
54	500	500000	1364	0,682	0,00341	28,03196991



Lampiran 14 Beton Silinder 3 Abu Batu 20% Visco 0%

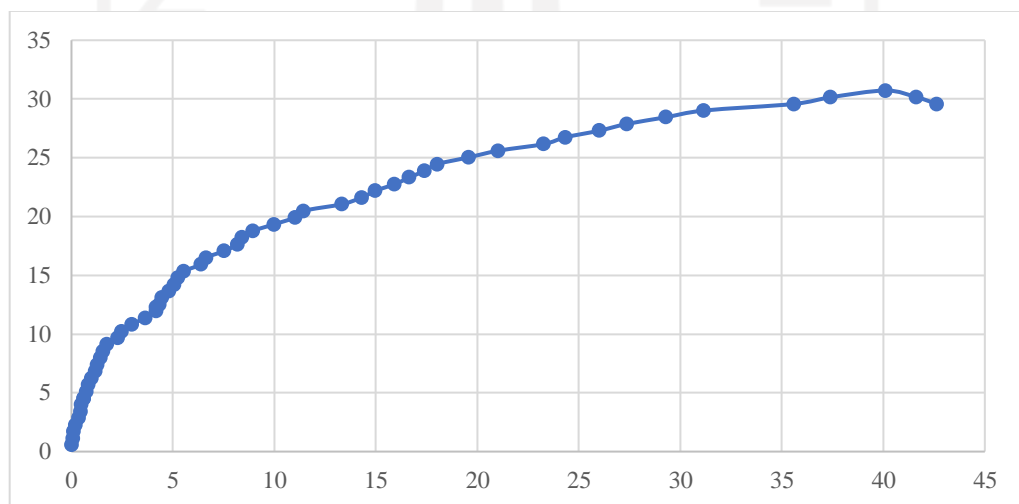
Silinder 1**AB 30% V 0%**

f _c rencana	30,72	Mpa	
Diameter	14,96	mm	2388,0599
Tinggi	30,33	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	0	0	0	0,568914407
2	20	20000	3	0,0015	0,0000075	1,137828813
3	30	30000	4	0,002	0,00001	1,70674322
4	40	40000	7	0,0035	0,0000175	2,275657627
5	50	50000	12	0,006	0,00003	2,844572033
6	60	60000	15	0,0075	0,0000375	3,41348644
7	70	70000	16	0,008	0,00004	3,982400847
	79	79000	20	0,01	0,00005	4,494423813
8	80	80000	21	0,0105	0,0000525	4,551315253
9	90	90000	25	0,0125	0,0000625	5,12022966
10	100	100000	28	0,014	0,00007	5,689144067
11	110	110000	33	0,0165	0,0000825	6,258058473
12	120	120000	39	0,0195	0,0000975	6,82697288
13	130	130000	43	0,0215	0,0001075	7,395887287
14	140	140000	48	0,024	0,00012	7,964801693
15	150	150000	52	0,026	0,00013	8,5337161
16	160	160000	58	0,029	0,000145	9,102630507
17	170	170000	76	0,038	0,00019	9,671544913
18	180	180000	83	0,0415	0,0002075	10,24045932
19	190	190000	99	0,0495	0,0002475	10,80937373
20	200	200000	121	0,0605	0,0003025	11,37828813
21	210	210000	139	0,0695	0,0003475	11,94720254
					0,000348	12,28855118
22	220	220000	145	0,0725	0,0003625	12,51611695
23	230	230000	149	0,0745	0,0003725	13,08503135
24	240	240000	160	0,08	0,0004	13,65394576
25	250	250000	169	0,0845	0,0004225	14,22286017
26	260	260000	175	0,0875	0,0004375	14,79177457
27	270	270000	185	0,0925	0,0004625	15,36068898
28	280	280000	213	0,1065	0,0005325	15,92960339
29	290	290000	221	0,1105	0,0005525	16,49851779
30	300	300000	251	0,1255	0,0006275	17,0674322
31	310	310000	273	0,1365	0,0006825	17,63634661
32	320	320000	280	0,14	0,0007	18,20526101
33	330	330000	298	0,149	0,000745	18,77417542

34	340	340000	333	0,1665	0,0008325	19,34308983
35	350	350000	367	0,1835	0,0009175	19,91200423
36	360	360000	381	0,1905	0,0009525	20,48091864
37	370	370000	444	0,222	0,00111	21,04983305
38	380	380000	477	0,2385	0,0011925	21,61874745
39	390	390000	499	0,2495	0,0012475	22,18766186
40	400	400000	531	0,2655	0,0013275	22,75657627
41	410	410000	555	0,2775	0,0013875	23,32549067
42	420	420000	580	0,29	0,00145	23,89440508
43	430	430000	601	0,3005	0,0015025	24,46331949
44	440	440000	652	0,326	0,00163	25,03223389
45	450	450000	701	0,3505	0,0017525	25,6011483
46	460	460000	776	0,388	0,00194	26,17006271
47	470	470000	811	0,4055	0,0020275	26,73897711
48	480	480000	867	0,4335	0,0021675	27,30789152
49	490	490000	912	0,456	0,00228	27,87680593
50	500	500000	976	0,488	0,00244	28,44572033
51	510	510000	1038	0,519	0,002595	29,01463474
52	520	520000	1187	0,5935	0,0029675	29,58354915
53	530	530000	1247	0,6235	0,0031175	30,15246355
54	540	540000	1337	0,6685	0,0033425	30,72137796
55	530	530000	1388	0,694	0,00347	30,15246355
56	520	520000	1421	0,7105	0,0035525	29,58354915



Lampiran 15 Beton Silinder 1 Abu Batu 30% Visco 0%

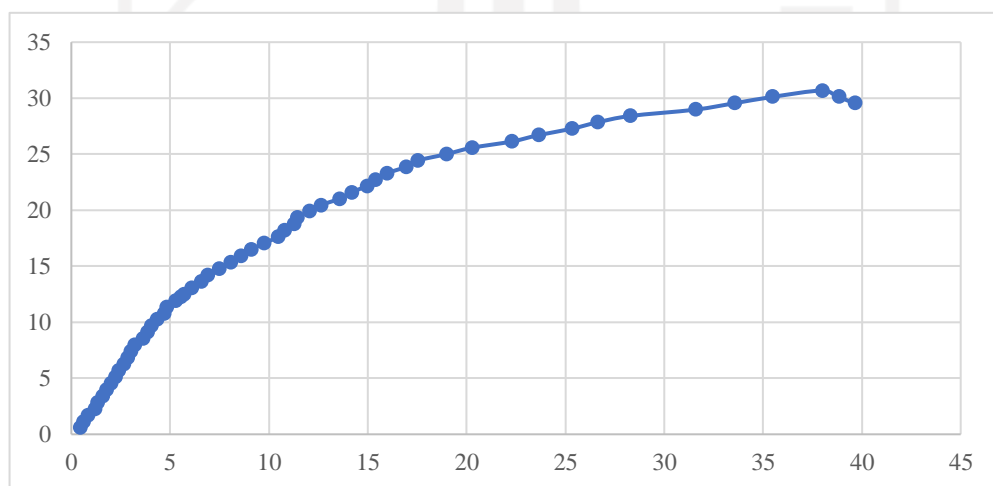
Silinder 2**AB 30% V 0%**

f _c rencana	30,68	Mpa	
Diameter	14,97	mm	2421,7798
Tinggi	30,51	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	15	0,0075	0,0000375	0,568154588
2	20	20000	20	0,01	0,00005	1,136309176
3	30	30000	28	0,014	0,00007	1,704463764
4	40	40000	39	0,0195	0,0000975	2,272618351
5	50	50000	44	0,022	0,00011	2,840772939
6	60	60000	52	0,026	0,00013	3,408927527
7	70	70000	59	0,0295	0,0001475	3,977082115
8	80	80000	66	0,033	0,000165	4,545236703
9	90	90000	74	0,037	0,000185	5,113391291
10	100	100000	79	0,0395	0,0001975	5,681545878
11	110	110000	88	0,044	0,00022	6,249700466
12	120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,817855054
13	130	130000	100	0,05	0,00025	7,386009642
14	140	140000	106	0,053	0,000265	7,95416423
15	150	150000	120	0,06	0,0003	8,522318818
16	160	160000	128	0,064	0,00032	9,090473405
17	170	170000	135	0,0675	0,0003375	9,658627993
18	180	180000	144	0,072	0,00036	10,22678258
19	190	190000	156	0,078	0,00039	10,79493717
20	200	200000	160	0,08	0,0004	11,36309176
21	210	210000	176	0,088	0,00044	11,93124634
					0,000461	12,2721391
22	220	220000	190	0,095	0,000475	12,49940093
23	230	230000	202	0,101	0,000505	13,06755552
24	240	240000	219	0,1095	0,0005475	13,63571011
25	250	250000	230	0,115	0,000575	14,2038647
26	260	260000	249	0,1245	0,0006225	14,77201928
27	270	270000	268	0,134	0,00067	15,34017387
28	280	280000	286	0,143	0,000715	15,90832846
29	290	290000	303	0,1515	0,0007575	16,47648305
30	300	300000	325	0,1625	0,0008125	17,04463764
31	310	310000	348	0,174	0,00087	17,61279222
32	320	320000	359	0,1795	0,0008975	18,18094681
33	330	330000	375	0,1875	0,0009375	18,7491014

