

TUGAS AKHIR

PENGARUH CAMPURAN BAHAN *ADDITIVE (BESTMITTEL)* DAN *FLY ASH* TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU $F'C$ 25 MPA *(THE EFFECT OF ADDITIVE (BESTMITTEL) AND FLY ASH MIXTURES ON THE CHARACTERISTICS OF $F'C$ 25 MPA)*

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



**Mohammad Ahroz Najaha
21511153**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH CAMPURAN BAHAN ADDITIVE (BESTMITTEL) DAN FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU F'C 25 MPA (THE EFFECT OF ADDITIVE (BESTMITTEL) AND FLY ASH MIXTURES ON THE CHARACTERISTICS OF F'C 25 MPA)



Pembimbing

8/6

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

Penguji I

09/06
2026

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

Penguji II

9.6.26

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

Mengesahkan,



12/6 2026

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 16 April 2026



uat pertanyaan

Monammad Ahroz Najaha

(21511153)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Campuran Bahan *Additive (Bestmittel)* dan *Fly ash* terhadap karakteristik beton mutu $F'c$ 25 MPa” ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shollallahu ‘alaihi wasallam, beserta keluarga, para sahabat, serta seluruh ummatnya hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang studi Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat tantangan yang menghambat dalam pengerjaan, namun berkat saran, kritik, dan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini terselesaikan. Maka dari itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir telah banyak direpotkan, memberikan dukungan, bimbingan, saran, serta ilmu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak / Ibu Dosen Penguji I dan Dosen Penguji II Tugas Akhir yang turut memberi arahan untuk Tugas Akhith ini.
4. Bapak Darusalam dan Ibu Zahwa selaku Laboran pada Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia yang telah membantu selama pengujian berlangsung.
5. Bapak Ulil Abshor serta Ibu Nanik Pujiyati selaku orang tua tercinta saya yang selalu mensupport, mendoakan dan memberikan motivasi kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

6. Chauza Ahdaf, Farros Zurnamakka, dan Ahza Elvitro selaku adek-adek saya yang terus memberikan semangat dan doa kepada saya.
7. Bima Tabriez, Helga Moyan, dan Rifky Ananto selaku saudara sepupu saya yang terus memberikan semangat dan doa kepada saya.
8. Teman-teman Mafia Sholawat dan pejuang Lab BKT 21 yang telah memberikan semangat dan membantu dalam proses penelitian Tugas Akhir saya.
9. Abdul Ghani dan Ahmad Hasbi selaku teman saya yang turut membantu dalam proses penelitian Tugas Akhir saya.
10. Teman-teman Angkatan 2021 yang selalu memberikan rasa kekeluargaan, saling membantu, dan mewarnai perkuliahan ini.

Akhir kata penulis menyadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis memohon maaf atas banyak kekurangan di dalamnya dan berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membaca.

Yogyakarta, 16 April 2026

Penulis,



Mohammad Ahroz Najaha

(21511153)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Pengaruh penggunaan <i>bestmittel</i> dan <i>fly ash</i> pada kuat tekan beton dan aplikasinya untuk beton terkekang pada kolom.	6
2.1.2 Pengaruh penambahan <i>Bestmittel</i> terhadap kuat tekan beton <i>fly ash</i> .	6
2.1.3 Pengaruh tekan beton dengan variasi bahan tambah <i>Bestmittel</i> .	7
2.1.4 Penggunaan Abu Marmer dan <i>Fly Ash</i> sebagai pengganti Sebagian semen pada beton normal.	7
2.1.5 Pengaruh substitusi serbuk kaca dan <i>fly ash</i> terhadap sifat mekanis beton.	7
2.2 Penelitian yang Dilakukan	8
BAB III12 LANDASAN TEORI	12
3.1 Tinjauan Umum	12
3.2 Bahan Penyusun Beton	12
3.2.1 Agregat	12
3.2.2 Semen Portland	15

3.2.3 Air	16
3.3 <i>Fly Ash</i>	17
3.4 <i>Bestmittel</i>	19
3.5 Pengujian Agregat	20
3.5.1 Pengujian Agregat Halus	20
3.5.2 Pengujian Agregat Kasar	22
3.6 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	24
3.7 Pengujian <i>Slump</i>	33
3.8 Kuat Tekan Beton	34
3.9 Modulus Elastisitas Beton	34
3.10 Konversi Umur Beton	36
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	38
4.1 Umum	38
4.2 Alat dan Bahan yang Digunakan	38
4.2.1 Alat yang Digunakan	38
4.2.2 Bahan yang Digunakan	39
4.3 Tahapan Penelitian	40
4.3.1 Persiapan bahan	40
4.3.2 Pembuatan Benda Uji	42
4.3.3 Perawatan Benda Uji	44
4.3.4 Pengujian Benda Uji	44
4.4 Prosedur Pengujian	44
4.4.1 Uji <i>Slump</i>	44
4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton	45
4.4.3 Pengujian Modulus Elastisitas Beton	45
4.5 Analisis Perhitungan Benda Uji	46
4.6 Analisis Data dan Pembahasan	46
4.7 Kesimpulan dan Saran	47
4.8 Bagan Alir Penelitian	47
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	49
5.1 Tinjauan Umum	49
5.2 Hasil Pengujian Agregat	49

5.2.1 Hasil pengujian Agregat halus	49
5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	57
5.3 Perencanaan Campuran Beton	63
5.4 Hasil Uji Trial Benda Uji	71
5.5 Hasil pengujian Benda Uji	72
5.4.2 Pengujian <i>Slump</i>	72
5.5.2 Pengujian Kuat Tekan Beton	74
5.5.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton	80
5.6 Modulus Elastisitas Beton	82
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1 Kesimpulan	91
6.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian	9
Tabel 3.1 Batasan Bahan yang merugikan dalam agregat halus	13
Tabel 3. 2 Persyaratan Gradasi Agregat Halus	14
Tabel 3. 3 Persyaratan Kimia Pozzolan	18
Tabel 3. 4 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat	25
Tabel 3. 5 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar	25
Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar	26
Tabel 3. 7 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan	27
Tabel 3. 8 Perkiraan kadar air bebas (Kg/m^3) yang diperlukan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	29
Tabel 3. 9 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton	33
Tabel 3. 10 Angka Konversi Umur Benda Uji	36
Tabel 4. 1 Kodefikasi Sampel Benda Uji	42
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat jenis dan Absorsi Agregat Halus	50
Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	52
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	52
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus	53
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	55
Tabel 5. 6 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	55
Tabel 5. 7 Hasil Uji Lolos Saringan No.200	56
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	58
Tabel 5. 9 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	59
Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	60
Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar	60
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	62
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	62
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton	69
Tabel 5. 15 Proporsi Berat Campuran Bahan Penyusun Beton	71

Tabel 5. 16 Hasil Uji Trial Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari	72
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Uji Slump	73
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari	75
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari	75
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	76
Tabel 5. 21 Persentase Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton	80
Tabel 5. 22 Peningkatan Persentase Kuat Tekan Beton pada	81
Tabel 5. 23 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Normal Umur 14 Hari Sampel 2	83
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari	87
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 14 Hari	87
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari	88
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari	89
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Umur 14 Hari	90
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar	15
Gambar 3. 2 Fly ash	18
Gambar 3. 3 Bestmiitel	20
Gambar 3. 4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	27
Gambar 3. 5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	30
Gambar 3. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	30
Gambar 3. 7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	31
Gambar 3. 8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah	32
Gambar 3. 9 Ilustrasi Pengujian Slump	33
Gambar 3. 10 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton	34
Gambar 3. 11 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton	36
Gambar 4. 1 Bagan Alir Penelitian	48
Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Sampel 1	53
Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus Sampel 2	54
Gambar 5. 3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sampel 1	61
Gambar 5. 4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sampel 2	61
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	65
Gambar 5. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat	66
Gambar 5. 7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah	67
Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Nilai Slump Dengan Variasi Beton	73
Gambar 5. 9 Pengujian Slump	74
Gambar 5.10 Kuat Tekan Beton	78
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton	85
Gambar 5. 12 Grafik Pengujian Modulus Elastisitas	88
Gambar 5. 13 Grafik Teoretis Modulus Elastisitas	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium	97
Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	98
Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton	108
Lampiran. 4 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	109
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	112
Lampiran. 6 Grafik Modulus Elastisitas Beton	141
Lampiran. 7 Gambar Pembuatan dan Pengujian	156
Lampiran. 8 Gambar Alat dan Bahan	160

ABSTRAK

Perkembangan sektor konstruksi mendorong kebutuhan beton berkualitas tinggi yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi yang dikembangkan adalah substitusi sebagian semen menggunakan *fly ash*, yaitu limbah sisa pembakaran batu bara dari PLTU. Substitusi *fly ash* dalam pengerjaan beton memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena prosesnya agak lambat. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan *bestmittel* sebagai *accelerator* untuk bahan tambah yang mampu mengeraskan beton dengan waktu yang cepat pada usia awal (7-10 hari).

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton dilakukan dengan mengacu metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana sebesar 25 MPa. Sebagian semen disubstitusi menggunakan *fly ash* sebesar 10% dari berat semen dan ditambahkan bahan aditif *bestmittel* dengan empat variasi dosis, yaitu 0, 0,2%, 0,4%, dan 0,6% dari total berat semen. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan dan modulus elastisitas pada umur 7,14, dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi 10% *fly ash* dan variasi *bestmittel* berpengaruh terhadap mutu beton seiring bertambahnya umur pengujian. Nilai optimum dicapai pada kadar *bestmittel* 0,4% dengan kuat tekan tertinggi 28,755 MPa pada umur 28 hari, melampaui $f'c$ rencana 25 MPa, dengan peningkatan dari umur 14 ke 28 hari sebesar 24,54%. Hal ini disebabkan kadar tersebut membentuk titik keseimbangan antara percepatan hidrasi dan kestabilan workability sehingga menghasilkan mikrostruktur lebih rapat. Sementara itu, variasi 0,6% menghasilkan kuat tekan lebih rendah yaitu 22,533 MPa akibat penambahan *bestmittel* yang melebihi dosis optimum sehingga campuran lebih encer, hidrasi tidak terkontrol, dan pembentukan C-S-H menjadi tidak merata.

Kata kunci : *Bestmittel*, Beton, *Fly ash*, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

The development of the construction sector has driven the need for high-quality concrete that is efficient, economical, and environmentally friendly. One innovation being developed is the partial substitution of cement using fly ash, a byproduct of coal combustion from steam power plants. However, fly ash substitution in concrete work requires a longer setting time and results in lower early strength due to its slower reaction process. To address this, bestmittel is used as an accelerator admixture capable of accelerating concrete hardening at early ages (7-10 days).

In this study, the concrete mix design was carried out based on the SNI 03-2834-2000 method with a design compressive strength of 25 Mpa. Cement was partially substituted with 10% fly ash by weight of cement, and bestmittel admixture was added with four dosage variation of 0%, 0,2% 0,4%, and 0,6% of the total cement weight. The tests conducted included compressive strength and modulus of elasticity at the curing ages of 7,14 and 28 days.

The results showed that the substitution of 10% fly ash combined with variations of bestmittel increased the concrete quality as the testing age increased. The optimum value was achieved at a bestmittel dosage of 0,4%, with the highest compressive strength of 28,755 MPa at 28 days, exceeding the design compressive strength of 25 MP, with an increase from 14 to 28 days of 24,54%. This is attributed to the dosage forming an equilibrium point between accelerated hydration and workability stability, resulting in a denser microstructure. Meanwhile, the 0,6% variation produced a lower compressive strength of 22,533 MPa due to the bestmittel addition exceeding the optimum dosage, causing a more fluid mixture, uncontrolled hydration, and uneven C-S-H formation.

Keywords : *Bestmittel, Concrete, Fly ash, Compressive strength, Modulus of Elasticity*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi bangunan, penelitian untuk mendapatkan produk konstruksi yang lebih baik terus dilakukan. Beton termasuk material konstruksi yang paling penting dan banyak digunakan pada struktur bangunan. Bahan campuran membuat beton adalah air, agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), semen (Portland) dan bahan tambah lainnya. Semen merupakan kontributor utama dalam pembuatan beton. Setiap tahun, lebih dari 4 Miliar Ton semen diproduksi, menyumbang sekitar 8 persen emisi CO₂ global (Chatam House, 2018), sehingga perlu dikurangi kandungan semen dalam pembuatan beton.

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi bangunan mendorong meningkatnya kebutuhan akan beton berkualitas tinggi yang harus terpenuhi secara cepat dan sesuai rencana pekerjaan. Upaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut salah satunya dengan memanfaatkan inovasi material campuran beton yang lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Dalam hal ini, penggunaan bahan substitusi dan bahan tambah pada campuran beton menjadi salah satu alternatifnya yaitu pemanfaatan *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen dan *bestmittel* sebagai bahan additive untuk meningkatkan mutu beton.

Menurut definisi *Fly ash* adalah sisa pembakaran batu bara yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) atau industri lainnya. Substitusi *fly ash* pada beton mempengaruhi karakteristik tegangan dan regangan, dimana peningkatan kepadatan mikrostruktur akibat rekasi pozzolanik berkontribusi terhadap perubahan modulus elastisitas beton (Ochto, 2019). Proses pembuatan *fly ash* melibatkan pembakaran batu bara yang dapat menghasilkan uap air untuk menggerakkan turbin, dimana setelah proses pembakaran sisa-sisa abu yang tidak terpakai dikenal sebagai *fly ash* (Hanafie, 2023). Sebagai bahan pengisi (filler) *fly ash* juga memiliki sifat pozzolanik yang mampu bereaksi dengan kalsium

hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) untuk membentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berkontribusi pada kekuatan dan kepadatan beton. Seperti diketahui ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) merupakan produk hidrasi semen yang mudah larut dalam kekuatan. Selain itu, *fly ash* memiliki kehalusan berbentuk bulat yang dapat meningkatkan *workability*, dan dapat meningkatkan durabilitas pada beton.

Selain *fly ash* memiliki keuntungan lain seperti uraian di atas, *fly ash* juga memiliki kelemahan yang diantaranya adalah pemakaian *fly ash* untuk pengerjaan beton memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena prosesnya yang agak lambat (Fachry, 2022). Semakin tinggi kadar *fly ash* maka semakin berkurang kekuatan awal beton. Penggunaan *fly ash* memerlukan pengendalian mutu yang tergantung pada proses / suhu pembakaran serta jenis batu bara yang digunakan. Penelitian yang dilakukan oleh Papendang et al. (2023) tentang beton dengan Abu marmer dan *fly ash* dengan kadar abu marmer 8% dan *fly ash* 10% dari berat semen mengalami peningkatan namun pada penambahan abu marmer 12% dan *fly ash* 10% dan mencapai kuat tekan rencana namun terjadi penurunan pada umur 28 hari, Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Rizki (2024) substitusi serbuk kaca sebanyak 5% sampai 25% dari berat pasir dan *fly ash* 15% dari berat semen terjadi penurunan mutu beton dan tidak mampu mencapai kuat tekan rencana. Hal ini mengindikasikan bahwa penentuan kadar *fly ash* yang tepat menjadi faktor kritis dalam mengoptimalkan kinerja beton. Lebih lanjut, semakin besar kadar *fly ash* dalam campuran beton akan meningkatkan nilai kuat tekan, namun kuat tekan akan menurun apabila penggunaan *fly ash* terlalu banyak (Ervianto et al, 2016). Kandungan rongga permeabel air dan absorpsi lebih rendah untuk campuran beton dengan *fly ash*, yang menunjukkan bahwa daya tahan beton yang telah ditambahkan *fly ash* jauh lebih baik daripada campuran beton normal (Crouch et al, 2007). Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini menggunakan kadar *fly ash* sebesar 10% dengan bahan tambah variasi *bestmittel* untuk mengkaji karakteristik beton mutu 25 MPa.

Mengingat keterbatasan *fly ash* yang ditandai dengan waktu pengerasan kekuatan awal yang tinggi pada campuran beton di lapangan, maka penggunaan bahan tambah kimia pada campuran beton dapat menjadi solusi untuk mengatasi

kelemahan tersebut. Salah satu merk bahan tambah kimia yang sering digunakan adalah *Bestmittel*. Berdasarkan ASTM - C 494-81 *Bestmittel* termasuk bahan tambah tipe E, *Water Reducing and And Accelerating Admixture* adalah bahan tambah yang mengurangi jumlah air pencampuran dan mempercepat pengikatan beton. *Bestmittel* merupakan bahan substitusi kimia yang berperan sebagai *accelerator* dalam proses pengecoran dengan menjadikan beton lebih cepat keras dalam usia muda dan mengurangi air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan mutu beton (Simanullang., 2022) . Dosis standart 1 kg *Bestmittel* untuk 200 kg – 400 kg semen (0,2% - 0,6% x berat semen). Selain itu *Bestmittel* juga diperjualbelikan secara umum dengan harga terjangkau.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan perencanaan campuran beton yang mengacu pada SNI 03-2834-2000. Variasi yang diteliti yaitu pengaruh substitusi *fly ash* sebesar 10% dari berat semen dan penambahan *bestmittel* dengan variasi kadar 0%; 0,2%; 0,4%; dan 0,6% dari berat semen terhadap pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton mutu f'_c 25 MPa. Pengujian dilakukan pada umur 7,14 dan 28 hari menggunakan 60 benda uji silinder.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar *bestmittel* yang memberikan perkembangan kuat tekan paling besar pada beton *fly ash*?
2. Bagaimana pengaruh variasi penggunaan *Bestmittel* dan 10% *fly ash* terhadap modulus elastisitas beton?
3. Bagaimana persentase perkembangan kuat tekan kandungan 10% *fly Ash* dan variasi *bestmittel* terhadap pengujian beton pada umur 7,14, dan 28 hari?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah telah ditentukan, tujuan penelitian dapat ditentukan. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar *bestmittel* yang memberikan perkembangan kuat tekan paling besar pada beton *fly ash*.
2. Mengetahui pengaruh variasi penggunaan *Bestmittel* dan 10% *fly ash* terhadap modulus elastisitas beton.
3. Mengetahui persentase perkembangan kandungan 10% *fly Ash* dan variasi *bestmittel* terhadap pengujian ash pada umur 7,14,dan 28.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Mengembangkan ilmu pengetahuan seputar peran *Bestmittel* dalam perkembangan kuat tekan beton *fly ash* pada umur rencana.
2. Mengembangkan pengetahuan tentang ilmu dan pengaruh terhadap modulus elastisitas dari campuran zat aditif *Bestmittel* dan *fly ash*.
3. Mengembangkan pengetahuan tentang ilmu dan pengaruh terhadap kuat tekan dari campuran zat aditif *Bestmittel* dan *fly ash*.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian dilakukan secara teratur dan tidak keluar dari topi dan tujuan penelitian, diperlukan batasan penelitian yang diantaranya :

1. Beton dengan mutu rencana $f'c$ 25 MPa memiliki metode perencanaan campuran beton yang mengacu pada SNI-03-2834-2000.
2. *Fly ash* yang digunakan adalah tipe C yang berasal dari Pabrik *Fly Ash* di daerah Ponorogo.
3. *Fly ash* yang digunakan sebagai pengganti adalah 10% dari berat semen tiap variasi.
4. *Bestmittel* yang digunakan sebagai bahan tambah beton yaitu pada kadar 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%, dari berat semen berasal dari toko bangunan di kawasan Kabupaten Magelang.
5. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Gunung Merapi.

6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Kulon Progo.
7. Semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement (PCC)* dengan merk Tiga Roda.
8. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.
9. Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari.
10. Sampel pengujian berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, berjumlah 4 sampel setiap variable sehingga total ada 60 sampel.
11. Perawatan sampel beton (*curing*) dilakukan dengan merendam beton dalam air di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penggunaan campuran beton dengan *fly ash*, *Bestmittel*, atau bahan tambah kimia yang lain berguna sebagai subjek penelitian kekuatan beton sudah pernah dilakukan sebelumnya. Perbedaan penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Penjelasan penelitian sejenis yang sudah pernah dilakukan sebelumnya diantaranya adalah sebagai berikut ini.

2.1.1 Pengaruh penggunaan *bestmittel* dan *fly ash* pada kuat tekan beton dan aplikasinya untuk beton terkekang pada kolom.

Octho (2019) Meneliti tentang pengaruh penambahan 0,6% *Bestmittel* dan 5% *Fly Ash* terhadap aplikasi dari beton silinder dengan kolom beton terkekang. Pada penelitian ini kuat tekan beton mencapai umur rencana pada saat umur 10 hari. Pengaruh pada kuat tekan beton dengan laju kenaikan mencapai 31,76% dengan hasil ini membuktikan bahwa *fly ash* sebagai bahan tambah sebagian semen mampu meningkatkan kuat tekan beton yang berasal dari silika yang sangat berpengaruh pada proses hidrasi sehingga mempengaruhi kuat tekan beton dan meningkatkan permeabilitas beton.

2.1.2 Pengaruh penambahan *Bestmittel* terhadap kuat tekan beton *fly ash*.

Fachry (2022) meneliti tentang pengetahuan peran pengaruh dan dosis *Bestmittel* terhadap perkembangan kuat tekan beton *fly ash*. Pada penelitian ini kadar *fly ash* yang digunakan sebanyak 30% dari berat semen. Dosis *Bestmittel* yang digunakan tiap variable mulai dari 0%; 0,2%; 0,4 0,6% dari berat semen. Pada hasil pengujian kuat tekan, penggunaan *Bestmittel* sangat mempengaruhi untuk mempercepat hidrasi beton *fly ash* yang dimana pada waktu pengujian yang sama, beton dengan kadar *Bestmittel* lebih besar memiliki kuat tekan yang lebih tinggi. Hasil penelitian menunjukkan modulus elastisitas beton dengan campuran *fly ash* lebih tinggi dibandingkan beton normal. Nilai modulus elastisitas lebih bergantung

pada beratnya dibandingkan dengan kuat tekannya. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik FTSP UII dengan mengacu pada SNI-03-2834-2000.

2.1.3 Pengaruh tekan beton dengan variasi bahan tambah *Bestmittel*.

Simanullang (2022) menyatakan bahwa dosis *bestmittel* menggunakan dosis standart yaitu 1 kg *bestmittel* untuk 200 kg – 450 kg (0,2% - 0,6% x berat semen). Pada pengujian ini penggunaan *bestmittel* sangat membantu untuk pengecoran dengan waktu yang ketat yaitu beton mengeras pada usia 7 – 10 hari serta meningkatkan mutu beton 5 % - 10 %. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis perbedaan hasil antara kuat tekan beton normal dengan menggunakan bahan tambahan *Bestmittel* dan tidak menggunakan selama 7 dan 14 hari. Efek yang ditimbulkan dari pemborosan pemakaian dosis adalah memperlama proses pengeringan beton dan dapat menurunkan nilai kuat tekan beton.

2.1.4 Penggunaan Abu Marmer dan *Fly Ash* sebagai pengganti sebagian semen pada beton normal.

Papendang et al. (2023) meneliti tentang pengaruh kombinasi abu marmer dan *fly ash* terhadap kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitas dengan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar. Hasil pengujian kuat tekan dengan penambahan abu marmer 0% dengan *fly ash* 10% mengalami peningkatan sebesar 4,930% dari kuat tekan rencana, juga pada penambahan abu marmer 8% dengan *fly ash* 10% mengalami peningkatan sebesar 1,533%. Namun, pada penambahan abu marmer 12% dengan *fly ash* 10%, terjadi penurunan sebesar 9,035% dari nilai kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Untuk hasil pengujian modulus elastisitas juga nilai tertinggi berada pada penambahan abu marmer 0% dengan *fly ash* 10% begitu pun pada pengujian kuat tarik belahnya. Jadi dapat disimpulkan pada pengujian ini penambahan 10% *fly ash* mampu meningkatkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Namun untuk penambahan abu marmer lebih dari 8% dapat menurunkan nilai kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas.

2.1.5 Pengaruh substitusi serbuk kaca dan *fly ash* terhadap sifat mekanis beton.

Rizki (2024) meneliti tentang pengaruh substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan *fly ash* pada semen terhadap kuat tekan beton, dan modulus elastisitas. Substitusi serbuk kaca sebanyak 5% - 25% dari berat pasir dan *fly ash* 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai mutu beton tertinggi terjadi pada beton normal dengan rata rata nilai 26,41 MPa. Tidak terjadi peningkatan mutu beton, terjadi penurunan mutu dari beton normal pada variasi 15% *fly ash* dengan nilai rata-rata 2,54 MPa. Hal ini terjadi dikarenakan beton dengan campuran *fly ash* membutuhkan waktu curing yang lebih lama untuk mendapatkan hasil yang optimal. Begitu pun pada nilai modulus elastisitas, dari hasil pengujian bahwa modulus elastisitas tertinggi pada beton tanpa serbuk kaca dan *fly ash* yang mana pada serbuk kaca dan *fly ash* meningkat 5% terjadi penurunan yang signifikan. Setelah itu, nilai modulus elastisitas Kembali sedikit meningkat pada variasi 10% dan 15%.

2.2 Penelitian yang Dilakukan

Penelitian ini berjudul *Pengaruh Campuran Bahan Additive (Bestmittel) dan Fly Ash terhadap karakteristik Beton Mutu F'c 25 MPa*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Bestmittel* terhadap beton yang mengandung 10% *fly ash* sebagai substitusi semen. Dosis *Bestmittel* yang digunakan adalah variasi 0% ; 0,2% ; 0,4% ; dan 0,6% mampu mempercepat pengerasan sehingga mampu mencapai kekuatan rencana mutu F'c 25 MPa pada umur 28 hari. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian kuat tekan ketika beton berumur 7, 14 dan 28 hari. Penelitian ini mengacu pada SNI 02-2834-2000 sebagai pedoman pencampuran material.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Dilakukan
Peneliti	M Joan Ochto (2019)	Fachry (2020)	Irwansayah (2022)	Goerge Andre (2023)	Fadila Rizki (2024)	
Judul Penelitian	Pengaruh penggunaan <i>Bestmittel</i> dan <i>fly ash</i> pada kuat tekan beton dan aplikasinya untuk beton terkekang pada kolom	Pengaruh Penambahan <i>Bestmittel</i> terhadap kuat Tekan Beton <i>Fly Ash</i>	Pengaruh tekan beton dengan variasi bahan tambah <i>Bestmittel</i>	Penggunaan Abu Marmer dan <i>Fly Ash</i> sebagai pengganti Sebagian semen pada beton normal	Pengaruh substitusi serbuk kaca dan <i>fly ash</i> terhadap sifat mekanis beton	Pengaruh campuran bahan additive (<i>Bestmittel</i>) dan <i>Fly Ash</i> terhadap karakteristik beton mutu F'c 25 MPa
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui pengaruh penambahan <i>Bestmittel</i> dan penggantian sebagian semen dengan 5% fly ash terhadap aplikasi kolom beton terkekang	Untuk mengetahui pengaruh <i>Bestmittel</i> pada beton dengan 30% <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan	Untuk mengetahui perbedaan hasil antara beton normal dengan tambahan <i>bestmittel</i> dan tidak menggunakan.	Untuk mengetahui pengaruh substitusi variasi Abu Marmer dan 10% <i>fly ash</i> dari berat semen sebagai pengganti Sebagian semen.	Untuk mengetahui pengaruh substitusi variasi serbuk kaca pada agregat halus dan 15% <i>fly ash</i> dari berat semen	Untuk mengetahui pengaruh variasi <i>Bestmittel</i> pada beton dengan 10% <i>fly ash</i> sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan
Parameter yang Diuji	Kuat tekan pada beton dan kolom bertulang.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton	Kuat tekan beton.	Kuat tekan dan modulus elastisitas.	Kuat tekan dan modulus elastisitas.	Kuat tekan dan modulus elastisitas beton.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Varian Penelitian	Kadar Bestmittel konstan 0,6% dan penggantian 5% <i>fly ash</i> dari berat semen pada mutu beton 20 MPa, 25 MPa, dan 30 MPa. Pengujian dilakukan pada 3, 7, dan 28 hari.	Kadar Bestmittel 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%, pada beton 30% <i>fly ash</i> sebagai pengganti semen. Pengujian dilakukan pada 3, 7, dan 28 hari dengan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	Kadar Bestmittel 0,2%, 0,4%, dan 0,6% berat semen dan air pada perawatan beton 3 hari, 6 hari, dan 9 hari. Pengujian dilakukan pada 7, 14, dan 28 hari.	Varian Abu marmer yang digunakan yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan 10% <i>fly ash</i> dari berat semen. Pengujian ini dilakukan pada 3, 7, 21, dan 24 hari	Substitusi serbuk kaca sebanyak 5%-25% dari berat pasir dan <i>fly ash</i> 15% pada kuat rencana 25 MPa. Pengujian dilakukan pada 28 hari.	Kadar Bestmittel 0%, 0,2%, 0,4%, dan 0,6%, pada beton 30% <i>fly ash</i> sebagai pengganti semen. Pengujian dilakukan pada 3, 7, 14 dan 28 hari dengan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
Metode Penelitian	Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dan data diolah menggunakan excel dan pencampuran agregat menggunakan SNI-03-2834-2000	Meliputi metode eksperimental, metode perencanaan campuran menggunakan pedoman SNI 03-2834-2000	Metode penelitian yang digunakan ini adalah metode eksperimental dan menggunakan SNI-03-2834-2000	Metode penelitian yang digunakan ini adalah metode eksperimental dan menggunakan SNI-03-2834-2000	Metode penelitian yang digunakan ini adalah metode eksperimental dengan menggunakan SNI 1974-2011 pada kuat tekan	Metode penelitian yang digunakan ini adalah metode eksperimental dan menggunakan SNI-03-2834-2000

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

Hasil Penelitian	Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan fly ash menurunkan kemampuan benda uji HBK beton fly ash dalam menahan beban dari beban maksimum. Penambahan fly ash dapat meningkatkan faktor daktilitas HBK beton fly ash dari 1,966 yang diperoleh HBK beton normal menjadi 2,158. Penambahan fly ash juga dapat mengurangi lebar retak pada HBK fly ash yaitu dari 0,55 cm pada HBK beton normal menjadi 0,45 cm.	Beton dengan Kadar <i>Bestmittel</i> 0,4% yang diuji pada umur 9 hari mampu mencapai kuat tekan 25,653 Mpa (95% dari kuat tekan rencana). Penambahan <i>Bestmittel</i> sebanyak 0,6% pada beton dapat menaikkan nilai kuat tekan, tetapi tidak signifikan.	Hasil tes kuat tekan benda uji silinder 7 hari dengan bahan tambah additive bestmittel mengalami penurunan yaitu 3,39% sebesar 0,45 Mpa, 4,81% dan 6,2% sebesar 0 Mpa sedangkan 14 hari pada 3,39% sebesar 3,96 Mpa, 4,81% sebesar 0,51 Mpa dan 6,2% sebesar 0,34 Mpa, dibandingkan dengan beton tanpa bahan tambah additive bestmittel 7 hari didapatkan sebesar 12 Mpa dan 14 hari sebesar 13,97 Mpa.	Penambahan <i>fly ash</i> 10% tanpa abu marmer meningkatkan kuat tekan sebesar 4,930% dari rencana, sedangkan kombinasi dengan abu marmer 8% meningkat 1,533%. Namun, penambahan abu marmer 12% menurunkan kuat tekan sebesar 9,035%. Penelitian ini menghasilkan bahwa <i>fly ash</i> 10% efektif meningkatkan sifat beton, namun abu marmer di atas 8% menurunkannya.	Substitusi serbuk kaca sebanyak 5% sampai 25% dari berat pasir dan fly ash 15% dari berat semen memengaruhi kuat tekan beton. Kuat tekan beton mengalami kenaikan hingga variasi 15% tetapi tidak lebih tinggi dari kuat tekan beton normal, lalu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase serbuk kaca.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi berada pada beton <i>fly ash</i> dengan variasi kadar 0,4% yaitu 28,75 MPa atau 24,54% peningkatan persentase dari periode umur 14 ke 28 hari. Sedangkan nilai kuat tekan terendah berada pada beton <i>fly ash</i> dengan variasi kadar 0,6% bestmittel yang menggambarkan hasil dari overdosis <i>additive</i>.
--------------------------------	---	---	--	--	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Menurut Tjokrodimulyo (2010) Beton merupakan elemen penting konstruksi yang terbuat dari kombinasi agregat halus, agregat kasar, semen Portland, air, dan terkadang ditambahkan bahan tambah kimia, serat maupun non kimia yang membentuk massa padat. Beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan mutu rencana pada umur 28 hari. Faktor yang mempengaruhi kecepatan kuat tekan beton diantaranya adalah faktor air semen, suhu, bahan tambah, dan porositas agregat. Karena beton merupakan bahan komposit (campuran) yang dimana kualitas dipengaruhi oleh masing-masing material pembentuknya. (Tjokrodimulyo, 2010). Dari segi biaya, beton dikenal tidak memerlukan banyak pengeluaran untuk perawatan dan bahan bahannya cenderung mudah ditemukan dengan harga terjangkau.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yaitu semen sebagai pengikat, agregat halus dan kasar sebagai bahan pengisi, air sebagai pemicu reaksi kimia, serta bahan tambah tertentu untuk meningkatkan sifat-sifat beton sesuai kebutuhan konstruksi. Setiap komponen beton memiliki fungsi yang berbeda-beda dan memberikan pengaruh yang beragam terhadap karakteristik beton, serta harus memenuhi persyaratan khusus agar layak digunakan.

