TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN ABU BATU DAN SEMEN DENGAN FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

(*THE EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH STONE ASH AND CEMENT WITH FLY ASH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF NORMAL CONCRETE*)

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



Muhammad Nuzul Rahmatullah

19511208

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DENGAN ABU BATU DAN SEMEN DENGAN FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON (*THE EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH STONE ASH AND CEMENT WITH FLY ASH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF NORMAL CONCRETE*)

Disusun Oleh

Muhammad Nuzul Rahmatullah
19511208

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

Diuji pada tanggal 29 Oktober 2025

Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Elvis Saputra, S.T., M. T	**Astriana Hardawati S.T., M.Eng.**	**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**
NIK: 205111302	**NIK: 165111301**	**NIK: 185111304**

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

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 sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Nuzul Rahmatullah

(19511208)

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan karena ketersediaannya yang melimpah dan harga yang relatif terjangkau. Saat ini, harga semen dan pasir semakin meningkat. Pemanfaatan abu batu dari sisa produksi pabrik *stone crusher* sebagai substitusi sebagian agregat halus dapat mengurangi eksploitasi pasir alami serta harga yang relatif lebih murah. Penelitian ini meneliti pengaruh substitusi abu batu dan *fly ash* pada beton terhadap sifat mekanis beton.

Metode ini ini berupa pengujian beton di laboratorium pada lima variasi campuran yaitu 0%, 20%, 25%, 30%, dan 35% substitusi abu batu terhadap berat pasir, serta substitusi *fly ash* 10% terhadap berat semen yang konstan pada tiap variasi. Uji yang dilakukan meliputi uji *properties*, *slump*, kua tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas. Mutu beton rencana adalah 25 MPa dengan sampel silinder 150x300 mm. Total sampel 60 buah yang diuji pada umur 28 hari perendaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* dan abu batu sebagai material substitusi pada semen dan pasir mampu meningkatkan kuat tekan beton, di mana nilai tertinggi diperoleh pada variasi campuran *fly ash* 10% dan abu batu 30% (BV4) dengan kuat tekan rata-rata 36,53 MPa, meningkat 24,08% dari beton normal. Pola yang sama ditunjukkan pada kuat tarik belah dan modulus elastisitas, dimana nilai optimum juga tercapai pada BV4 dengan kuat tarik belah 2,88 MPa dan modulus elastisitas tertinggi dibanding variasi lainnya. Namun, pada variasi abu batu 35% (BV5), terjadi penurunan signifikan pada seluruh sifat mekanis akibat berkurangnya pasta semen efektif dikarenakan tingginya daya serap air agregat abu batu. Secara keseluruhan, kombinasi *fly ash* 10% konstan dan abu batu hingga 30% terbukti memberikan hasil optimal terhadap peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton.

Kata Kunci : Abu Batu, *Fly Ash*, Kuat Tekan, Kuat Tarik, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material due to its abundant availability and relatively affordable price. Currently, the prices of cement and sand are increasing. The utilization of stone ash, a by-product of stone crusher plants, as a partial substitute for fine aggregate can reduce the exploitation of natural sand as well as provide a relatively cheaper cost. This study investigates the effect of stone ash and fly ash substitution in concrete on its mechanical properties.

The method consists of laboratory testing of concrete with five mix variations, namely 0%, 20%, 25%, 30%, and 35% substitution of stone ash by the weight of sand, along with a constant 10% fly ash substitution by the weight of cement in each variation. The tests conducted included material properties, slump, compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity. The design concrete strength was 25 MPa with cylindrical specimens of 150 × 300 mm. A total of 60 specimens were tested after 28 days of water curing.

The results showed that the use of fly ash and stone ash as substitution materials for cement and sand was able to improve the compressive strength of concrete, where the highest value was obtained in the mixture variation of 10% fly ash and 30% stone ash (BV4) with an average compressive strength of 36.53 MPa, which increased by 24.08% compared to normal concrete. A similar trend was observed in splitting tensile strength and modulus of elasticity, where the optimum values were also achieved at BV4 with a splitting tensile strength of 2.88 MPa and the highest modulus of elasticity among other variations. However, in the 35% stone ash variation (BV5), there was a significant decrease in all mechanical properties due to the reduced effective cement paste caused by the high water absorption of stone ash aggregate. Overall, the combination of constant 10% fly ash and up to 30% stone ash proved to provide optimal results in improving the compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of concrete.