34	340	340000	381	0,1905	0,0009525	19,31725599
35	350	350000	401	0,2005	0,0010025	19,88541057
36	360	360000	421	0,2105	0,0010525	20,45356516
37	370	370000	452	0,226	0,00113	21,02171975
38	380	380000	472	0,236	0,00118	21,58987434
39	390	390000	498	0,249	0,001245	22,15802893
40	400	400000	512	0,256	0,00128	22,72618351
41	410	410000	532	0,266	0,00133	23,2943381
42	420	420000	564	0,282	0,00141	23,86249269
43	430	430000	584	0,292	0,00146	24,43064728
44	440	440000	632	0,316	0,00158	24,99880186
45	450	450000	675	0,3375	0,0016875	25,56695645
46	460	460000	743	0,3715	0,0018575	26,13511104
47	470	470000	788	0,394	0,00197	26,70326563
48	480	480000	844	0,422	0,00211	27,27142022
49	490	490000	887	0,4435	0,0022175	27,8395748
50	500	500000	942	0,471	0,002355	28,40772939
51	510	510000	1052	0,526	0,00263	28,97588398
52	520	520000	1118	0,559	0,002795	29,54403857
53	530	530000	1182	0,591	0,002955	30,11219316
54	540	540000	1266	0,633	0,003165	30,68034774
55	530	530000	1294	0,647	0,003235	30,11219316
56	520	520000	1321	0,6605	0,0033025	29,54403857



Lampiran 16 Beton Silinder 2 Abu Batu 30% Visco 0%

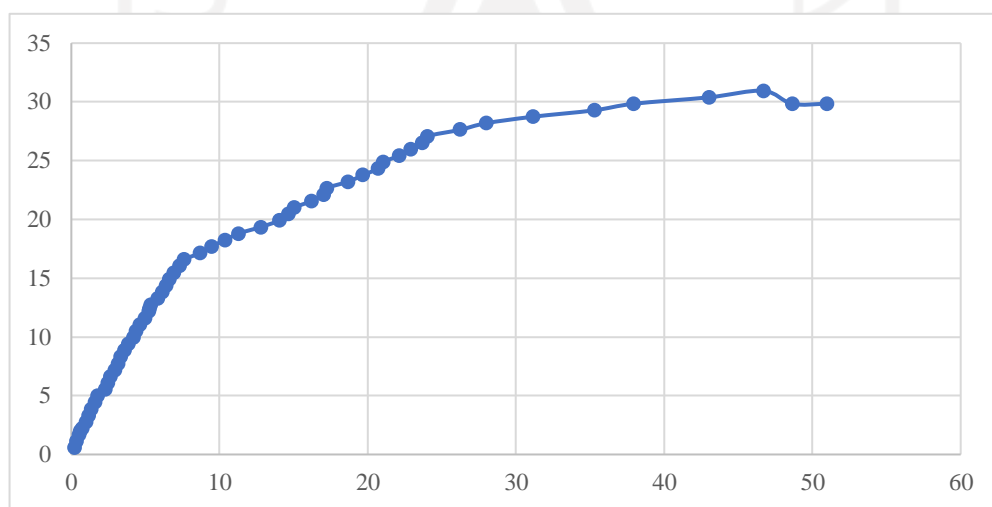
Silinder 3**AB 30% V 0%**

f _c rencana	30,94	Mpa	
Diameter	15,18	mm	2337,6705
Tinggi	30,25	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	6	0,003	0,000015	0,552543629
2	20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,105087257
3	30	30000	17	0,0085	0,0000425	1,657630886
4	36	36000	20	0,01	0,00005	1,989157063
4	40	40000	24	0,012	0,00006	2,210174515
5	50	50000	32	0,016	0,00008	2,762718144
6	60	60000	38	0,019	0,000095	3,315261772
7	70	70000	44	0,022	0,00011	3,867805401
8	80	80000	52	0,026	0,00013	4,42034903
9	90	90000	58	0,029	0,000145	4,972892659
10	100	100000	76	0,038	0,00019	5,525436287
11	110	110000	82	0,041	0,000205	6,077979916
12	120	120000	87	0,0435	0,0002175	6,630523545
13	130	130000	97	0,0485	0,0002425	7,183067174
14	140	140000	104	0,052	0,00026	7,735610802
15	150	150000	110	0,055	0,000275	8,288154431
16	160	160000	119	0,0595	0,0002975	8,84069806
17	170	170000	127	0,0635	0,0003175	9,393241688
18	180	180000	139	0,0695	0,0003475	9,945785317
19	190	190000	145	0,0725	0,0003625	10,49832895
20	200	200000	154	0,077	0,000385	11,05087257
21	210	210000	165	0,0825	0,0004125	11,6034162
22	220	220000	173	0,0865	0,0004325	12,15595983
					0,0004375	12,37697728
23	230	230000	178	0,089	0,000445	12,70850346
24	240	240000	194	0,097	0,000485	13,26104709
25	250	250000	204	0,102	0,00051	13,81359072
26	260	260000	212	0,106	0,00053	14,36613435
27	270	270000	219	0,1095	0,0005475	14,91867798
28	280	280000	230	0,115	0,000575	15,4712216
29	290	290000	243	0,1215	0,0006075	16,02376523
30	300	300000	253	0,1265	0,0006325	16,57630886
31	310	310000	289	0,1445	0,0007225	17,12885249
32	320	320000	314	0,157	0,000785	17,68139612
33	330	330000	345	0,1725	0,0008625	18,23393975

34	340	340000	375	0,1875	0,0009375	18,78648338
35	350	350000	425	0,2125	0,0010625	19,33902701
36	360	360000	467	0,2335	0,0011675	19,89157063
37	370	370000	488	0,244	0,00122	20,44411426
38	380	380000	501	0,2505	0,0012525	20,99665789
39	390	390000	539	0,2695	0,0013475	21,54920152
40	400	400000	566	0,283	0,001415	22,10174515
41	410	410000	574	0,287	0,001435	22,65428878
42	420	420000	622	0,311	0,001555	23,20683241
43	430	430000	655	0,3275	0,0016375	23,75937604
44	440	440000	689	0,3445	0,0017225	24,31191966
45	450	450000	700	0,35	0,00175	24,86446329
46	460	460000	737	0,3685	0,0018425	25,41700692
47	470	470000	763	0,3815	0,0019075	25,96955055
48	480	480000	788	0,394	0,00197	26,52209418
49	490	490000	800	0,4	0,002	27,07463781
50	500	500000	874	0,437	0,002185	27,62718144
51	510	510000	932	0,466	0,00233	28,17972507
52	520	520000	1037	0,5185	0,0025925	28,73226869
53	530	530000	1176	0,588	0,00294	29,28481232
54	540	540000	1264	0,632	0,00316	29,83735595
55	550	550000	1434	0,717	0,003585	30,38989958
56	560	560000	1556	0,778	0,00389	30,94244321
57	540	540000	1621	0,8105	0,0040525	29,83735595
58	540	540000	1699	0,8495	0,0042475	29,83735595



Lampiran 17 Beton Silinder 3 Abu Batu 30 % Visco 0%

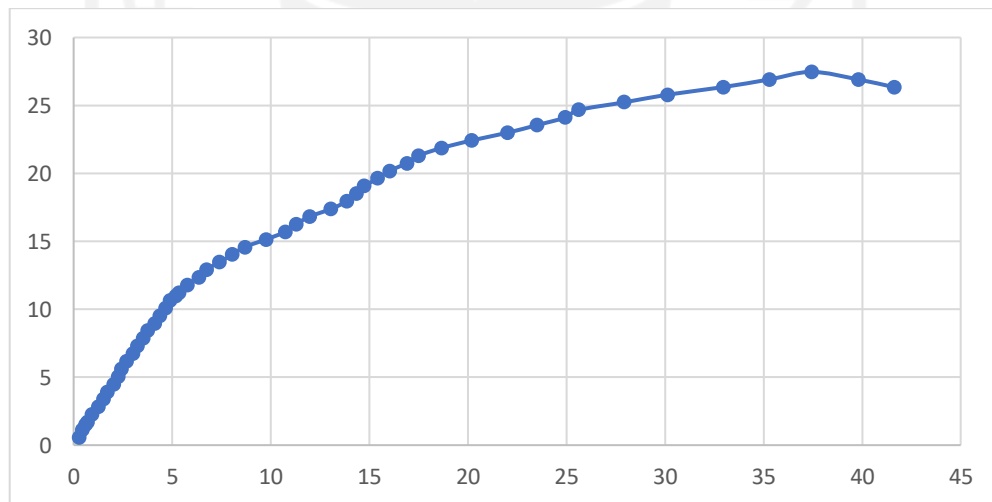
Silinder 2**AB 0% V 0,4%**

f _c rencana	27,47	Mpa	
Diameter	15,07	mm	2360,099
Tinggi	30,24	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,560639398
2	20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,121278796
2'	27	27000	20	0,01	0,00005	1,513726375
3	30	30000	23	0,0115	0,0000575	1,681918195
4	40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,242557593
5	50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,803196991
6	60	60000	50	0,025	0,000125	3,363836389
7	70	70000	57	0,0285	0,0001425	3,924475788
8	80	80000	67	0,0335	0,0001675	4,485115186
9	90	90000	75	0,0375	0,0001875	5,045754584
10	100	100000	80	0,04	0,0002	5,606393982
11	110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,167033381
12	120	120000	100	0,05	0,00025	6,727672779
13	130	130000	108	0,054	0,00027	7,288312177
14	140	140000	117	0,0585	0,0002925	7,848951575
15	150	150000	125	0,0625	0,0003125	8,409590974
16	160	160000	137	0,0685	0,0003425	8,970230372
17	170	170000	145	0,0725	0,0003625	9,53086977
18	180	180000	155	0,0775	0,0003875	10,09150917
19	190	190000	163	0,0815	0,0004075	10,65214857
20	200	200000	178	0,089	0,000445	11,21278796
				0	0,000431	10,98853221
21	210	210000	192	0,096	0,00048	11,77342736
22	220	220000	211	0,1055	0,0005275	12,33406676
23	230	230000	224	0,112	0,00056	12,89470616
24	240	240000	246	0,123	0,000615	13,45534556
25	250	250000	268	0,134	0,00067	14,01598496
26	260	260000	289	0,1445	0,0007225	14,57662435
27	270	270000	325	0,1625	0,0008125	15,13726375
28	280	280000	358	0,179	0,000895	15,69790315
29	290	290000	376	0,188	0,00094	16,25854255
30	300	300000	399	0,1995	0,0009975	16,81918195
31	310	310000	435	0,2175	0,0010875	17,37982135
32	320	320000	462	0,231	0,001155	17,94046074
33	330	330000	478	0,239	0,001195	18,50110014