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan material granular atau partikel kecil dari bahan alami seperti batu, kerikil, pasir, yang digunakan sebagai pengikat beton. Pada total komponen beton biasanya menempati sekitar 70 – 75% volume agregat. Agregat harus bergradasi sesuai kebutuhan sehingga dapat memadatkan beton yang homogen dan rapat. Pemilihan agregat yang baik juga perlu diperhatikan seperti butiran-butiran yang tajam, keras dan kekal sehingga volume beton tidak mudah

dipengaruhi oleh faktor cuaca. Adapun agregat dibagi menjadi 2 golongan ukuran, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 agregat halus adalah pasir alam hasil pelapukan secara alami yang dihasilkan melalui industri pemecah batu dengan memiliki ukuran butiran maksimum sebesar 5 mm. Adapun agregat halus memiliki persyaratan yang tercantum pada SNI 8321:2016 atau ASCM C33:2006.

- a. Agregat halus yang digunakan merupakan butiran yang bersudut tajam dan keras, serta tidak mudah mengalami kerusakan akibat pengaruh cuaca.
- b. Pada bahan beton yang tidak mengenai abrasi, memiliki batas maksimum yang lebih halus dari saringan No. 200 boleh sampai 5%. Pada agregat halus buatan yang bahannya lebih halus dari saringan No. 200 seperti abu atau pecahan, yang bebas tanah liat atau shale memiliki batas maksimum 5% pada beton yang mengenai abrasi dan 7% pada beton yang tidak mengenai abrasi.
- c. Untuk bahan yang lebih halus dari saringan No.200 jika tidak ditetapkan, maka berlaku batas 3,0 %, dan bahan yang sesuai untuk batu bara dan lignit yang berlaku batas 0,5 % maka jika tidak ditetapkan maka berlaku batas 1,0 %. Batasan untuk bahan-bahan yang merugikan dalam agregat halus dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Batasan Bahan yang merugikan dalam agregat halus

Uraian	Persen massa maksimum dari total sampel
Gumpalan lempung dan pertikel yang mudah pecah	3,0
Batu bara dan lignit: Bila permukaan beton yang muncul penting	0,5
Semua beton lainnya	1,0

Sumber : SNI 8321-2016

- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik yang merugikan. Kecuali terdapat ketentuan lain, yaitu agregat yang diuji kandungan bahan organiknya menunjukkan warna lebih gelap dibandingkan standar yang ditetapkan maka tidak memenuhi syarat kecuali :
- 1) Warna yang timbul akibat perubahan dikarenakan perubahan batubara, lignit atau sejenisnya.
 - 2) Pada saat pengujian uji tekan pengaruh pada bahan organik kekuatan relatif pada 7 harinya tidak kurang dari 95% yang sesuai pada ASTM C87.
- d. Agregat halus yang digunakan dalam beton yang terpapar pembasahan atau udara lembap harus bebas dari zat yang dapat bereaksi dengan alkali. Namun, penggunaannya tetap diperbolehkan apabila semen yang dipakai memiliki kadar alkali di bawah 0,60%.
- e. Gradasi agregat halus harus memenuhi persyaratan yang tercantum pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Persyaratan Gradasi Agregat Halus

Saringan (ASTM E11)	Persen Lolos
9,5 mm (3/8 in)	100
4,75 mm (No. 4)	95-100
2,36 (No. 8)	80-100
1,18 mm (No. 16)	50-85
600 μm (No. 30)	25-60
300 μm (No. 50)	5-30
150 μm (No. 100)	0 -10
75 μm (No. 200)	0 - 3,0 ^a

^a : mengacu pada poin a yang telah dijelaskan di atas.

Sumber : SNI 8321-2016

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 2834-2000, agregat kasar merupakan kerikil hasil pelapukan alami dari batu atau batu pecah yang diperoleh secara mekanis dari industri pemecah batu yang memiliki ukuran partikel antara 5 mm – 40 mm. Adapun

agregat kasar memiliki persyaratan yang tercantum pada SNI 8321-2016 atau ASCM C33.

- Aggregat kasar yang digunakan dalam beton dalam kondisi basah, terpapar udara lembap, atau kontak dengan tanah lembap tidak boleh mengandung zat alkali yang dapat memicu pengembangan berlebihan pada beton. Penggunaan agregat kasar tetap diperbolehkan dengan semen yang mengandung alkali kurang dari 0,6%.
- Gradasi agregat kasar harus sesuai dengan persyaratan yang ada pada tabel di Gambar 3.1 berikut.

Nomor ukuran	Ukuran nominal (saringan dengan lubang persegi)	Jumlah yang lebih halus dari masing-masing saringan laboratorium (lubang persegi), persen massa													
		100 mm (4 in)	90 mm (3,5 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2,5 in)	50 mm (2 in)	37,5 mm (1,5 in)	25,0 mm (1 in)	19,0 mm (3/4 in)	12,5 mm (1/2 in)	9,5 mm (3/8 in)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm-37,5 mm (3,5in-1,5 in)	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm-37,5 mm (2,5in-1,5 in)	-	-	100	90-100	35- 70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm-25,0 mm (2 in-1 in)	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
357	50 mm-4,75 mm (2 in-no. 4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-	-
4	37,5 mm-19,0 mm (1,5in-3/4 in)	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-	-
467	37,5 mm-4,75 mm (1,5 in-no. 4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10- 30	0- 5	-	-	-
5	25,0 mm-12,5 mm (1 in-0,5 in)	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0- 10	0- 5	-	-	-	-
56	25,0 mm-9,5 mm (1 in-3/8 in)	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10- 40	0- 15	0- 5	-	-	-
57	25,0 mm-4,75 mm (1 in-no. 4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25- 60	-	0- 10	0- 5	-	-
6	19,0 mm-9,5 mm (3/4 in-3/8 in)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20- 55	0- 15	0- 5	-	-	-
67	19,0 mm-4,75 mm (3/4 in-no. 4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20- 55	0-10	0- 5	-	-
7	12,5 mm-4,75 mm (0,5 in-no. 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40- 70	0-15	0- 5	-	-
8	9,5 mm-2,36 mm (3/8 in-no. 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5	-
89	9,5 mm-1,18 mm (3/4 in-no. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	5-30	0-10	0-5
9A	4,75 mm-1,18 mm (no. 4-no. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-40	0-10	0-5

*Agregat nomor ukuran 9 ditentukan dalam ASTM C125 sebagai agregat halus, namun dimasukkan sebagai agregat kasar jika dikombinasikan dengan bahan nomor ukuran 8 untuk menghasilkan nomor ukuran 89, dimana agregat kasar didefinisikan dalam ASTM C125.

Gambar 3. 1 Persyaratan Gradasi Agregat Kasar

Sumber : SNI 8321-2016

- Aggregat kasar juga harus memenuhi ketentuan terkait batas kandungan zat yang dapat merugikan mutu beton serta memenuhi sifat fisika yang diijinkan.

3.2.2 Semen Portland

Semen merupakan suatu material yang dapat merekatkan atau mengikat bahan material lain seperti butiran agregat atau batu bata sehingga dapat membuat beton dan membentuk suatu bangunan. Pada umumnya kadar semen yang digunakan untuk campuran beton adalah 10%-15% dari volume total beton.

Berdasarkan reaktivitasnya terhadap air semen diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu semen hidraulis dan non hidraulis. Semen non hidraulis hanya dapat bereaksi dan mengeras ketika berada di udara, namun tidak dapat mengeras dalam kondisi basah. Sebaliknya, semen hidraulis mampu bereaksi dan mengeras dalam air.

Semen Portland atau Portland cement (PC) adalah semen yang digunakan dalam pengujian. Semen ini termasuk dalam kategori hidraulis karena mampu bereaksi dan mengeras saat berada dalam air. Semen Portland sering digunakan pada pekerjaan konstruksi di seluruh dunia. Penggunaan semen ini yang digunakan secara berlebihan memang dapat meningkatkan kekuatan beton, namun hal tersebut dapat meningkatkan panas hidrasi yang bisa menyebabkan retak pada beton. Sebaliknya, jika rasio semen terlalu rendah, akan menurunkan kualitas dan kekuatan beton.

Berdasarkan SNI 2409-2004, jenis dan penggunaan semen portland dibagi menjadi lima, adapun klasifikasinya diantaranya sebagai berikut.

1. Jenis I yaitu semen portland yang penggunaannya umum atau tanpa persyaratan khusus.
2. Jenis II yaitu semen portland yang digunakan membutuhkan ketahanan terhadap sulfat atau mampu menangani kalor hidrasi selama proses pengikatan.
3. Jenis III yaitu semen portland yang menghasilkan kekuatan awal tinggi setelah pengikatan pada tahap permulaan.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang penggunaannya tidak perlukan panas hidrasi tinggi.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dengan ketahanan tinggi terhadap serangan sulfat.

3.2.3 Air

Air adalah salah satu komponen penting dalam campuran beton yang berperan dalam memicu reaksi kimia pada semen. Selain itu, air juga digunakan untuk membasahi agregat sehingga beton lebih mudah diolah (*workability*). Jumlah dan mutu air dalam campuran beton harus diperhatikan dengan cermat. Jika air digunakan secara berlebihan, maka setelah proses hidrasi selesai, akan terbentuk

banyak gelembung air. Sebaliknya, jika air terlalu sedikit, proses hidrasi tidak akan berlangsung secara optimal.

Air yang digunakan dalam campuran beton bisa berasal dari berbagai sumber seperti air tawar (misalnya dari sungai, danau, kolam, telaga, atau situ), air laut, maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat yang telah ditentukan. Kualitas dan kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh jenis air yang digunakan. Oleh karena itu, air yang dipakai harus berada dalam batasan yang sesuai agar proses pencampuran dan pelaksanaan pekerjaan beton dapat berjalan dengan baik.

Dalam campuran beton, berdasarkan SNI 03-6861.1:2002 memiliki syarat yang harus dipenuhi yang diantaranya :

1. Air yang digunakan tidak boleh tercemar, bebas dari kotoran, lumpur, minyak maupun benda terapung yang tampak secara kasat mata.
2. Kandungan zat dalam air tidak boleh melebihi 2 gram per liter.
3. Tidak boleh mengandung garam terlarut yang bersifat merusak dalam jumlah lebih dari 15 gram per liter.
4. Batas maksimum kandungan klorida (Cl) adalah 0,5 gram per liter, sedangkan senyawa sulfat (SO_3) tidak boleh melebihi 1 gram per liter.

3.3 *Fly Ash*

Fly ash adalah material sisa yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. Sekitar 75% - 90% partikel abu yang keluar melalui ceorobong asap dapat ditangkap menggunakan sistem pengendap elektrostatis atau penyaring lainnya, dan partikel ini dikenal sebagai abu terbang (*fly ash*). Sementara itu, sisa abu yang tidak tertangkap dan tertinggal di dasar tungku disebut sebagai bottom ash. *Fly ash* merupakan material yang mengandung kadar semen cukup tinggi dan memiliki sifat pozzolan. Sifat pozzolanik ini muncul karena *fly ash* mengandung senyawa silika dan alumina. Berdasarkan karakteristiknya, *fly ash* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis berikut :

1. Kelas N

Pozzolan kelas N adalah jenis *fly ash* alami yang berasal dari bahan-bahan pozzolan alami atau pozzolan mentah yang telah dikalsinasi dengan

memenuhi persyaratan yang berlaku pada kelas N. Misalnya meliputi berbagai jenis tanah hasil pelapukan batu rijang, serpih, tufa, abu vulkanik, dan batu apung.

2. Kelas F

Pozzolan kelas F adalah jenis *fly ash* yang berasal dari pembakaran batu bara bituminus atau antrasit dengan kandungan kalsium (CaO) yang kurang dari 10%.

3. Kelas C

Pozzolan kelas C adalah jenis *fly ash* yang berasal dari pembakaran batu bara muda seperti lignit atau sub-bituminus dengan kandungan kalsium (CaO) yang cukup tinggi, yaitu lebih dari 10%. Pada penelitian ini, jenis *fly ash* yang digunakan termasuk dalam kategori Pozzolan Kelas C.



Gambar 3. 2 Fly ash

(Sumber : <https://www.indiamart.com/proddetail/fly-ash-13570719288.html>)

Tabel 3. 3 Persyaratan Kimia Pozzolan

Uraian	Kelas		
	N	F	C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min (%)	70	70	50
SO ₃ , maks (%)	4	5	5
Kadar air, maks (%)	3	3	3
Hilang pijar, maks (%)	10	6	6

Sumber : SNI 2640:2014

3.4 *Bestmittel*

Bestmittel merupakan merk bahan tambah kimia yang berguna untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat pengerasan beton (Tipe E, *Water Reducing and Accelerating Admixture*). *Bestmittel* membantu dalam proses pengecoran yang mana dapat menghadapi waktu yang cepat sehingga memungkinkan beton lebih cepat pada usia awal (sekitar 7-10 hari) serta meningkatkan mutu beton 5%-10%. Dosis *Bestmittel* yang umum digunakan adalah sekitar 1kg untuk setiap 200 kg hingga 450 kg semen, atau setara dengan 0,2% - 0,6% dari berat semen.

Menurut Mulyono (2004), bahan tambsubrah kimia ini umumnya berbentuk cair dan air di dalamnya dihitung sebagai bagian dari total air campuran beton. Oleh karena itu, perencanaannya harus memperhitungkan pada penambahan air tersebut. *Bestmittel* juga berfungsi untuk menurunkan kadar air dalam FAS, sehingga diharapkan mendapatkan kondisi yang dikehendaki yaitu beton dengan waktu ikat cepat dan kuat tekan tinggi.

Adapun menurut Papendang. (2022) keunggulan dalam penggunaan *bestmittel* adalah:

1. Penggunaan *bestmittel* dalam campuran beton memberikan keuntungan dalam mempercepat proses hidrasi semen pada awal umur beton, sehingga waktu pembongkaran bekisting dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan beton normal.
2. Mengurangi pemakaian air 5 – 20% sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat dan memiliki tingkat kelecakan (*workability*) yang lebih baik dan plastis.



Gambar 3. 3 Bestmiitel

(Sumber : <https://www.jualmaterial.com/jual/obat-cor-pengeras-beton-semen/>)

3.5 Pengujian Agregat

Agregat merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton yang terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Sebagai bahan penyusun beton, agregat perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan teknis yang berlaku. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai pengujian sifat-sifat (*properties*) agregat yang dilakukan.

3.5.1 Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus, dilakukan beberapa jenis pengujian, antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat volume, serta pemeriksaan kandungan lumpur melalui uji lolos saringan No. 200.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian yang dilakukan mengacu pada SNI 03-1970-1990 dengan berat material sebesar 500 gram. Tujuan utama dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan persentase penyerapan air pada agregat halus. Adapun persamaan yang digunakan dari pengujian tersebut disajikan dalam persamaan 3.1 sampai 3.4 berikut.

$$\text{BJ Curah} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.1)$$

$$\text{BJ jenuh kering muka (SSD)} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

$$\text{BJ Semu} = \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \quad (3.3)$$

$$\text{Persentase Penyerapan Air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

B_k = Berat kering mutlak (gram)

B_t = Berat piknometer berisi pasir dan air (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

2. Pengujian Analisis Saringan

Pada pengujian analisis saringan agregat halus, data hasil pengujian akan diolah untuk menentukan nilai Modulus Halus Butir (MHB) dan klasifikasi daerah gradasi agregat, sesuai dengan ketentuan dalam standar SNI 1968 - 1990 dengan berat pengujian sebesar 2000 gram. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus yang tertahan pada set saringan 9,5 mm (3/8"); 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No. 8); 1,18 mm (No. 16); 0,6 mm (No. 30); 0,3 mm (No. 50); 0,150 mm (No. 100); pan dan tutup saringan. Adapun persamaan analisis Saringan disajikan pada persamaan 3.5 sampai 3.8 berikut.

$$\% \text{ BT} = \frac{BT}{\sum BT} \times 100\% \quad (3.5)$$

$$\% \text{ BT Kumulatif} = \% \text{ BT} + \text{BT Sebelumnya} \quad (3.6)$$

$$\% \text{ lolos Kumulatif} = 100\% - \% \text{ berat tertinggal} \quad (3.7)$$

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \% \text{ berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.8)$$

Keterangan :

BT = Berat Tertinggal

$\sum BT$ = Jumlah Berat Tertinggal

3. Pengujian Berat Isi.

Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 4804-1998 bertujuan untuk mengetahui berat volume gembur dan berat volume padat dari berat

agregat halus dengan kondisi SSD. Adapun persamaan berat isi disajikan pada Persamaan 3.9 sampai Persamaan 3.11 berikut.

$$\text{Volume Tabung (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (3.9)$$

$$\text{Berat Agregat (W3)} = W2 - W1 \quad (3.10)$$

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W3}{V} \quad (3.11)$$

Keterangan :

W1 = Berat Tabung (gram)

W2 = Berat Tabung + Agregat (gram)

W3 = Berat Agregat (gram)

d = Diameter Tabung

t = Tinggi Tabung

V = Volume Tabung

4. Pengujian Lolos Saringan Nomor 200.

Pengujian ini dilakukan pada uji saringan lolos saringan No. 200 yang mengacu pada SNI 03-4192-1996. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui persentase kandungan kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus. Adapun persamaan Lolos Saringan Nomor 200 disajikan dalam persamaan 3.12 berikut.

$$\text{Kandungan Lumpur} = \frac{W1 - W2}{W1} \quad (3.12)$$

Keterangan:

W1 = Berat kering sebelum dicuci (gram)

W2 = Berat kering setelah dicuci (gram)

3.5.2 Pengujian Agregat Kasar

Pada pengujian agregat kasar, dilakukan beberapa jenis pengujian, antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, serta berat volume.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian yang dilakukan mengacu pada SNI 03-1970-1990 dengan berat material sebesar 5000 gram. Tujuan utama dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh

(SSD), dan persentase penyerapan air pada agregat kasar. Adapun persamaan yang digunakan dari pengujian tersebut disajikan dalam persamaan 3.13 sampai 3.16 berikut.

$$BJ \text{ Curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.13)$$

$$BJ \text{ jenuh kering muka (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3.14)$$

$$BJ \text{ Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (3.15)$$

$$\text{Persentase Penyerapan Air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.16)$$

Keterangan:

B_k = Berat kering oven (gram)

B_j = Berat kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat kerikil didalam air (gram)

2. Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan agregat kasar yang dilakukan mengacu pada SNI 1968-1990. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kekasaran serta menentukan gradasi agregat kasar sesuai dengan ketentuan dalam standar SNI 1968-1990 dengan berat pengujian sebesar 5000 gram. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus yang tertahan pada set saringan 75 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 38,1 mm (1½"); 19 mm (¾"); 9,5 mm (¾"); 4,75 mm (No. 4); 2,36 mm (No.8); 1,18 mm (No.16); 0,6 mm (No. 30); 0,3 mm (No. 50); 0,150 mm (No. 100), pan dan tutup saringan. Adapun persamaan analisis Saringan disajikan pada persamaan 3.17 sampai 3.20 berikut.

$$\% BT = \frac{BT}{\sum BT} \times 100\% \quad (3.17)$$

$$\% BT \text{ Kumulatif} = \% BT + BT \text{ Sebelumnya} \quad (3.18)$$

$$\% \text{ lolos Kumulatif} = 100\% - \% \text{ berat tertinggal} \quad (3.19)$$

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{\sum \% \text{ berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.20)$$

Keterangan :

BT = Berat Tertinggal

ΣBT = Jumlah Berat Tertinggal

3. Pengujian Berat Isi Agregat Kasar.

Pengujian Berat Isi Agregat Kasar yaitu Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar yang dilakukan dengan mengacu pada SNI 1968-1990. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kekasaran serta menentukan gradasi agregat kasar. Adapun persamaan berat isi disajikan pada Persamaan 3.21 sampai Persamaan 3.23 berikut.

$$\text{Volume Tabung} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (3.21)$$

$$\text{Berat Agregat} = W_2 - W_1 \quad (3.22)$$

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W_3}{V} \quad (3.23)$$

Keterangan :

W_1	= Berat Tabung (gram)
W_2	= Berat Tabung + Agregat (gram)
W_3	= Berat Agregat (gram)
d	= Diameter tabung
t	= Tinggi tabung
V	= Volume Tabung

3.6 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perancangan campuran beton (*mix design*) adalah proses untuk menentukan proporsi semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dalam 1 m³ adukan beton, dengan tujuan mencapai kuat tekan rencana dan *workability* yang ditentukan. Perencanaan campuran beton dilakukan sesuai dengan SNI 2934-2000. Berikut beberapa tahapan perencanaannya.

1. Merencanakan dalam penetapan kuat tekan beton (f'_c)
2. Deviasi standar dihitung berdasarkan mutu pekerjaan dan volume beton yang direncanakan. Nilai standar deviasi cenderung menurun seiring dengan meningkatnya tingkat pengendalian mutu. Nilai standar deviasi untuk setiap tingkat pengendalian mutu dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 4 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Buruk	7
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000

Jumlah hasil uji paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan, jika kurang dari itu maka nilai deviasi standar perlu disesuaikan dengan menggunakan perkalian faktor koreksi yang tercantum dalam Tabel 3.3. Jika data hasil uji di lapangan tidak tersedia, maka nilai kuat tekan rata-rata yang ditetapkan f'_{cr} harus lebih rendah dari $(f'_{cr} + 12 \text{ MPa})$.

Tabel 3. 5 Faktor Pengali Untuk Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Sd (MPa)
<15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
<u>≥30</u>	1,0
Jumlah Pengujian	Sd (MPa)

Sumber: SNI 03-2834-2000

3. Nilai tambah dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.24 berikut.

$$M = 1,64 \times Sd \quad (3.24)$$

Ket :

S_d : Deviasi Standar

1,64 : Ketetapan Statistik

M : Nilai tambah

4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}) dapat ditentukan melalui persamaan 3.25 berikut.

$$F'_{cr} = F'_c + M \quad (3.25)$$

F'_{cr} : kuat tekan rata-rata yang ditargetkan, MPa.

F'_c : kuat tekan rencana, dalam MPa.

M : nilai tambah.

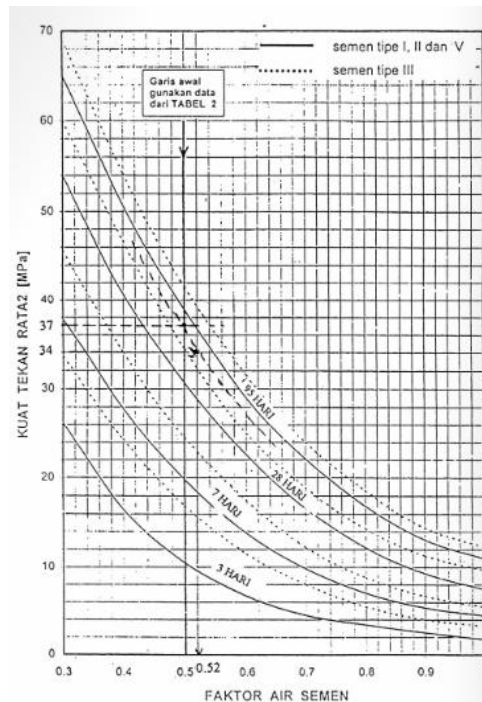
5. Menetapkan jenis semen yang akan digunakan
6. Menentukan jenis agregat kasar dan halus yang dibutuhkan.
7. Menetapkan Faktor Air Semen (FAS) dengan mengikuti langkah-langkah berikut ini.
- a. Menentukan nilai kuat tekan pada usia 28 hari berdasarkan Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3. 6 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (MPa)				
		Umur				Bentuk Uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak pecah	17	23	23	40	Sillinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II,V	Batu tidak pecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak pecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak pecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- b. Menetapkan kurva lengkung baru yang menggambarkan hubungan kuat tekan beton dan faktor air semen, dengan menerapkan Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
Sumber: SNI 03-2834-2000

- c. Hubungan antara kuat tekan beton yang didapat dari kurva baru digunakan sebagai dasar untuk menentukan nilai faktor air semen.
8. Menetapkan faktor air semen maksimum dan minimum yang berdasar pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3. 7 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		

**Lanjutan Tabel 3. 7 Perkiraan Kuat Tekan (MPa)
Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar**

Lokasi	Jumlah Semen minimum per m3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
a. Keadaan keliling non- korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif akibat terjadinya kondensasi	325	0,52
Beton di luar bangunan		
a. Tidak memiliki perlindungan terhadap hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Memiliki perlindungan dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
c. Mengalami kondisi lembap dan kering secara bergantian	325	Tabel 5
d. Terpapar zat sulfat dan alkali yang berasal dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

Sumber : SNI 03-2843-2000

9. Tentukan nilai slump
10. Ukuran maksimum agregat ditentukan berdasarkan hasil uji terhadap sifat-sifat agregat.
11. Nilai kadar air bebas ditentukan berdasarkan Tabel 3.7 dan menggunakan Persamaan 3.3 seperti berikut.

Tabel 3. 8 Perkiraan kadar air bebas (Kg/m³) yang diperlukan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Slump		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dihancurkan	150	180	205	225
	Batu hancur	180	205	230	250
20	Batu tak dihancurkan	135	160	180	195
	Batu hancur	170	190	210	225
40	Batu tak dihancurkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 03-2843-2000

$$w = \frac{2}{3} W_{\text{halus}} + \frac{2}{3} W_{\text{kasar}} \quad (3.14)$$

Ket :

w : kadar air bebas (kg/m³)

W_{halus} : jumlah perkiraan air agregat halus (kg/m³)

W_{kasar} : jumlah perkiraan air agregat kasar (kg/m³)

12. Kebutuhan semen per m³ dihitung menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.15)$$

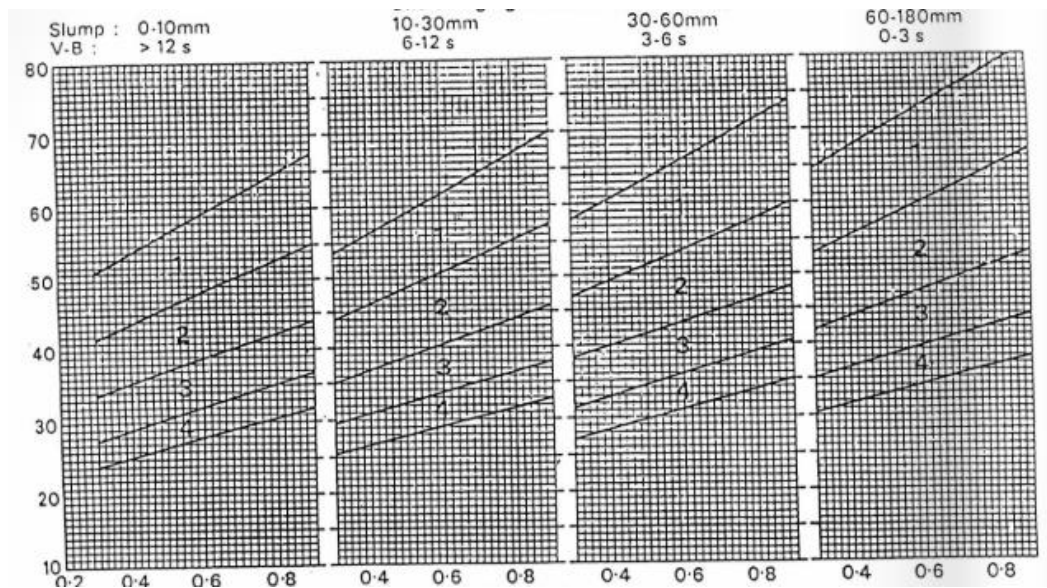
Ket :

c : jumlah semen (kg/m³)

w : kadar air bebas (kg/m³)

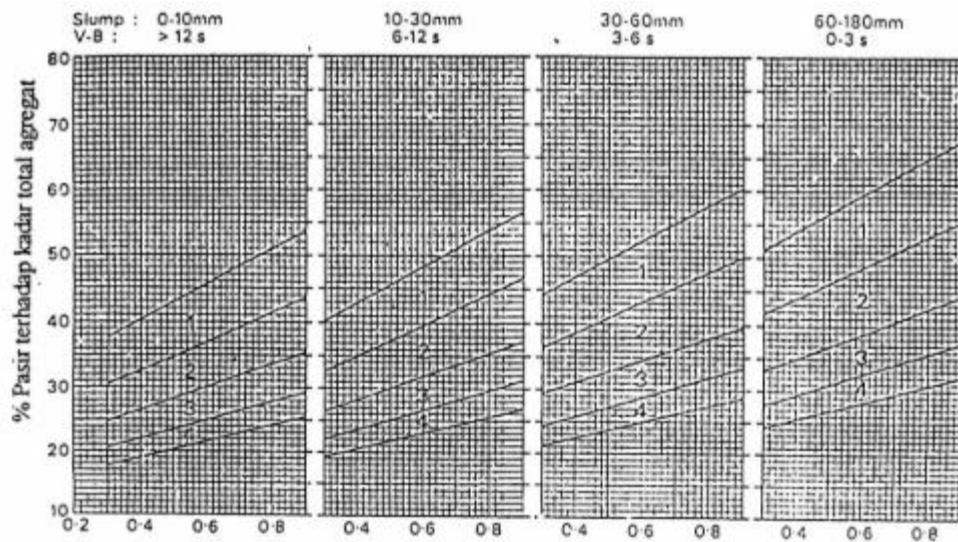
fas : faktor air semen

13. Persentase agregat halus dan kasar ditentukan menggunakan grafik di bawah, yang pemakaiannya bergantung pada ukuran maksimum agregat kasar dan nilai slump yang telah ditentukan dengan menggunakan Gambar 3.4 sampai 3.6 berikut ini.