Keywords: *Stone Dust, Fly Ash, Compressive Strength, Splitting Tensile Strength, Modulus of Elasticity.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.,

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur atas kehadirat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "*Pengaruh Substitusi Parsial Agregat Halus Dengan Abu Batu Dan Semen Dengan Fly Ash Terhadap Sifat Mekanis Beton* " ini. Tugas Akhir merupakan salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir yang dihadapi ini terdapat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D-Eng., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada saya selama pengerjaan Tugas Akhir ini berlangsung.
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, serta kemurahan hati dalam memudahkan proses siding pendadaran tugas akhir saya.
4. Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, serta kemurahan hati dalam memudahkan proses siding pendadaran tugas akhir saya.
5. Almarhum bapak saya Muhammad Yusuf Sipayung dan ibu saya Siti Nurhayana Sari, yang senantiasa sabar serta selalu memberikan semangat dan doa yang tiada henti-hentinya kepada saya dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

6. Kakak-kakak perempuan dan adik laki-laki saya, yang selalu memberikan semangat dan doa dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
7. Hadi, Iqra, dan Arkap yang telah banyak membantu dan memberikan semangat dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
8. Anak-anak rutusat yang selalu memberikan semangat dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
9. Amaniraihan Pangesti Irawan dan keluarga, yang senantiasa selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
10. Keluarga dan kerabat saya, yang memberikan semangat dan doa dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 17 Oktober 2025

Penulis,

Muhammad Nuzul Rahmatullah
(19511208)

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana 9
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Beton 13
3.2 Material Penyusun Beton 13
3.3 Agregat Halus 13
3.4 Agregat Kasar 14
3.5 Semen *Portland* (PC) 15
3.6 Air 16
3.7 Abu Batu 16
3.8 Fly Ash 16
3.9 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 17
3.10 Pengujian *Slump* 23

3.11 Perawatan Beton 23
3.12 Pengujian Kuat Tekan Beton 24
3.13 Pengujian Tarik Belah 24
3.14 Pengujian Modulus Elastisitas 25
BAB IV METODE PENELITIAN 26
4.1 Umum 26
4.2 Lokasi Penelitian 26
4.3 Bahan 26
4.4 Alat 30
4.5 Tahap Penelitian 35
4.5.1 Persiapan Bahan 35
4.5.2 Mix *Design* 37
4.5.3 Pembuatan Benda Uji 37
4.5.4 Perawatan Benda Uji 39
4.5.5 Pengujian Benda Uji 40
4.6 Prosedur Pengujian 40
4.6.1 Uji *Slump* 40
4.6.2 Uji Kuat Tekan Beton 41
4.6.3 Uji Tarik Belah 41
4.6.4 Uji Modulus Elastisitas 43
4.7 Olah Data 44
4.8 Analisis Data dan Pembahasan 44
4.9 Kesimpulan dan Saran 44
4.10 Diagram Alir Penelitian 44
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Umum 46
5.2 Pengujian Material 46
5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus 46
5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar 54
5.3 Desain Campuran Beton 69
5.4 Hasil Uji Coba Benda Uji 79
5.5 Pengujian *Slump* 80

5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton 82
5.6.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 82
5.6.2 Pembahasan 86
5.7 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 88
5.7.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah 88
5.7.2 Pembahasan 92
5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton 93
5.8.1 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 93
5.8.2 Pembahasan 102
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 104
6.1 Kesimpulan 104
6.2 Saran 104
DAFTAR PUSTAKA 106
LAMPIRAN 109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS) 18
Gambar 3.2 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butiran Maksimum 10 mm 21
Gambar 3.3 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 21
Gambar 3.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm 22
Gambar 3.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 22
Gambar 4.1 Semen 27
Gambar 4.2 Agregat Kasar 27
Gambar 4.3 Agregat Halus 28
Gambar 4.4 Air 28
Gambar 4.5 Abu Batu 29
Gambar 4.6 Fly Ash 29
Gambar 4.7 Saringan Agregat 30
Gambar 4.8 Timbangan 30
Gambar 4.9 Cetakan Silinder 31
Gambar 4.10 Jangka Sorong 31
Gambar 4.11 Ember 32
Gambar 4.12 Kerucut Abrams 32
Gambar 4.13 Oven 33
Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk 33
Gambar 4.15 *Mixer* 34
Gambar 4.16 Sekop 34
Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan 35
Gambar 4.18 Uji Slump 40
Gambar 4.19 Uji Kuat Tekan 41