34	340	340000	491	0,2455	0,0012275	19,06173954
35	350	350000	514	0,257	0,001285	19,62237894
36	360	360000	534	0,267	0,001335	20,18301834
37	370	370000	563	0,2815	0,0014075	20,74365773
38	380	380000	583	0,2915	0,0014575	21,30429713
39	390	390000	622	0,311	0,001555	21,86493653
40	400	400000	673	0,3365	0,0016825	22,42557593
41	410	410000	733	0,3665	0,0018325	22,98621533
42	420	420000	783	0,3915	0,0019575	23,54685473
43	430	430000	831	0,4155	0,0020775	24,10749412
44	440	440000	854	0,427	0,002135	24,66813352
45	450	450000	931	0,4655	0,0023275	25,22877292
46	460	460000	1004	0,502	0,00251	25,78941232
47	470	470000	1098	0,549	0,002745	26,35005172
48	480	480000	1176	0,588	0,00294	26,91069112
49	490	490000	1248	0,624	0,00312	27,47133051
50	480	480000	1327	0,6635	0,0033175	26,91069112
51	470	470000	1387	0,6935	0,0034675	26,35005172



Lampiran 19 Beton Silinder 2 Abu Batu 0% Visco 0,4%

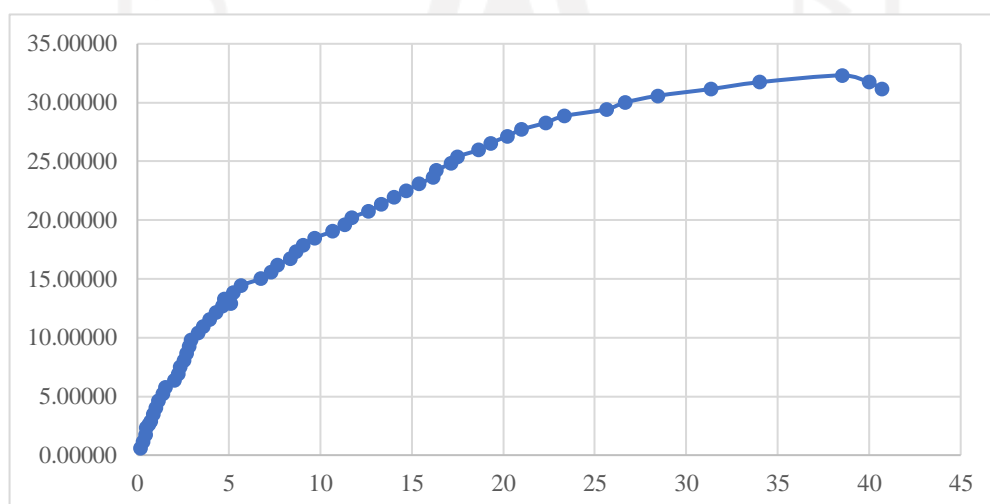
Silinder 3**AB 0% V 0.4%**

f _c rencana	32,31	Mpa	
Diameter	14,86	mm	2444,1684
Tinggi	30,24	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57691
2	20	20000	10	0,005	0,000025	1,15382
3	30	30000	14	0,007	0,000035	1,73072
4	40	40000	16	0,008	0,00004	2,30763
	45	45000	20	0,01	0,00005	2,59608
5	50	50000	24	0,012	0,00006	2,88454
6	60	60000	29	0,0145	0,0000725	3,46145
7	70	70000	33	0,0165	0,0000825	4,03835
8	80	80000	38	0,019	0,000095	4,61526
9	90	90000	46	0,023	0,000115	5,19217
10	100	100000	51	0,0255	0,0001275	5,76908
11	110	110000	67	0,0335	0,0001675	6,34598
12	120	120000	74	0,037	0,000185	6,92289
13	130	130000	78	0,039	0,000195	7,49980
14	140	140000	85	0,0425	0,0002125	8,07671
15	150	150000	89	0,0445	0,0002225	8,65362
16	160	160000	94	0,047	0,000235	9,23052
17	170	170000	97	0,0485	0,0002425	9,80743
18	180	180000	110	0,055	0,000275	10,38434
19	190	190000	120	0,06	0,0003	10,96125
20	200	200000	131	0,0655	0,0003275	11,53815
21	210	210000	143	0,0715	0,0003575	12,11506
22	220	220000	155	0,0775	0,0003875	12,69197
					0,000425	12,92273
23	230	230000	158	0,079	0,000395	13,26888
24	240	240000	174	0,087	0,000435	13,84578
25	250	250000	188	0,094	0,00047	14,42269
26	260	260000	224	0,112	0,00056	14,99960
27	270	270000	243	0,1215	0,0006075	15,57651
28	280	280000	255	0,1275	0,0006375	16,15342
29	290	290000	278	0,139	0,000695	16,73032
30	300	300000	289	0,1445	0,0007225	17,30723
31	310	310000	301	0,1505	0,0007525	17,88414
32	320	320000	322	0,161	0,000805	18,46105
33	330	330000	355	0,1775	0,0008875	19,03795

34	340	340000	377	0,1885	0,0009425	19,61486
35	350	350000	390	0,195	0,000975	20,19177
36	360	360000	421	0,2105	0,0010525	20,76868
37	370	370000	444	0,222	0,00111	21,34558
38	380	380000	467	0,2335	0,0011675	21,92249
39	390	390000	489	0,2445	0,0012225	22,49940
40	400	400000	513	0,2565	0,0012825	23,07631
41	410	410000	538	0,269	0,001345	23,65322
42	420	420000	544	0,272	0,00136	24,23012
43	430	430000	571	0,2855	0,0014275	24,80703
44	440	440000	583	0,2915	0,0014575	25,38394
45	450	450000	621	0,3105	0,0015525	25,96085
46	460	460000	643	0,3215	0,0016075	26,53775
47	470	470000	673	0,3365	0,0016825	27,11466
48	480	480000	699	0,3495	0,0017475	27,69157
49	490	490000	743	0,3715	0,0018575	28,26848
50	500	500000	777	0,3885	0,0019425	28,84539
51	510	510000	854	0,427	0,002135	29,42229
52	520	520000	888	0,444	0,00222	29,99920
53	530	530000	948	0,474	0,00237	30,57611
54	540	540000	1045	0,5225	0,0026125	31,15302
55	550	550000	1133	0,5665	0,0028325	31,72992
56	560	560000	1284	0,642	0,00321	32,30683
57	550	550000	1333	0,6665	0,0033325	31,72992
58	540	540000	1356	0,678	0,00339	31,15302