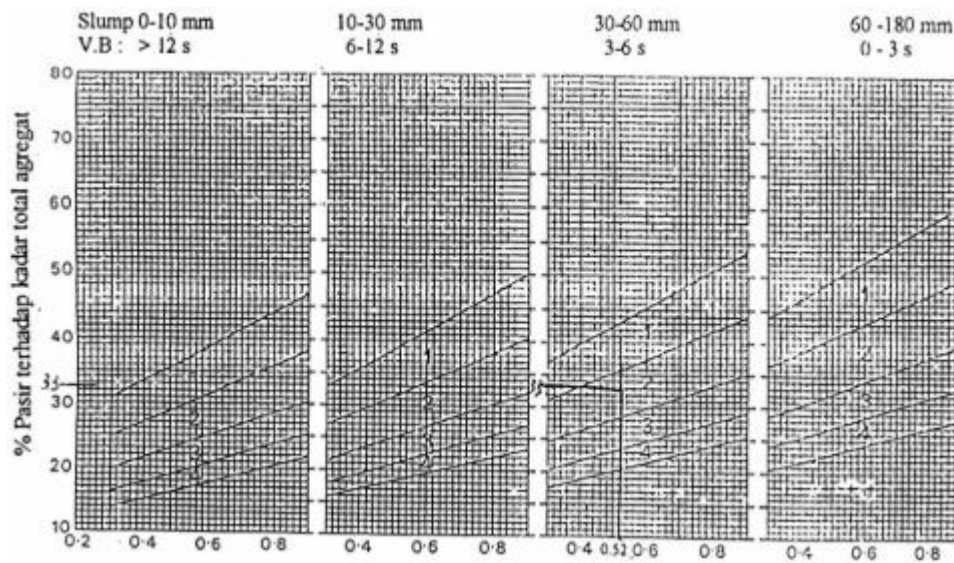
**Gambar 3. 5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimum 10 mm)**

Sumber: SNI 03-2834-2000



**Gambar 3. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimum 20 mm)**

Sumber: SNI 03-2834-2000



**Gambar 3. 7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Ukuran Butir Maksimum 40 mm)**

Sumber: SNI 03-2834-2000

14. Berat jenis relatif atau yang disebut berat jenis agregat gabungan agregat halus dengan agregat kasar dapat dihitung menggunakan persamaan 3.5 seperti berikut.

$$BJ_{gab} = (\% \text{ Agregat Halus} \times BJ_{AH} + \% \text{ Agregat Kasar} \times BJ_{AK}) \quad (3.16)$$

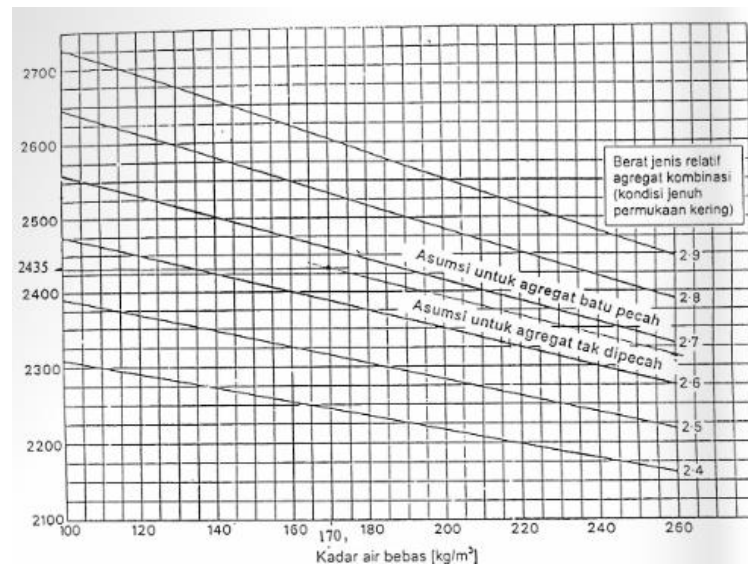
dengan :

BJ_{gab} = berat jenis gabungan

BJ_{AH} = berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = berat jenis agregat kasar

15. Menetapkan berat isi beton dengan menyesuaikan letak kadar air bebas dan berat jenis gabungan / relatif yang mengacu pada grafik pada gambar 3.8



Gambar 3. 8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

Sumber: SNI 03-2834-2000

16. Kadar agregat gabungan dihitung menggunakan Persamaan 3.17 berikut.

$$W_{AG} = W_{\text{beton}} - C - W \quad (3.17)$$

Ket :

W_{AG} : kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{beton} : berat isi beton (kg/m^3)

C : berat semen (kg/m^3)

W : kadar air bebas (kg/m^3)

17. Kadar agregat halus dihitung menggunakan Persamaan 3.18 berikut.

$$W_{AH} = \%_{AH} \times W_{AG}$$

Ket :

(3.18)

W_{AH} : kadar agregat halus (kg/m^3)

$\%_{AH}$: persentase agregat halus (%)

W_{AG} : kadar agregat gabungan (kg/m^3)

18. Kadar agregat kasar dihitung menggunakan Persamaan 3.19 berikut.

$$W_{AK} = W_{AG} - W_{AH} \quad (3.19)$$

Ket :

W_{AK} : kadar agregat kasar (kg/m^3)

W_{AG} : kadar agregat gabungan (kg/m^3)

W_{AH} : kadar agregat halus (kg/m^3)

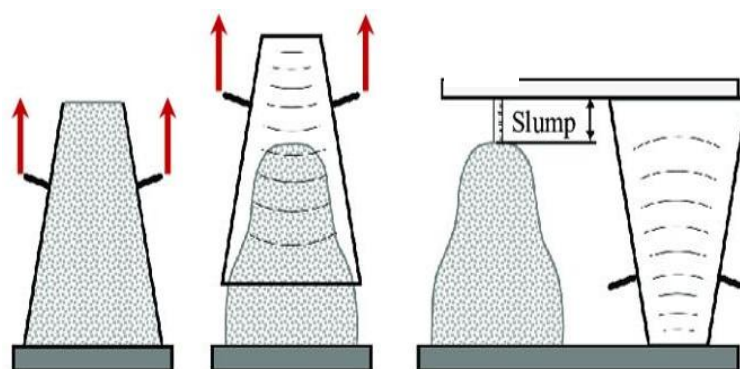
3.7 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* merupakan salah satu metode uji menggunakan alat kerucut Abrams untuk mengukur kekentalan atau konsistensi beton segar, yang menunjukkan kemudahan *workability* (pengerjaannya) untuk di cor, dan dipadatkan. Semakin tinggi nilai slump maka semakin ringan atau semakin encer beton yang dikerjakan, sementara semakin kecil nilai *slump* maka semakin kental dan susah dikerjakan. Tabel berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai slump yang sesuai berdasarkan jenis struktur.

Tabel 3. 9 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton

No.	Pemakaian Beton (berdasarkan Jenis Struktur yang Dibuat)	Nilai <i>Slump</i> (mm)	
		Maksimum	Minimum
1.	Dinding, pelat pondasi, dan pondasi telapak bertulang	125	50
2.	Pondasi telapak tidak bertulang dan struktur dibawah tanah	90	25
3.	Pelat, balok, kolom, dinding	150	75
4.	Perkerasan jalan	75	50
5.	Pembetonan massal (beton massa)	75	25

(Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971)



Gambar 3. 9 Ilustrasi Pengujian Slump

Sumber : (<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/55307>)

3.8 Kuat Tekan Beton

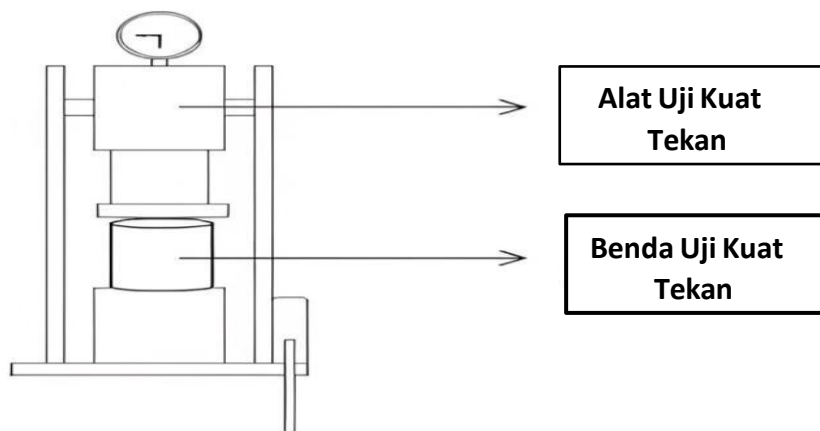
Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menahan gaya tekan yang dihasilkan melalui mesin tekan dengan bekerja secara aksial per satuan luas. Kuat tekan menjadi pengujian terpenting untuk beton dibandingkan dengan pengujian lain karena dapat menggambarkan karakteristik beton. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh perbandingan semen, agregat kasar dan halus, serta air. Semakin rendah rasio air terhadap semen, semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Menurut SNI 1974 : 2011, kuat tekan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20 berikut ini.

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (3.20)$$

Ket :

P : beban maksimum uji tekan (N)

A : luas penampang benda uji (mm^2 atau cm^2)



Gambar 3. 10 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Sumber : (<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/55307>)

3.9 Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton merupakan proses untuk mengukur tingkat kekakuan atau elastisitas beton. Yaitu seberapa besar beton akan mengalami deformasi (regangan) ketika diberikan tegangan. Tegangan merupakan hasil perbandingan antara gaya Tarik yang dikenakan per satuan luas, sedangkan

regangan merupakan perubahan bentuk (deformasi) akibat adanya tegangan yang bekerja padanya.

Modulus elastisitas merupakan kemiringan garis yang ditarik dari titik tegangan nol hingga mencapai 40% dari kuat tekan beton (f'_c). Nilai 40% f'_c ini menunjukkan batas elastis pada kurva tegangan regangan beton. Pada tahap ini, beton masih dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Namun, jika beban terus ditingkatkan, beton akan masuk ke fase plastis hingga mencapai tegangan tekan maksimum yang biasanya terjadi pada regangan antara 0,002 hingga 0,003. Berdasarkan standar ASTM C469-02, nilai modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.21. Menurut SNI 2847:2019, untuk beton normal digunakan rumus yang tercantum pada Persamaan 3.22. Adapun untuk beton dengan berat jenis antara $1440 \text{ kg/m}^3 - 2560 \text{ kg/m}^3$, perhitungannya mengacu pada Persamaan 3.23.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (3.21)$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.22)$$

$$E_c = w_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.23)$$

Dengan :

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

S_2 = Tegangan tekan beton saat mencapai 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Tegangan tekan beton Ketika regangan mencapai 0,00005 (MPa)

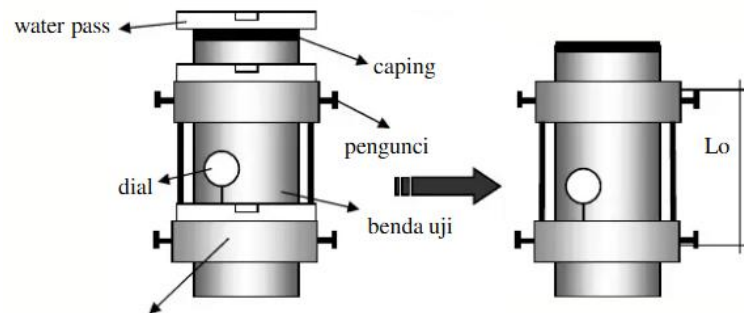
ϵ_2 = Regangan memanjang yang terjadi saat tegangan S_2 dicapai

ϵ_1 = Regangan awal sebesar 0,00005

f'_c = Kuat tekan maksimum (MPa)

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

Adapun gambar ilustrasi pengujian modulus elastisitas beton adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 11 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Sumber : (<https://www.scribd.com/document/248388150/24-Pengujian-Modulus-Elastisitas>)

3.10 Konversi Umur Beton

Mulyono (2003) menjelaskan bahwa kuat tekan beton mengalami peningkatan secara berkelanjutan seiring bertambahnya umur beton. Peningkatan yang paling signifikan terjadi hingga umur 7 hari, sedangkan setelah periode tersebut kenaikan kuat tekan yang terjadi relatif lebih kecil. Kuat tekan rencana umumnya ditetapkan pada umur 28 hari dan dapat diperkirakan sebelum mencapai umur tersebut menggunakan angka konversi yang tercantum pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Angka Konversi Umur Benda Uji

Umur Benda Uji	Angka Konversi
3 hari	0,40
7 hari	0,65
14 hari	0,88
21 hari	0,95
28 hari	1,00

Sumber : PBI 1971

Namun perlu diperhatikan bahwa angka konversi pada Tabel 3.10 yang bersumber dari PBI 1971 hanya berlaku untuk beton normal tanpa bahan substitusi. Pada penelitian ini yang menggunakan 10% *fly ash* sebagai substitusi sebagian semen, memiliki pola perkembangan kuat tekan berbeda dari beton normal karena reaksi pozzolanik *fly ash* berlangsung lebih lambat dibandingkan hidrasi semen murni sehingga angka konversi tersebut tidak dapat diterapkan. Berdasarkan

pertimbangan tersebut, pengujian kuat tekan dalam penelitian ini dilakukan secara langsung pada umur 7,14, dan 28 hari untuk memperoleh gambaran perkembangan kuat tekan aktual dari masing-masing variasi campuran beton *fly ash* dan *bestmittel*.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan langkah yang digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis data dengan tujuan tertentu. Metode penelitian menyajikan rancangan yang mencakup antara lain: Tahapan dan prosedur pengujian, jadwal pelaksanaan penelitian, sumber data yang digunakan, serta pengolahan, dan analisis data tersebut. Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Penelitian ini dilakukan dengan mengganti 10% *fly ash* berat semen dan memodifikasi *bestmittel* ke dalam campuran semen. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dampak variasi penggunaan *fly ash* dan *bestmittel* terhadap kuat tekan serta modulus elastisitas beton.

4.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

Adapun dalam melakukan penelitian ini, dibutuhkan sejumlah peralatan. Seluruh peralatan yang akan digunakan disediakan oleh Laboratorium BKT Teknik Sipil FTSP UII. Penjelasan mengenai fungsi masing-masing alat dijelaskan pada uraian berikut.

4.2.1 Alat yang Digunakan

1. Ayakan agregat

Ayakan agregat digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirnya dalam proses analisis saringan

2. Timbangan

Timbangan dengan kapasitas 2500 gram dan kapasitas +20000 gram yang digunakan untuk menimbang material sesuai dengan perhitungan dalam perencanaan campuran beton (mix design)

3. Piknometer

Piknometer yang digunakan memiliki kapasitas 500 ml. Piknometer digunakan untuk menguji nilai berat jenis dan daya serap agregat halus.

4. Ember
Menyimpan material uji sebelum digunakan
5. Gelas ukur
Menakar volume air dan *Bestmittel*
6. Oven
Oven berfungsi untuk mengeringkan agregat kasar dan halus sekaligus digunakan dalam analisis berat jenis dan penyerapan air
7. Cetakan silinder beton
Digunakan untuk mencetak elemen beton dengan memberikan bentuk silinder
8. Concrete mixer
Concrete mixer digunakan untuk mencampur material penyusun beton secara homogen yang sesuai dengan perencanaan campuran beton
9. Mistar / meteran
Digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap tingkat kelecakan (workability) campuran beton segar
10. Batang penumbuk
Untuk menusuk atau memadatkan adukan beton segar dalam cetakan
11. Kerucut *Abrams*
Kerucut *Abrams* merupakan alat berbentuk kerucut terpancung dengan diameter atas $40 \pm \text{mm}$., diameter bawah $90 \pm 3 \text{ mm}$, dan tinggi $75 \pm 3 \text{ mm}$ yang digunakan dalam uji slump.
12. *Compressive Testing Machine*
Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton dan pengujian modulus elastisitas beton. Alat yang digunakan untuk uji tekan adalah *Compressive Testing Machine*, yang berfungsi untuk mengukur beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji hingga mengalami kerusakan. Pada pengujian modulus elastisitas menggunakan alat *Dial Gauge*, yang berfungsi untuk mengukur regangan beton.

4.2.2 Bahan yang Digunakan

1. Semen *Portland*

Pada penelitian ini semen *Portland* yang digunakan adalah *Portland Composite Cement* dengan merek Tiga Roda seberat 50kg.

2. Agregat

Penelitian ini menggunakan agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, dan agregat halus yang berasal dari Sungai Progo

3. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

4. Bahan Tambah

Dalam penelitian ini, bahan tambah yang digunakan adalah *fly ash* dan *bestmittel*. *Fly ash* yang digunakan adalah tipe C yang diperoleh dari lembah bekas di pabrik Ponorogo. Kemudian untuk bahan aditif yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Bestmittel*, yang diperoleh dari toko bangunan terletak di Kabupaten Magelang. Produk tersebut masih dalam kondisi tersegel dengan kemasan kaleng yang utuh dan dibungkus secara rapi sehingga terlindung dari paparan sinar matahari langsung.

4.3 Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian harus dilaksanakan secara tepat dan sistematis. Pelaksanaan tahapan-tahapan penelitian yang terstruktur akan mendukung tercapainya hasil yang akurat. Oleh karena itu, penerapan prosedur yang benar sangat penting agar penelitian tetap berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.3.1 Persiapan bahan

Persiapan bahan merupakan tahap penting untuk memastikan mutu material yang digunakan sesuai standar dan agar campuran beton yang direncanakan dapat tercapai dengan optimal. Oleh karena itu, pembersihan material dari kotoran atau benda asing perlu dilakukan guna mencegah gangguan terhadap hasil penelitian.

Persiapan yang Dilakukan dalam Penelitian :

1. Persiapan Material

Material yang perlu disiapkan meliputi komponen penyusun beton segar, seperti agregat halus, agregat kasar, air, semen yang dipersiapkan dengan baik agar sesuai dengan mutu rencana.

2. Persiapan Bahan Khusus

Pada penelitian ini, bahan khusus yang digunakan adalah 10% *fly ash* dan *bestmittel* dengan varian 0, 0,2%, 0,4% 0,6% dari total berat semen.

3. Pembersihan Bahan

Pembersihan dilakukan terhadap aregat halus dan agregat kasar guna menghilangkan kotoran, benda asing yang menempel dan bebas dari lumpur. Proses ini penting untuk memastikan bahwa agregat memenuhi persyaratan kualitas yang diperlukan dalam campuran beton.

4. Pengujian Agregat

Pengujian agregat adalah proses yang dilakukan untuk menilai agregat halus maupun kasar. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat serta karakteristik agregat yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton. Data dari hasil pengujian tersebut nantinya akan menjadi dasar dalam merancang campuran beton (mix design). Berikut ini adalah acuan yang digunakan dalam pelaksanaan pengujian agregat.

- a. Pengujian berat jenis dan kemampuan menyerap air padagregat halus mengacu pada SNI 1970-1990.
- b. Pengujian berat jenis dan kemampuan menyerap air pada agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
- c. Pengujian analisis saringan untuk agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990
- d. Pengujian analisis saringan untuk agregat kasar juga mengacu pada SNI 1968-1990
- e. Pengujian berat volume dalam kondisi gembur dan padat pada agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998.
- f. Pengujian berat volume dalam kondisi gembur dan padat pada agregat kasar juga mengikuti SNI 4804-1990.

- g. Pengujian terhadap butiran agregat yang lolos ayakan No. 200 berdasarkan SNI 4142-1996.

Setelah pengujian dilakukan, Langkah selanjutnya adalah memverifikasi apakah agregat yang diuji memenuhi kriteria atau persyaratan yang telah ditetapkan.

4.3.2 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton yang mengandung substitusi *fly ash* serta variasi kadar *bestmittel* pada campuran semen. Setiap variasi benda uji diuji pada usia beton 7, 14, dan 28 hari. Bentuk benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jumlah sampel yang digunakan yaitu 4 buah pada tiap benda uji. Rincian lengkap kodefikasi benda uji dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Kodefikasi Sampel Benda Uji

No	Kode Benda Uji	<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bestmittel</i> (%)	Pengujian pada umur (hari)	Jumlah Sampel (buah)
1	BN _{.7}	0	0	7	4
2	BF0 _{.7}	10	0	7	4
3	BF0,2 _{.7}	10	0,2	7	4
4	BF0,4 _{.7}	10	0,4	7	4
5	BF0,6 _{.7}	10	0,6	7	4
6	BN ₁₄	0	0	14	4
7	BF0 _{.14}	10	0	14	4
8	BF0,2 _{.14}	10	0,2	14	4
9	BF0,4 _{.14}	10	0,4	14	4
10	BF0,6 _{.14}	10	0,6	14	4
11	BN _{.28}	0	0	28	4
12	BF0 _{.28}	10	0	28	4
13	BF0,2 _{.28}	10	0,2	28	4
14	BF0,4 _{.28}	10	0,4	28	4
15	BF0,6 _{.28}	10	0,6	28	4
Total					60

Keterangan :

BN = Beton Normal

BF = Beton dengan penambahan *Bestmittel* dan 10% *fly ash* sebagai pengganti sebagian semen

Pada Tabel 4.1 disajikan kodefikasi sampel benda uji kuat tekan. Sementara itu, pengujian modulus elastisitas dilakukan pada satu sampel untuk uji setiap variasi, dengan jumlah keseluruhan sebanyak 15 sampel modulus elastisitas. Adapun langkah-langkah dalam proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Material pembentuk beton, yaitu agregat halus, agregat kasar, semen, dan air, dalam keadaan SSD agar dalam waktu pengerjaan tidak perlu menambah atau mengurangi air serta bahan tambah berupa *fly ash* dan *bestmittel*, disiapkan terlebih dahulu dan dibersihkan
2. Melakukan persiapan, pengukuran, dan penimbangan material yang akan digunakan sesuai dengan rencana campuran beton berdasarkan SNI 2493-2011
3. Bagian dalam cetakan silinder diolesi dengan oli, agar beton yang sudah jadi setelah 24 jam mudah dilepaskan dari bekisting.
4. Mempersiapkan alat pencampur beton (mixer) serta wadah untuk menampung beton segar yang telah dicampur.
5. Agregat kasar dan halus dimasukkan ke dalam mixer beton lalu diaduk hingga tercampur secara merata.
6. Setelah agregat tercampur secara merata, tambahkan semen yang telah dicampur dengan *fly ash* 10% ke dalam mixer, lalu aduk hingga seluruh bahan tercampur dengan baik.
7. Air dan variasi *bestmittel* ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran untuk mengontrol tingkat keenceran beton segar.
8. Proses pencampuran beton segar dilakukan hingga seluruh material tercampur secara merata (homogen).
9. Setelah campuran beton mencapai kondisi homogen, tuangkan beton segar ke dalam wadah yang telah disiapkan sebelumnya.
10. Lakukan pengujian slump dan pastikan hasil tinggi slump sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.

11. Memasukkan beton segar ke dalam sepertiga bagian cetakan silinder, lalu padatkan dengan tongkat penumbuk dan digetarkan menggunakan vibrator hingga campuran merata dan tidak ada rongga udara. Proses ini diulangi hingga 3/3 cetakan silinder terisi penuh.
12. Haluskan permukaan atas campuran beton hingga rata.
13. Sekitar 24 jam setelah pengecoran, lepaskan cetakan dari benda uji, lalu lanjutkan dengan proses perawatan beton.

4.3.3 Perawatan Benda Uji

Perawatan terhadap benda uji mengikuti ketentuan dalam SNI 2493:2011 mengenai Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium. Cetakan dilepas setidaknya 24 jam setelah beton segar dituangkan. Kemudian dilakukan perawatan dengan merendam benda uji dalam air selama 28 hari. Benda uji tidak diperbolehkan terletak di air mengalir atau air menetes. Sebelum dilakukan pengujian pada umur 28 hari, benda uji harus dalam keadaan kering. Sehingga perlu dikeluarkan dari air rendaman satu hari sebelum pengujian dilakukan.

4.3.4 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji kuat tekan beton dan uji modulus elastisitas beton. Setiap pengujian dilakukan pada berbagai variasi campuran beton yang telah berumur 28 hari. Sebelum proses pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur dan ditimbang untuk memastikan ketelitian data yang diperoleh.

4.4 Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian pengujian. Setiap prosedur pengujian dijelaskan secara sistematis. Adapun rangkaian prosedur pengujian disajikan sebagai berikut.

4.4.1 Uji *Slump*

Uji *Slump* menunjukkan tingkat keenceran adonan beton yang berpengaruh terhadap permeabilitas dan mengukur kemudahan pengerjaan (*workabilitas*) beton. Pengujian *slump* dilakukan setelah campuran beton dikeluarkan dari mixer beton. Prosedur pelaksanaan uji *slump* adalah sebagai berikut.

1. Membasahi cetakan kerucut Abrams beserta pelat alasnya menggunakan kain yang telah dibasahi
2. Kerucut Abrams diisi secara bertahap dengan $\frac{1}{3}$ volume beton segar, kemudian padatkan secara merata dengan menggunakan batang logam dengan menumbuk. Pada tiap bagian dilakukan penumbukan sebanyak 25 – 30 kali secara merata. Proses ini diulang hingga cetakan terisi penuh
3. Beton segar dibiarkan selama 30 detik
4. Cetakan kerucut Abrams diangkat secara vertical dan dipindahkan ke samping beton segar yang telah terbentuk
5. Kemudian, dilakukan pengukuran tinggi slump

4.4.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada standar SNI 1974-2011. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Benda uji diangkat dari bak perendaman dan dibiarkan selama 24 jam sebelum pengujian.
2. Mengukur berat serta dimensi benda uji.
3. Sebelum dilakukan pengujian, dilapiskan (*capping*) terlebih dahulu permukaan atas benda uji dengan mortar belerang.
4. Benda uji kemudian ditempatkan di atas pelat tekan bagan bawah, dengan penunjuk beban telah diatur pada posisi nol.
5. Pengujian dilaksanakan dengan mengoperasikan mesin uji tekan pada pembebanan antara 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik.
6. Proses pembebanan dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, lalu catat beban maksimum yang dicapai

4.4.3 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian kuat tekan beton mengacu pada standar SNI 2847-2019. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Menimbang dan mengukur dimensi benda uji.
2. Melakukan proses (*capping*) pada permukaan benda uji yang kasar menggunakan portar belerang agar permukaan.

3. Memasang benda uji pada alat pengukur modulus elastisitas, kemudian menggunakan *waterpass* untuk meratakan posisi benda uji. Setelah itu, mengukur tinggi awal alat pengukur modulus elastisitas (L_0).
4. Menyetel dial *gauge* pada kompresmeter dan ekstensiometer yang terpasang pada uji silinder, lalu mengatur penunjuk dial ke posisi nol.
5. Melakukan pengujian dengan memberikan beban menggunakan mesin tekan hidrolik secara bertahap dengan interval 10 kN hingga mencapai batas yang ditentukan, diulangi sebanyak tiga kali. Pada pengujian ketiga, proses dilanjutkan hingga benda uji mengalami kerusakan.

4.5 Analisis Perhitungan Benda Uji

Data hasil pengujian kemudian diolah dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel. Proses pengolahan data dilakukan mengacu pada teori dan ketentuan yang berlaku. Hasil dari pengolahan ini berupa parameter-parameter penting yang akan digunakan dalam tahap analisis data.

4.6 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang telah diolah dan menghasilkan parameter yang dibutuhkan selanjutnya dianalisis dengan mengacu pada teori serta peraturan yang relevan. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan, dan modulus elastisitas beton pada setiap variasi benda uji. Variasi benda uji berupa campuran beton dengan substitusi fly ash sebesar 10% dan variasi *bestmittel* sebesar 0,2%, 0,4%, 0,6%. Hasil analisis berupa perbandingan nilai kuat tekan, dan modulus elastisitas beton.

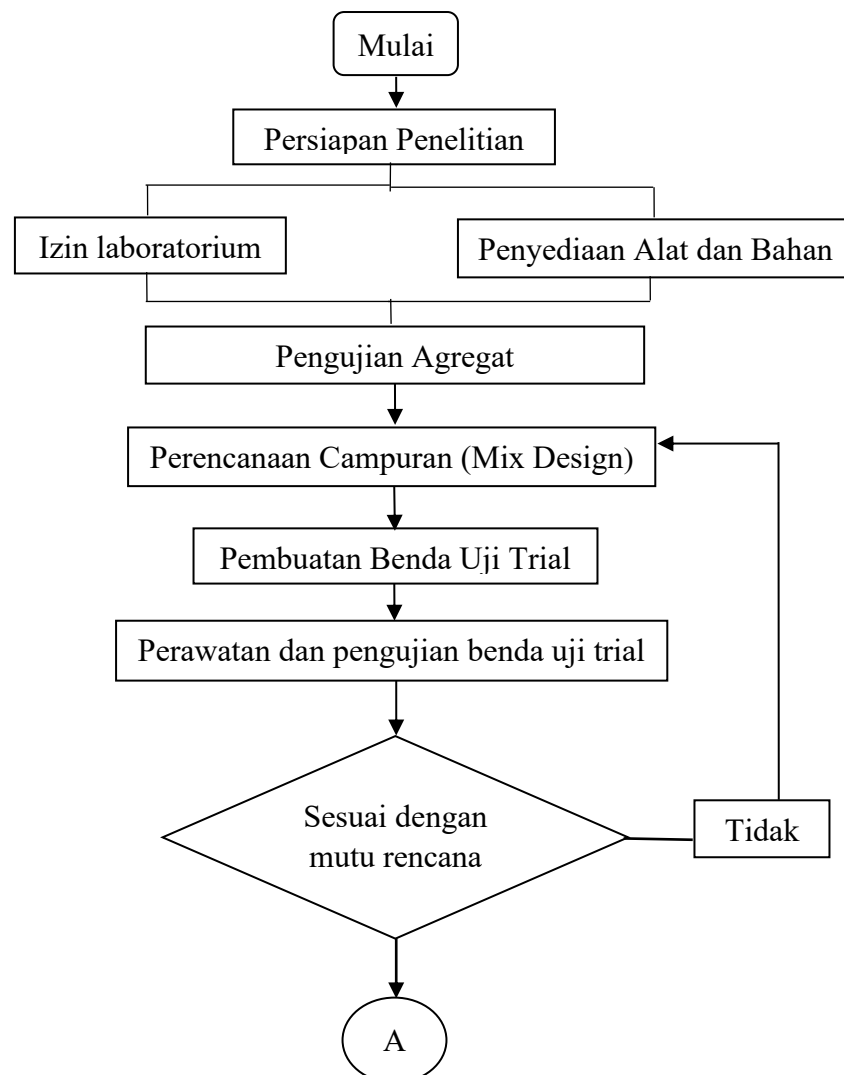
Setelah tahap analisis data selesai dilakukan, dilanjutkan dengan proses pembahasan. Pembahasan disusun berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh dan bertujuan untuk menginterpretasikan perbandingan nilai kuat tekan, dan modulus elastisitas beton pada tiap variasi campuran beton. Selain itu, pembahasan juga ditujukan untuk menjawab seluruh rumusan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya.