Gambar 4.20 Uji Tarik Belah 42
Gambar 4.21 Uji Modulus Elastisitas 43
Gambar 4.22 Diagram Alir Penelitian 45
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II 51
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm 59
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Abu Batu Daerah II 66
Gambar 5.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 71
Gambar 5.5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm) 74
Gambar 5.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 75
Gambar 5.7 Grafik Antara Nilai Slump dengan Variasi Beton 81
Gambar 5.8 Pengujian Slump 81
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Tiap Variasi 86
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Beton dengan Tiap Variasi
Gambar 5.11 Kurva Tegangan - Regangan BN-01 96
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Nilai Modulus Elastisitas Beton dengan Tiap Variasi 102

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian 10
Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia 18
Tabel 3.2 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus 19
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 20
Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton 38
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapain Air Agregat Halus 47
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus 50
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus 51
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 52
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 53
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 54
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapain Air Agregat Kasar 55
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar 57
Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar 58
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 60
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar 61
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu 62
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Abu Batu 65
Tabel 5.14 Gradasi Agregat Halus 66
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Abu Batu 67
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Abu Batu 68
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 69
Tabel 5.18 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia 70

Tabel 5.19 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m3) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 72
Tabel 5.20 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus 72
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton 77
Tabel 5.22 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Substitusi Fly Ash dan Abu Batu 78
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Uji Coba Beton Normal Umur 3 Hari 79
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Slump 80
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 83
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 89
Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan - Regangan BN-01 94
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus 110
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar 124
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran 129
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 130
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 133
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 136
Lampiran 7 Dokumentasi Laboratorium 236

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah material konstruksi yang paling umum digunakan di seluruh dunia karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, ketersediaan yang melimpah, dan harga yang relatif terjangkau (Neville, 2011). Namun, beton memiliki kelemahan utama, yaitu rendahnya kuat tarik dan sifatnya yang getas, membuatnya rentan terhadap retakan. Retakan, baik yang berskala mikro maupun makro, dapat mengurangi daya tahan dan integritas struktural beton, yang pada akhirnya dapat memperpendek umur layanan dari suatu konstruksi. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan sifat mekanis beton, khususnya terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas yang telah menjadi fokus penelitian yang terus menerus dilakukan.

Saat ini, produksi harga semen dan pasir terus meningkat (Bps.go.id, 2024). Seiring dengan peningkatan permintaan semen dan pasir untuk pembangunan di dalam negeri. Perlu adanya alternatif lain untuk material penyusun beton agar dapat mengurangi eksploitasi material alami secara berlebihan. Dalam hal ini, penting untuk memilih bahan yang cocok, mencampurkannya dengan teliti, dan menggunakannya dengan efisien untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tertentu sesuai dengan tujuan yang diinginkan dan serta dengan biaya yang ekonomis. Salah satu cara alternatif untuk meningkatkan sifat mekanis beton adalah melalui pemanfaatan abu batu dan *fly ash* sebagai material substitusi pada beton.

Pemanfaatan abu batu masih sangat minim pemanfaatannya, apalagi seperti yang diketahui abu batu memiliki harga yang relatif murah jika dibandingkan dengan harga pasir. Harga pasir dijual dengan harga Rp. 250.000/m^3 (Klinik Konstruksi, 2018) sedangkan abu batu lebih murah dengan harga jual Rp. 90.000/m^3 yang didapatkan di Pabrik *Quartcone Stone Crusher*. Abu batu

merupakan hasil dari proses pemecahan batu pada industri batu pecah dengan menggunakan *stone crusher* menghasilkan butiran halus sehingga tergolong limbah batuan yang dapat digunakan untuk kombinasi pada campuran beton. Abu batu mempunyai kriteria lolos ayakan diameter 4,75 mm dengan tertahan ayakan 0,075 mm sehingga abu batu dapat menjadi material substitusi agregat halus atau pasir. Abu batu juga memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat. Agregat halus yang dihasilkan dari lokasi *stone crusher* mengandung kurang lebih 17% sampai dengan 25% fraksi abu batu, sehingga abu batu memiliki volume produksi yang cukup potensial untuk dimanfaatkan lebih lanjut penggunaannya (Pradhipta, 2022).

Fly ash merupakan sisa pembakaran batu bara yang sangat halus, kehalusan butiran *fly ash* ini berpotensi sebagai material substitusi semen pada beton. Hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki kemiripan dengan sifat semen, dapat ditinjau dari dua sifat yaitu sifat fisik dan kimiawi. Secara fisik, seperti yang disebutkan tadi *fly ash* memiliki kemiripan dalam kehalusan butirannya. *Fly ash* mempunyai kriteria lolos ayakan No. 325 (45 mili *micron*) 5-27% dengan *specific gravity* antara 2,15-2,16 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat kimia yang dimiliki oleh *fly ash* berupa *silica* dan *alumina* dengan persentase mencapai 80%. Adanya kemiripan sifat-sifat ini menjadikan *fly ash* dapat menjadi material substitusi dalam pembuatan beton (Setiawati, 2018).