Lampiran 20 Beton Silinder 3 Abu Batu 0 % Visco 0,4%

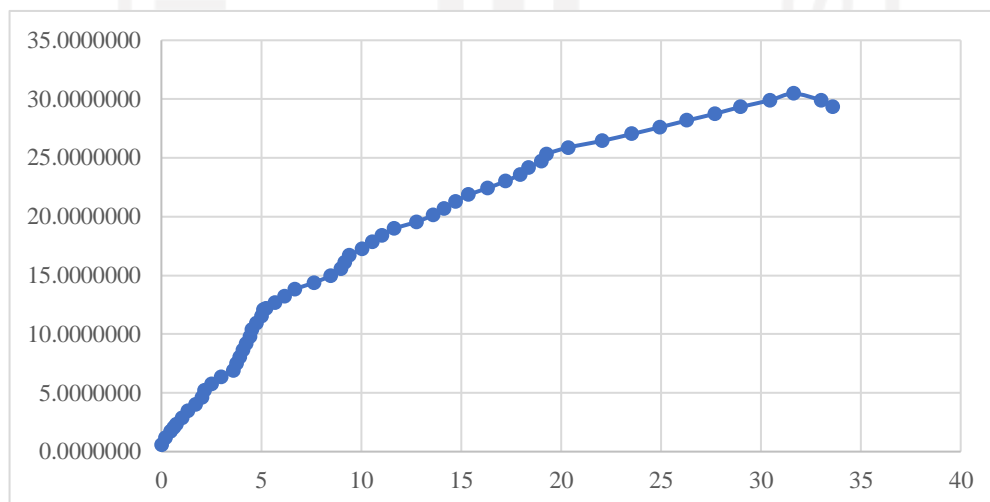
Silinder 1**AB 10% V 0,4%**

f _c rencana	30,47	Mpa	
Diameter	14,88	mm	2430,7608
Tinggi	30,25	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	0	0	0	0,5748164
2	20	20000	6	0,003	0,000015	1,1496328
3	30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,7244492
2	35	35000	20	0,01	0,00005	2,0118574
4	40	40000	24	0,012	0,00006	2,2992656
5	50	50000	34	0,017	0,000085	2,8740820
6	60	60000	44	0,022	0,00011	3,4488984
7	70	70000	56	0,028	0,00014	4,0237148
8	80	80000	67	0,0335	0,0001675	4,5985312
9	90	90000	71	0,0355	0,0001775	5,1733477
10	100	100000	83	0,0415	0,0002075	5,7481641
11	110	110000	99	0,0495	0,0002475	6,3229805
12	120	120000	119	0,0595	0,0002975	6,8977969
13	130	130000	125	0,0625	0,0003125	7,4726133
14	140	140000	130	0,065	0,000325	8,0474297
15	150	150000	136	0,068	0,00034	8,6222461
16	160	160000	141	0,0705	0,0003525	9,1970625
17	170	170000	147	0,0735	0,0003675	9,7718789
18	180	180000	150	0,075	0,000375	10,3466953
19	190	190000	158	0,079	0,000395	10,9215117
20	200	200000	166	0,083	0,000415	11,4963281
21	210	210000	170	0,085	0,000425	12,0711445
					0,0004345	12,1861078
22	220	220000	189	0,0945	0,0004725	12,6459609
23	230	230000	205	0,1025	0,0005125	13,2207773
24	240	240000	222	0,111	0,000555	13,7955937
25	250	250000	254	0,127	0,000635	14,3704102
26	260	260000	282	0,141	0,000705	14,9452266
27	270	270000	299	0,1495	0,0007475	15,5200430
28	280	280000	305	0,1525	0,0007625	16,0948594
29	290	290000	313	0,1565	0,0007825	16,6696758
30	300	300000	334	0,167	0,000835	17,2444922
31	310	310000	351	0,1755	0,0008775	17,8193086
32	320	320000	367	0,1835	0,0009175	18,3941250
33	330	330000	388	0,194	0,00097	18,9689414

34	340	340000	425	0,2125	0,0010625	19,5437578
35	350	350000	453	0,2265	0,0011325	20,1185742
36	360	360000	471	0,2355	0,0011775	20,6933906
37	370	370000	490	0,245	0,001225	21,2682070
38	380	380000	512	0,256	0,00128	21,8430234
39	390	390000	544	0,272	0,00136	22,4178398
40	400	400000	573	0,2865	0,0014325	22,9926562
41	410	410000	598	0,299	0,001495	23,5674727
42	420	420000	612	0,306	0,00153	24,1422891
43	430	430000	633	0,3165	0,0015825	24,7171055
44	440	440000	642	0,321	0,001605	25,2919219
45	450	450000	678	0,339	0,001695	25,8667383
46	460	460000	735	0,3675	0,0018375	26,4415547
47	470	470000	784	0,392	0,00196	27,0163711
48	480	480000	831	0,4155	0,0020775	27,5911875
49	490	490000	876	0,438	0,00219	28,1660039
50	500	500000	923	0,4615	0,0023075	28,7408203
51	510	510000	965	0,4825	0,0024125	29,3156367
52	520	520000	1015	0,5075	0,0025375	29,8904531
53	530	530000	1054	0,527	0,002635	30,4652695
54	520	520000	1100	0,55	0,00275	29,8904531
55	510	510000	1119	0,5595	0,0027975	29,3156367



Lampiran21 Beton Silinder 1 Abu Batu 10 % Visco 0,4%

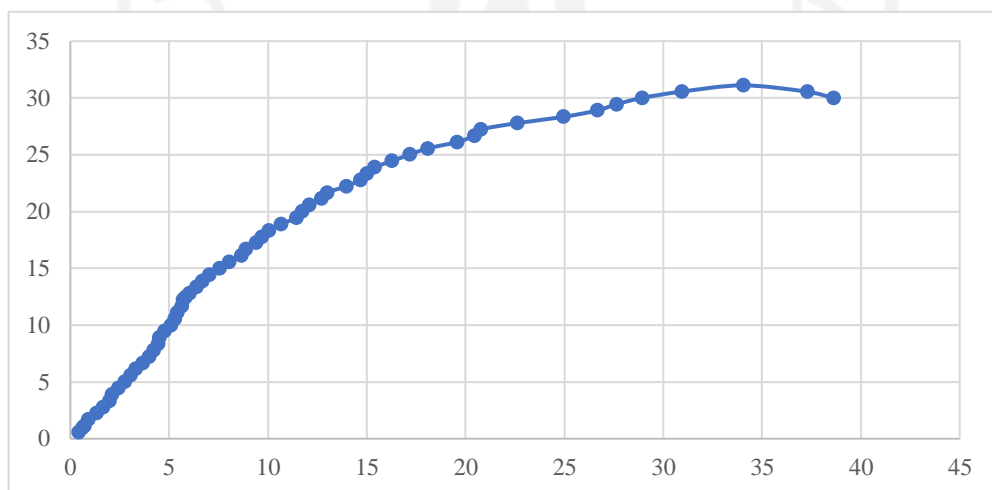
Silinder 2**AB 10% V 0,4%**

f _c rencana	31,11	Mpa	
Diameter	15,14	mm	2361,2871
Tinggi	30,20	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	14	0,007	0,000035	0,555467135
2	17	17000	20	0,01	0,00005	0,944294129
3	20	20000	23	0,0115	0,0000575	1,11093427
4	30	30000	30	0,015	0,000075	1,666401405
5	40	40000	44	0,022	0,00011	2,22186854
6	50	50000	55	0,0275	0,0001375	2,777335674
7	60	60000	65	0,0325	0,0001625	3,332802809
8	70	70000	70	0,035	0,000175	3,888269944
9	80	80000	80	0,04	0,0002	4,443737079
10	90	90000	91	0,0455	0,0002275	4,999204214
11	100	100000	101	0,0505	0,0002525	5,554671349
12	110	110000	110	0,055	0,000275	6,110138484
13	120	120000	122	0,061	0,000305	6,665605619
14	130	130000	132	0,066	0,00033	7,221072754
15	140	140000	140	0,07	0,00035	7,776539889
16	150	150000	147	0,0735	0,0003675	8,332007023
17	160	160000	150	0,075	0,000375	8,887474158
18	170	170000	158	0,079	0,000395	9,442941293
19	180	180000	169	0,0845	0,0004225	9,998408428
20	190	190000	175	0,0875	0,0004375	10,55387556
21	200	200000	180	0,09	0,00045	11,1093427
22	210	210000	187	0,0935	0,0004675	11,66480983
23	220	220000	190	0,095	0,000475	12,22027697
24	230	230000	200	0,1	0,0005	12,7757441
25	240	240000	212	0,106	0,00053	13,33121124
26	250	250000	222	0,111	0,000555	13,88667837
27	260	260000	234	0,117	0,000585	14,44214551
28	270	270000	251	0,1255	0,0006275	14,99761264
29	280	280000	267	0,1335	0,0006675	15,55307978
30	290	290000	288	0,144	0,00072	16,10854691
31	300	300000	295	0,1475	0,0007375	16,66401405
32	310	310000	313	0,1565	0,0007825	17,21948118
33	320	320000	322	0,161	0,000805	17,77494832
34	330	330000	334	0,167	0,000835	18,33041545

34	340	340000	355	0,1775	0,0008875	18,88588259
35	350	350000	381	0,1905	0,0009525	19,44134972
36	360	360000	390	0,195	0,000975	19,99681686
37	370	370000	402	0,201	0,001005	20,55228399
38	380	380000	423	0,2115	0,0010575	21,10775113
39	390	390000	433	0,2165	0,0010825	21,66321826
40	400	400000	465	0,2325	0,0011625	22,2186854
41	410	410000	489	0,2445	0,0012225	22,77415253
42	420	420000	499	0,2495	0,0012475	23,32961967
43	430	430000	513	0,2565	0,0012825	23,8850868
44	440	440000	542	0,271	0,001355	24,44055394
45	450	450000	572	0,286	0,00143	24,99602107
46	460	460000	602	0,301	0,001505	25,55148821
47	470	470000	652	0,326	0,00163	26,10695534
48	480	480000	681	0,3405	0,0017025	26,66242247
49	490	490000	692	0,346	0,00173	27,21788961
50	500	500000	753	0,3765	0,0018825	27,77335674
51	510	510000	831	0,4155	0,0020775	28,32882388
52	520	520000	888	0,444	0,00222	28,88429101
53	530	530000	921	0,4605	0,0023025	29,43975815
54	540	540000	964	0,482	0,00241	29,99522528
55	550	550000	1031	0,5155	0,0025775	30,55069242
56	560	560000	1134	0,567	0,002835	31,10615955
57	550	550000	1242	0,621	0,003105	30,55069242
58	540	540000	1287	0,6435	0,0032175	29,99522528