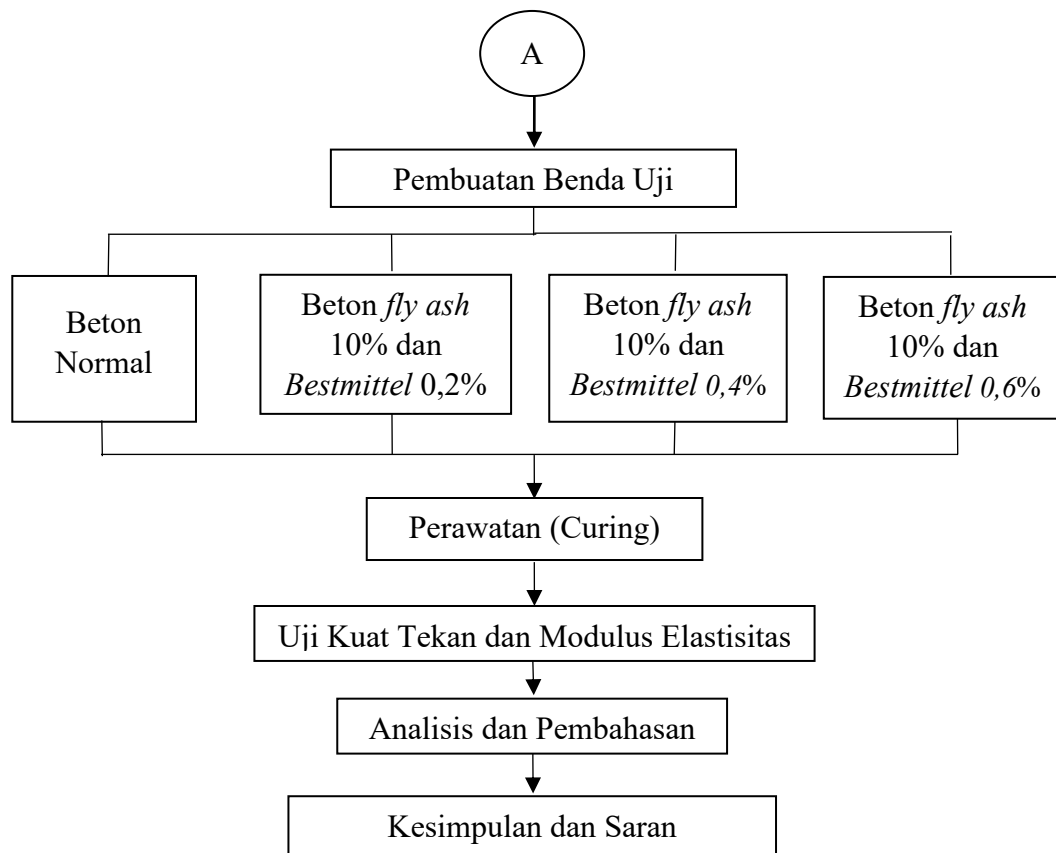
4.7 Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dalam penelitian ini adalah penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan disusun dengan merangkum hasil analisis data dan pembahasan secara ringkas, padat, jelas, dan sesuai dengan teori dan ketentuan yang berlaku. Kesimpulan tersebut juga harus selaras dengan tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini disusun saran yang didasarkan pada kesimpulan yang diperoleh, sebagai masukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4.8 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.





Gambar 4. 1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Dari hasil penelitian yang diperoleh kemudian dilakukan analisis data dan pembahasan dengan tujuan untuk mencapai hasil sesuai dengan yang telah direncanakan.

5.2 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik dan kebutuhan agregat yang digunakan pada penelitian ini. Oleh karena itu, dilakukan pengujian terhadap agregat kasar maupun agregat halus.

5.2.1 Hasil pengujian agregat halus

Pada pengujian agregat halus, dilakukan beberapa jenis pengujian, antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, berat volume, serta pemeriksaan kandungan lumpur melalui uji lolos saringan No. 200.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian yang dilakukan mengacu pada SNI 03-1970-1990. Tujuan utama dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis curah serta berat jenis kering permukaan jenuh (SSD). Adapun hasil perhitungan yang diperoleh dari pengujian tersebut disajikan sebagai berikut

a. Berat Jenis Curah (Bk)

$$\begin{aligned}\text{BJ Curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{478}{646+500-951} \\ &= 2,45\end{aligned}$$

b. Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)

$$\begin{aligned}\text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\ &= \frac{500}{646+500-951} \\ &= 2,56\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Semu} &= \frac{B_k}{B+500-B_t} \\
 &= \frac{478}{646+478-951} \\
 &= 2,76
 \end{aligned}$$

d. Persentase Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase Penyerapan Air} &= \frac{500-B_k}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{500-478}{478} \times 100\% \\
 &= 4,60 \%
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus disajikan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat jenis dan Absorsi Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	478	480	488
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram (SSD)	500	500	500
Berat piknometer berisi air dan pasir, gram (Bt)	951	962	956,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	646	653	649,5
Berat Jenis Curah, Bk /	2,45	2,51	2,48
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), 500 / (B+500-Bt)	2,56	2,62	2,59
Berat Jenis semu, Bk / (B+500-Bt)	2,76	2,81	2,79
Absorsi (500-Bk) / Bk x 100%	4,60	4,17	4,38

Menurut Tjokrodimulyo (2010), berat jenis agregat normal dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD) berkisar antara 2,5 hingga 2,7. Agregat yang digunakan dalam penelitian sudah sesuai standar agregat normal, dengan berat jenis agregat halus sebesar 2,59. Selain itu, serapan air pada agregat halus tersebut sebesar 4,38%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pada Pengujian analisis saringan agregat halus, data hasil pengujian akan diolah untuk menentukan nilai Modulus Halus Butir (MHB) dan klasifikasi daerah gradasi agregat, sesuai dengan ketentuan dalam standar SNI 1968-1990. Rincian perhitungan analisis saringan dapat dilihat pada uraian di bawah ini.

a. Nilai persen berat tertinggal

$$\begin{aligned}\text{Saringan 4,8 mm} &= \frac{BT}{\Sigma BT} \times 100\% \\ &= \frac{2}{2000} \times 100 \% \\ &= 0,10 \%\end{aligned}$$

b. Nilai persen Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned}\text{Saringan 4,8 mm} &= \% BT + \% BT Sebelumnya \\ &= 0,10\% + 0\% \\ &= 0,10\%\end{aligned}$$

c. Nilai persen lolos kumulatif

$$\begin{aligned}\text{Saringan 4,8 mm} &= 100\% - \% BT \\ &= 100\% - 0,10\% \\ &= 99,90\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{d. Modulus Halus Butir} &= \frac{\Sigma \% \text{ berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{259,95\%}{100} \\ &= 2,60 \%\end{aligned}$$

Langkah perhitungan yang sama diterapkan pada setiap lubang saringan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Adapun rekapitulasi hasil uji Analisa saringan agregat halus dapat disajikan pada Tabel 5.2 dan 5.3 berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1	40,00	0	0	0	100	100	100
2	20,00	0	0	0	100	100	100
3	10,00	0	0	0	100	100	100
4	4,80	2	0,10	0,10	99,90	90	100
5	2,40	162	8,10	8,20	91,80	75	100
6	1,20	393	19,65	27,85	72,15	55	90
7	0,60	558	27,90	55,75	44,25	35	59
8	0,30	417	20,85	76,60	23,40	8	30
9	0,15	297	14,85	91,45	8,55	0	10
10	Sisa	171	8,55	100,00	0	0	0
	Jumlah	2000	100	259,95			

Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1	40,00	0	0	0	100	100	100
2	20,00	0	0	0	100	100	100
3	10,00	0	0	0	100	100	100
4	4,80	0	0	0	100	90	100
5	2,40	101	5,05	5,05	94,95	75	100
6	1,20	183	9,15	14,21	85,80	55	90
7	0,60	647	32,35	46,57	53,45	35	59
8	0,30	732	36,60	83,19	16,85	8	30
9	0,15	282	14,10	97,30	2,75	0	10
10	Sisa	54	2,75	100,00	0	0	0
	Jumlah	2000	100	246,2			

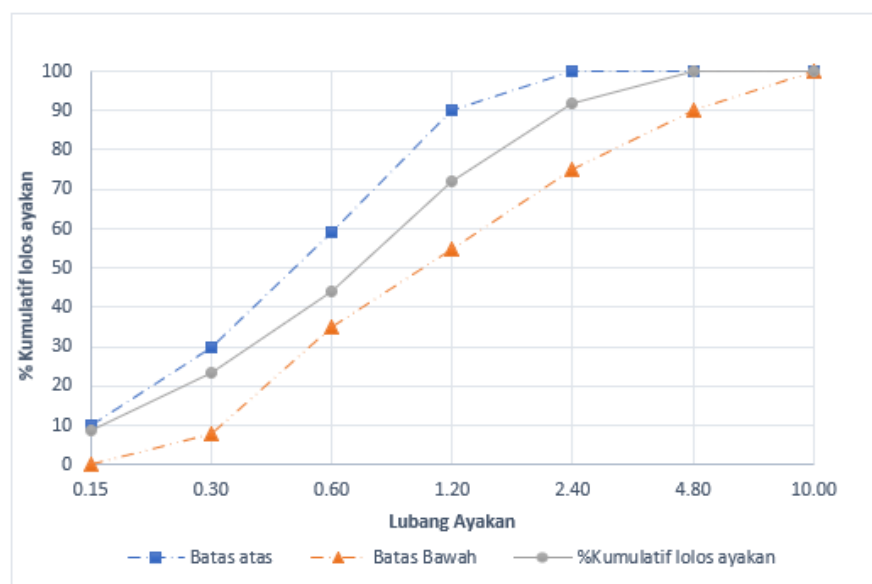
Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3, didapatkan hasil nilai modulus halus butir masing-masing sebesar 2,60 dan 2,46. Menurut SNI 03-1750-1990, nilai tersebut telah memenuhi persyaratan modulus halus butir agregat halus, yaitu kisaran antara 1,5 – 3,8. Maka dari itu, agregat halus yang digunakan

telah memenuhi ketentuan batas atas maupun bawah yang ditetapkan melalui tabel gradasi agregat halus menurut SNI 03-2384-2000. Data gradasi agregat halus penelitian disajikan dalam tabel 5.4 dan 5.5. Dari tabel tersebut kemudian diketahui termasuk dalam daerah gradasi II dan dibuatkan grafik gradasi yang ditampilkan pada Gambar 5.1 dan 5.2.

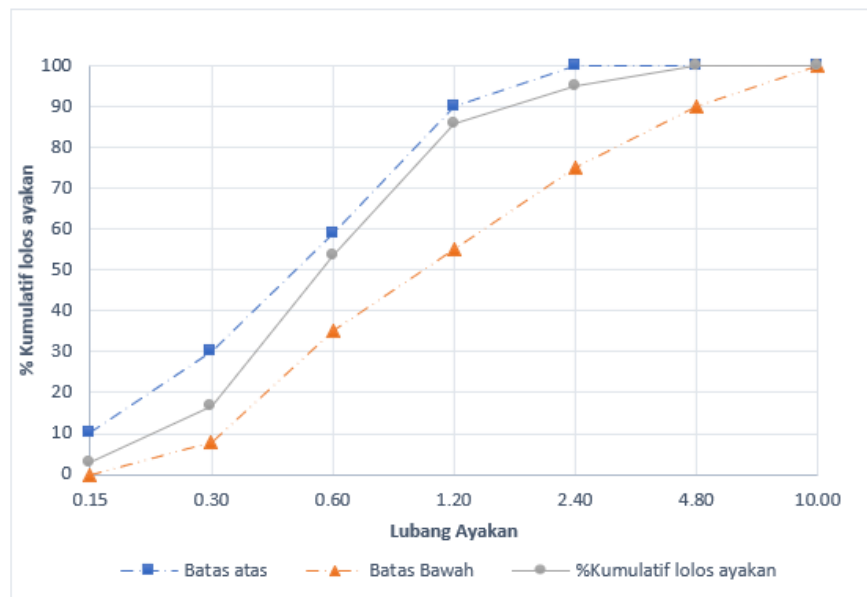
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Lolos			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5. 2 Grafik Gradasi Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Isi.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume gembur dan berat volume padat dari agregat halus dengan kondisi SSD. Berikut ini hasil perhitungan berat volume padat.

1. Volume Tabung (V)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times n \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times n \times 10,40^2 \times 19,50 \\
 &= 1656,50 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

2. Berat Agregat (W3)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat} &= W2 - W1 \\
 &= 8165 - 5246 \\
 &= 2919 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

3. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{2919}{1656,5} \\
 &= 1,762 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pengujian yang dilakukan yaitu 2 sampel dengan perhitungan yang sama pada berat volume gembur. Adapun rekapitulasi pada hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat terdapat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	7785	7653
Berat Agregat (W3)	2539	2483
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,53	1,50
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,52	

Tabel 5. 6 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	8165	8040
Berat Agregat (W3)	2919	2870
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,762	1,733
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,747	

Berdasarkan pada Tabel 5.5 dan 5.6 tersebut diperoleh nilai rata-rata sebesar 1,54 pada berat volume gembur dan nilai rata-rata 1,747 pada berat volume padat.

4. Uji Lolos Saringan No. 200

Pengujian ini dilakukan pada uji saringan lolos saringan No. 200 yang mengacu pada SNI 03-4192-1996. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui persentase kandungan kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus. Contoh perhitungan dari uji lolos saringan No. 200 disajikan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}\text{Kandungan Lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \\ &= \frac{500 - 492}{500} \\ &= 1,60 \%\end{aligned}$$

Maka dari itu hasil pengujian lolos saringan No. 200 dapat dilihat pada rekapitulasi yang disajikan pada Tabel 5.7 berikut ini

Tabel 5. 7 Hasil Uji Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1) (gr)	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2) (gr)	492	488
Persentase lolos saringan No. 200 ($\frac{W_1 - W_2}{W_1}$)	1,60	2,40
Rata-rata persentase lolos saringan No.200	2,00	

Berdasarkan data pada Tabel 5.7, nilai kadar lumpur pada sampel agregat halus yang didapatkan sebesar 1,8%. Nilai tersebut memenuhi ketentuan SNI S-04-1989-F yang menetapkan bahwa kandungan kadar lumpur dalam agregat halus tidak lebih dari 5%. Adanya lumpur dapat melapisi permukaan agregat sehingga menghalangi adanya kontak langsung dengan pasta semen. Hal tersebut dapat menyebabkan kurangnya kelekatan antara pasta semen dengan agregat sehingga

dapat menurunkan kekuatan beton. Hasil uji kadar lumpur dalam penelitian ini masih dibawah batas maksimum 5% sehingga layak digunakan untuk campuran pembuatan beton.

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pada pengujian agregat kasar, dilakukan beberapa jenis pengujian, antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, serta berat volume.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian yang dilaksanakan sudah sesuai standar SNI 03-1969-1990. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk memperoleh nilai berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), serta penyerapan air. Adapun perhitungan dan hasil pengujian yang diperoleh dari pengujian tersebut disajikan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah (Bk)

$$\begin{aligned} \text{BJ Curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ &= \frac{4987}{5000 - 3201} \\ &= 2,77 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)

$$\begin{aligned} \text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3201} \\ &= 2,78 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis semu

$$\begin{aligned} \text{BJ Semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ &= \frac{4987}{4987 - 3201} \\ &= 2,79 \end{aligned}$$

d. Persentase Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Persentase Penyerapan Air} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4987}{4987} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 0,26 \%$$

Perhitungan tersebut juga dilakukan pada sampel 2 dengan persamaan yang sama seperti sampel 1 diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan berat jenis dan persentase absorsi Adalah sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) (gr)	4987	4853	4920
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj) (gr)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba) (gr)	3201	3168	3184
Berat Jenis Curah (gr)	2,77	2,65	2,71
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) (gr)	2,78	2,73	2,75
Berat Jenis semu (gr)	2,79	2,88	2,84
Persentase Absorsi (%)	0,26	3,03	1,64

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, diperoleh nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,84% yang sudah memenuhi standar SNI 03-1970-2008 yaitu >2,5% serta penyerapan air 1,64%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisis saringan agregat kasar yang dilakukan mengacu pada SNI 1968-1990. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat kekasaran serta menentukan gradasi agregat kasar. Adapun perhitungan analisis saringan agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut ini.

a. Nilai persen berat tertinggal

$$\begin{aligned}
 \text{Saringan 10 mm} &= \frac{BT}{\sum BT} \times 100\% \\
 &= \frac{3070}{5000} \times 100 \% \\
 &= 61,4 \%
 \end{aligned}$$

b. Nilai persen Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Saringan 10 mm} = \% BT + \% BT \text{ Sebelumnya}$$

$$= 61,4 \% + 0\%$$

$$= 61,4\%$$

c. Nilai persen lolos kumulatif

$$\text{Saringan 4,8 mm} = 100\% - \% \text{ BT}$$

$$= 100\% - 61,4\%$$

$$= 38,6\%$$

d. Modulus Halus Butir $= \frac{\sum \% \text{ berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$$= \frac{638,08\%}{100}$$

$$= 6,38$$

Perhitungan yang sama dikerjakan untuk sampel 2 pada lubang saringan lainnya dengan metode yang sama seperti perhitungan sebelumnya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian Analisa saringan agregat kasar disajikan pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5. 9 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1	40,00	0	0	0	100	100	100
2	20,00	0	0	0	100	95	100
3	10,00	3070	61,4	61,4	38,6	25	85
4	4,80	1501	30,02	91,42	8,58	0	10
5	2,40	248	4,96	96,38	3,62	0	0
6	1,20	42	0,84	97,22	2,78	0	0
7	0,60	0	0	97,22	2,78	0	0
8	0,30	0	0	97,22	2,78	0	0
9	0,15	0	0	97,22	2,78	0	0
10	Sisa	139	2,78	100,00	0	0	0
	Jumlah	5000	100	638,08			

Tabel 5. 10 Hasil Perhitungan Uji Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

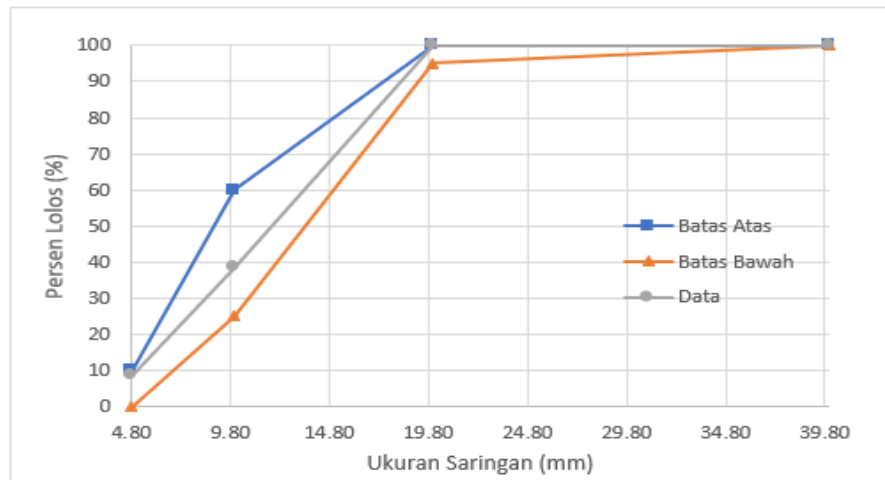
No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
1	40,00	0	0	0	100	100	100
2	20,00	0	0	0	100	100	100
3	10,00	3719	74,39	74,38	25,62	50	85
4	4,80	1123	22,46	96,84	3,16	0	10
5	2,40	107	2,14	98,98	1,02	0	0
6	1,20	9	0,18	99,16	0,84	0	0
7	0,60	0	0	99,16	0,84	0	0
8	0,30	0	0	99,16	0,84	0	0
9	0,15	0	0	99,16	0,84	0	0
10	Sisa	42	0,82	100,00	0	0	0
	Jumlah	5000	100	666,84			

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh dari Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 didapat nilai modulus halus butir 6,381 dan 6,668. Menurut acuan SNI S-04-1989-F nilai modulus halus butir yang diperoleh telah memenuhi standart persyaratan untuk agregat kasar yaitu 5 - 8. Selain itu, data hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat dengan mengacu pada tabel gradasi agregat kasar yang disajikan dalam Tabel 5.11. Setelah tabel tersebut disusun, kemudian membuat kurva gradasi agregat kasar yang disajikan pada Gambar 5.3 dan 5.4 .

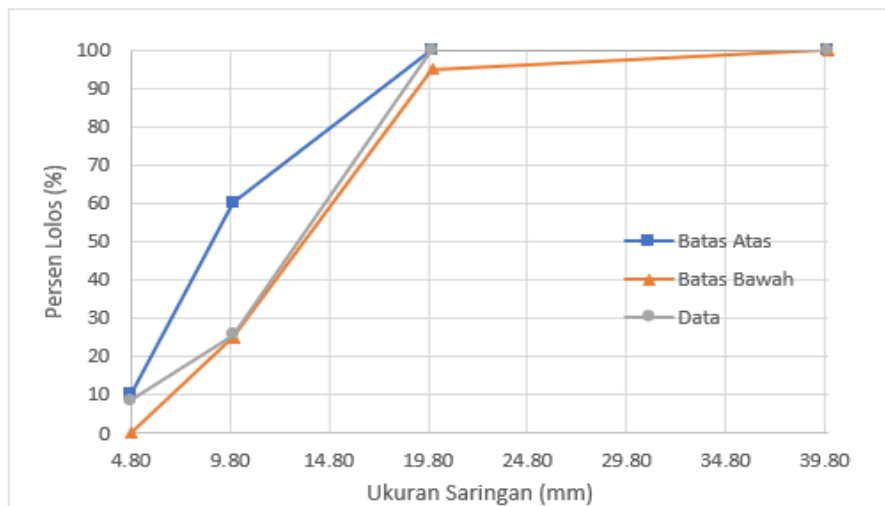
Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar

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

Sumber : SNI 2834-2000



Gambar 5. 3 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5. 4 Grafik Gradasi Agregat Kasar Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat kasar. Pelaksanaan pengujian ini dilakukan pada saat kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Berikut ini disajikan contoh perhitungan dari berat volume.

a. Volume Tabung (V)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Tabung} &= 0,25 \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= 0,25 \times \pi \times 10,4^2 \times 19,5 \\
 &= 1656,5 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Agregat (W3)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat} &= W_2 - W_1 \\
 &= 7639 - 5170 \\
 &= 2469 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

c. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{2469}{1656,6} \\
 &= 1,49 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga diterapkan pada sampel 2 seperti perhitungan sebelumnya. Selanjutnya disajikan rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat yang ditampilkan pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	7522	7371
Berat Agregat (W3)	2276	2201
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,37	1,33
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,35	

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	7816	7639
Berat Agregat (W3)	2570	2469

**Lanjutan Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume
Padat Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,55	1,49
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,521	

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 didapatkan nilai rata rata hasil pengujian berat volume gembur sebesar 1,35 gr/cm³ dan berat volume padat sebesar 1,521 gr/cm³.

5.3 Perencanaan Campuran Beton

Dalam proses perencanaan campuran beton atau biasa disebut Mix Design mengacu pada SNI 03-2834-2000. Tahapan dalam perencanaan beton disajikan berikut ini.

1. Merencanakan kuat tekan rencana. Kuat tekan rencana (f'_c) pada penelitian ini sebesar 25 atau setara dengan K300.

2. Menetapkan nilai standar deviasi

Melihat pada Tabel 3.3, nilai deviasi standar yang ditetapkan ialah sebesar 7 dikarenakan peneliti belum memiliki pengalaman dan jumlah sampel yang diuji kurang dari 15 buah.

3. Menentukan nilai tambah yang berdasarkan perhitungan pada persamaan 3.1 berikut ini.

$$M = 1,64 \times S_d$$

$$M = 1,64 \times 7$$

$$M = 11,48 \text{ MPa} \approx 12 \text{ MPa}$$

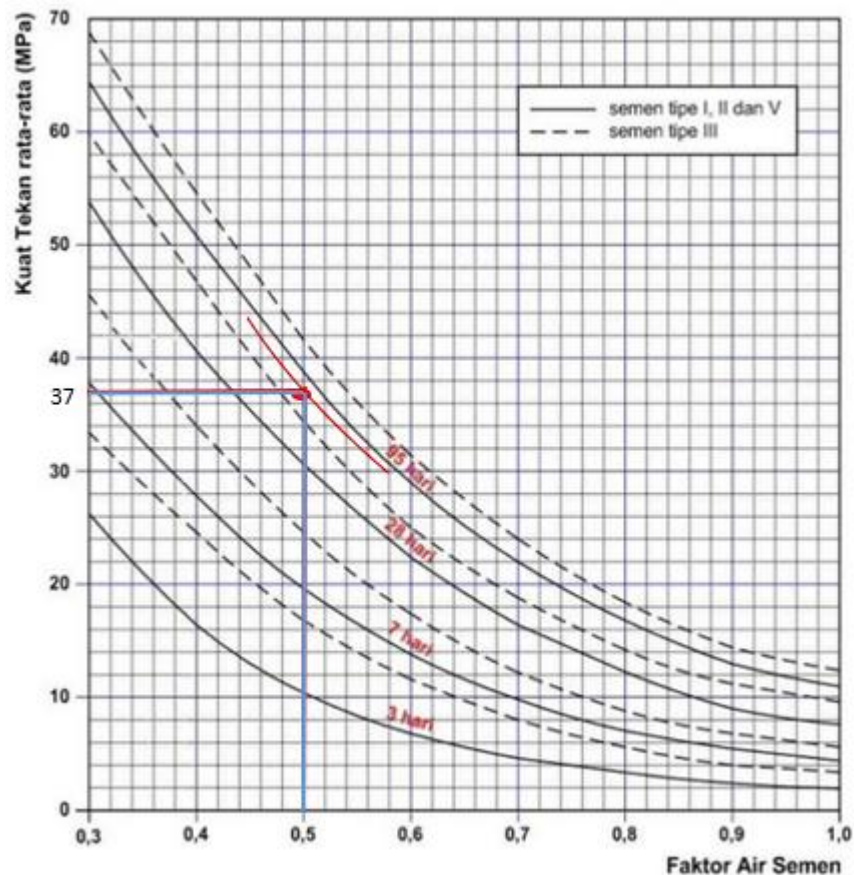
4. Menentukan nilai mutu beton rata-rata yang direncanakan dengan mengacu pada persamaan 3.2 berikut ini.

$$F'_{cr} = F'_c + M$$

$$F'_{cr} = 25 + 12$$

$$F'_{cr} = 37 \text{ MPa}$$

5. Semen yang digunakan adalah semen *Portland Composite Cement (PCC)* merek Tiga Roda. Karena PCC tidak tercantum dalam klasifikasi pada SNI 03-2834-2000, perencanaan awal campuran mengacu pada parameter Semen Portland Tipe I.
6. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Gunung Merapi yang memiliki ukuran maksimum 20 mm yang dihasilkan dari analisa saringan.
7. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo yang masuk kedalam daerah gradasi no. 2 yang dihasilkan dari analisa saringan.
8. Menentukan nilai Faktor Air Semen yang berdasarkan pada Tabel 3.5 dan gambar 5.5 sebagai berikut ini.
9. Berdasarkan Tabel 3.5, semen yang digunakan adalah Semen Portland tipe 1 dengan jenis agregat kasarnya adalah batu pecah. Bentuk benda uji berupa silinder dan pengujian dilaksanakan pada umur 28 hari. Sehingga perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 adalah sebesar 37 MPa.
10. Dengan mengacu pada Gambar 5.5, dibuat garis vertikal dari titik nilai FAS 0,5 dan pada garis horizontal ditarik lurus ke nilai kuat tekan rata-rata 37 MPa yang mengacu pada Tabel 3.5. Kemudian titik perpotongan kedua garis tersebut akan diperoleh.
11. Mengacu pada Tabel 3.6 beton yang digunakan peneliti memiliki jenis yang disyaratkan menggunakan fas maksimum 0,6 sehingga nilai yang digunakan adalah nilai terendah yaitu pada nilai fas 0,5 yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

9. Merencanakan nilai *slump* dengan rentang 10 ± 2 cm, sehingga nilai slump yang digunakan diantara rentang lump 60 - 180 mm.
10. Menentukan ukuran maksimum agregat dengan mengacu hasil pengujian sifat agregat, yang memiliki rincian sebagai berikut :
 - a. Menggunakan agregat halus yang berupa batu tak dipecahkan, sedangkan untuk agregat kasar menggunakan batu pecah.
 - b. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat kasar, ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan sebesar 20 mm.
 - c. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus yang didapatkan masuk kedalam Gradasi II.
11. Menentukan nilai kadar air bebas yang mengacu pada Tabel 3.7. Dimana dari tabel tersebut diperoleh ukuran maksimum agregat sebesar 20 mm dan

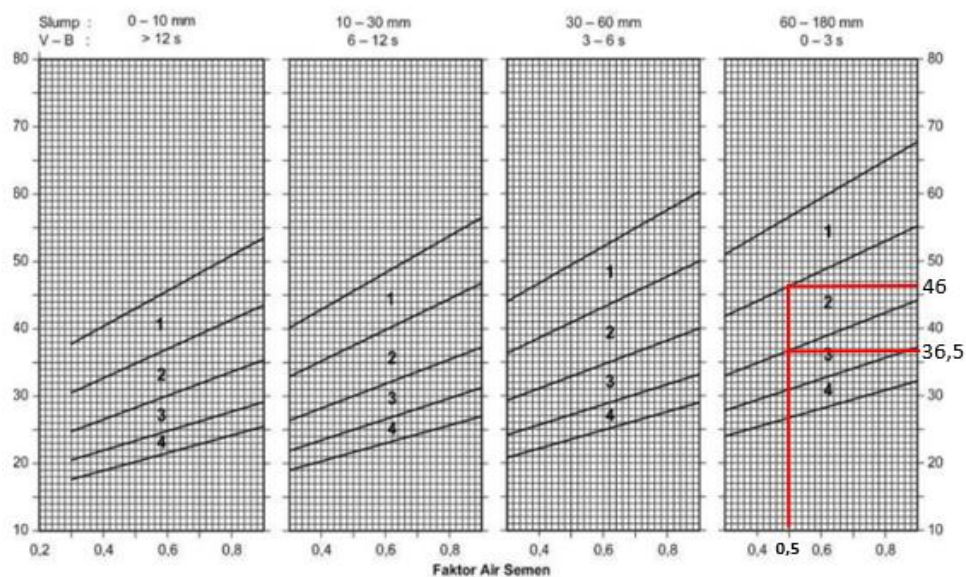
memiliki nilai slump di rentang antara 60-180 mm. Dilihat dari tabel dengan kondisi tersebut kadar air bebas yang digunakan adalah 195 kg/m^3 untuk agregat berupa batu tidak pecah dan 225 kg/m^3 untuk agregat berupa batu pecah. Kemudian perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 3.3

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

12. Melihat pada acuan persamaan 3.4 perhitungan untuk kebutuhan semen per m^3 dapat dilihat sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} C &= \frac{w}{f_{as}} \\ &= \frac{205}{0,5} \\ &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

13. Persentase agregat kasar dan agregat halus dapat didapatkan dengan mengacu pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5. 6 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Mengacu pada Gambar 5.6, batas atas pada proporsi agregat diperoleh sebesar 46% dan batas bawah didapatkan sebesar 36,5%. Maka dari itu, persentase agregat halus ditentukan dari nilai rata-rata kedua batas tersebut, yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat halus} &= \frac{46\% + 36,5\%}{2} \\ &= 41,25\%\end{aligned}$$

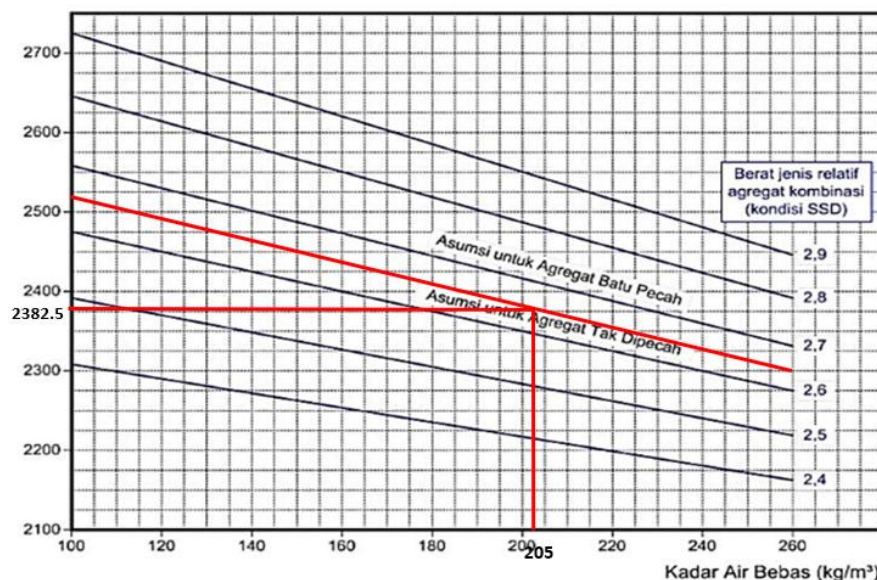
Selanjutnya, persentase agregat kasar didapatkan pada perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - 41,25\% \\ &= 58,75\%\end{aligned}$$

14. Berat jenis agregat halus dan agregat kasar yang diperhitungkan ini berasal dari hasil uji properties di laboratorium. Kemudian, berat jenis gabungan didapatkan melalui persamaan 3.5 berikut.

$$\begin{aligned}\text{BJ}_{\text{gab}} &= (\% \text{ Agregat Halus} \times \text{BJ}_{\text{AH}} + \% \text{ Agregat Kasar} \times \text{BJ}_{\text{AK}}) \\ &= (41,25\% \times 2,75) + (58,75\% \times 2,59) \\ &= 2,66\end{aligned}$$

15. Perhitungan berat isi beton pada uji kadar air bebas serta berat jenis gabungan dapat ditemukan menggunakan grafik yang tertera pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 5. 7 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah
(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Mengacu pada Gambar 5.7, nilai berat isi beton yang diperoleh adalah sebesar $2382,5 \text{ kg/m}^3$.