Penelitian kali ini menggunakan dua bahan sisa alternatif yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dan semen. Bahan yang digunakan ialah abu batu dan *fly ash*. Abu batu disubstitusikan pada agregat halus dan *fly ash* disubstitusikan pada semen. Penggunaan *fly ash* dengan persentase 10% dari berat semen menghasilkan kuat tekan yang paling tinggi dibandingkan variasi lainnya (Adibroto, 2018). Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan komposisi substitusi abu batu dengan variasi 0%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dari berat agregat halus, dan komposisi substitusi *fly ash* pada tiap variasi konstan sebesar 10% dari berat semen. Pada penelitian ini juga digunakan mutu beton rencana yaitu 25 MPa, terdapat 60 sampel dari total tersebut. Pengujian beton dilakukan pada umur beton 28 hari.

1.2 Rumusan Masalah

Dari beberapa penjelasan pada latar belakang yang tertera di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi parsial agregat halus dengan abu batu dan semen dengan *fly ash* terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan dan modulus elastisitas?
2. Berapa persentase variasi optimal dalam substitusi parsial agregat halus dengan abu batu dan semen dengan *fly ash* yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang tertera diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh substitusi parsial agregat halus dengan abu batu dan semen dengan *fly ash* terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan dan modulus elastisitas.
2. Mengetahui nilai persentase variasi dalam substitusi parsial agregat halus dengan abu batu dan semen dengan *fly ash* yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan informasi dalam mengoptimalkan penggunaan bahan lokal seperti abu batu dan *fly ash* sebagai material substitusi parsial pada beton dan pengaruhnya terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton.
2. Hasil dari penelitian ini dapat menambah literatur dan pengetahuan di bidang teknologi beton, khususnya terkait dengan penggunaan abu batu dan *fly ash* sebagai material substitusi parsial pada beton dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis beton yaitu kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton.

1.5 Batasan Penelitian

Tujuan dari penentuan batasan penelitian adalah untuk memastikan bahwa penelitian yang sedang dilakukan tetap sesuai dengan sasaran penelitian. Berikut adalah rincian mengenai batasan penelitian ini.

1. Metode *Mix Design* digunakan SNI 2834 – 2000.
2. Kuat tekan beton rencana adalah $f'c$ = 25 MPa.
3. Penelitian dibatasi pada pengujian kuat tekan dengan acuan SNI 1974-2011 kuat tarik belah dengan acuan SNI 2491-2002, dan modulus elastisitas dengan acuan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019.
4. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I merek tiga roda.
5. *Fly ash* yang digunakan berasal dari Paiton.
6. Abu batu berasal dari limbah produksi pemecah batu di Quartcon *Stone Crusher* (*stone crusher*), diperoleh dengan cara menghancurkan batu dan digiling menjadi serbuk halus yang tertahan di ayakan 0,075 mm.
7. Air yang digunakan berasal dari Lab. Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia.
8. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari
9. Jumlah total benda uji 60 buah, dengan tiap variasi sebanyak 10 buah.
10. Variasi kadar *fly ash* sebesar 10% dari berat semen konstan pada beton variasi. Kadar ini ditetapkan berdasarkan penelitian sebelumnya (Adibroto et al., 2018), didapatkan hasil kuat tekan tertinggi berada di kadar substitusi *fly ash* sebesar 10%.
11. Variasi kadar abu batu sebesar 0%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dari berat agregat halus. Kadar ini ditetapkan berdasarkan beberapa hasil pada penelitian – penelitian sebelumnya yang dijadikan tinjauan. Didapatkan hasil kuat tekan tertinggi berada di kisaran kadar substitusi abu batu sebesar 25% - 35%.
12. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sejumlah studi sebelumnya telah mengeksplorasi pengaruh substitusi abu batu dan *fly ash*, peneliti akan menggunakan temuan-temuan tersebut pada penelitian ini sebagai landasan referensi. Berikut dibawah ini adalah penelitian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai referensi.

1. Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Abu Batu dan Penambahan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton (Heronimus Lumenta, Stefanus Tri Bintoro, Ir. David Widianto, MT, Ir. Widija Suseno, MT, 2019). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat tekan beton dengan variasi abu batu 0%, 25%, 50%, dan 75% dari berat agregat halus (pasir) dan fly ash 15% dari berat semen. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya kebutuhan akan beton dan terbatasnya ketersediaan bahan beton. Oleh karena itu diperlukan inovasi untuk mempertahankannya ketersediaan bahan penyusun beton dan juga untuk meningkatkan mutu beton. Sampai saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan mengenai bahan pengganti maupun bahan tambahan bahan-bahan yang dapat digantikan dalam pembuatan beton. Hasil penelitian menunjukkan variasi abu batu 25%, pasir 75% ditambah fly ash 15% dari berat semen yang mempunyai mutu beton paling tinggi diantara variasi lainnya, yaitu sebesar 298,95 kg/cm2 pada umur 7 hari; 403,23 kg/cm2 pada umur 28 hari; Dan 456,53 kg/cm2 pada umur 42 hari. Hal ini disebabkan karena sarana ventilasi udara di dalam beton sudah terisi dengan cara menyaring butiran-butiran tersebut sehingga beton menjadi lebih padat dan menjadikan beton kuat tekannya ditingkatkan.

2. Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Kombinasi Abu Batu dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Agregat Halus (Miftha Nur Zakinah, Andi Abidah, Mohammad Junaedy Rahman, 2023).

   Penelitian ini, terdapat enam komposisi variasi abu batu dan fly ash menggunakan additive campuran beton mutu tinggi yaitu variasi FA 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik beton mutu tinggi dengan variasi abu batu dan fly ash, untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton mutu tinggi dengan berbagai variasi abu batu dan fly ash sebagai pengganti agregat halus dan untuk mengetahui variasi beton mutu tinggi dengan kombinasi abu batu dan fly ash sebagai pengganti agregat halus. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setiap penambahan persentase fly ash, dapat memberikan pengaruh yang membuat campuran beton juga ikut meningkat dan padat. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton sebagai berikut: persentase variasi FA 5% tidak mencapai mutu rencana yaitu Fc' 50 MPa, dengan mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata 30,36 MPa, FA 10% = hasil kuat tekan rata-rata 34,51 MPa, FA 15% = hasil kuat tekan rata-rata 37,03 MPa, FA 20% = hasil kuat tekan rata-rata 40,09 MPa, FA 25% = hasil kuat tekan rata-rata 45,06 MPa dan mencapai standar beton mutu tinggi tetapi tidak mencapai mutu rencana, dan untuk variasi FA 30% mencapai mutu rencana dengan kuat tekan rata-rata yaitu 50,04 MPa.

3. Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Material Pasir (Budiman, James WTP, 2022).

   Tujuan penelitian ini menentukan pengaruh dan nilai kuat tekan karakteristik beton dengan penggunaan abu batu dengan variasi campuran (10% abu batu, 90% pasir), (20% abu batu, 80% pasir) dan (30% abu batu, 70% pasir) dengan target mutu beton Fc' 17,5 Mpa. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen laboratorium mengacu standar SNI. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan abu batu (AB) sebagai campuran beton normal mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Semakin tinggi persentase abu batu (AB), maka nilai kuat tekan beton semakin meningkat. Nilai kuat tekan beton

dari abu batu (AB) pada komposisi AB 10%, AB 20% dan AB 30% diperoleh sebesar 173.50 kg/cm2 , 235.11 kg/cm2 dan 239.88 kg/cm2 sedangkan beton normal 18.59 MPa pada umur 28 hari.

4. Penggunaan Limbah Abu Batu Sebagai Campuran Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton (Rinaldi Fatwa, Noviyanthy Handayani, Amelia Faradila, 2024).

   Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah abu batu bisa menjadi material yang cocok dan bagus sebagai subtitusi pada sebagian agregat halus (pasir) dalam campuran beton normal atau tidak, mengetahui hasil uji kuat tekan beton oleh abu batu dalam campuran beton normal, dan komposisi abu batu berapa persen yang menghasilkan uji kuat tekan beton yang optimal atau sesuai rencana. Benda uji yang digunakan adalah silinder 150 ×300mm dengan jumlah sampel 36 sampel. Limbah abu batu dengan rasio komposisi 15%, 25% dan 35% memiliki ikatan yang cukup bagus sebagai material tambah pada campuran beton normal sebagai pengganti agregat halus bahkan dapat meningkatkan kuat tekan beton secara signifikan. Komposisi abu batu yang digunakan sebagai campuran pada agregat halus adalah 15%, 25% dan 35% dengan mutu beton rencana 20 MPa dan umur beton 7, 14 dan 28 hari. Kuat tekan yang dihasilkan oleh beton normal tanpa campuran abu batu umur 7, 14, dan 28 hari menghasilkan kuat tekan beton sebesar 13,63 MPa, 19,57 MPa, dan 20,53 MPa. Berikutnya, untuk beton dengan komposisi abu batu sebanyak 15% dari agregat halus dengan umur 7,14, dan 28 hari menghasilkan kuat tekan beton sebesar 15,75 MPa, 18,02 MPa, 22,03 MPa. Beton dengan komposisi abu batu sebanyak 25% dari agregat halus dengan umur 7,14, dan 28 hari menghasilkan kuat tekan beton sebesar 15,96 MPa, 19,02 MPa, 21,16 MPa. Beton dengan komposisi abu batu sebanyak 35% dari agregat halus dengan umur 7,14, dan 28 hari menghasilkan kuat tekan beton sebesar 23,49 MPa, 24,31 MPa, 24,95 MPa. Dari penelitian yang dilakukan, komposisi 35% memiliki nilai kuat tekan beton tertinggi diantara komposisi yang lainnya.

5. Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* sebagai Pengganti Sebagian Semen (Fauna Adibroto, Etri Suhelmidawati, Azri Azhar Musaddiq Z, 2018).

   Berbagai penelitian dan percobaan dibidang beton dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas beton, teknologi bahan dan teknik-teknik pelaksanaan yang diperoleh dari hasil penelitian dan percobaan tersebut dimaksudkan untuk menjawab tuntutan yang semakin tinggi terhadap pemakaian beton serta mengatasi kendala-kendala yang sering terjadi pada pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Salah satu cara untuk meningkatkan kekuatan beton adalah dengan menggunakan pengganti semen yaitu abu terbang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu terbang terhadap mutu kuat tekan beton, sehingga bias digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku pada jalan raya. Komposisi variasi penambahan abu terbang sebanyak 0%, 10%, 12,5%, 15%, 20% dan 25% dari berat semen. Mutu beton yang direncanakan 40 MPa yang diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji selinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) sebanyak 30 sampel dan terdiri dari 6 variasi. Dari penelitian ini didapatkan kuat tekan optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 30,770 MPa. Kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi 25% yaitu sebesar 20,046 MPa. Kuat tekan tertinggi yang didapat dari penelitian yaitu 30,770 Mpa.

6. Pengaruh Abu Batu dari Limbah Produksi *Stone Crusher* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-250 (Selpa Febrio, Melda Fajra, Al-Azhar, 2024).

   Limbah abu yang dihasilkan stone crusher mempunyai struktur yang tajam, sehingga dapat membentuk ikatan yang cukup kuat. Selain itu, abu batu juga dapat digunakan pada konstruksi bangunan sederhana. Campuran abu batu yang digunakan sebagai bahan pengganti digunakan sebagai campuran beton 0%, 10%, 20% dan 30% untuk mengetahui kuat tekan beton dengan menggunakan abu batu sebagai bahan pengganti. Hasil penelitian dilakukan pengujian kuat tekan beton umur 7 hari, dengan menggunakan abu batu sisa

produksi alat pemecah batu 0% nilai rata-rata kuat tekan beton adalah 269,1 kg/cm2, 10% rata-rata penggunaan abu batu sisa yang dihasilkan selama produksi *stone crusher* nilai kuat tekan beton sebesar 278,7 kg/cm2, penggunaan abu limbah produksi *stone crusher* sebesar 20%, kuat tekan rata rata beton sebesar 287,2 kg/cm2 dan penggunaan abu limbah produksi *stone crusher* adalah 30% nilai rata-rata kuat tekan beton adalah 294,3 kg/cm2. Pemanfaatan limbah produksi stone crusher *fly ash* sebagai pengganti agregat halus pada beton optimal dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 294,3 kg/cm2 pada persentase 30% menjadi pedoman untuk penelitian selanjutnya dengan persentase lain misalnya 35%, 40% dan seterusnya.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Terdapat perbedaan-perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang, Adapun perbedaan seperti berikut ini.

1. Penelitian ini menggunakan variabel tetap terhadap substitusi *fly ash* pada semen untuk semua beton variasi yaitu sebesar 10%
2. Pengujian uji tekan beton akan dilakukan hanya pada umur beton 28 hari setelah curing.
3. Kuat tekan beton rencana ialah $f'c$ = 25 MPa.