Lampiran22 Beton Silinder 2 Abu Batu 10 % Visco 0,4%

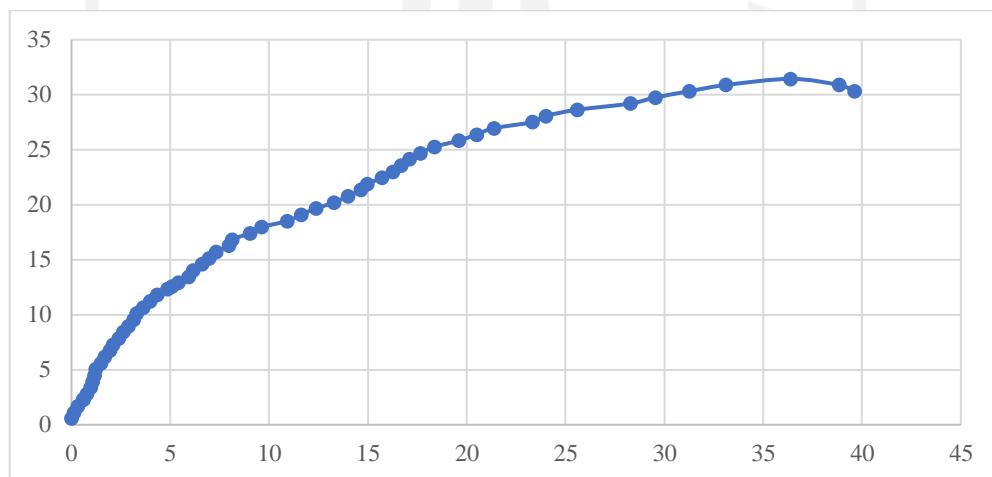
Silinder 3**AB 10% V 0,4%**

fc rencana	31,44	Mpa	
Diameter	15,06	mm	2353,2678
Tinggi	30,38	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	0	0	0	0,561384186
2	20	20000	4	0,002	0,00001	1,122768373
3	30	30000	11	0,0055	0,0000275	1,684152559
4	40	40000	19	0,0095	0,0000475	2,245536746
5	42	42000	20	0,01	0,00005	2,357813583
5	50	50000	26	0,013	0,000065	2,806920932
6	60	60000	32	0,016	0,00008	3,368305119
7	70	70000	35	0,0175	0,0000875	3,929689305
8	80	80000	39	0,0195	0,0000975	4,491073492
9	90	90000	41	0,0205	0,0001025	5,052457678
10	100	100000	49	0,0245	0,0001225	5,613841865
11	110	110000	56	0,028	0,00014	6,175226051
12	120	120000	64	0,032	0,00016	6,736610238
13	130	130000	70	0,035	0,000175	7,297994424
14	140	140000	80	0,04	0,0002	7,859378611
15	150	150000	87	0,0435	0,0002175	8,420762797
16	160	160000	96	0,048	0,00024	8,982146983
17	170	170000	105	0,0525	0,0002625	9,54353117
18	180	180000	110	0,055	0,000275	10,10491536
19	190	190000	121	0,0605	0,0003025	10,66629954
20	200	200000	133	0,0665	0,0003325	11,22768373
21	210	210000	144	0,072	0,00036	11,78906792
22	220	220000	162	0,081	0,000405	12,3504521
					0,000423	12,57500578
23	230	230000	180	0,09	0,00045	12,91183629
24	240	240000	197	0,0985	0,0004925	13,47322048
25	250	250000	205	0,1025	0,0005125	14,03460466
26	260	260000	220	0,11	0,00055	14,59598885
27	270	270000	232	0,116	0,00058	15,15737303
28	280	280000	244	0,122	0,00061	15,71875722
29	290	290000	265	0,1325	0,0006625	16,28014141
30	300	300000	271	0,1355	0,0006775	16,84152559
31	310	310000	301	0,1505	0,0007525	17,40290978
32	320	320000	321	0,1605	0,0008025	17,96429397
33	330	330000	364	0,182	0,00091	18,52567815

34	340	340000	387	0,1935	0,0009675	19,08706234
35	350	350000	412	0,206	0,00103	19,64844653
36	360	360000	443	0,2215	0,0011075	20,20983071
37	370	370000	466	0,233	0,001165	20,7712149
38	380	380000	488	0,244	0,00122	21,33259909
39	390	390000	499	0,2495	0,0012475	21,89398327
40	400	400000	524	0,262	0,00131	22,45536746
41	410	410000	542	0,271	0,001355	23,01675165
42	420	420000	556	0,278	0,00139	23,57813583
43	430	430000	570	0,285	0,001425	24,13952002
44	440	440000	588	0,294	0,00147	24,7009042
45	450	450000	612	0,306	0,00153	25,26228839
46	460	460000	653	0,3265	0,0016325	25,82367258
47	470	470000	683	0,3415	0,0017075	26,38505676
48	480	480000	712	0,356	0,00178	26,94644095
49	490	490000	777	0,3885	0,0019425	27,50782514
50	500	500000	800	0,4	0,002	28,06920932
51	510	510000	853	0,4265	0,0021325	28,63059351
52	520	520000	942	0,471	0,002355	29,1919777
53	530	530000	985	0,4925	0,0024625	29,75336188
54	540	540000	1042	0,521	0,002605	30,31474607
55	550	550000	1103	0,5515	0,0027575	30,87613026
56	560	560000	1213	0,6065	0,0030325	31,43751444
57	550	550000	1295	0,6475	0,0032375	30,87613026
58	540	540000	1321	0,6605	0,0033025	30,31474607



Lampiran 23 Beton Silinder 3 Abu Batu 10% Visco 0,4%

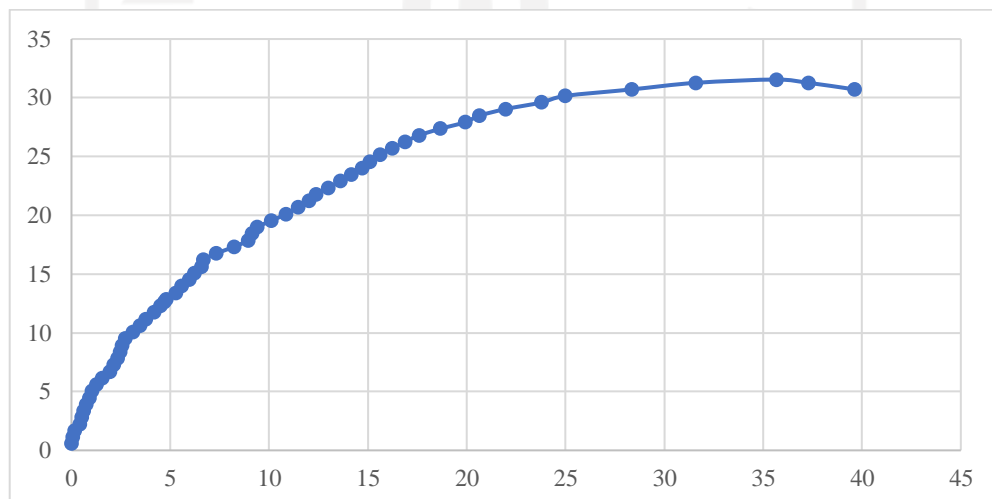
Silinder 2**AB 20% V 0,4%**

f _c rencana	31,55	Mpa	
Diameter	15,10	mm	2381,72073
Tinggi	30,37	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	0	0	0	0,558413905
2	20	20000	2	0,001	0,000005	1,11682781
3	30	30000	5	0,0025	0,0000125	1,675241715
4	40	40000	14	0,007	0,000035	2,23365562
5	50	50000	17	0,0085	0,0000425	2,792069525
6	60	60000	20	0,01	0,00005	3,35048343
7	70	70000	25	0,0125	0,0000625	3,908897335
8	80	80000	30	0,015	0,000075	4,46731124
9	90	90000	34	0,017	0,000085	5,025725145
10	100	100000	42	0,021	0,000105	5,58413905
11	110	110000	52	0,026	0,00013	6,142552955
12	120	120000	65	0,0325	0,0001625	6,70096686
13	130	130000	71	0,0355	0,0001775	7,259380765
14	140	140000	77	0,0385	0,0001925	7,81779467
15	150	150000	82	0,041	0,000205	8,376208575
16	160	160000	85	0,0425	0,0002125	8,93462248
17	170	170000	90	0,045	0,000225	9,493036385
18	180	180000	103	0,0515	0,0002575	10,05145029
19	190	190000	115	0,0575	0,0002875	10,60986419
20	200	200000	125	0,0625	0,0003125	11,1682781
21	210	210000	139	0,0695	0,0003475	11,726692
22	220	220000	150	0,075	0,000375	12,28510591
					0,00039	12,62015425
23	230	230000	160	0,08	0,0004	12,84351981
24	240	240000	176	0,088	0,00044	13,40193372
25	250	250000	185	0,0925	0,0004625	13,96034762
26	260	260000	198	0,099	0,000495	14,51876153
27	270	270000	207	0,1035	0,0005175	15,07717543
28	280	280000	219	0,1095	0,0005475	15,63558934
29	290	290000	222	0,111	0,000555	16,19400324
30	300	300000	244	0,122	0,00061	16,75241715
31	310	310000	274	0,137	0,000685	17,31083105
32	320	320000	298	0,149	0,000745	17,86924496
33	330	330000	304	0,152	0,00076	18,42765886
34	340	340000	313	0,1565	0,0007825	18,98607277

35	350	350000	337	0,1685	0,0008425	19,54448667
36	360	360000	362	0,181	0,000905	20,10290058
37	370	370000	382	0,191	0,000955	20,66131448
38	380	380000	400	0,2	0,001	21,21972839
39	390	390000	412	0,206	0,00103	21,77814229
40	400	400000	433	0,2165	0,0010825	22,3365562
41	410	410000	453	0,2265	0,0011325	22,8949701
42	420	420000	472	0,236	0,00118	23,45338401
43	430	430000	490	0,245	0,001225	24,01179791
44	440	440000	503	0,2515	0,0012575	24,57021182
45	450	450000	520	0,26	0,0013	25,12862572
46	460	460000	541	0,2705	0,0013525	25,68703963
47	470	470000	562	0,281	0,001405	26,24545353
48	480	480000	586	0,293	0,001465	26,80386744
49	490	490000	622	0,311	0,001555	27,36228134
50	500	500000	664	0,332	0,00166	27,92069525
51	510	510000	688	0,344	0,00172	28,47910915
52	520	520000	732	0,366	0,00183	29,03752306
53	530	530000	792	0,396	0,00198	29,59593696
54	540	540000	832	0,416	0,00208	30,15435087
55	550	550000	945	0,4725	0,0023625	30,71276477
56	560	560000	1053	0,5265	0,0026325	31,27117868
57	565	565000	1189	0,5945	0,0029725	31,55038563
58	560	560000	1243	0,6215	0,0031075	31,27117868
59	550	550000	1321	0,6605	0,0033025	30,71276477