16. Menghitung kadar agregat gabungan dengan mengacu pada Persamaan 3.6 berikut ini.

$$\begin{aligned} WAG &= W_{\text{beton}} - C - W \\ &= 2382,50 - 410 - 205 \\ &= 1767,50 \end{aligned}$$

17. Menghitung kadar agregat halus dengan mengacu pada Persamaan 3.7 berikut ini.

$$\begin{aligned} WAH &= \text{Persentase Ag. Halus} \times WAG \\ &= 41,25 \% \times 1767,50 \\ &= 729,09 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Menghitung kadar agregat kasar dengan mengacu pada Persamaan 3.8 berikut ini.

$$\begin{aligned} WAK &= WAG - WAH \\ &= 1767,50 - 729,09 \\ &= 1038,41 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Berdasarkan hasil diatas, didapatkan campuran beton dengan proporsi material untuk setiap 1 m^3 beton sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Air} &= 205 \text{ kg/m}^3 \\ \text{b. Agregat kasar} &= 1038,41 \text{ kg/m}^3 \\ \text{c. Agregat halus} &= 729,09 \text{ kg/m}^3 \\ \text{d. Semen} &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

20. Untuk mengantisipasi adanya kekurangan material selama proses mixing, perlu ditambahkan angka penyusutan. Penelitian ini menggunakan angka penyusutan sebesar 35%, maka kebutuhan material untuk proporsi campuran beton setiap 1 m^3 didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Air} &= 276,75 \text{ kg/m}^3 \\ \text{b. Agregat kasar} &= 1401,85 \text{ kg/m}^3 \\ \text{c. Agregat halus} &= 984,28 \text{ kg/m}^3 \\ \text{d. Semen} &= 553,50 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

21. Penelitian ini memiliki 5 variasi campuran beton. Setiap variasi menggunakan 12 buah silinder dengan total kebutuhan 60 buah yang dirincikan sebagai berikut.

- a. Volume silinder total

$$= 60 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t$$

$$= 60 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times t$$

$$= 0,0636 \text{ m}^3$$
- b. Air

$$= \text{Berat air per m}^3 \times \text{Volume total}$$

$$= 276,75 \times 0,0636$$

$$= 17,606 \text{ kg}$$
- c. Agregat kasar

$$= \text{Berat agregat per m}^3 \times \text{Volume total}$$

$$= 1401,85 \times 0,0636$$

$$= 89,182 \text{ kg}$$
- d. Agregat halus

$$= \text{Berat agregat per m}^3 \times \text{Volume total}$$

$$= 984,28 \times 0,0636$$

$$= 62,617 \text{ kg}$$
- e. Semen

$$= \text{Berat semen per m}^3 \times \text{Volume total}$$

$$= 553,50 \times 0,0636$$

$$= 35,212 \text{ kg}$$

22. Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton yang mengacu pada metode SNI 03-2834-2000 disajikan pada tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disarankan	25	MPa
2	Standar deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang dinyatakan	36,9	
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
7	Jenis agregat halus	Pasir	
8	Faktor air semen bebas	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan	
10	FAS digunakan	0,5		
11	Slump	60 - 180	mm	
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm	
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³	
14	Kadar semen	410		
15	Kadar semen minimum	275	kg/m ³	
16	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³	
17	FAS disesuaikan	0,5		
18	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2		
19	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,59		
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,75		
21	Persen agregat halus	41,25	%	
22	Persen agregat kasar	58,75	%	
23	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,66		
24	Berat isi beton	2382,50	kg/m ³	
25	Kadar agregat gabungan	1767,50	kg/m ³	
26	Kadar agregat halus	729,09	kg/m ³	
27	Kadar agregat kasar	1038,41	kg/m ³	
Proporsi campuran teoritis (Agregat kondisi SSD)				
	Semen (kg)	Air (kg)	Agr Halus (kg)	Agr Kasar (kg)
Setiap m ³	410	205	729,09	1038,41
Dengan angka penyusutan 35%	553,50	276,75	984,28	1401,85
Setiap variasi	35,212	17,606	62,617	89,182

23. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan fly ash sebagai substitusi semen sebesar 10% dari berat semen. Selain itu terdapat bahan tambah bestmittel dengan kadar yang bervariasi antara 0% sampai 0,6% dari berat semen. Kemudian, dilakukan perhitungan berat fly ash dan bestmittel terhadap campuran beton setiap variasi, dengan hasil perhitungan berikut ini.

a. *Fly Ash* = 10% x Berat semen
= 10% x 35,212
= 3.521 kg

b. *Bestmittel*

- 1) Variasi kadar *Bestmittel* $0,2\% = 0,2\% \times \text{Berat semen}$
 $= 0,2\% \times 35,212$
 $= 0,0704 \text{ kg}$
- 2) Variasi kadar *Bestmittel* $0,4\% = 0,4\% \times \text{Berat semen}$
 $= 0,4\% \times 35,212$
 $= 0,141 \text{ kg}$
- 3) Variasi kadar *Bestmittel* $0,6\% = 0,6\% \times \text{Berat semen}$
 $= 0,6\% \times 35,212$
 $= 0,211 \text{ kg}$

24. Penelitian ini memiliki proporsi tertentu pada *fly ash* dan *bestmittel* yang ditambahkan ke dalam campuran beton, yang dihitung berdasarkan berat total semen. Adapun rekapitulasi berat total semen yang digunakan pada setiap 12 benda uji beton disajikan pada tabel 5.15 berikut ini.

IIIIII

Tabel 5. 15 Proporsi Berat Campuran Bahan Penyusun Beton

Kadar Bestmittel		Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Fly Ash 10% (kg)
%	kg					
0	0	35,212	17,606	62,617	89,182	0
0	0	31,691	17,606	62,617	89,182	3,521
0,2	0,07	31,691	17,536	62,617	89,182	3,521
0,4	0,141	31,691	17,465	62,617	89,182	3,521
0,6	0,211	31,691	17,395	62,617	89,182	3,521

Pada penelitian ini menggunakan 5 variasi campuran beton. Setiap variasi menggunakan campuran 10 % fly ash dan bestmittel yang berbeda. Selain itu penelitian ini dilakukan pengujian pada umur 7,14,dan 28 hari. Dan penelitian ini dilakukan sebanyak 6 kali *mixing* yang setiap *mixing*nya menyesuaikan dengan umur pengujian yang berbeda.

5.4 Hasil Uji Trial Benda Uji

Pengujian trial pada benda uji ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan pada campuran beton yang sudah direncanakan. Pada penelitian ini dilakukan uji trial sebanyak sepuluh sampel silinder dan diuji pada umur tujuh hari. Hasil dari uji trial

tersebut dikonversi ke umur 28 hari. Berikut ini disajikan rekapitulasi hasil uji trial kuat tekan pada tabel 5.16

Tabel 5. 16 Hasil Uji Trial Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

No.	Kodefikasi	Diameter	Luas Penampang	Nilai Kuat Tekan		Konversi 28 hari		Rata-rata
		cm	cm	MPa	kN	MPa	kN	MPa
1	BN-1	150	17671,46	22,206	392,41	34,163	603,708	34,209
2	BN-2	150	17671,46	22,266	393,47	34,255	605,339	
3	BF0-1	149,9	17670,04	12,767	225,60	19,642	347,077	22,663
4	BF0-2	150	17671,46	16,695	295,03	25,685	453,892	
5	BF0,2-1	150,06	17684,89	12,667	224,02	19,488	344,646	24,305
6	BF0,2-2	150	17671,46	18,929	334,50	29,122	514,615	
7	BF0,4-1	150	17671,46	27,586	487,48	42,440	749,969	39,458
8	BF0,4-2	149,99	17671,22	23,709	418,97	23,709	418,970	
9	BF0,6-1	150,04	17679,71	19,538	345,43	30,058	531,432	32,932
10	BF0,6-2	150,1	17691,16	23,273	411,732	35,805	633,434	

Berdasarkan Tabel 5.16, Nilai rata-rata benda uji trial yang didapatkan telah dikonversi pada umur 28 hari dengan menghasilkan nilai yang naik dari variasi BF0 hingga BF0,4 kemudian turun pada BF0,6 karena dosis bahan tambah *bestmittel* yang sudah melewati kadar optimum.

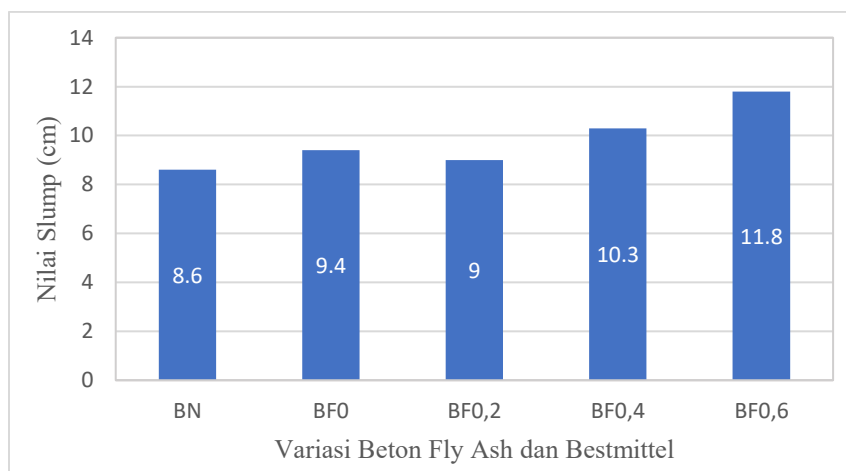
5.5 Hasil pengujian Benda Uji

5.5.1 Pengujian *Slump*

Nilai *slump* digunakan untuk menjadi parameter dalam mengetahui tingkat workability beton segar. Semakin besar nilai slump yang didapatkan semakin mudah untuk dikerjakan. Nilai *slump* yang direncanakan berdasarkan pada SNI 1972:2008, dengan rentang antara 80 mm sampai 120 mm. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian *slump* yang disajikan dalam Tabel 5.15.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Uji Slump

Benda Uji	Rata-rata Slump	Keterangan Syarat
	cm	mm
BN	8,6	Memenuhi
BF0	9,4	Memenuhi
BF0,2	9	Memenuhi
BF0,4	10,3	Memenuhi
BF0,6	11,8	Memenuhi



Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Nilai Slump Dengan Variasi Beton

Berdasarkan Tabel 5.17 dan Gambar 5.8 menjelaskan bahwa hasil uji *slump* yang didapatkan pada setiap variasi campuran menghasilkan nilai yang telah memenuhi syarat yang ditetapkan, yaitu rentang 80-120 mm. Penurunan nilai *slump* pada variasi BF0,2 dibandingkan BF0 kemungkinan disebabkan oleh dominasi efek accelerating *bestmittel* pada kadar 0,2% yang mempercepat hidrasi awal sehingga pasta semen mengental lebih cepat dan menurunkan *workability* campuran. Berikut ini merupakan contoh pengujian slump yang disajikan pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Pengujian Slump

5.5.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14 dan 28 hari dengan jumlah uji sebanyak 60 sampel silinder, yang terdiri dari 12 sampel per variasi yang dikelompokkan menjadi tiga kelompok pengujian berdasarkan perbedaan umur beton. Benda uji dikeringkan terlebih dahulu 1 hari sebelum dilakukan pengujian dalam suhu ruang kemudian dilakukan *capping* terhadap sampel yang akan uji. *Capping* merupakan proses untuk meratakan permukaan beton menggunakan belerang yang dimasak. Setelah itu dilakukan pengujian yang dilakukan menggunakan mesin *Compression Test Machine* (CTM) hingga benda uji tersebut hancur dan mendapatkan nilai beban maksimum. Berikut ini merupakan persamaan dan contoh perhitungan kuat tekan beton normal.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{327,51 \times 10^3}{17671,46} \\
 &= 18,53 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan serupa dilakukan pada keseluruhan benda uji. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang disajikan dalam Tabel 5.18, Tabel 19 dan Tabel 20.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		mm	mm ²	kN	MPa	MPa
1	BN 7.1	150	17671,46	327,51	18,53	18,417
2	BN 7.2	150	17671,46	316,11	17,89	
3	BN 7.3	150,01	17673,81	347,36	19,66	
4	BN 7.4	150,06	17685,60	311,07	17,59	
5	BF0 7.1	150	17671,46	275,70	15,60	14,288
6	BF0 7.2	149,94	17657,32	236,6	13,40	
7	BF0 7.3	150	17671,46	180,24	10,20	
8	BF0 7.4	150	17671,46	317,22	17,951	
9	BF0,2 7.1	150,01	17673,81	153,36	8,68	16,673
10	BF0,2 7.2	150,01	17673,81	342,89	19,40	
11	BF0,2 7.3	150	17671,46	298,51	16,89	
12	BF0,2 7.4	150	17671,46	383,78	21,72	
13	BF0,4 7.1	150	17671,46	347,44	19,66	17,465
14	BF0,4 7.2	150	17671,46	302,21	17,10	
15	BF0,4 7.3	150	17671,46	317,22	17,95	
16	BF0,4 7.4	150	17671,46	267,65	15,15	
17	BF0,6 7.1	150	17671,46	242,83	13,74	14,032
18	BF0,6 7.2	150,04	17680,88	294,31	16,65	
19	BF0,6 7.3	150	17671,46	207,58	11,75	
20	BF0,6 7.4	150	17671,46	242,12	13,70	

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		mm	mm ²	kN	MPa	MPa
1	BN 14.1	150	17671,46	397,08	22,47	
2	BN 14.2	150	17671,46	378,24	21,40	

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		mm	mm ²	kN	MPa	MPa
3	BN 14.3	150,1	17695,03	441,29	22,97	23,669
4	BN 14.4	150	17671,46	470,62	26,63	
5	BF0 14.1	150	17671,46	286,77	16,23	19,551
6	BF0 14.2	150	17671,46	320,14	18,12	
7	BF0 14.3	150	17671,46	328,91	18,61	
8	BF0 14.4	150	17671,46	387,45	21,93	
9	BF0,2 14.1	150	17671,46	400,95	22,69	22,427
10	BF0,2 14.2	150	17671,46	388,9	22,01	
11	BF0,2 14.3	150	17671,46	362,35	20,51	
12	BF0,2 14.4	149,9	17647,90	323,2	18,31	
13	BF0,4 14.1	150	17671,46	417,44	23,62	23,089
14	BF0,4 14.2	150	17671,46	306,82	17,36	
15	BF0,4 14.3	150	17671,46	469,65	26,58	
16	BF0,4 14.4	150,08	17690,31	438,65	24,80	
17	BF0,6 14.1	150,01	17673,81	364,87	20,65	21,089
18	BF0,6 14.2	150	17671,46	395,68	22,39	
19	BF0,6 14.3	150	17671,46	345,72	19,56	
20	BF0,6 14.4	150	17671,46	288,28	21,31	

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		mm	mm ²	kN	MPa	MPa
1	BN 28.1	150,09	17692,67	376,9	21,84	25,286
2	BN 28.2	150,01	17673,81	407,96	23,09	
3	BN 28.3	149,86	17638,49	544,7	30,82	

Lanjutan Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

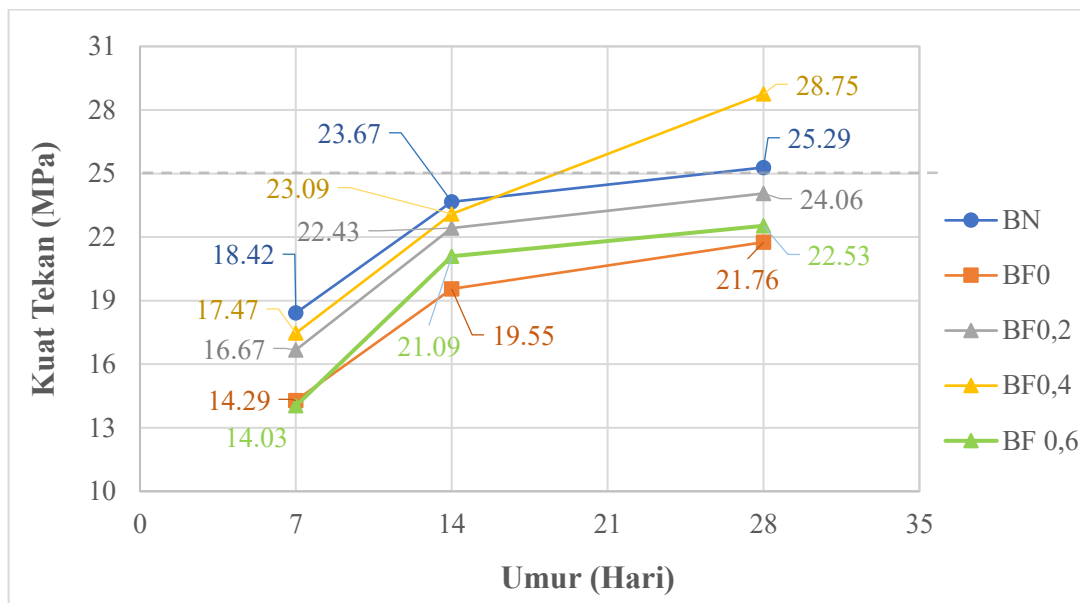
No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rerata
		mm	mm ²	kN	MPa	MPa
4	BN 28.4	150,01	17672,64	448,76	25,39	
5	BF0 28.1	150	17671,46	398,4	22,55	21,758
6	BF0 28.2	150	17671,46	314,8	17,81	
7	BF0 28.3	150,07	17687,96	388,09	21,94	
8	BF0 28.4	150,04	17680,88	437,18	24,73	
9	BF0,2 28.1	150	17671,46	322,65	18,26	24,058
10	BF0,2 28.2	150	17671,46	480,03	27,16	
11	BF0,2 28.3	150	17671,46	464,45	26,28	
12	BF0,2 28.4	150	17671,46	433,43	24,53	
13	BF0,4 28.1	150	17671,46	460,47	26,06	28,755
14	BF0,4 28.2	150	17671,46	578,72	32,75	
15	BF0,4 28.3	150	17671,46	490,96	27,78	
16	BF0,4 28.4	150	17671,46	502,41	28,43	
17	BF0,6 28.1	150	17671,46	478,44	27,07	22,533
18	BF0,6 28.2	150	17671,46	333,43	18,87	
19	BF0,6 28.3	150	17671,46	345,11	19,53	
20	BF0,6 28.4	150	17671,46	435,78	24,66	

Keterangan :

BN = Beton Normal

BF = Beton dengan campuran 10% *fly ash* sebagai substitusi semen dan penambahan variasi *Bestmittel*

- 1) Angka 7, 14, 28 pada kode benda uji merupakan umur beton yang diuji.
- 2) Angka 0, 0.2, 0.4, dan 0.6 pada kode benda uji BF merupakan persentase variasi kadar *Bestmittel*.
- 3) Angka 1 sampai 5 pada kode benda uji merupakan nomer urut benda uji.



Gambar 5.10 Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa pada umur yang sama dengan variasi kadar *Bestmittel* yang semakin banyak, maka semakin tinggi kekuatan beton *fly ash* terkecuali beton *fly ash* dengan campuran kadar 0,6% *bestmittel*. Menurut Duan dan Wang (2023) campuran beton dengan bahan tambah *fly ash* dapat menurunkan kekuatan pada awal umur beton, karena *pozzolanic reaction* lebih lambat dibandingkan dengan hidrasi semen murni. *Pozzolanic reaction* merupakan reaksi kimia antara silika dengan kalsium hidroksida yang terkandung dalam *fly ash*, dan menghasilkan senyawa *calcium silica hydrate* (C-S-H) yang berperan dalam peningkatan kekuatan beton. Namun berdasarkan hasil pengujian, laju proses hidrasi beton dapat dipercepat dengan menggunakan bahan tambah tipe *accelerator*, yaitu *bestmittel*.

Pada variasi beton *fly ash* dengan kadar *Bestmittel* yang berbeda, campuran dengan kadar *Bestmittel* sebesar 0,6% tercatat memiliki nilai paling rendah. Hal ini disebabkan karena penambahan zat *Bestmittel* yang melebihi dosis optimum sehingga membuat campuran beton menjadi semakin encer dan dapat menurunkan nilai kekuatan beton. Menurut Djau, et al. et (2025) pada penelitiannya menguji beton dengan beberapa aditif termasuk *bestmittel* dengan variasi 0,2% dan 0,6%, menunjukkan kuat tekan 0,6% *bestmittel* beton *fly ash* lebih rendah dibanding 0,2%

bestmittel beton *fly ash* lebih yang menunjukkan overdosis *additive*. Kadar 0,4% diduga menggambarkan titik keseimbangan antara percepatan hidrasi dan kestabilan workability campuran, sehingga menghasilkan mikrostruktur yang lebih rapat dan distribusi C-S-H yang lebih merata.

Pada gambar 5.10 di atas dapat dilihat bahwa beton normal (BN) dan beton *fly ash* dengan 0,4% kadar *Bestmittel* (BF0,4) mendapatkan kuat tekan rata-rata masing-masing sebesar 25,29 dan 28,75 yang dimana telah memenuhi kuat tekan rencana 25 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, variasi BF 0, BF 0,2, dan BF 0,6 menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan BF 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa kadar *Bestmittel* 0,4% pada 28 hari adalah kadar optimum dalam mempercepat hidrasi serta meningkatkan kerapatan mikrostruktur beton. Peningkatan kuat tekan pada variasi optimum berkaitan dengan berkurangnya porositas akibat pembentukan C-S-H tambahan serta efek pengisian partikel *fly ash* terhadap rongga antar agregat. Pada kuat tekan beton *fly ash* dengan kadar *Bestmittel* 0,4% memiliki nilai sebesar 28,75 yang lebih tinggi dibanding variasi lain. Perbedaan nilai kuat tekan ini juga dipengaruhi akibat adanya perbedaan kondisi agregat halus SSD yang digunakan, mengingat proses pembuatan sampel di hari yang berbeda. Beton normal (BN), BF 0, dan BF0,2 dicetak pada hari yang sama, sedangkan BF0,4 dan BF0,6 dicetak pada hari yang berbeda, sehingga kondisi agregat halus SSD yang digunakan tidak sepenuhnya sama. Perbedaan kondisi agregat dan lingkungan selama proses pencetakan menjadi faktor variabel tidak sepenuhnya dapat dikontrol dan berpotensi memengaruhi hasil pengujian.

Fenomena menarik terlihat pada perbandingan variasi BF0 dan BF0,6 direntang umur 7 sampai 14 hari. Pada umur 7 hari, kedua variasi menunjukkan nilai kuat tekan yang hampir sama yaitu BF0 sebesar 14,29 MPa dan BF0,6 sebesar 14,03 MPa. Hal ini disebabkan karena penambahan *bestmittel* 0,6% yang melebihi dosis optimum pada umur awal menyebabkan hidrasi berlangsung terlalu cepat dan tidak terkontrol sehingga pembentukan C-S-H menjadi tidak merata. Namun pada umur 14 hari, BF0,6 mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan BF0 yaitu masing-masing sebesar 22,43 MPa dan 19,55 MPa. Hal tersebut disebabkan pada umur 14 hari efek *water reducing bestmittel* mulai lebih dominan dan

pozzolanic reaction fly ash mulai bereaksi, sehingga C-S-H yang terbentuk semakin meningkatkan kerapatan mikrostuktur pada beton.

Perubahan nilai kuat tekan beton, baik berupa peningkatan maupun penurunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi diantaranya yaitu terdapat kurangnya ketelitian pada saat proses pencampuran di mesin mixer dan kurangnya pemadatan pada saat beton segar dimasukkan ke dalam bekisting untuk dicetak (Akbar,2024). Faktor lain yang berpengaruh adalah suhu curing, dimana peningkatan suhu curing yang berada di atas 75 °C ke 90 °C tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap peningkatan kuat tekan (Hardjito, dkk 2004). Selain itu, pengeringan yang kurang maksimal setelah proses curing dapat memengaruhi nilai kekuatan beton.

5.5.3 Hubungan Kuat Tekan dengan Umur Beton

Menurut PBI 1971, beton pada usia 7 hari umumnya telah mencapai 65% dari kuat tekan akhirnya, kemudian menjadi 79% pada usia 14 hari, dan mencapai 100% pada usia 28 hari. Namun ketentuan itu hanya berlaku untuk beton normal. M. Joan Ochto (2019) menjelaskan bahwa penambahan fly ash dalam campuran beton membuat nilai konversi kuat tekan berbeda dengan ketentuan PBI 1971 yang tertera pada Tabel 3.10. Hal ini disebabkan beton *fly ash* memiliki proses hidrasi yang lebih lambat dibandingkan beton normal.

Berdasarkan hasil kuat tekan beton rata-rata yang dicantumkan pada Gambar 5.10 memiliki hubungan dengan umur beton pada masing-masing varian sampel. Persentase perkembangan kuat tekan dilakukan dengan pembagian antara nilai kuat tekan pada umur 7 dan 14 dengan nilai kuat tekan pada umur 28 hari. Hasil perbandingan ini memberikan nilai persentase perkembangan kekuatan beton yang disajikan pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 21 Persentase Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

Kodefikasi Benda Uji	Persentase Kuat Tekan Beton pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
PBI	65	88	100
BN	72,83	93,61	100
BF0	65,67	89,86	100

Lanjutan Tabel 5. 21 Persentase Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

Kodefikasi Benda Uji	Persentase Kuat Tekan Beton pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
BF0,2	69,30	93,22	100
BF0,4	60,74	80,30	100
BF0,6	62,28	93,59	100

Tabel 5. 22 Persentase Peningkatan Kuat Tekan Beton pada Umur 7 dan 14 Hari

Kadar Variasi Bahan Tambah		Persentase Kuat Tekan Beton (MPa)		Persentase Kuat Tekan Beton (%)	
<i>Fly Ash</i> (%)	<i>Bestmittel</i> (%)	7 ke 14 Hari	14 ke 28 Hari	7 ke 14 Hari	14 ke 28 Hari
0	0	5,25	1,62	28,52	6,83
10	0	5,26	2,21	36,84	11,29
10	0,2	5,75	1,63	34,51	7,27
10	0,4	5,62	5,67	32,20	24,54
10	0,6	7,06	1,44	50,29	6,84

Berdasarkan Tabel 5.23 menunjukkan bahwa persentase pada semua variasi telah mencapai pada standar PBI 1971 kecuali pada variasi beton *fly ash* dengan kadar 0,4% *bestmittel* lebih tinggi dari persentase yang lain dikarenakan pada usia 7 dan 14 hari terdapat *pozzolanic reaction* dari *fly ash* serta adanya faktor lain seperti proses pemadatan dan pengeringan yang kurang maksimal kemudian persentase peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 dan 14 Hari disajikan pada Tabel 5.24. Pada beton dengan usia 7 hari persentase kuat tekan tertinggi berada pada beton *fly ash* dengan variasi 0,2% *bestmittel* dan persentase terendah berada pada beton *fly ash* dengan variasi 0,4% *bestmittel*. Selanjutnya pada beton dengan usia 14 hari menunjukkan persentase kuat tekan tertinggi berada pada beton *fly ash* dengan variasi 0,6% *bestmittel* dan persentase terendah juga berada pada beton *fly ash* dengan variasi 0,4% *bestmittel*.

Berdasarkan Tabel 5.24 yang disajikan merupakan Persentase peningkatan Kuat Tekan pada Umur 7 ke 14 hari dan dari umur 14 ke 28 Hari. Kenaikan kuat tekan pada umur 7 ke 14 hari lebih besar dibandingkan umur 14 ke 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa perkembangan kuat tekan beton terjadi lebih cepat pada awal

umur beton. Sebagaimana yang diketahui pada perkembangan beton normal, pada umur 7 hingga 14 Hari memperoleh kenaikan sebesar 28,52% atau 5,25 MPa dan hanya 6,83% atau 1,62 MPa pada umur 14 hingga 28 hari. Selanjutnya pada variasi beton *fly ash* dengan kadar 0,6% *bestmittel* menunjukkan peningkatan tertinggi sebesar 50,29% atau 7,06 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan dosis *bestmittel* yang lebih tinggi berkontribusi signifikan pada percepatan kuat tekan pada awal umur beton. Sedangkan pada peningkatan umur 14 ke 28 secara umum mengalami penurunan jika dibandingkan dengan periode 7 ke 14 hari. Seperti pada beton *fly ash* dengan kadar 0,4% *bestmittel* menunjukkan kenaikan sebesar 24,54% atau 5,62 MPa yang merupakan nilai tertinggi pada periode ini dibandingkan variasi lainnya. Sementara itu, pada beton *fly ash* dengan kadar 0,6% *bestmittel* menurun menjadi 6,84% atau 1,44 MPa, yang hampir mendekati nilai peningkatan beton normal yaitu 6,83% atau 1,62 MPa. Perubahan naik turunnya nilai persentase juga dipengaruhi karena adanya faktor pada saat proses pencampuran dan perawatan (*curing*).