Untuk detail perbandingan penelitian lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Peneliti	**F. Adibroto, dkk (2018)**	**Heronimus Lumenta, dkk (2019)**	**Budiman, James WTP (2022)**	**Miftha Nur Zakinah, dkk (2023)**	**Rinaldi Fatwa, dkk (2024)**	**Selpa Febrio, dkk (2024)**	**Penulis**
Judul Penelitian	Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan *Fly Ash* sebagai Pengganti Sebagian Semen	Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Abu Batu dan Penambahan *Fly Ash* Terhadap Kuat Tekan Beton	Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Material Pasir	Perancangan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan kombinasi Abu Batu dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Agregat Halus	Penggunaan Limbah Abu Batu Sebagai Campuran Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Abu Batu Dari Limbah Produksi *Stone Crusher* Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-250	Pengaruh Penggunaan Abu Batu (*Stone Crusher*) dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Sebagian Pada Semen dan Pasir Terhadap Sifat Mekanis Beton
Tujuan Penelitian	mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu terbang terhadap mutu kuat tekan beton,	Mengetahui nilai kuat tekan beton dengan variasi abu batu 0%, 25%, 50%, dan	Menentukan pengaruh dan nilai kuat tekan karakteristik penggunaan abu	Mengetahui karakteristik beton mutu tinggi dengan variasi abu batu dan *fly ash* sebagai pengganti agregat halus dan untuk mengetahui variasi beton mutu tinggi	mengetahui apakah abu batu bisa menjadi material yang cocok dan bagus sebagai subtitusi pada sebagian agregat	Mengetahui nilai kuat tekan pada beton pada variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% dengan menggunakan abu	1. Mengetahui pengaruh penggunaan abu batu terhadap agregat halus dan *fly ash* terhadap semen sebagai material substitusi

	sehingga bias digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku pada jalan raya.	75% dari berat agregat halus dengan ditambah *fly ash* 15% dari berat semen. Mengetahui pengaruh substitusi agregat tersebut pada umur 7 hari, 28 hari, dan 42 hari. Serta mengetahui variasi efisien dalam penggunaan substitusi agregat tersebut.	batu dalam campuran beton	dengan kombinasi abu batu dan *fly ash* sebagai pengganti agregat halus. Menggunakan *additive* dengan variasi FA 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%.	halus (pasir) dalam campuran beton normal atau tidak, mengetahui hasil uji kuat tekan beton oleh abu batu dalam campuran beton normal, dan komposisi abu batu berapa persen yang menghasilkan uji kuat tekan beton yang optimal atau sesuai rencana.	batu sebagai bahan pengganti	terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan dan modulus elastisitas. 2. Mengetahui jumlah persentase variasi substitusi abu batu terhadap agregat halus dan *fly ash* terhadap semen yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.
Hasil	didapatkan kuat tekan optimum pada variasi 10% yaitu sebesar 30,770 MPa. Kuat tekan yang terendah terdapat pada variasi 25% yaitu sebesar 20,046 MPa. Kuat tekan	Penggunaan variasi yang efisien yaitu pada 25% abu batu : 75% pasir + *fly* *ash* 15%. Kuat tekan mengalami peningkatan pada umur 42 hari dengan rata-rata sebesar 9,73% dari	Penggunaan abu batu berpengaruh pada campuran beton karena menghasilkan kuat tekan yang lebih baik dibandingkan beton normal. Nilai kuat tekan	Pengaruh penggunaan abu batu dan *fly ash* sebagai bahan pengganti dengan persentase variasi campuran 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%	Didapatkan nilai kuat tekan beton normal pada umur 7, 14, dan 28 hari sebesar 13,63 Mpa, 19,57 Mpa, dan 20,53 Mpa. Beton campuran abu batu 15% sebesar 15,75 Mpa, 18,02 Mpa,	Didapatkan nilai kuat tekan rata- rata beton pada umur 7 hari dengan pemakaian abu batu sebesar 0%, 10%, 20%, dan 30% terhadap agregat halus ialah 269,1 kg/cm2; 278,7	

	tertinggi yang didapat dari penelitian yaitu 30,770 Mpa.	kuat tekan pada umur 28 hari. Kuat tekan beton mengalami penurunan pada variasi 50% abu batu : 50% pasir + *fly ash* 15% dari berat semen dan variasi 75% abu batu : 25% pasir + *fly ash* 15% dari berat semen.	pada variasi 20% dan 30% masing-masing 23,05 MPa dan 23,53 MPa, meningkat dibandingkan beton normal dimana diperoleh 18,57 MPa pada umur 28 hari.	didapatkan nilai kuat tekan rata-rata beton berturut-turut dengan mutu 30,36 MPa; 34,51 MPa; 37,03 MPa; 40,09 MPa; 45,06 MPa; dan 50,04 MPa.	dan 22,03 Mpa. Beton campuran abu batu 25% sebesar 15,96 Mpa, 19,02 Mpa, dan 21,16 Mpa. Beton campuran abu batu 35% sebesar 23,49 Mpa, 24,31 Mpa, dan 24,95 Mpa.	kg/cm2; 287,2 kg/cm2; 294,3 kg/cm2	