Lampiran 24 Beton Silinder 2 Abu Batu 20% Visco 0,4%

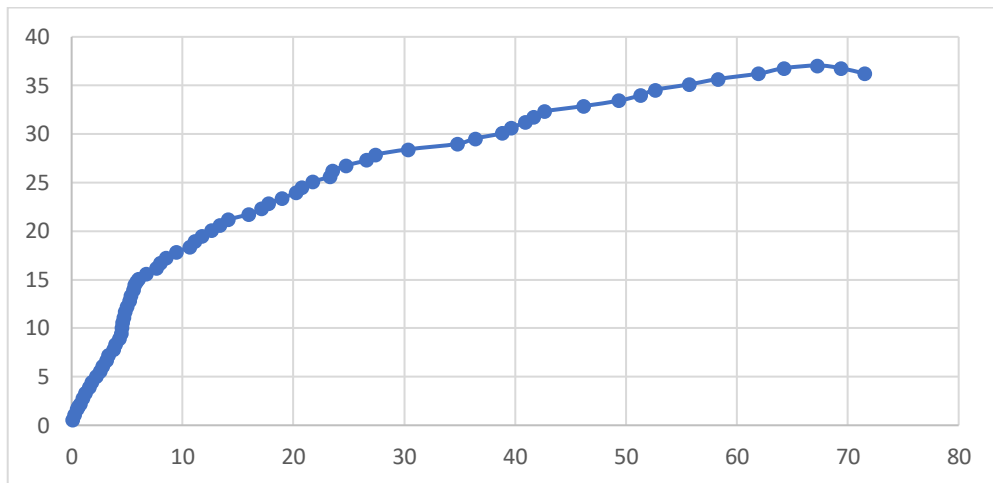
Silinder 2**AB 30% V 0,4%**

f _c rencana	37,05	Mpa	
Diameter	15,12	mm	2399,820289
Tinggi	30,78	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	2	0,001	0,000005	0,557158669
2	20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,114317339
3	30	30000	16	0,008	0,00004	1,671476008
4	35	35000	20	0,01	0,00005	1,950055343
4	40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,228634677
5	50	50000	34	0,017	0,000085	2,785793347
6	60	60000	42	0,021	0,000105	3,342952016
7	70	70000	52	0,026	0,00013	3,900110685
8	80	80000	61	0,0305	0,0001525	4,457269355
9	90	90000	73	0,0365	0,0001825	5,014428024
10	100	100000	85	0,0425	0,0002125	5,571586693
11	110	110000	94	0,047	0,000235	6,128745363
12	120	120000	105	0,0525	0,0002625	6,685904032
13	130	130000	111	0,0555	0,0002775	7,243062701
14	140	140000	125	0,0625	0,0003125	7,800221371
15	150	150000	131	0,0655	0,0003275	8,35738004
16	160	160000	143	0,0715	0,0003575	8,914538709
17	170	170000	148	0,074	0,00037	9,471697379
18	180	180000	150	0,075	0,000375	10,02885605
19	190	190000	153	0,0765	0,0003825	10,58601472
20	200	200000	157	0,0785	0,0003925	11,14317339
21	210	210000	161	0,0805	0,0004025	11,70033206
22	220	220000	167	0,0835	0,0004175	12,25749073
23	230	230000	174	0,087	0,000435	12,81464939
24	240	240000	178	0,089	0,000445	13,37180806
25	250	250000	186	0,093	0,000465	13,92896673
26	260	260000	189	0,0945	0,0004725	14,4861254
					0,000489	14,8204206
27	270	270000	200	0,1	0,0005	15,04328407
28	280	280000	224	0,112	0,00056	15,60044274
29	290	290000	254	0,127	0,000635	16,15760141
30	300	300000	266	0,133	0,000665	16,71476008
31	310	310000	283	0,1415	0,0007075	17,27191875
32	320	320000	315	0,1575	0,0007875	17,82907742
33	330	330000	354	0,177	0,000885	18,38623609

34	340	340000	371	0,1855	0,0009275	18,94339476
35	350	350000	391	0,1955	0,0009775	19,50055343
36	360	360000	421	0,2105	0,0010525	20,0577121
37	370	370000	445	0,2225	0,0011125	20,61487077
38	380	380000	471	0,2355	0,0011775	21,17202943
39	390	390000	532	0,266	0,00133	21,7291881
40	400	400000	571	0,2855	0,0014275	22,28634677
41	410	410000	592	0,296	0,00148	22,84350544
42	420	420000	633	0,3165	0,0015825	23,40066411
43	430	430000	674	0,337	0,001685	23,95782278
44	440	440000	692	0,346	0,00173	24,51498145
45	450	450000	724	0,362	0,00181	25,07214012
46	460	460000	777	0,3885	0,0019425	25,62929879
47	470	470000	784	0,392	0,00196	26,18645746
48	480	480000	824	0,412	0,00206	26,74361613
49	490	490000	886	0,443	0,002215	27,3007748
50	500	500000	913	0,4565	0,0022825	27,85793347
51	510	510000	1011	0,5055	0,0025275	28,41509214
52	520	520000	1159	0,5795	0,0028975	28,97225081
53	530	530000	1213	0,6065	0,0030325	29,52940947
54	540	540000	1295	0,6475	0,0032375	30,08656814
55	550	550000	1321	0,6605	0,0033025	30,64372681
56	560	560000	1364	0,682	0,00341	31,20088548
57	570	570000	1388	0,694	0,00347	31,75804415
58	580	580000	1421	0,7105	0,0035525	32,31520282
59	590	590000	1539	0,7695	0,0038475	32,87236149
60	600	600000	1645	0,8225	0,0041125	33,42952016
61	610	610000	1711	0,8555	0,0042775	33,98667883
62	620	620000	1754	0,877	0,004385	34,5438375
63	630	630000	1856	0,928	0,00464	35,10099617
64	640	640000	1943	0,9715	0,0048575	35,65815484
65	650	650000	2065	1,0325	0,0051625	36,21531351
66	660	660000	2141	1,0705	0,0053525	36,77247218
67	665	665000	2242	1,121	0,005605	37,05105151
68	660	660000	2313	1,1565	0,0057825	36,77247218
69	650	650000	2384	1,192	0,00596	36,21531351



Lampiran 25 Beton Silinder 5 Abu Batu 20 Visco 0,4



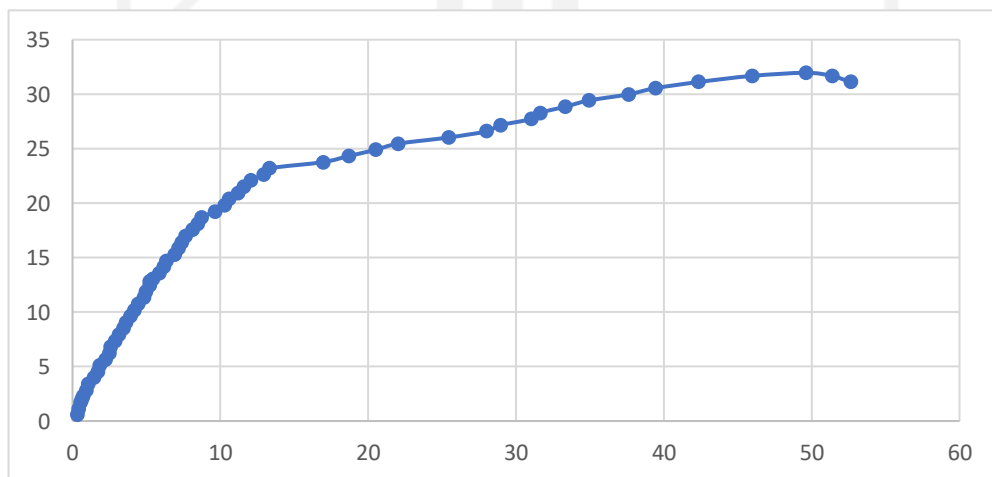
Silinder 3**AB 20% V 0,4%**

f _c rencana	31,96	Mpa	
Diameter	15,00	mm	2409,232844
Tinggi	30,78	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	10	0,005	0,000025	0,565657956
2	20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,131315913
3	30	30000	18	0,009	0,000045	1,696973869
	35	35000	20	0,01	0,00005	1,979802847
4	40	40000	23	0,0115	0,0000575	2,262631825
5	50	50000	30	0,015	0,000075	2,828289781
6	60	60000	35	0,0175	0,0000875	3,393947738
7	70	70000	48	0,024	0,00012	3,959605694
8	80	80000	56	0,028	0,00014	4,52526365
9	90	90000	61	0,0305	0,0001525	5,090921607
10	100	100000	74	0,037	0,000185	5,656579563
11	110	110000	82	0,041	0,000205	6,222237519
12	120	120000	86	0,043	0,000215	6,787895476
13	130	130000	96	0,048	0,00024	7,353553432
14	140	140000	104	0,052	0,00026	7,919211388
15	150	150000	114	0,057	0,000285	8,484869344
16	160	160000	120	0,06	0,0003	9,050527301
17	170	170000	130	0,065	0,000325	9,616185257
18	180	180000	139	0,0695	0,0003475	10,18184321
19	190	190000	148	0,074	0,00037	10,74750117
20	200	200000	160	0,08	0,0004	11,31315913
21	210	210000	165	0,0825	0,0004125	11,87881708
22	220	220000	174	0,087	0,000435	12,44447504
					0,000435	12,78386981
23	230	230000	180	0,09	0,00045	13,01013299
24	240	240000	195	0,0975	0,0004875	13,57579095
25	250	250000	205	0,1025	0,0005125	14,14144891
26	260	260000	211	0,1055	0,0005275	14,70710686
27	270	270000	230	0,115	0,000575	15,27276482
28	280	280000	238	0,119	0,000595	15,83842278
29	290	290000	246	0,123	0,000615	16,40408073
30	300	300000	255	0,1275	0,0006375	16,96973869
31	310	310000	270	0,135	0,000675	17,53539665
32	320	320000	281	0,1405	0,0007025	18,1010546
33	330	330000	290	0,145	0,000725	18,66671256
34	340	340000	320	0,16	0,0008	19,23237051