5.6 Modulus Elastisitas Beton

Perhitungan modulus elastisitas beton didasarkan pada hasil pengujian laboratorium serta pendekatan teoretis. Pengujian ini serupa dengan uji kuat tekan yaitu dengan memberikan beban tekan pada silinder beton menggunakan mesin Compression Testing Machine (CTM) hingga terjadi deformasi sampai mencapai beban maksimum. Selama pengujian berlangsung, sampel silinder beton dipasang alat compressometer yang dihubungkan dengan dial gauge digital untuk mengukur besarnya penurunan beton akibat pembebanan. Pembacaan dial gauge dilakukan setiap 10 kN peningkatan beban hingga beban maksimum tercapai. Pengujian modulus elastisitas menghasilkan tegangan dan regangan aksial yang didapatkan dari data akibat pembebanan. Perhitungan tegangan dan regangan setiap beban mencapai 10 kN pada modulus elastisitas sampel 2 disajikan sebagai berikut.

1. Nilai Deformasi (ΔL)

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{6,8}{2} \times 10^{-3}\end{aligned}$$

$$= 0,0034 \text{ mm}$$

2. Nilai Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0034}{200} \\ &= 0,000017\end{aligned}$$

3. Nilai Tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17671,46} \\ &= 0,5659 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan dan regangan selanjutnya sama dilakukan pada setiap kenaikan beban sebesar 10 kN. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan tegangan dan regangan pada sampel 2 beton normal pada umur 14 hari disajikan pada Tabel 5.25 berikut.

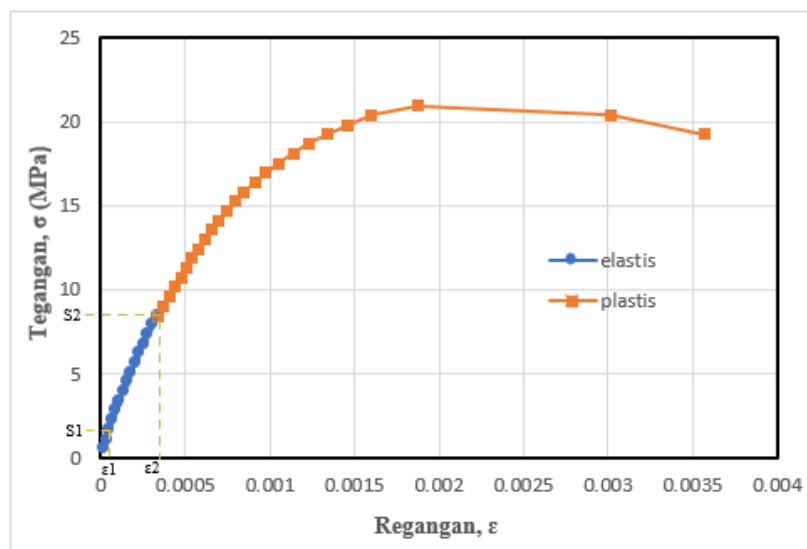
Tabel 5. 23 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Normal Umur 14 Hari Sampel 2

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
0	0	0	0	0
10	6,8	0,0034	0,000017	0,56588
20	14,4	0,0072	0,0000325	1,131768
30	20	0,01	0,00005	1,697653
40	29,6	0,0148	0,000074	2,263537
50	38	0,019	0,000095	2,829421
60	45,8	0,0229	0,0001145	3,395305
70	55	0,0275	0,0001375	3,96119
80	63,6	0,0318	0,000159	4,527074
90	73,1	0,03655	0,00018275	5,092958
100	81,8	0,0409	0,0002045	5,658842

**Lanjutan Tabel 5. 23 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton
Normal Umur 14 Hari Sampel 2**

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ (μm)	ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
110	90,9	0,04545	0,00022725	6,224727
120	102	0,051	0,000255	6,790611
130	112,8	0,0564	0,000282	7,356495
140	124	0,062	0,00031	7,922379
150	135,9	0,06795	0,00033975	8,488264
160	149,2	0,0746	0,000373	9,054148
170	163,8	0,0819	0,0004095	9,620032
180	174,3	0,08715	0,00043575	10,18592
190	189,2	0,0946	0,000473	10,7518
200	202,8	0,1014	0,000507	11,31768
210	216	0,108	0,00054	11,88357
220	231,3	0,11565	0,00057825	12,44945
230	245	0,1225	0,0006125	13,01534
240	263	0,1315	0,0006575	13,58122
250	280	0,14	0,0007	14,14711
260	298,3	0,14915	0,00074575	14,71299
270	319,1	0,15955	0,00079775	15,27887
280	339,2	0,1696	0,000848	15,84476
290	365	0,1825	0,0009125	16,41064
300	390,5	0,19525	0,00097625	16,97653
310	420	0,21	0,00105	17,54241
320	454,8	0,2274	0,001137	18,1083
330	492,4	0,2462	0,001231	18,67418
340	534,6	0,2673	0,0013365	19,24006
350	584,3	0,29215	0,00146075	19,80595
360	640	0,32	0,0016	20,37183
370	748,3	0,37415	0,00187075	20,93772
360	1205,2	0,6026	0,003013	20,37183

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan dan regangan yang telah didapatkan, kemudian dibuat grafik hubungan tegangan-regangan beton. Nilai modulus elastisitas beton ditentukan dari kemiringan kurva regresi linier tegangan-regangan pada daerah elastis yang dipengaruhi oleh umur dan kuat tekan beton (Soleman, 2005). Adapun grafik modulus elastisitas beton normal umur 14 hari sampel 2 disajikan dalam gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 dan data yang tercatat dalam Tabel 5.23, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai modulus elastisitas beton yang mengacu pada metode ASTM C469-94 dengan persamaan dibawah ini.

$$E_{uji} = \frac{S2 - S1}{\epsilon2 - \epsilon1}$$

Dengan keterangan :

E = Modulus Elastisitas Beton

$\epsilon2$ = Regangan pada saat beban mencapai 40% beban maksimum

S2 = Tegangan pada saat beban mencapai 40% beban maksimum

S1 = Tegangan pada saat regangan sebesar 0,00005

Nilai regangan 0,00005 digunakan sebagai titik acuan awal dalam perhitungan modulus elastisitas beton yang mengacu pada ASTM C469-94. Angka

tersebut digunakan karena pada tingkat tersebut beton pada umumnya masih berada dalam keadaan linier elastis.

Menurut Rizki (2024), nilai 0,00005 bukan angka yang bersifat mutlak. Nilai regangan awal dapat sedikit lebih besar atau lebih kecil selama masih dalam rentang daerah elastis linier beton. Secara umum, beton menghasilkan respons linier elastis pada regangan yang relatif rendah.

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{30000}{17671,46} \\ &= 1,698 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S2 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{150000}{17671,46} \\ &= 8,488 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon 1 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,01}{200} \\ &= 0,00005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon 2 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,068}{200} \\ &= 0,00034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{uji} &= \frac{S2-S1}{\epsilon 2-\epsilon 1} \\ &= \frac{8,488-1,698}{0,00034-0,00005} \\ &= 23436,10 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan teoretis modulus elastisitas mengacu pada SNI 2847:2019 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned} E_{uji} &= 4700 \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \sqrt{22,01} \\ &= 21744,29 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 5.11 tersebut di atas, nilai modulus elastisitas beton normal pada umur 14 hari sampel 2 didapatkan sebesar 2346,10 MPa. Selain nilai hasil pengujian, penelitian ini juga dilakukan perhitungan modulus elastisitas secara teoretis untuk setiap sampel. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI 2847:2019, yaitu $4700\sqrt{f'c}$. Untuk perhitungan teroretis modulus elastisitas beton normal 14 hari pada sampel 2 diperoleh sebesar 21744,29 MPa. Adapun rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk seluruh variasi disajikan pada Tabel 5.24 sampai dengan Tabel 5.26 sebagai berikut.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari

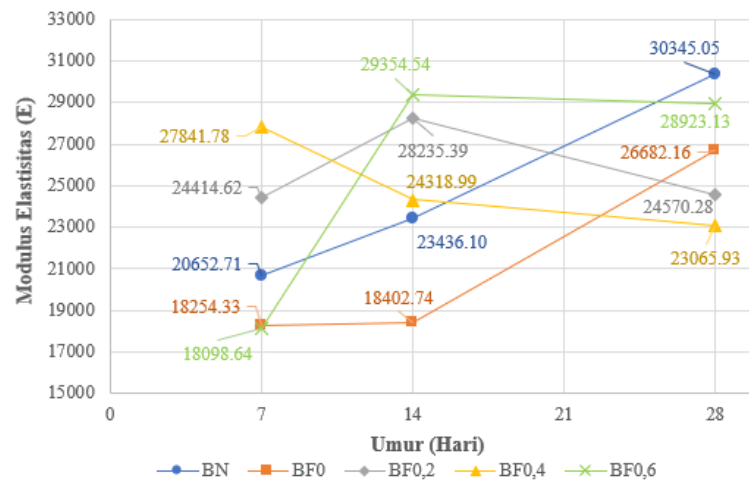
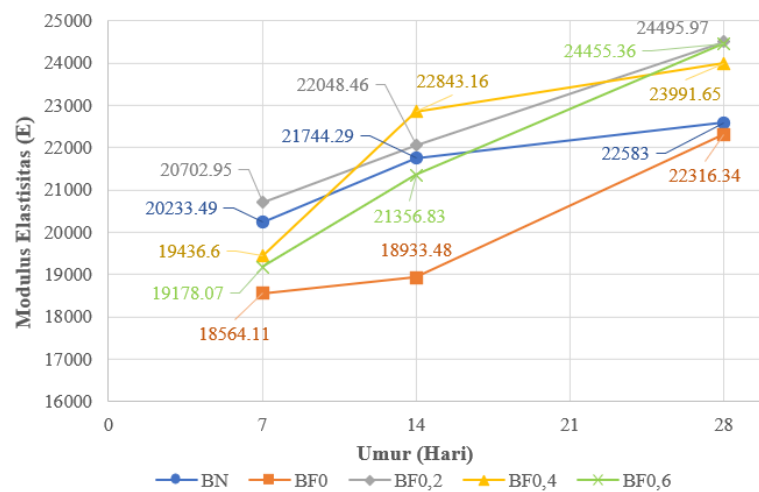
No	Kode Benda Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)	
							Pengujian	Teoretis
1	BN7	1	150	300,6	12,749	18,53	20.652,49	20.233,49
2	BF0,7	1	150	299,8	12,577	15,60	18.254,33	18.564,11
3	BF0,2.7	2	150,01	300,2	12,416	19,40	24.414,62	20.702,95
4	BF0,4.7	2	150	300	12,429	17,10	27.841,78	19.436,6
5	BF0,6.7	2	150,04	300,7	12,426	16,65	25.892,19	19.178,07

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 14 Hari

No	Kode Benda Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)	
							Pengujian	Teoretis
1	BN14	2	150	299,6	12,507	21,40	23.436,10	21.744,29
2	BF0,14	1	150	300,1	12,529	16,23	18.402,74	18.933,48
3	BF0,2.14	2	150	300,2	12,542	22,01	28.235,39	22.048,46
4	BF0,4.14	1	150	299,8	12,853	23,62	24.318,99	22.843,16
5	BF0,6.14	1	150,01	300,4	12,701	20,65	29.354,54	21.356,83

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton Umur 28 Hari

No	Kode Benda Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	f _c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)	
							Pengujian	Teoretis
1	BN28	2	150	300,8	12,755	23,09	30.345,05	22.583,00
2	BF0.28	1	150	300	12,805	22,55	26.682,16	22.316,34
3	BF0,2.28	1	150	300,3	12,663	27,16	24.570,28	24.495,97
4	BF0,4.28	1	150	300	12,644	26,06	23.065,93	23.991,65
5	BF0,6.28	1	150	300.6	12,752	12,752	28.923,13	24.455,36

**Gambar 5. 12 Grafik Pengujian Modulus Elastisitas****Gambar 5. 13 Grafik Teoretis Modulus Elastisitas**

Berdasarkan Gambar 5.12 di atas dapat dilihat bahwa hasil perhitungan yang mengacu pada ASTM C469-94 pada campuran beton normal dan beton fly ash dengan kadar 0% *Bestmittel* terjadi peningkatan yang stabil hingga umur 28 hari yang dimana modulus elastisitas beton setara dengan tingginya kuat tekan beton (Narayanan. 2021). Pada campuran beton dengan kadar variasi *Bestmittel* terjadi naik turun yang tidak signifikan disebabkan adanya reaksi pozzolanik dan terdapat faktor pengaruh distribusi pori karena kurangnya pemadatan pada saat beton segar dimasukkan ke dalam bekisting yang akan dicetak. Menurut Neville & ACI (2011) perbedaan 20 – 40% antara rentang pengujian dan teoretis dilaporkan sebagai hasil yang wajar. Berdasarkan Gambar 5.13 di atas dapat dilihat bahwa substitusi fly ash dan penambahan *Bestmittel* memengaruhi nilai modulus elastisitas beton yang dimana cenderung meingkat dan setara dengan kuat tekan beton.

Adapun jumlah sampel yang digunakan untuk pengujian modulus adalah satu sampel per variasi pada umur pengujian 7, 14, dan 28 hari. Pemilihan satu sampel per variasi didasarkan pada keterbatasan waktu dan alat pengujian yang tersedia di laboratorium. Rekapitulasi perbandingan antara modulus elastisitas hasil pengujian dan nilai teoretis beserta persentase perbedaannya disajikan pada Tabel 5.27, Tabel 5.28, dan Tabel 5.29 berikut.

Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton Umur 7 Hari

No	Kode Benda Uji	E Pengujian (MPa)	E Teoretis (MPa)	Perbedaan (%)
1	BN7	20.652,71	20.233,49	2,07
2	BF07	18.254,33	18.564,11	1,67
3	BF0,2.7	20.514,08	19.283,74	6,38
4	BF0,4.7	21.941,26	19.701,98	11,37
5	BF0,6.7	25.892,19	19.178,07	35,01

**Tabel 5. 27 Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton
Umur 14 Hari**

No	Kode Benda Uji	E Pengujian (MPa)	E Teoretis (MPa)	Perbedaan (%)
1	BN14	27.694,58	22.887,62	21,00
2	BF014	22.288,65	20.860,56	6,85
3	BF0,2.14	22,319,83	22.145,67	0,79
4	BF0,4.14	22.452,27	22.571,82	0,53
5	BF0,6.14	21.532,84	21.627,39	0,44

**Tabel 5. 28 Rekapitulasi Persentase Perbandingan Modulus Elastisitas Beton
Umur 28 Hari**

No	Kode Benda Uji	E Pengujian (MPa)	E Teoretis (MPa)	Perbedaan (%)
1	BN28	30.345,24	22.583,27	34,37
2	BF028	26.682,08	20.860,56	19,56
3	BF0,2.28	24.570,13	24.496,22	0,30
4	BF0,4.28	23.066,29	23.992,42	3,86
5	BF0,6.28	28.923,15	24.455,18	18,27

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah di analisis dan dibahas pada pada bab sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Campuran beton dengan substitusi 10% *fly ash* dari berat semen dan penambahan 0%, 0,2% dan 0,4% *bestmittel* cenderung mengalami kenaikan pada kuat tekan pada setiap umur pengujian , yaitu 7, 14, dan 28 hari. Sementara itu, pada beton *fly ash* dengan penambahan 0,6% *bestmittel* juga mengalami kenaikan seiring bertambahnya umur, namun nilai kuat tekannya relatif lebih rendah dibandingkan beton *fly ash* dengan kadar *bestmittel* yang lebih kecil.
2. Nilai mutu beton tertinggi yang didapatkan terjadi pada variasi beton *fly ash* dengan kadar 0,4% *Bestmittel* pada umur 28 hari, yaitu sebesar 28,755 MPa, dan variasi tersebut sudah melampaui batas kuat tekan rencana sebesar 25 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kadar 0,4% *bestmittel* menunjukkan kadar optimum dalam meningkatkan kekuatan beton dengan substitusi 10% *fly ash*.
3. Penggunaan kombinasi *fly ash* 10% dan *bestmittel* secara signifikan mempercepat laju peningkatan kuat tekan beton pada umur awal beton (7-14 hari) dibandingkan umur lanjut (14-28 hari), dengan peningkatan tertinggi pada beton *fly ash* dengan kadar 0,6% *bestmittel* yaitu mencapai 50,29% atau 7,06 MPa. Walaupun terjadi penurunan pada periode umur 14-28 hari, beton *fly ash* dengan kadar variasi 0,4% *bestmittel* tercatat memiliki kenaikan tertinggi sebesar 24,54% atau 5,67 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *bestmittel* dalam mengoptimalkan kuat tekan beton lebih awal.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai pengujian kuat tekan dengan variasi kadar *Bestmittel* dan *fly ash* lainnya supaya mendapatkan hasil yang detail dan kadar optimum yang lebih akurat.
2. Disarankan untuk melakukan pengujian tambahan seperti uji absorsi air untuk mengetahui hubungan antara kadar *bestmittel* dengan kerapatan porositas beton.
3. Dalam penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pengendalian yang lebih ketat terhadap kondisi agregat (SSD), proses mixing, pemadatan, serta mengecek kondisi curing secara berkala terhadap seluruh sampel beton yang akan diuji.

DAFTAR PUSTAKA

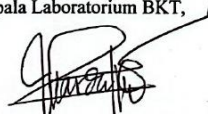
- ASTM C469-94. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. *USA: American Society for Testing and Materials.*
- American Society for Testing and Material. 2002. *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. ASTM C469-02. ASTM International. West Conshohocken. PA
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. SNI 03-1968-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 03-1970-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. SNI 03-1969-1990. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm)*. SNI 03-4142-1996. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*. SNI 03-4804-1998. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Sistem Plambing*. SNI 103-6481-2000. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. BSN. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Semen Portland*. SNI 15-2049-2004. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Slump Beton*. SNI 1972:2008. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974:2011. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional (2011). SNI 2493:2011 Tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.*

- Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. SNI 2847:2013. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Spesifikasi Agregat Beton*. SNI 8321-2834-2016. BSN. Jakarta
- Crouch, L. K. (2007). High volume fly ash concrete. Proceedings of the World of Coal Ash Conference. Covington, Kentucky, USA.
- Djau, R. A. (2025). Analisis kuat tekan beton dengan penambahan zat aditif. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 5(2), 1431–1448.
- Duan, Y. (2023). Investigating the Impact of Fly Ash on the Strength and Subsequent Stages. *Investigating the Impact of Fly Ash on the Strength and Micro-Structure of Concrete during Steam Curing and Subsequent Stages. Materials* 2023, 1-16.
- Ervianto, M. (2016). Kuat tekan beton mutu tinggi menggunakan bahan tambah abu terbang (fly ash) dan zat adiktif (bestmittel). *SINERGI*, 20(3), 199–206.
- Fachry. 2020. *Pengaruh Penambahan Bestmittel terhadap kuat Tekan Beton Fly Ash*
- Fadila Rizki. 2024. Pengaruh substitusi serbuk kaca dan *fly ash* terhadap sifat mekanis beton
- Goerge Andre. 2023. *Penggunaan Abu Marmer dan Fly Ash sebagai pengganti Sebagian semen pada beton normal*
- Hanafie, A. (2023). Penggunaan Fly Ash Dan Bottom Ash (FABA) Pada Industri Semen. *Kementerian Perindustrian Republik Indonesia*.
- Hardjito, D. W. (2004). On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *ACI Materials Journal*, 101(6), 467–472.
- Irwansyah. 2022. *Pengaruh tekan beton dengan variasi bahan tambah Bestmittel*
- Khalifah, A. A. (2024). PENGARUH ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIK BETON GEOPOLIMER.
- M. Joan Ochto. 2019. Pengaruh penggunaan Bestmittel dan fly ash pada kuat tekan beton dan aplikasinya untuk beton terkekang pada kolom

- Muhamad Saiful Rizki A. 2025. *Pengaruh variasi penambahan serbuk kaca terhadap kuat tekan kuat tarik belah, dan absorpsi beton pada beton fly ash*
- Mulyono, T.. 2004. *Teknologi Beton*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete Fifth Edition. England: Pearson Education Limited.*
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia. (1971). *PBI 1971*.
- Ratna Qolbilla dkk. 2025. Pengaruh penggunaan fly ash dan zat aditif tipe e (bestmittel) terhadap kuat tekan mortar mutu tinggi
- Soleman, Y. (2005). Evaluasi Modulus Elastisitas Beton (E_c) Berdasarkan Analisis Karakteristik Agregat. *Advanced Material Technology*.
- Subramanian, N. (2021). Elastic Modulus of Concrete. . *CE&CR Concrete Technology Magazine*.
- Tjokrodimulyo, K.. (2010) *Buku Ajar: Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Bebas Tanggungan Laboratorium

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN	Gedung KH. Moh. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3200, 3201 F. (0274) 895330 E. dekanat.ftsp@uii.ac.id W. ftsp.uui.ac.id
	<u>SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM</u>	
Nomor : 55 / Ka.Lab/60/LBKT/XI/2025		
Bismillaahirrohmaanirrohiim		
Yang bertandatangan dibawah ini :		
Nama	: Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.	
NIK	: 165111301	
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII	
Dengan ini menerangkan bahwa :		
Nama	: Mohammad Ahroz Najaha	
N I M	: 21511153	
Program Studi	: S1 Teknik Sipil	
Dosen Pembimbing TA	: Anggit Mas Arifuddin, S. T., M. T.	
Instansi	: Universitas Islam Indonesia	
Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir "PENGARUH CAMPURAN BAHAN ADDITIVE (BESMITTEL) DAN FLY ASH TERHADAP KARAKTERISTIK BETON MUTU K300" serta sudah menyelesaikan semua administrasinya ^{*)} .		
Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.		
Disahkan oleh : Kepala Laboratorium BKT,		Yogyakarta, 20 November 2025
 Astriana Hardawati, S. T., M. Eng		Didata oleh : PLP/Teknisi  Daru Salam, A.Md.
^{*)} Kwitansi/bukti transfer terlampir		

Lampiran 2 Data Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	478.00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi air dan pasir, gram (Bt)	951.00	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	646.00	gram
Berat Jenis Curah	2,45	gram
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	2,56	gram
Berat Jenis semu	2,76	gram
Penyerapan Air	4,60	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	2	0,10	0,10	99,90
2,40	162	8,10	8,20	91,80
1,20	393	19,65	27,85	72,15
0,60	558	27,90	55,75	44,25
0,30	417	20,85	76,60	23,40
0,15	297	14,85	91,45	8,55
Sisa	171	8,55	100,00	0
Jumlah	2000	100	259,95	

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

$$= \frac{259,95}{100}$$

$$= 2,5995$$

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

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

Keterangan:

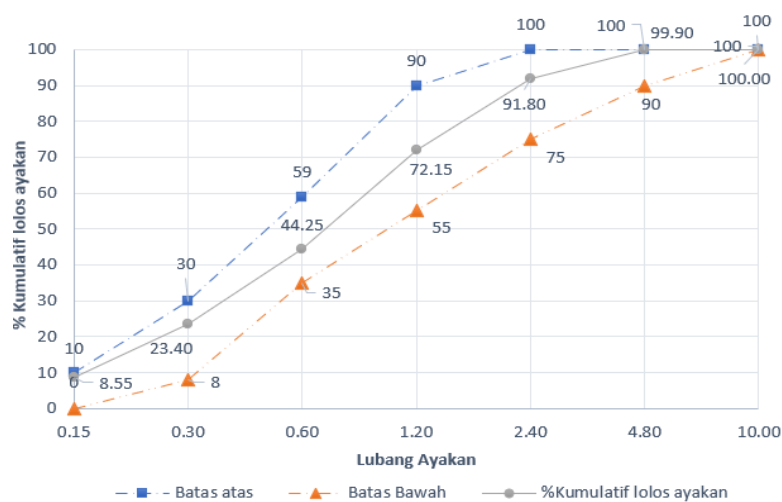
Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN HALUS



**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR DAN PADAT
AGREGAT HALUS**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	7785	7653
Berat Agregat (W3)	2539	2483
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,53	1,50
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,52	

Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	8165	8040
Berat Agregat (W3)	2919	2870
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,762	1,733
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,747	

**PEMERIKSAAN BUTIRAN LOLOS SARINGAN NO.200 (UJI
KANDUNGAN LUMPUR)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1) (gr)	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2) (gr)	492	488
Persentase lolos saringan No. 200 $\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1} \right) \times 100$	1,60	2,40
Rata-rata persentase lolos saringan No.200	2,00	

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT
KASAR**

Asal Pasir	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) (gr)	4987	4853	4920
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj) (gr)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba) (gr)	3201	3168	3184
Berat Jenis Curah (gr)	2,77	2,65	2,71
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) (gr)	2,78	2,73	2,75
Berat Jenis semu (gr)	2,79	2,88	2,84
Penyerapan Air	0,26	3,03	1,64

PEMERIKSAAN ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

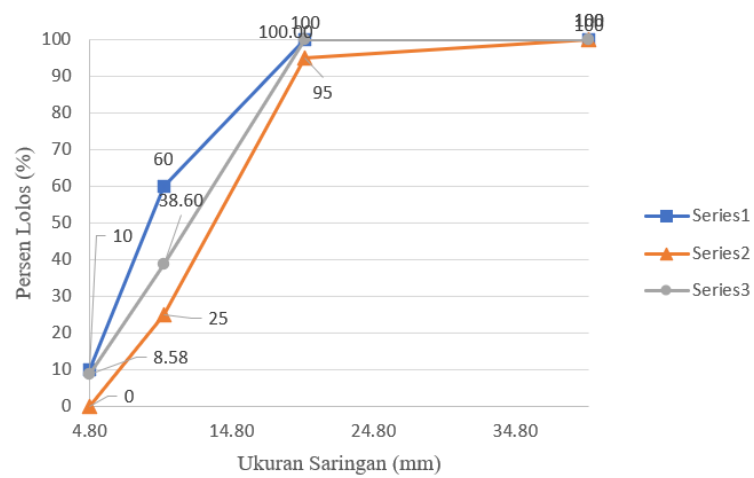
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)
40,00	0	0	0
20,00	0	0	0
10,00	3719	74,39	74,38
4,80	1123	22,46	96,84
2,40	107	2,14	98,98
1,20	9	0,18	99,16
0,60	0	0	99,16
0,30	0	0	99,16
0,15	0	0	99,16
Sisa	42	0,82	100,00
Jumlah	5000	100	666,84

GRADASI AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran Agregat yang Lolos dari Ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	7522	7371
Berat Agregat (W3)	2276	2201
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,37	1,33
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,35	

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Gunung Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengujian	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat Tabung (W1) (gr)	5246	5170
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2) (gr)	8165	8040
Berat Agregat (W3)	2919	2870
Diameter Tabung (cm)	10,40	10,40
Tinggi Tabung (cm)	19,50	19,50
Volume Tabung (V) (cm ³)	1656,50	1656,50
Berat Volume Gembur (gr/cm ³)	1,762	1,733
Rata-rata berat volume (gr/cm ³)	1,747	

Lampiran 3 Data Hasil Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan Campuran Beton Normal

No	Uraian	Nilai	Satuan	
1	Kuat tekan beton yang disarankan	25	MPa	
2	Standar deviasi	-	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	MPa	
4	Kuat tekan beton rerata yang dinyatakan	36,9		
5	Jenis semen	Tipe 1		
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah		
7	Jenis agregat halus	Pasir		
8	Faktor air semen bebas	0,5		
9	Faktor air semen maksimum	0,6		
10	FAS digunakan	0,5		
11	Slump	60 - 180	mm	
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm	
13	Kadar air bebas	205	Kg/m ³	
14	Kadar semen	410		
15	Kadar semen minimum	275	Kg/m ³	
16	Kadar semen digunakan	410	Kg/m ³	
17	FAS disesuaikan	0,5		
18	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2		
19	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,59		
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,75		
21	Persen agregat halus	41,25	%	
22	Persen agregat kasar	58,75	%	
23	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,66		
24	Berat isi beton	2382,50	Kg/m ³	
25	Kadar agregat gabungan	1767,50	Kg/m ³	
26	Kadar agregat halus	729,09	Kg/m ³	
27	Kadar agregat kasar	1038,41	Kg/m ³	
Proporsi campuran teoritis (Agregat kondisi SSD)				
	Semen (kg)	Air (kg)	Agr Halus (kg)	Agr Kasar (kg)
Setiap m ³	410	205	729,09	1038,41
Dengan angka penyusutan 35%	553,50	276,75	984,28	1401,85
Setiap variasi	35,212	17,606	62,617	89,182

Lampiran. 4 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Muli Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON

(SNI 1974 : 2011)

Nama : Mohammad Ahroz Najaha
NIM : 21511153
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
Umur Benda Uji = 7 Hari

II. Data Pengujian

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan
		mm	Mm	mm ²	kN	MPa
1	BN 7.1	150	300,6	17671,46	327,51	18,53
2	BN 7.2	150	300,2	17671,46	316,11	17,89
3	BN 7.3	150,01	300,7	17673,81	347,36	19,66
4	BN 7.4	150,06	300,9	17685,60	311,07	17,59
5	BF0 7.1	150	299,8	17671,46	275,70	15,60
6	BF0 7.2	149,94	299,7	17657,32	236,6	13,40
7	BF0 7.3	150	300	17671,46	180,24	10,20
8	BF0 7.4	150	300,1	17671,46	317,22	17,951
9	BF0,2 7.1	150,01	300,2	17673,81	153,36	8,68
10	BF0,2 7.2	150,01	300	17673,81	342,89	19,40
11	BF0,2 7.3	150	300,5	17671,46	298,51	16,89
12	BF0,2 7.4	150	300,1	17671,46	383,78	21,72
13	BF0,4 7.1	150	300,4	17671,46	347,44	19,66
14	BF0,4 7.2	150	300	17671,46	302,21	17,10
15	BF0,4 7.3	150	299,6	17671,46	317,22	17,95
16	BF0,4 7.4	150	300,3	17671,46	267,65	15,15
17	BF0,6 7.1	150	300,7	17671,46	242,83	13,74
18	BF0,6 7.2	150,04	300,4	17680,88	294,31	16,65
19	BF0,6 7.3	150	300	17671,46	207,58	11,75
20	BF0,6 7.4	150	299,9	17671,46	242,12	13,70

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawat, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON

(SNI 1974 : 2011)

Nama : Mohammad Ahroz Najaha
NIM : 21511153
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
Umur Benda Uji = 14 Hari

II. Data Pengujian

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan
		mm	Mm	mm ²	kN	MPa
1	BN 14.1	150	300,4	17671,46	397,08	22,47
2	BN 14.2	150	299,6	17671,46	378,24	21,40
3	BN 14.3	150,1	300,7	17695,03	441,29	22,97
4	BN 14.4	150	299,7	17671,46	470,62	26,63
5	BF0 14.1	150	300,1	17671,46	286,77	16,23
6	BF0 14.2	150	299,9	17671,46	320,14	18,12
7	BF0 14.3	150	300,4	17671,46	328,91	18,61
8	BF0 14.4	150	300,7	17671,46	387,45	21,93
9	BF0,2 14.1	150	300,5	17671,46	400,95	22,69
10	BF0,2 14.2	150	300,2	17671,46	388,9	22,01
11	BF0,2 14.3	150	299,8	17671,46	362,35	20,51
12	BF0,2 14.4	149,9	300	17647,90	323,2	18,31
13	BF0,4 14.1	150	299,8	17671,46	417,44	23,62
14	BF0,4 14.2	150	300,2	17671,46	306,82	17,36
15	BF0,4 14.3	150	300	17671,46	469,65	26,58
16	BF0,4 14.4	150,08	300,8	17690,31	438,65	24,80
17	BF0,6 14.1	150,01	300,6	17673,81	364,87	20,65
18	BF0,6 14.2	150	300	17671,46	395,68	22,39
19	BF0,6 14.3	150	299,7	17671,46	345,72	19,56
20	BF0,6 14.4	150	300,3	17671,46	288,28	21,31

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawat, S.T. M.Eng)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN SILINDER BETON

(SNI 1974 : 2011)

Nama : Mohammad Ahroz Najaha
NIM : 21511153
Keperluan : Tugas akhir

I. Data Benda Uji

Mutu rencana = 25 MPa
Umur Benda Uji = 28 Hari

II. Data Pengujian

No	Kodefikasi Benda Uji	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Tekan
		mm	Mm	mm ²	kN	MPa
1	BN 28.1	150,09	300,8	17692,67	376,9	21,84
2	BN 28.2	150,01	300,5	17673,81	407,96	23,09
3	BN 28.3	149,86	299,8	17638,49	544,7	30,82
4	BN 28.4	150,01	300,4	17672,64	448,76	25,39
5	BF0 28.1	150	300	17671,46	398,4	22,55
6	BF0 28.2	150	300,3	17671,46	314,8	17,81
7	BF0 28.3	150,07	300,7	17687,96	388,09	21,94
8	BF0 28.4	150,04	300,4	17680,88	437,18	24,73
9	BF0,2 28.1	150	300,3	17671,46	322,65	18,26
10	BF0,2 28.2	150	300,8	17671,46	480,03	27,16
11	BF0,2 28.3	150	300	17671,46	464,45	26,28
12	BF0,2 28.4	150	300,5	17671,46	433,43	24,53
13	BF0,4 28.1	150	300	17671,46	460,47	26,06
14	BF0,4 28.2	150	299,8	17671,46	578,72	32,75
15	BF0,4 28.3	150	300,1	17671,46	490,96	27,78
16	BF0,4 28.4	150	300,4	17671,46	502,41	28,43
17	BF0,6 28.1	150,01	300,6	17671,46	478,44	27,07
18	BF0,6 28.2	150	300,8	17671,46	333,43	18,87
19	BF0,6 28.3	150	300	17671,46	345,11	19,53
20	BF0,6 28.4	150,01	300,2	17671,46	435,78	24,66

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawat, S.T. M.Eng)

Lampiran 5 Data Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS BETON

I. Data Benda Uji Variasi BN 7 Hari, Sampel

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,6 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban (P)		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	7	0.0035	0.0000175	0.565884
20	20000	13	0.0065	0.0000325	1.131768
30	30000	20.4	0.0102	0.000051	1.697653
40	40000	28	0.014	0.00007	2.263537
50	50000	35	0.0175	0.0000875	2.829421
60	60000	42.5	0.02125	0.00010625	3.395305
70	70000	50	0.025	0.000125	3.96119
80	80000	59.7	0.02985	0.00014925	4.527074
90	90000	68.9	0.03445	0.00017225	5.092958
100	100000	76.2	0.0381	0.0001905	5.658842
110	110000	82	0.041	0.000205	6.224727
120	120000	120.8	0.0604	0.000302	6.790611
130	130000	130	0.065	0.000325	7.356495
140	140000	139.6	0.0698	0.000349	7.922379
150	150000	149	0.0745	0.0003725	8.488264
160	160000	160	0.08	0.0004	9.054148
170	170000	168.7	0.08435	0.00042175	9.620032
180	180000	180	0.09	0.00045	10.18592
190	190000	192.6	0.0963	0.0004815	10.7518
200	200000	205	0.1025	0.0005125	11.31768
210	210000	218.3	0.10915	0.00054575	11.88357
220	220000	231.4	0.1157	0.0005785	12.44945
230	230000	259.8	0.1299	0.0006495	13.01534
240	240000	270	0.135	0.000675	13.58122
250	250000	291.1	0.14555	0.00072775	14.14711
260	260000	314.5	0.15725	0.00078625	14.71299
270	270000	344.7	0.17235	0.00086175	15.27887
280	280000	369.8	0.1849	0.0009245	15.84476
290	290000	413.2	0.2066	0.001033	16.41064
300	300000	457	0.2285	0.0011425	16.97653



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban (P)		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
310	310000	519	0.2595	0.0012975	17.54241
320	320000	614.5	0.30725	0.00153625	18.1083
310	310000	948.3	0.47415	0.00237075	17.54241
300	300000	1016.4	0.5082	0.002541	16.97653
280	280000	1162.9	0.58145	0.00290725	15.84476

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hartawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS
ELASTISITAS BETON**

I. Data Benda Uji Variasi B0,2 7 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150,01 mm
Tinggi = 300,2 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10 ³ mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	4.3	0.00215	0.00001075	0.000566337
20	20000	12.4	0.0062	0.000031	0.001132674
30	30000	19.7	0.00985	0.00004925	0.001699012
40	40000	29.5	0.01475	0.00007375	0.002265349
50	50000	36.8	0.0184	0.000092	0.002831686
60	60000	43.2	0.0216	0.000108	0.003398023
70	70000	49.8	0.0249	0.0001245	0.003964361
80	80000	58	0.029	0.000145	0.004530698
90	90000	65	0.0325	0.0001625	0.005097035
100	100000	74.9	0.03745	0.00018725	0.005663372
110	110000	84	0.042	0.00021	0.006229709
120	120000	96	0.048	0.00024	0.006796047
130	130000	112.4	0.0562	0.000281	0.007362384
140	140000	123.6	0.0618	0.000309	0.007928721
150	150000	138.2	0.0691	0.0003455	0.008495058
160	160000	152.7	0.07635	0.00038175	0.009061396
170	170000	170	0.085	0.000425	0.009627733
180	180000	185	0.0925	0.0004625	0.01019407
190	190000	202.1	0.10105	0.00050525	0.010760407
200	200000	220	0.11	0.00055	0.011326744
210	210000	238.2	0.1191	0.0005955	0.011893082
220	220000	259	0.1295	0.0006475	0.012459419
230	230000	279.3	0.13965	0.00069825	0.013025756
240	240000	305	0.1525	0.0007625	0.013592093
250	250000	319.8	0.1599	0.0007995	0.014158431
260	260000	357.7	0.17885	0.00089425	0.014724768
270	270000	387.1	0.19355	0.00096775	0.015291105
280	280000	418.3	0.20915	0.00104575	0.015857442



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	452.8	0.2264	0.001132	0.016423779
300	300000	495	0.2475	0.0012375	0.016990117
310	310000	544.7	0.27235	0.00136175	0.017556454
320	320000	601.5	0.30075	0.00150375	0.018122791
330	330000	690	0.345	0.001725	0.018689128
340	340000	792.3	0.39615	0.00198075	0.019255466
330	330000	1047.6	0.5238	0.002619	0.018689128
300	300000	1372.4	0.6862	0.003431	0.016990117

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawat, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS
ELASTISITAS BETON**

I. Data Benda Uji Variasi B0,4 7 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	9.6	0.0048	0.000024	0.565884
20	20000	18.7	0.00935	0.00004675	1.131768
30	30000	26.4	0.0132	0.000066	1.697653
40	40000	35	0.0175	0.0000875	2.263537
50	50000	45.9	0.02295	0.00011475	2.829421
60	60000	55.2	0.0276	0.000138	3.395305
70	70000	63.7	0.03185	0.00015925	3.96119
80	80000	70	0.035	0.000175	4.527074
90	90000	75.5	0.03775	0.00018875	5.092958
100	100000	84.8	0.0424	0.000212	5.658842
110	110000	92.6	0.0463	0.0002315	6.224727
120	120000	100	0.05	0.00025	6.790611
130	130000	109.7	0.05485	0.00027425	7.356495
140	140000	119.3	0.05965	0.00029825	7.922379
150	150000	130	0.065	0.000325	8.488264
160	160000	145	0.0725	0.0003625	9.054148
170	170000	162.6	0.0813	0.0004065	9.620032
180	180000	181.9	0.09095	0.00045475	10.18592
190	190000	207.2	0.1036	0.000518	10.7518
200	200000	234.2	0.1171	0.0005855	11.31768
210	210000	268.2	0.1341	0.0006705	11.88357
220	220000	304	0.152	0.00076	12.44945
230	230000	342.1	0.17105	0.00085525	13.01534
240	240000	389.6	0.1948	0.000974	13.58122
250	250000	432.4	0.2162	0.001081	14.14711
260	260000	494.7	0.24735	0.00123675	14.71299
270	270000	564.6	0.2823	0.0014115	15.27887
280	280000	640	0.32	0.0016	15.84476
290	290000	760	0.38	0.0019	16.41064



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensimeter	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10 ³ mm	mm	%	Mpa
300	300000	969.2	0.4846	0.002423	16.97653
290	290000	1156.7	0.57835	0.00289175	16.41064
270	270000	1303.3	0.65165	0.00325825	15.27887

Diperiksa Oleh

Laboran

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui

Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawat, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS
ELASTISITAS BETON**

I. Data Benda Uji Variasi B0,6 7 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150,04 mm
Tinggi = 300,7 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	4.3	0.00215	0.0001075	0.565583
20	20000	10	0.005	0.000025	1.131165
30	30000	17.8	0.0089	0.0000445	1.696748
40	40000	24.7	0.01235	0.00006175	2.26233
50	50000	34.8	0.0174	0.000087	2.827913
60	60000	38.5	0.01925	0.00009625	3.393495
70	70000	46	0.023	0.000115	3.959078
80	80000	53.9	0.02695	0.00013475	4.52466
90	90000	64.2	0.0321	0.0001605	5.090243
100	100000	75	0.0375	0.0001875	5.655826
110	110000	87.7	0.04385	0.00021925	6.221408
120	120000	101.5	0.05075	0.00025375	6.786991
130	130000	116.2	0.0581	0.0002905	7.352573
140	140000	125.7	0.06285	0.00031425	7.918156
150	150000	144.3	0.07215	0.00036075	8.483738
160	160000	165	0.0825	0.0004125	9.049321
170	170000	191.8	0.0959	0.0004795	9.614903
180	180000	220	0.11	0.00055	10.18049
190	190000	258.7	0.12935	0.00064675	10.74607
200	200000	315	0.1575	0.0007875	11.31165
180	180000	560	0.28	0.0014	10.18049
160	160000	835.4	0.4177	0.0020885	9.049321



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui

Kepala Laboratorium

(Astriana Hartawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BN 14 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 299,6 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensimeter	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	6.8	0.0034	0.000017	0.565884
20	20000	14.4	0.0072	0.000036	1.131768
30	30000	20	0.01	0.00005	1.697653
40	40000	29.6	0.0148	0.000074	2.263537
50	50000	38	0.019	0.000095	2.829421
60	60000	45.8	0.0229	0.0001145	3.395305
70	70000	55	0.0275	0.0001375	3.96119
80	80000	63.6	0.0318	0.000159	4.527074
90	90000	73.1	0.03655	0.00018275	5.092958
100	100000	81.8	0.0409	0.0002045	5.658842
110	110000	90.9	0.04545	0.00022725	6.224727
120	120000	102	0.051	0.000255	6.790611
130	130000	112.8	0.0564	0.000282	7.356495
140	140000	124	0.062	0.00031	7.922379
150	150000	135.9	0.06795	0.00033975	8.488264
160	160000	149.2	0.0746	0.000373	9.054148
170	170000	163.8	0.0819	0.0004095	9.620032
180	180000	174.3	0.08715	0.00043575	10.18592
190	190000	189.2	0.0946	0.000473	10.7518
200	200000	202.8	0.1014	0.000507	11.31768
210	210000	216	0.108	0.00054	11.88357
220	220000	231.3	0.11565	0.00057825	12.44945
230	230000	245	0.1225	0.0006125	13.01534
240	240000	263	0.1315	0.0006575	13.58122
250	250000	280	0.14	0.0007	14.14711
260	260000	298.3	0.14915	0.00074575	14.71299
270	270000	319.1	0.15955	0.00079775	15.27887
280	280000	339.2	0.1696	0.000848	15.84476



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	365	0.1825	0.0009125	16.41064
300	300000	390.5	0.19525	0.00097625	16.97653
310	310000	420	0.21	0.00105	17.54241
320	320000	454.8	0.2274	0.001137	18.1083
330	330000	492.4	0.2462	0.001231	18.67418
340	340000	534.6	0.2673	0.0013365	19.24006
350	350000	584.3	0.29215	0.00146075	19.80595
360	360000	640	0.32	0.0016	20.37183
370	370000	748.3	0.37415	0.00187075	20.93772
360	360000	1205.2	0.6026	0.003013	20.37183
340	340000	1430.3	0.71515	0.00357575	19.24006

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0 14 Hari, Sampel 1

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,1 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensimeter	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10 ³ mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	9.7	0.00485	0.00002425	0.565884
20	20000	17.3	0.00865	0.00004325	1.131768
30	30000	27.8	0.0139	0.0000695	1.697653
40	40000	36.6	0.0183	0.0000915	2.263537
50	50000	49.8	0.0249	0.0001245	2.829421
60	60000	58	0.029	0.000145	3.395305
70	70000	70	0.035	0.000175	3.96119
80	80000	84	0.042	0.00021	4.527074
90	90000	97	0.0485	0.0002425	5.092958
100	100000	111.6	0.0558	0.000279	5.658842
110	110000	126.2	0.0631	0.0003155	6.224727
120	120000	140	0.07	0.00035	6.790611
130	130000	159.4	0.0797	0.0003985	7.356495
140	140000	176.3	0.08815	0.00044075	7.922379
150	150000	194.6	0.0973	0.0004865	8.488264
160	160000	214	0.107	0.000535	9.054148
170	170000	237	0.1185	0.0005925	9.620032
180	180000	260.3	0.13015	0.00065075	10.18592
190	190000	288	0.144	0.00072	10.7518
200	200000	314.5	0.15725	0.00078625	11.31768
210	210000	342.8	0.1714	0.000857	11.88357
220	220000	377.6	0.1888	0.000944	12.44945
230	230000	409.8	0.2049	0.0010245	13.01534
240	240000	455	0.2275	0.0011375	13.58122
250	250000	502.4	0.2512	0.001256	14.14711
260	260000	559.7	0.27985	0.00139925	14.71299
270	270000	638.8	0.3194	0.001597	15.27887
280	280000	778.8	0.3894	0.001947	15.84476



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	979.5	0.48975	0.00244875	16.41064
260	260000	1144.3	0.57215	0.00286075	14.71299
240	240000	1229.6	0.6148	0.003074	13.58122

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 896444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS
ELASTISITAS BETON

I. Data Benda Uji Variasi BF0,2 14 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,2 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	8.2	0.0041	0.0000205	0.565884
20	20000	14.7	0.00735	0.00003675	1.131768
30	30000	20	0.01	0.00005	1.697653
40	40000	29.3	0.01465	0.00007325	2.263537
50	50000	35	0.0175	0.0000875	2.829421
60	60000	43	0.0215	0.0001075	3.395305
70	70000	50	0.025	0.000125	3.96119
80	80000	60	0.03	0.00015	4.527074
90	90000	66.8	0.0334	0.000167	5.092958
100	100000	74.1	0.03705	0.00018525	5.658842
110	110000	82.6	0.0413	0.0002065	6.224727
120	120000	90	0.045	0.000225	6.790611
130	130000	99.7	0.04985	0.00024925	7.356495
140	140000	108	0.054	0.00027	7.922379
150	150000	116.2	0.0581	0.0002905	8.488264
160	160000	124.4	0.0622	0.000311	9.054148
170	170000	129.6	0.0648	0.000324	9.620032
180	180000	136.8	0.0684	0.000342	10.18592
190	190000	140.4	0.0702	0.000351	10.7518
200	200000	148.8	0.0744	0.000372	11.31768
210	210000	153.5	0.07675	0.00038375	11.88357
220	220000	161.4	0.0807	0.0004035	12.44945
230	230000	169.3	0.08465	0.00042325	13.01534
240	240000	181.1	0.09055	0.00045275	13.58122
250	250000	193	0.0965	0.0004825	14.14711
260	260000	208.3	0.10415	0.00052075	14.71299
270	270000	220	0.11	0.00055	15.27887
280	280000	235.1	0.11755	0.00058775	15.84476



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensimeter	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	$\dots \times 10^3 \text{ mm}$	mm	%	Mpa
290	290000	254.7	0.12735	0.00063675	16.41064
300	300000	274.6	0.1373	0.0006865	16.97653
310	310000	294.8	0.1474	0.000737	17.54241
320	320000	325	0.1625	0.0008125	18.1083
330	330000	356.3	0.17815	0.00089075	18.67418
340	340000	388.7	0.19435	0.00097175	19.24006
350	350000	421	0.2105	0.0010525	19.80595
360	360000	455.6	0.2278	0.001139	20.37183
370	370000	490.4	0.2452	0.001226	20.93772
380	380000	526	0.263	0.001315	21.5036
370	370000	726.2	0.3631	0.0018155	20.93772
350	350000	948.7	0.47435	0.00237175	19.80595

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 899444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0,4 14 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 299,8 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	6.5	0.00325	0.0001625	0.565884242
20	20000	14	0.007	0.00035	1.131768484
30	30000	21	0.0105	0.000525	1.697652726
40	40000	30	0.015	0.00075	2.263536968
50	50000	39.4	0.0197	0.000985	2.829421211
60	60000	47.8	0.0239	0.001195	3.395305453
70	70000	55.9	0.02795	0.0013975	3.961189695
80	80000	65.4	0.0327	0.001635	4.527073937
90	90000	75	0.0375	0.001875	5.092958179
100	100000	84.5	0.04225	0.0021125	5.658842421
110	110000	92.8	0.0464	0.00232	6.224726663
120	120000	101.5	0.05075	0.0025375	6.790610905
130	130000	111.2	0.0556	0.00278	7.356495147
140	140000	122.6	0.0613	0.003065	7.922379389
150	150000	132.7	0.06635	0.0033175	8.488263632
160	160000	142	0.071	0.00355	9.054147874
170	170000	152.6	0.0763	0.003815	9.620032116
180	180000	166.8	0.0834	0.00417	10.18591636
190	190000	175.6	0.0878	0.00439	10.7518006
200	200000	186.9	0.09345	0.0046725	11.31768484
210	210000	199.3	0.09965	0.0049825	11.88356908
220	220000	210.8	0.1054	0.00527	12.44945333
230	230000	225	0.1125	0.005625	13.01533757
240	240000	238.4	0.1192	0.00596	13.58122181
250	250000	251.6	0.1258	0.00629	14.14710605
260	260000	265.2	0.1326	0.00663	14.71299029
270	270000	279.3	0.13965	0.0069825	15.27887454
280	280000	294.3	0.14715	0.0073575	15.84475878



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	309.6	0.1548	0.000774	16.41064302
300	300000	325.7	0.16285	0.00081425	16.97652726
310	310000	344	0.172	0.00086	17.54241151
320	320000	362.5	0.18125	0.00090625	18.10829575
330	330000	380.3	0.19015	0.00095075	18.67417999
340	340000	402.1	0.20105	0.00100525	19.24006423
350	350000	425	0.2125	0.0010625	19.80594847
360	360000	454	0.227	0.001135	20.37183272
370	370000	482.5	0.24125	0.00120625	20.93771696
380	380000	513.8	0.2569	0.0012845	21.5036012
390	390000	555.7	0.27785	0.00138925	22.06948544
400	400000	607.5	0.30375	0.00151875	22.63536968
410	410000	696	0.348	0.00174	23.20125393
420	420000	946.8	0.4734	0.002367	23.76713817
400	400000	1187.4	0.5937	0.0029685	22.63536968
370	370000	1297.8	0.6489	0.0032445	20.93771696

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0,6 14 Hari, Sampel 1

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150,01 mm
Tinggi = 300,4 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	3.8	0.0019	0.0000095	0.565809
20	20000	8.6	0.0043	0.0000215	1.131618
30	30000	12.3	0.00615	0.00003075	1.697426
40	40000	19.7	0.00985	0.00004925	2.263235
50	50000	29.1	0.01455	0.00007275	2.829044
60	60000	32.5	0.01625	0.00008125	3.394853
70	70000	41	0.0205	0.0001025	3.960662
80	80000	49.2	0.0246	0.000123	4.52647
90	90000	56.9	0.02845	0.00014225	5.092279
100	100000	64.6	0.0323	0.0001615	5.658088
110	110000	71.2	0.0356	0.000178	6.223897
120	120000	79.5	0.03975	0.00019875	6.789706
130	130000	87.7	0.04385	0.00021925	7.355514
140	140000	96.8	0.0484	0.000242	7.921323
150	150000	104.7	0.05235	0.00026175	8.487132
160	160000	116.4	0.0582	0.000291	9.052941
170	170000	126.9	0.06345	0.00031725	9.61875
180	180000	138.8	0.0694	0.000347	10.18456
190	190000	151.9	0.07595	0.00037975	10.75037
200	200000	164.7	0.08235	0.00041175	11.31618
210	210000	180	0.09	0.00045	11.88198
220	220000	197.2	0.0986	0.000493	12.44779
230	230000	213.6	0.1068	0.000534	13.0136
240	240000	234.4	0.1172	0.000586	13.57941
250	250000	250.2	0.1251	0.0006255	14.14522
260	260000	272.2	0.1361	0.0006805	14.71103
270	270000	295.9	0.14795	0.00073975	15.27684
280	280000	327.1	0.16355	0.00081775	15.84265



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	343.2	0.1716	0.000858	16.40846
300	300000	373	0.1865	0.0009325	16.97426
310	310000	406.6	0.2033	0.0010165	17.54007
320	320000	442.8	0.2214	0.001107	18.10588
330	330000	491.2	0.2456	0.001228	18.67169
340	340000	550	0.275	0.001375	19.2375
350	350000	618.7	0.30935	0.00154675	19.80331
360	360000	720	0.36	0.0018	20.36912
370	370000	1051.7	0.52585	0.00262925	20.93493
350	350000	1146.4	0.5732	0.002866	19.80331
320	320000	1182	0.591	0.002955	18.10588

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BN 28 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,8 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	1.4	0.0007	0.0000035	0.565809
20	20000	9.7	0.00485	0.00002425	1.131618
30	30000	13.8	0.0069	0.0000345	1.697426
40	40000	20	0.01	0.00005	2.263235
50	50000	28.7	0.01435	0.00007175	2.829044
60	60000	31.9	0.01595	0.00007975	3.394853
70	70000	39.6	0.0198	0.000099	3.960662
80	80000	46.6	0.0233	0.0001165	4.52647
90	90000	51.9	0.02595	0.00012975	5.092279
100	100000	60	0.03	0.00015	5.658088
110	110000	68.5	0.03425	0.00017125	6.223897
120	120000	74.8	0.0374	0.000187	6.789706
130	130000	81.2	0.0406	0.000203	7.355514
140	140000	90	0.045	0.000225	7.921323
150	150000	99.3	0.04965	0.00024825	8.487132
160	160000	109.5	0.05475	0.00027375	9.052941
170	170000	117	0.0585	0.0002925	9.61875
180	180000	125	0.0625	0.0003125	10.18456
190	190000	129.7	0.06485	0.00032425	10.75037
200	200000	140	0.07	0.00035	11.31618
210	210000	149.4	0.0747	0.0003735	11.88198
220	220000	159.6	0.0798	0.000399	12.44779
230	230000	164.4	0.0822	0.000411	13.0136
240	240000	170.2	0.0851	0.0004255	13.57941
250	250000	180	0.09	0.00045	14.14522
260	260000	190.6	0.0953	0.0004765	14.71103
270	270000	202.1	0.10105	0.00050525	15.27684
280	280000	212.5	0.10625	0.00053125	15.84265



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	224.6	0.1123	0.0005615	16.40846
300	300000	237.8	0.1189	0.0005945	16.97426
310	310000	250	0.125	0.000625	17.54007
320	320000	260.8	0.1304	0.000652	18.10588
330	330000	278.9	0.13945	0.00069725	18.67169
340	340000	292.7	0.14635	0.00073175	19.2375
350	350000	309	0.1545	0.0007725	19.80331
360	360000	324.5	0.16225	0.00081125	20.36912
370	370000	341.6	0.1708	0.000854	20.93493
380	380000	369.1	0.18455	0.00092275	21.50073
390	390000	389.7	0.19485	0.00097425	22.06654
400	400000	423.8	0.2119	0.0010595	22.63235
370	370000	863	0.4315	0.0021575	20.93493

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0 28 Hari, Sampel 1

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	6.1	0.00305	0.00001525	0.565884
20	20000	11.8	0.0059	0.0000295	1.131768
30	30000	20	0.01	0.00005	1.697653
40	40000	29.3	0.01465	0.00007325	2.263537
50	50000	37.6	0.0188	0.000094	2.829421
60	60000	45	0.0225	0.0001125	3.395305
70	70000	51.6	0.0258	0.000129	3.96119
80	80000	60	0.03	0.00015	4.527074
90	90000	68.9	0.03445	0.00017225	5.092958
100	100000	77.2	0.0386	0.000193	5.658842
110	110000	86.6	0.0433	0.0002165	6.224727
120	120000	95.1	0.04755	0.00023775	6.790611
130	130000	103.7	0.05185	0.00025925	7.356495
140	140000	113.2	0.0566	0.000283	7.922379
150	150000	121.8	0.0609	0.0003045	8.488264
160	160000	134.8	0.0674	0.000337	9.054148
170	170000	144.4	0.0722	0.000361	9.620032
180	180000	153.7	0.07685	0.00038425	10.18592
190	190000	162.3	0.08115	0.00040575	10.7518
200	200000	175.1	0.08755	0.00043775	11.31768
210	210000	189	0.0945	0.0004725	11.88357
220	220000	199.6	0.0998	0.000499	12.44945
230	230000	210	0.105	0.000525	13.01534
240	240000	229.8	0.1149	0.0005745	13.58122
250	250000	238.7	0.11935	0.00059675	14.14711
260	260000	250	0.125	0.000625	14.71299
270	270000	267.8	0.1339	0.0006695	15.27887
280	280000	279.2	0.1396	0.000698	15.84476



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	299.4	0.1497	0.0007485	16.41064
300	300000	318.2	0.1591	0.0007955	16.97653
310	310000	337.6	0.1688	0.000844	17.54241
320	320000	359.1	0.17955	0.00089775	18.1083
330	330000	380	0.19	0.00095	18.67418
340	340000	406.5	0.20325	0.00101625	19.24006
350	350000	439	0.2195	0.0010975	19.80595
360	360000	468.2	0.2341	0.0011705	20.37183
370	370000	505.3	0.25265	0.00126325	20.93772
380	380000	550	0.275	0.001375	21.5036
390	390000	625	0.3125	0.0015625	22.06949
400	400000	883.4	0.4417	0.0022085	22.63537
370	370000	1048	0.524	0.00262	20.93772

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0,2 28 Hari, Sampel 2

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,3 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	5	0.0025	0.0000125	0.565884
20	20000	11	0.0055	0.0000275	1.131768
30	30000	19.6	0.0098	0.000049	1.697653
40	40000	25	0.0125	0.0000625	2.263537
50	50000	34.6	0.0173	0.0000865	2.829421
60	60000	40	0.02	0.0001	3.395305
70	70000	49.7	0.02485	0.00012425	3.96119
80	80000	58	0.029	0.000145	4.527074
90	90000	65	0.0325	0.0001625	5.092958
100	100000	75	0.0375	0.0001875	5.658842
110	110000	83.8	0.0419	0.0002095	6.224727
120	120000	90.7	0.04535	0.00022675	6.790611
130	130000	102	0.051	0.000255	7.356495
140	140000	113.5	0.05675	0.00028375	7.922379
150	150000	123	0.0615	0.0003075	8.488264
160	160000	134.8	0.0674	0.000337	9.054148
170	170000	143	0.0715	0.0003575	9.620032
180	180000	155	0.0775	0.0003875	10.18592
190	190000	167	0.0835	0.0004175	10.7518
200	200000	175	0.0875	0.0004375	11.31768
210	210000	185	0.0925	0.0004625	11.88357
220	220000	198	0.099	0.000495	12.44945



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
230	230000	210	0.105	0.000525	13.01534
240	240000	221	0.1105	0.0005525	13.58122
250	250000	234	0.117	0.000585	14.14711
260	260000	248	0.124	0.00062	14.71299
270	270000	262.7	0.13135	0.00065675	15.27887
280	280000	277	0.1385	0.0006925	15.84476
290	290000	294	0.147	0.000735	16.41064
300	300000	310	0.155	0.000775	16.97653
310	310000	335	0.1675	0.0008375	17.54241
320	320000	354.7	0.17735	0.00088675	18.1083
330	330000	375	0.1875	0.0009375	18.67418
340	340000	398	0.199	0.000995	19.24006
350	350000	420	0.21	0.00105	19.80595
360	360000	443	0.2215	0.0011075	20.37183
370	370000	470	0.235	0.001175	20.93772
380	380000	493.5	0.24675	0.00123375	21.5036
390	390000	522.1	0.26105	0.00130525	22.06949
400	400000	547.8	0.2739	0.0013695	22.63537
410	410000	578.7	0.28935	0.00144675	23.20125
420	420000	609.7	0.30485	0.00152425	23.76714
430	430000	650.4	0.3252	0.001626	24.33302
440	440000	689.2	0.3446	0.001723	24.89891
450	450000	740	0.37	0.00185	25.46479
460	460000	813.6	0.4068	0.002034	26.03068
480	480000	1007.3	0.50365	0.00251825	27.16244
460	460000	1259.5	0.62975	0.00314875	26.03068
440	440000	1432.1	0.71605	0.00358025	24.89891



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darusssalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON**

I. Data Benda Uji Variasi BF0,4 28 Hari, Sampel 1

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	2.6	0.0013	0.0000065	0.565884
20	20000	11.5	0.00575	0.0002875	1.131768
30	30000	22.8	0.0114	0.000057	1.697653
40	40000	29.2	0.0146	0.000073	2.263537
50	50000	39.8	0.0199	0.0000995	2.829421
60	60000	50	0.025	0.000125	3.395305
70	70000	59.2	0.0296	0.000148	3.96119
80	80000	68.7	0.03435	0.00017175	4.527074
90	90000	76.3	0.03815	0.00019075	5.092958
100	100000	85.2	0.0426	0.000213	5.658842
110	110000	96	0.048	0.00024	6.224727
120	120000	105	0.0525	0.0002625	6.790611
130	130000	116.4	0.0582	0.000291	7.356495
140	140000	124.8	0.0624	0.000312	7.922379
150	150000	137.8	0.0689	0.0003445	8.488264
160	160000	146.2	0.0731	0.0003655	9.054148
170	170000	155.7	0.07785	0.00038925	9.620032
180	180000	170	0.085	0.000425	10.18592
190	190000	179.3	0.08965	0.00044825	10.7518
200	200000	190	0.095	0.000475	11.31768
210	210000	202.4	0.1012	0.000506	11.88357
220	220000	216.7	0.10835	0.00054175	12.44945
230	230000	229.4	0.1147	0.0005735	13.01534
240	240000	243.1	0.12155	0.00060775	13.58122
250	250000	258.6	0.1293	0.0006465	14.14711
260	260000	275	0.1375	0.0006875	14.71299
270	270000	290	0.145	0.000725	15.27887
280	280000	317.2	0.1586	0.000793	15.84476