35	350	350000	342	0,171	0,000855	19,79802847
36	360	360000	352	0,176	0,00088	20,36368643
37	370	370000	373	0,1865	0,0009325	20,92934438
38	380	380000	385	0,1925	0,0009625	21,49500234
39	390	390000	401	0,2005	0,0010025	22,0606603
40	400	400000	431	0,2155	0,0010775	22,62631825
41	410	410000	444	0,222	0,00111	23,19197621
42	420	420000	564	0,282	0,00141	23,75763416
43	430	430000	623	0,3115	0,0015575	24,32329212
44	440	440000	683	0,3415	0,0017075	24,88895008
45	450	450000	734	0,367	0,001835	25,45460803
46	460	460000	847	0,4235	0,0021175	26,02026599
47	470	470000	933	0,4665	0,0023325	26,58592395
48	480	480000	965	0,4825	0,0024125	27,1515819
49	490	490000	1034	0,517	0,002585	27,71723986
50	500	500000	1054	0,527	0,002635	28,28289781
51	510	510000	1111	0,5555	0,0027775	28,84855577
52	520	520000	1164	0,582	0,00291	29,41421373
53	530	530000	1253	0,6265	0,0031325	29,97987168
54	540	540000	1314	0,657	0,003285	30,54552964
55	550	550000	1411	0,7055	0,0035275	31,1111876
56	560	560000	1532	0,766	0,00383	31,67684555
57	565	565000	1653	0,8265	0,0041325	31,95967453
58	560	560000	1712	0,856	0,00428	31,67684555
59	550	550000	1754	0,877	0,004385	31,1111876



Lampiran 26 Beton Silinder 6 Abu Batu 20 Visco 0,4

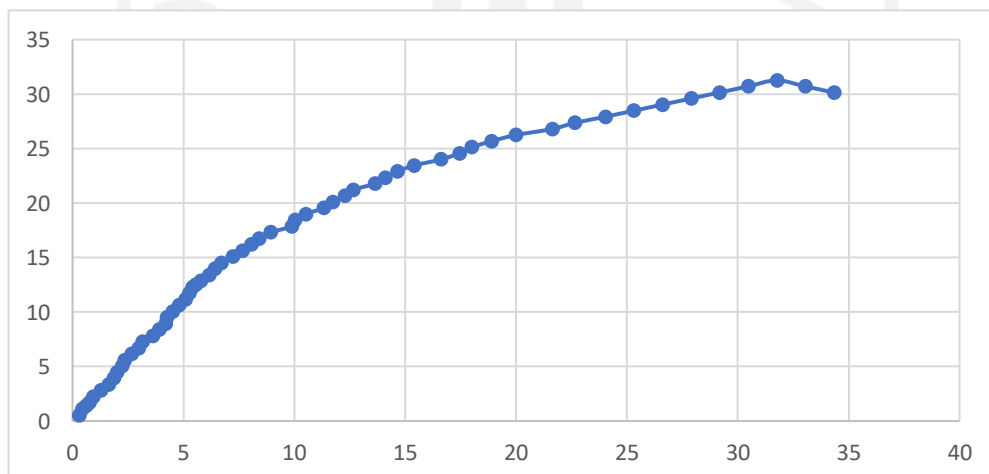
Silinder 1**AB 30% V 0,4%**

fc rencana	31,27	Mpa	
Diameter	15,10	mm	2416,47299
Tinggi	30,27	mm	

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	10	0,005	0,000025	0,558413905
2	20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,11682781
3	25	25000	20	0,01	0,00005	1,396034762
3	30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,675241715
4	40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,23365562
5	50	50000	42	0,021	0,000105	2,792069525
6	60	60000	54	0,027	0,000135	3,35048343
7	70	70000	62	0,031	0,000155	3,908897335
8	80	80000	67	0,0335	0,0001675	4,46731124
9	90	90000	74	0,037	0,000185	5,025725145
10	100	100000	78	0,039	0,000195	5,58413905
11	110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,142552955
12	120	120000	99	0,0495	0,0002475	6,70096686
13	130	130000	105	0,0525	0,0002625	7,259380765
14	140	140000	120	0,06	0,0003	7,81779467
15	150	150000	130	0,065	0,000325	8,376208575
16	160	160000	140	0,07	0,00035	8,93462248
17	170	170000	142	0,071	0,000355	9,493036385
18	180	180000	150	0,075	0,000375	10,05145029
19	190	190000	160	0,08	0,0004	10,60986419
20	200	200000	170	0,085	0,000425	11,1682781
21	210	210000	175	0,0875	0,0004375	11,726692
22	220	220000	180	0,09	0,00045	12,28510591
					0,000463	12,50847147
23	230	230000	193	0,0965	0,0004825	12,84351981
24	240	240000	205	0,1025	0,0005125	13,40193372
25	250	250000	214	0,107	0,000535	13,96034762
26	260	260000	223	0,1115	0,0005575	14,51876153
27	270	270000	241	0,1205	0,0006025	15,07717543
28	280	280000	255	0,1275	0,0006375	15,63558934
29	290	290000	269	0,1345	0,0006725	16,19400324
30	300	300000	280	0,14	0,0007	16,75241715
31	310	310000	298	0,149	0,000745	17,31083105
32	320	320000	329	0,1645	0,0008225	17,86924496
33	330	330000	334	0,167	0,000835	18,42765886

34	340	340000	350	0,175	0,000875	18,98607277
35	350	350000	377	0,1885	0,0009425	19,54448667
36	360	360000	391	0,1955	0,0009775	20,10290058
37	370	370000	409	0,2045	0,0010225	20,66131448
38	380	380000	422	0,211	0,001055	21,21972839
39	390	390000	454	0,227	0,001135	21,77814229
40	400	400000	470	0,235	0,001175	22,3365562
41	410	410000	488	0,244	0,00122	22,8949701
42	420	420000	513	0,2565	0,0012825	23,45338401
43	430	430000	554	0,277	0,001385	24,01179791
44	440	440000	581	0,2905	0,0014525	24,57021182
45	450	450000	600	0,3	0,0015	25,12862572
46	460	460000	630	0,315	0,001575	25,68703963
47	470	470000	666	0,333	0,001665	26,24545353
48	480	480000	721	0,3605	0,0018025	26,80386744
49	490	490000	755	0,3775	0,0018875	27,36228134
50	500	500000	801	0,40025	0,0020013	27,92069525
51	510	510000	844	0,42175	0,0021088	28,47910915
52	520	520000	887	0,44325	0,0022163	29,03752306
53	530	530000	930	0,46475	0,0023238	29,59593696
54	540	540000	973	0,48625	0,0024313	30,15435087
55	550	550000	1016	0,50775	0,0025388	30,71276477
56	560	560000	1059	0,52925	0,0026463	31,27117868
57	550	550000	1102	0,55075	0,0027538	30,71276477
58	540	540000	1145	0,57225	0,0028613	30,15435087