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
290	290000	325	0.1625	0.0008125	16.41064
300	300000	347.3	0.17365	0.00086825	16.97653
310	310000	364.6	0.1823	0.0009115	17.54241
320	320000	385.4	0.1927	0.0009635	18.1083
330	330000	404.8	0.2024	0.001012	18.67418
340	340000	430	0.215	0.001075	19.24006
350	350000	456.9	0.22845	0.00114225	19.80595
360	360000	481.5	0.24075	0.00120375	20.37183
370	370000	507.4	0.2537	0.0012685	20.93772
380	380000	539.4	0.2697	0.0013485	21.5036
390	390000	578.1	0.28905	0.00144525	22.06949
400	400000	610.7	0.30535	0.00152675	22.63537
410	410000	652.1	0.32605	0.00163025	23.20125
420	420000	699.3	0.34965	0.00174825	23.76714
430	430000	749.5	0.37475	0.00187375	24.33302
440	440000	807.4	0.4037	0.0020185	24.89891
450	450000	879.6	0.4398	0.002199	25.46479
460	460000	968.7	0.48435	0.00242175	26.03068
440	440000	1346.3	0.67315	0.00336575	24.89891

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

LAPORAN SEMENTARA PENGAMATAN UJI MODULUS ELASTISITAS
BETON

I. Data Benda Uji Variasi BF0,6 28 Hari, Sampel 1

Mutu beton rencana = 25 MPa
Diameter = 150 mm
Tinggi = 300,6 mm

II. Data Hasil Pengujian

Beban		Ekstensiometer	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	... x 10^3 mm	mm	%	Mpa
0	0	0	0	0	0
10	10000	5.4	0.0027	0.0000135	0.565809
20	20000	11.1	0.00555	0.00002775	1.131618
30	30000	17.8	0.0089	0.0000445	1.697426
40	40000	24.3	0.01215	0.00006075	2.263235
50	50000	31.5	0.01575	0.00007875	2.829044
60	60000	39.2	0.0196	0.000098	3.394853
70	70000	47	0.0235	0.0001175	3.960662
80	80000	56	0.028	0.00014	4.52647
90	90000	65.8	0.0329	0.0001645	5.092279
100	100000	73	0.0365	0.0001825	5.658088
110	110000	86.4	0.0432	0.000216	6.223897
120	120000	98.7	0.04935	0.00024675	6.789706
130	130000	110	0.055	0.000275	7.355514
140	140000	123.9	0.06195	0.00030975	7.921323
150	150000	137	0.0685	0.0003425	8.487132
160	160000	151.3	0.07565	0.00037825	9.052941
170	170000	166.8	0.0834	0.000417	9.61875
180	180000	182.5	0.09125	0.00045625	10.18456
190	190000	199.2	0.0996	0.000498	10.75037
200	200000	217.4	0.1087	0.0005435	11.31618
210	210000	236	0.118	0.00059	11.88198
220	220000	255	0.1275	0.0006375	12.44779
230	230000	277.1	0.13855	0.00069275	13.0136
240	240000	298.8	0.1494	0.000747	13.57941
250	250000	322.6	0.1613	0.0008065	14.14522
260	260000	346.2	0.1731	0.0008655	14.71103
270	270000	371	0.1855	0.0009275	15.27684
280	280000	397.4	0.1987	0.0009935	15.84265



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Beban		Ekstensimeter	ΔL	Regangan (ϵ')	Tegangan
(kN)	N	$\dots \times 10^3 \text{ mm}$	mm	%	Mpa
290	290000	424.7	0.21235	0.00106175	16.40846
300	300000	452	0.226	0.00113	16.97426
310	310000	481.4	0.2407	0.0012035	17.54007
320	320000	511	0.2555	0.0012775	18.10588
330	330000	546	0.273	0.001365	18.67169
340	340000	574	0.287	0.001435	19.2375
350	350000	607.7	0.30385	0.00151925	19.80331
360	360000	641.5	0.32075	0.00160375	20.36912
370	370000	676	0.338	0.00169	20.93493
380	380000	712.3	0.35615	0.00178075	21.50073
390	390000	749	0.3745	0.0018725	22.06654
400	400000	787	0.3935	0.0019675	22.63235
410	410000	826.2	0.4131	0.0020655	23.19816
420	420000	866.7	0.43335	0.00216675	23.76397
430	430000	907.6	0.4538	0.002269	24.32978
440	440000	949	0.4745	0.0023725	24.89559
450	450000	992.4	0.4962	0.002481	25.4614
460	460000	1036.9	0.51845	0.00259225	26.0272
470	470000	1081	0.5405	0.0027025	26.59301
460	460000	1284.7	0.64235	0.00321175	26.0272
440	440000	1321	0.6605	0.0033025	24.89559

Diperiksa Oleh
Laboran

(Darussalam, A.Md.)

Disetujui
Kepala Laboratorium

(Astriana Hardawati, S.T. M.Eng)

Lampiran. 6 Grafik Modulus Elastisitas Beton

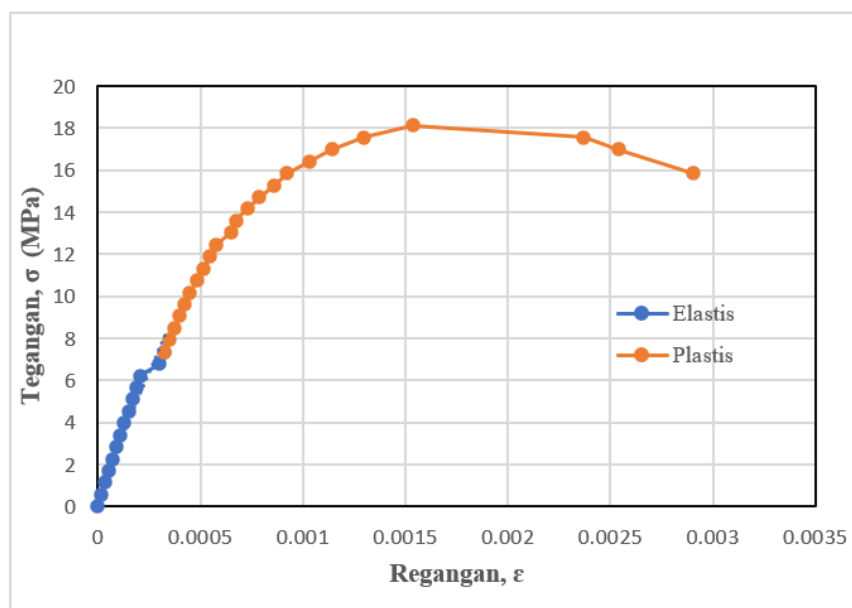
1. Benda Uji Varian BN 7 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 18,53 MPa

Beban Maksimum, P = 327,51 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BN 7 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	20652,71	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20233,49	MPa

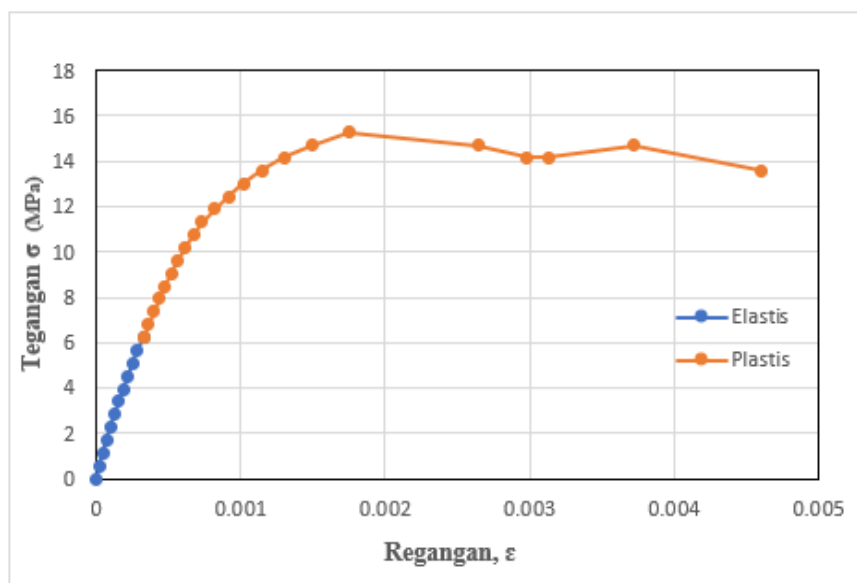
2. Benda Uji Varian BF0 7 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 15,60 MPa

Beban Maksimum, P = 275,70 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0 7 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	18254,33	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	18564,11	MPa

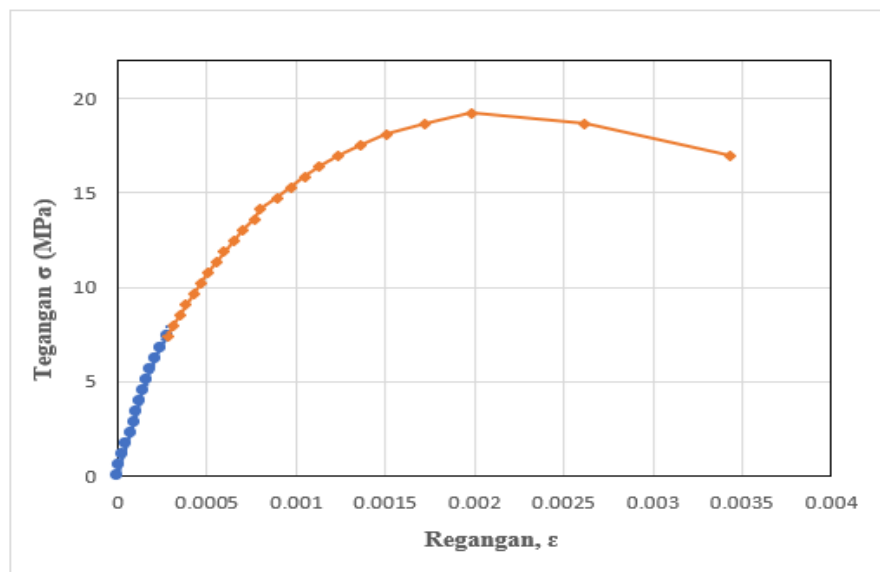
3. Benda Uji Varian BF0,2 7 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17673,82 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 19,40 MPa

Beban Maksimum, P = 342,89 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,2 7 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24414,62	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20702,95	MPa

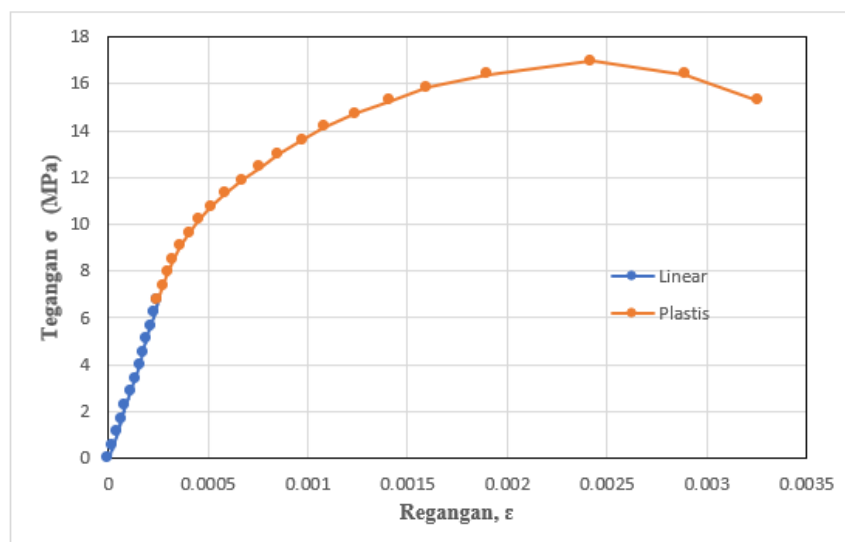
4. Benda Uji Varian BF0,4 7 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 17,10 MPa

Beban Maksimum, P = 302,21 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,4 7 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27841.78	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	19436.6	MPa

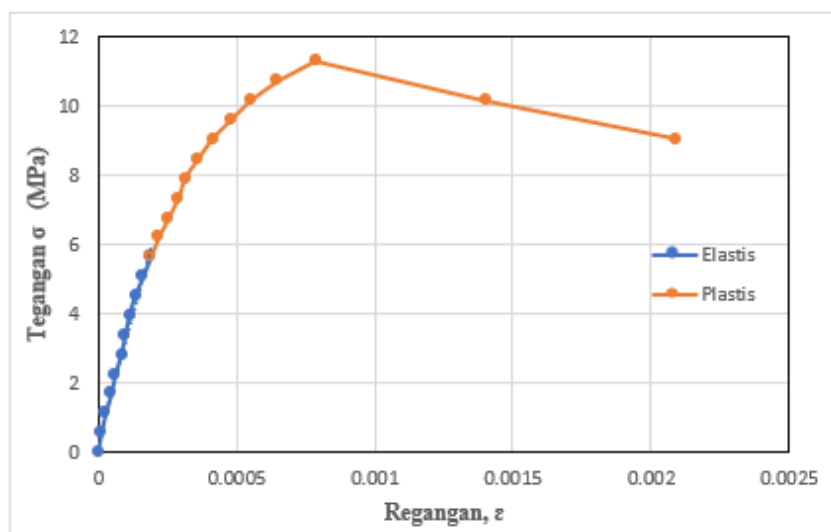
5. Benda Uji Varian BF0,6 7 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 17,10 MPa

Beban Maksimum, P = 302,21 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,6 7 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25892.19	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	19178.07	MPa

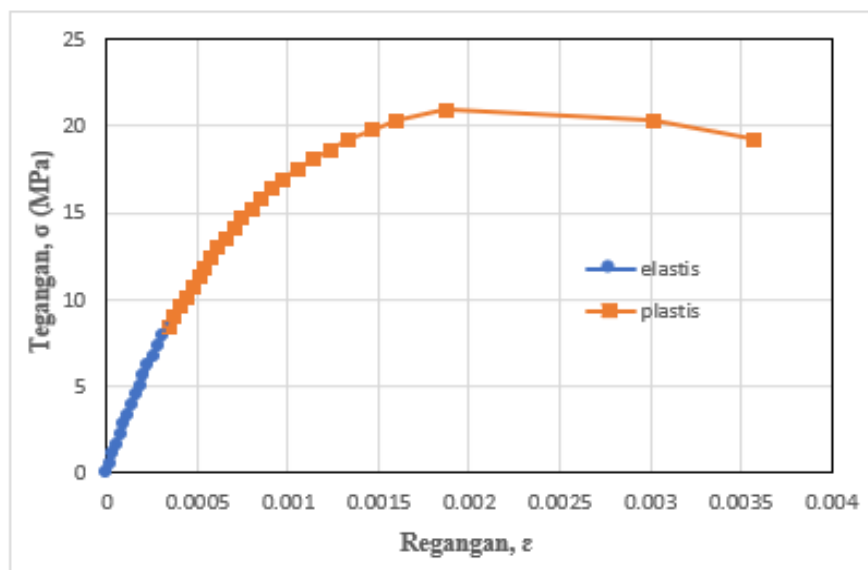
6. Benda Uji Varian BN 14 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 21,40 MPa

Beban Maksimum, P = 378,24 Kn

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BN 14 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E

Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23436.10	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21744.29	MPa

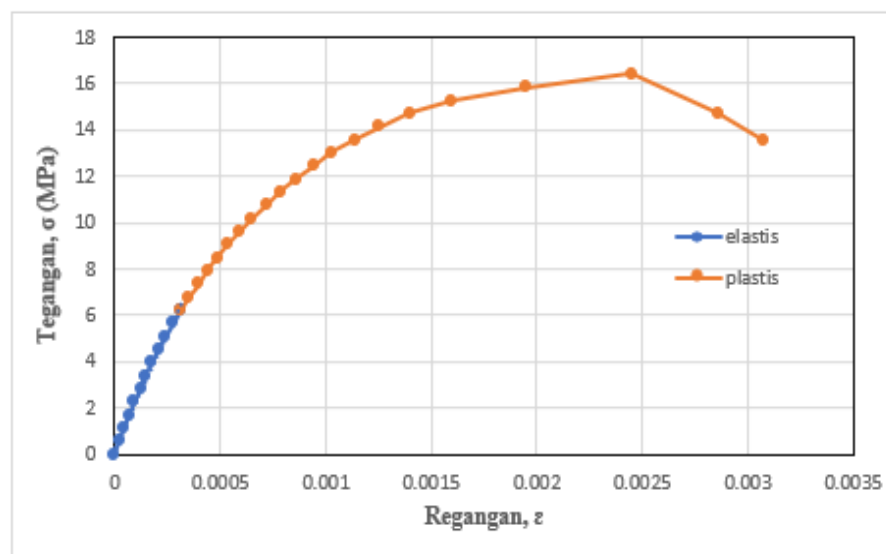
7. Benda Uji Varian BF0 14 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 16,23 MPa

Beban Maksimum, P = 286,77 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0 14 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	18402.74	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	18933.48	MPa

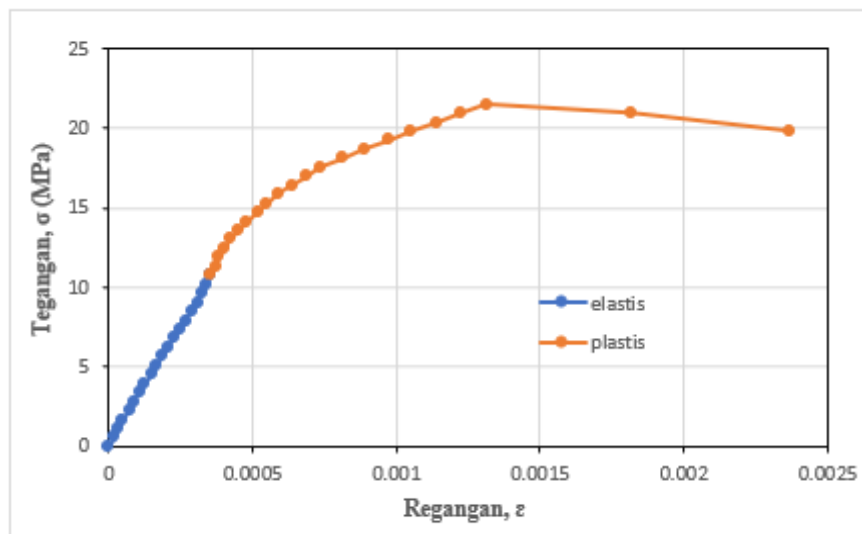
8. Benda Uji Varian BF0,2 14 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 22,01 MPa

Beban Maksimum, P = 388,9 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,2 14 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28235.39	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22048.46	MPa

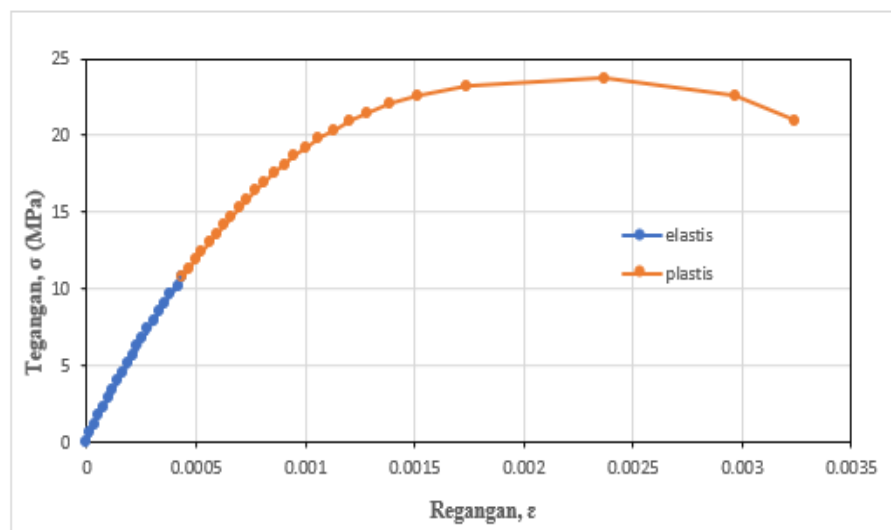
9. Benda Uji Varian BF0,4 14 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 17,36 MPa

Beban Maksimum, P = 306,82 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,4 14 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24318.99	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22843.16	MPa

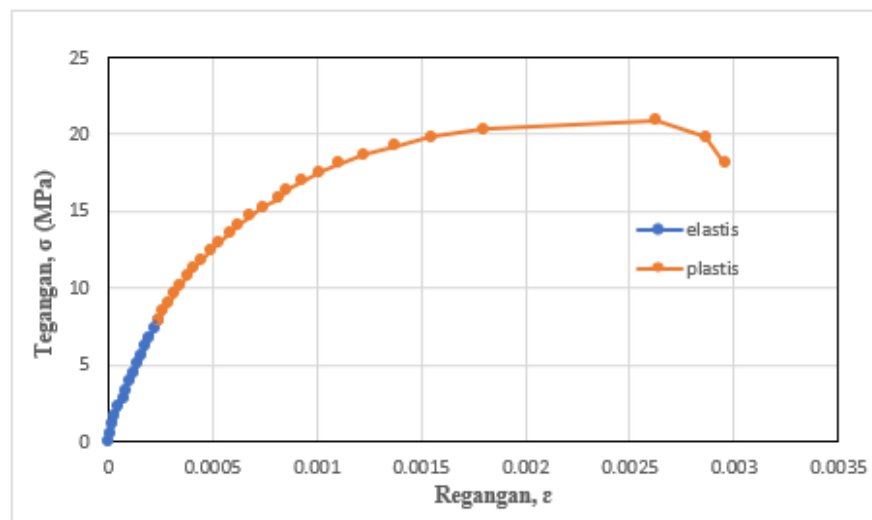
10. Benda Uji Varian BF0,6 14 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17673,82 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 20,65 MPa

Beban Maksimum, P = 364,87 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,6 14 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29354.54	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21356.83	MPa

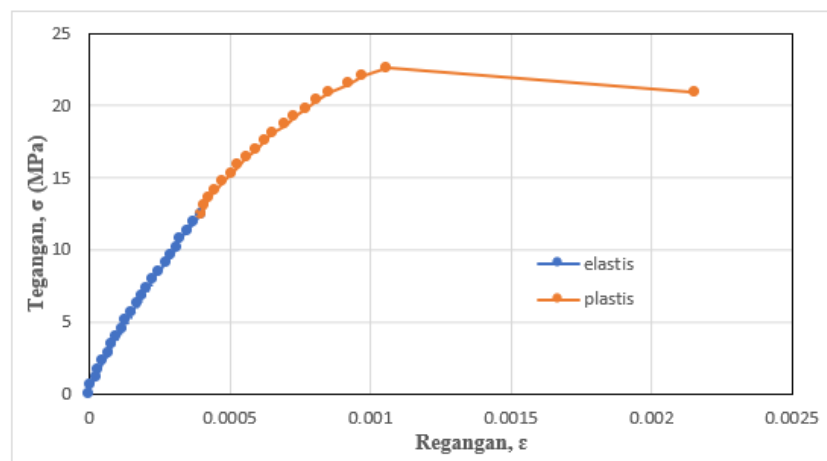
11. Benda Uji Varian BN 28 Hari, Sampel 2

Luas Penampang, A = 17673,82 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 23,09 MPa

Beban Maksimum, P = 407,96 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BN 28 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30345.05	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22583.00	MPa

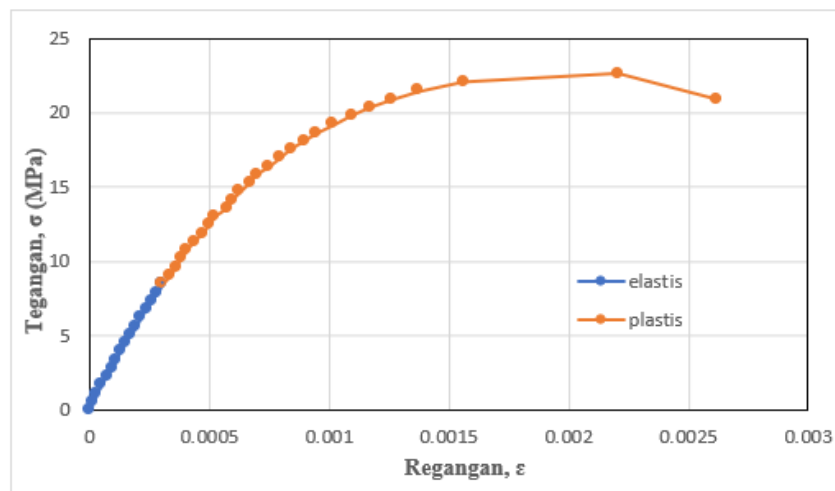
12. Benda Uji Varian BF0 28 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 22,55 MPa

Beban Maksimum, P = 398,4 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0 28 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26682.16	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22316.34	MPa

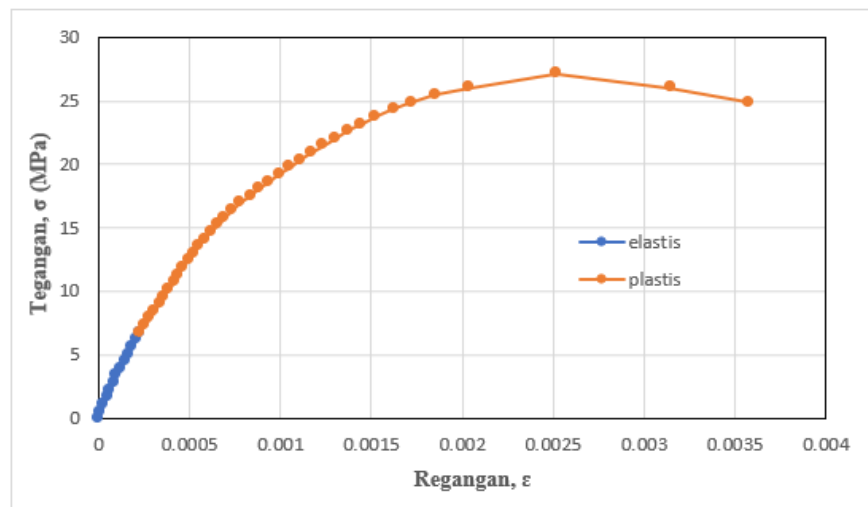
13. Benda Uji Varian BF0,2 28 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm²

Kuat Tekan, f'_c = 18,26 MPa

Beban Maksimum, P = 322,65 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,2 28 Hari, Sampel 2



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24570.28	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24495.97	MPa

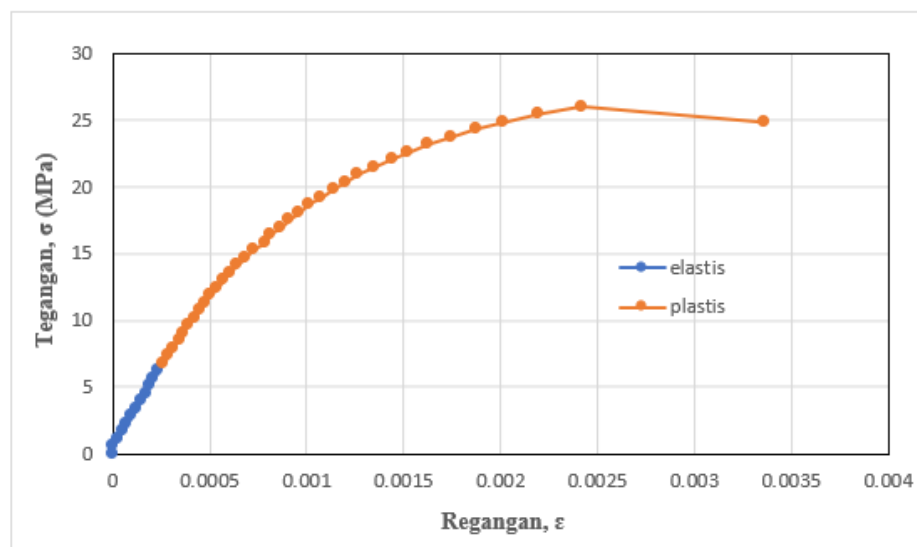
14. Benda Uji Varian BF0,4 28 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm

Kuat Tekan, f'_c = 26,06 MPa

Beban Maksimum, P = 460,47 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,4 28 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23065.93	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23991.65	MPa

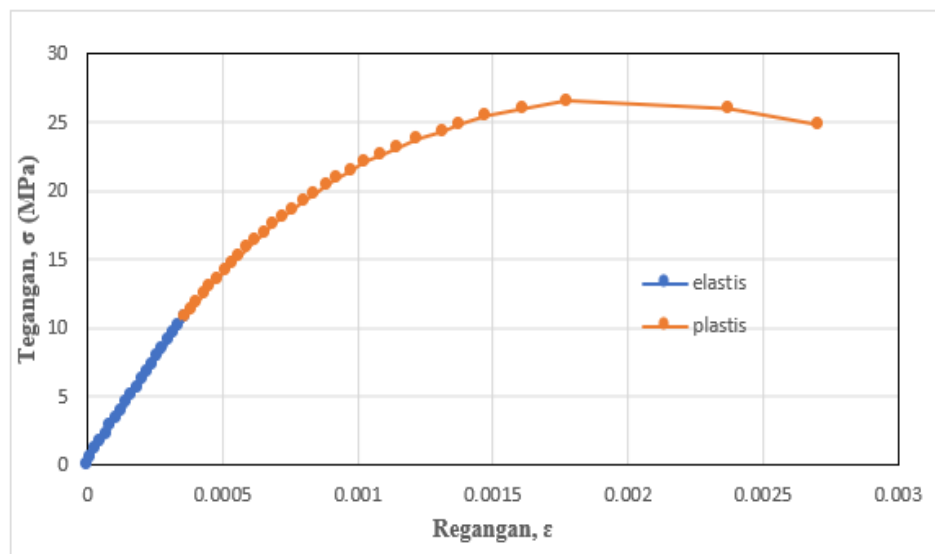
15. Benda Uji Varian BF0,6 28 Hari, Sampel 1

Luas Penampang, A = 17671,46 mm

Kuat Tekan, f'_c = 26,06 MPa

Beban Maksimum, P = 460,47 kN

Grafik Modulus Elastisitas Variasi BF0,6 28 Hari, Sampel 1



Niai Modulus Elastisitas, E		
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28923.13	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24455.36	MPa

Lampiran. 7 Gambar Pembuatan dan Pengujian



Gambar 7.1 Proses *Mixing* Beton



Gambar 7.2 Proses Pengujian *Slump*



Gambar 7.3 Proses Perawatan Beton



Gambar 7.4 Proses Pembuatan Capping



Gambar 7.5 Proses Pengujian Kuat Tekan



Gambar 7.6 Proses Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar 7.7 Pola Keretakan Benda Uji Setelah Pengujian

Lampiran. 8 Gambar Alat dan Bahan



Gambar 8.1 Fly Ash Type C



Gambar 8.2 Bestmittel



Gambar 8.3 Bekisting Benda Uji



Gambar 8.4 Kerucut Abrams



Gambar 8.5 Sekop Kecil



Gambar 8.6 Tongkat Penumbuk



Gambar 8.7 Timbangan Ohaus



Gambar 8.8 Alat Mixer



Gambar 8.9 Alat Uji Kuat Tekan