Lampiran27 Beton Silinder 4 Abu Batu 30 Visco 0,4

Silinder 2
f'c rencana

AB 30% V 0,4%
31,99

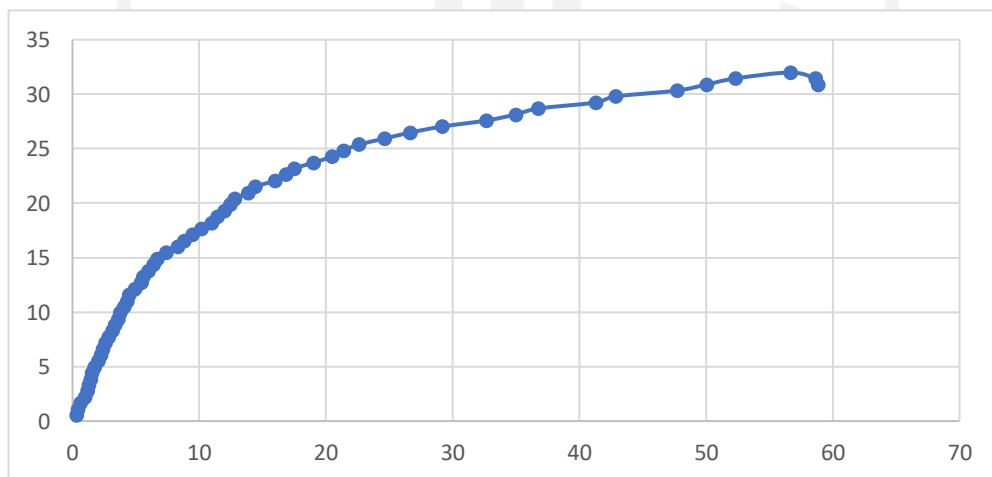
Mpa

Diameter 15,19 mm 2316,28047
 Tinggi 30,57 mm

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
 Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	11	0,0055	0,0000275	0,551598457
2	20	20000	14	0,007	0,000035	1,103196915
3	30	30000	20	0,01	0,00005	1,654795372
4	40	40000	33	0,0165	0,0000825	2,20639383
5	50	50000	39	0,0195	0,0000975	2,757992287
6	60	60000	42	0,021	0,000105	3,309590744
7	70	70000	47	0,0235	0,0001175	3,861189202
8	80	80000	51	0,0255	0,0001275	4,412787659
9	90	90000	58	0,029	0,000145	4,964386117
10	100	100000	67	0,0335	0,0001675	5,515984574
11	110	110000	74	0,037	0,000185	6,067583031
12	120	120000	80	0,04	0,0002	6,619181489
13	130	130000	86	0,043	0,000215	7,170779946
14	140	140000	95	0,0475	0,0002375	7,722378404
15	150	150000	104	0,052	0,00026	8,273976861
16	160	160000	111	0,0555	0,0002775	8,825575318
17	170	170000	119	0,0595	0,0002975	9,377173776
18	180	180000	125	0,0625	0,0003125	9,928772233
19	190	190000	135	0,0675	0,0003375	10,48037069
20	200	200000	144	0,072	0,00036	11,03196915
21	210	210000	149	0,0745	0,0003725	11,58356761
22	220	220000	164	0,082	0,00041	12,13516606
23	230	230000	180	0,09	0,00045	12,68676452
					0,0004525	12,79708421
24	240	240000	185	0,0925	0,0004625	13,23836298
25	250	250000	199	0,0995	0,0004975	13,78996143
26	260	260000	212	0,106	0,00053	14,34155989
27	270	270000	222	0,111	0,000555	14,89315835
28	280	280000	246	0,123	0,000615	15,44475681
29	290	290000	276	0,138	0,00069	15,99635526
30	300	300000	293	0,1465	0,0007325	16,54795372
31	310	310000	315	0,1575	0,0007875	17,09955218
32	320	320000	338	0,169	0,000845	17,65115064
33	330	330000	366	0,183	0,000915	18,20274909
34	340	340000	381	0,1905	0,0009525	18,75434755
35	350	350000	399	0,1995	0,0009975	19,30594601
36	360	360000	415	0,2075	0,0010375	19,85754447

37	370	370000	427	0,2135	0,0010675	20,40914292
38	380	380000	461	0,2305	0,0011525	20,96074138
39	390	390000	481	0,2405	0,0012025	21,51233984
40	400	400000	533	0,2665	0,0013325	22,0639383
41	410	410000	561	0,2805	0,0014025	22,61553675
42	420	420000	583	0,2915	0,0014575	23,16713521
43	430	430000	634	0,317	0,001585	23,71873367
44	440	440000	682	0,341	0,001705	24,27033213
45	450	450000	712	0,356	0,00178	24,82193058
46	460	460000	753	0,3765	0,0018825	25,37352904
47	470	470000	821	0,4105	0,0020525	25,9251275
48	480	480000	888	0,444	0,00222	26,47672596
49	490	490000	972	0,486	0,00243	27,02832441
50	500	500000	1088	0,544	0,00272	27,57992287
51	510	510000	1165	0,5825	0,0029125	28,13152133
52	520	520000	1225	0,6125	0,0030625	28,68311978
53	530	530000	1376	0,688	0,00344	29,23471824
54	540	540000	1428	0,714	0,00357	29,7863167
55	550	550000	1591	0,7955	0,0039775	30,33791516
56	560	560000	1668	0,834	0,00417	30,88951361
57	570	570000	1743	0,8715	0,0043575	31,44111207
58	580	580000	1888	0,944	0,00472	31,99271053
59	570	570000	1954	0,977	0,004885	31,44111207
60	560	560000	1960	0,98	0,0049	30,88951361



Lampiran 28 Beton Silinder 5 Abu Batu 30 Visco 0,4

Silinder 3**AB 30% V 0,4%**

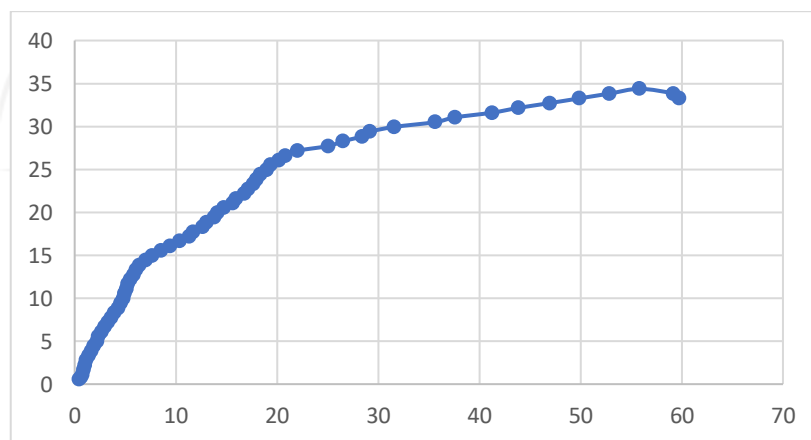
f_c rencana 34,38 Mpa
 Diameter 15,15 mm
 Tinggi 30,25 mm

2299,081091

**Hasil Pengujian Modulus Elastisitas
Silinder Beton**

No.	Beban		Pembacaan Dial	ΔL Sebenarnya (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (Mpa)
	kN	N				
1	10	10000	14	0,007	0,000035	0,554514456
	15	15000	20	0,01	0,00005	0,831771683
2	20	20000	26	0,013	0,000065	1,109028911
3	30	30000	30	0,015	0,000075	1,663543367
4	40	40000	34	0,017	0,000085	2,218057822
5	50	50000	38	0,019	0,000095	2,772572278
6	60	60000	46	0,023	0,000115	3,327086733
7	70	70000	55	0,0275	0,0001375	3,881601189
8	80	80000	64	0,032	0,00016	4,436115644
9	90	90000	73	0,0365	0,0001825	4,9906301
10	100	100000	78	0,039	0,000195	5,545144555
11	110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,099659011
12	120	120000	99	0,0495	0,0002475	6,654173466
13	130	130000	109	0,0545	0,0002725	7,208687922
14	140	140000	120	0,06	0,0003	7,763202377
15	150	150000	131	0,0655	0,0003275	8,317716833
16	160	160000	144	0,072	0,00036	8,872231288
17	170	170000	151	0,0755	0,0003775	9,426745744
18	180	180000	160	0,08	0,0004	9,9812602
19	190	190000	165	0,0825	0,0004125	10,53577466
20	200	200000	170	0,085	0,000425	11,09028911
21	210	210000	175	0,0875	0,0004375	11,64480357
22	220	220000	184	0,092	0,00046	12,19931802
23	230	230000	194	0,097	0,000485	12,75383248
24	240	240000	202	0,101	0,000505	13,30834693
						13,7519585
25	250	250000	213	0,1065	0,0005325	13,86286139
26	260	260000	234	0,117	0,000585	14,41737584
27	270	270000	254	0,127	0,000635	14,9718903
28	280	280000	285	0,1425	0,0007125	15,52640475
29	290	290000	314	0,157	0,000785	16,08091921
30	300	300000	345	0,1725	0,0008625	16,63543367
31	310	310000	377	0,1885	0,0009425	17,18994812
32	320	320000	391	0,1955	0,0009775	17,74446258
33	330	330000	421	0,2105	0,0010525	18,29897703
34	340	340000	435	0,2175	0,0010875	18,85349149
35	350	350000	459	0,2295	0,0011475	19,40800594

36	360	360000	471	0,2355	0,0011775	19,9625204
37	370	370000	491	0,2455	0,0012275	20,51703485
38	380	380000	520	0,26	0,0013	21,07154931
39	390	390000	532	0,266	0,00133	21,62606377
40	400	400000	559	0,2795	0,0013975	22,18057822
41	410	410000	571	0,2855	0,0014275	22,73509268
42	420	420000	588	0,294	0,00147	23,28960713
43	430	430000	599	0,2995	0,0014975	23,84412159
44	440	440000	612	0,306	0,00153	24,39863604
45	450	450000	632	0,316	0,00158	24,9531505
46	460	460000	645	0,3225	0,0016125	25,50766495
47	470	470000	673	0,3365	0,0016825	26,06217941
48	480	480000	693	0,3465	0,0017325	26,61669387
49	490	490000	734	0,367	0,001835	27,17120832
50	500	500000	836	0,418	0,00209	27,72572278
51	510	510000	884	0,442	0,00221	28,28023723
52	520	520000	946	0,473	0,002365	28,83475169
53	530	530000	973	0,4865	0,0024325	29,38926614
54	540	540000	1053	0,5265	0,0026325	29,9437806
55	550	550000	1187	0,5935	0,0029675	30,49829505
56	560	560000	1253	0,6265	0,0031325	31,05280951
57	570	570000	1376	0,688	0,00344	31,60732397
58	580	580000	1462	0,731	0,003655	32,16183842
59	590	590000	1565	0,7825	0,0039125	32,71635288
60	600	600000	1663	0,8315	0,0041575	33,27086733
61	610	610000	1762	0,881	0,004405	33,82538179
62	620	620000	1861	0,9305	0,0046525	34,37989624
63	610	610000	1972	0,986	0,00493	33,82538179
64	600	600000	1991	0,9955	0,0049775	33,27086733



Lampiran 29 Beton Silinder 6 Abu Batu 30 Visco 0,4