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan terkadang terdapat bahan tambahan (admixture) yang dicampur dalam proporsi tertentu. Beton memiliki sifat-sifat unik seperti kuat tekan yang tinggi, daya tahan terhadap lingkungan, dan kemampuan dibentuk sesuai kebutuhan desain. Beton adalah material komposit yang kualitasnya sangat dipengaruhi oleh karakteristik dan proporsi bahan penyusunnya (Neville, 2011).

3.2 Material Penyusun Beton

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan kosntruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih. Bahan pilihan terdapat semen, air, dan agregat.

3.3 Agregat Halus

Berdasarkan SNI-03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm. Berikut adalah syarat-syarat agregat halus dalam campuran beton.

a. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, tidak mudah pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.

b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur dengan kadar lebih dari 5% terhadap berat agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 5%, maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
c. Agregat halus tidak boleh megandung bahan-bahan organik berlebih.
d. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beraneka ragam ukurannya dan apabila diayak harus memenuhi beberapa syarat sebagai berikut.
    1) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat agregat.
    2) Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat agregat.
    3) Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus minimum 80%-90% berat agregat.
e. Pasir laut tidak boleh digunakan untuk semua mutu beton, kecuali terdapat petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

3.4 Agregat Kasar

Berdasarkan SNI-03-2834-2000, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm – 40 mm. Berikut adalah syarat-syarat pada agregat kasar dalam campuran beton.

a. Unsur yang terkandung pada agregat kasar berupa butiran-butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar dengan butiran-butiran pipih boleh digunakan apabila jumlah butiran pipih tidak melebihi 20% dari berat total agregat. Butiran-butiran agregat kasar juga tidak boleh pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.
d. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan mesin Los Angeles dengan tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
e. Agregat kasar haru terdiri dari butiran-butiran yang beragam ukurannya dengan syarat sebagai berikut.
    1) Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat agregat.

2) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90%-985 berat agregat.
3) Selisih anatara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat agregat.

f. Ukuran maksimum butir agregat kasar tidak boleh melebihi syarat sebagai berikut.
1) 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan.
2) 1/3 ketebalan slab.
3) ¾ jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

3.5 Semen *Portland* (PC)

Pemadatan semen adalah bahan pengikat hidrolis yang merekat dan mengeras apabila dicampur dengan air, dihasilkan dengan cara menggiling halus klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (Tjokrodimuljo, 2007). Semen portland dapat diklasifikasikan sebagai semen hidraulis karena kapasitasnya untuk bereaksi dan dapat memadat di dalam air..

Berdasarkan SNI-15-2049-2004 kegunaan semen *portland* dibagi menjadi 5 yaitu.

1. Semen *Portland* tipe I merupakan semen portland yang tidak membutuhkan persyaratan penggunaan khusus.
2. Semen *Portland* tipe II merupakan jenis semen portland yang berguna terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang terjadi pengikatan.
3. Semen *Portland* tipe III merupakan jenis semen portland yang memberikan kekuatan awal tinggi setelah terjadi pengikatan.
4. Semen *Portland* tipe IV merupakan jenis semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan kalor hidrasi tinggi.
5. Semen *Portland* tipe V merupakan jenis semen portland yang memiliki ketahanan sulfat yang tinggi.

3.6 Air

Air digunakan untuk menjadikan semen bereaksi dan dijadikan pelumas antara butir-butir agregat sehingga mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air untuk adukan harus bersifat bersih dari bahan-bahan yang merusak beton dan baja tulangan serta tidak mengandung lumpur, minyak, asam alkali, garam-garam dan bahan-bahan organis.

Air yang digunakan sebaiknya air yang dapat diminum dan mempunyai pH 7-8. Air yang mengandung kotoran akan memperlama waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun.

3.7 Abu Batu

Abu batu adalah limbah hasil dari pemecah batu yang berupa butiran halus yang dapat digunakan untuk kombinasi beton. Karena jumlahnya tidak sedikit abu batu diupayakan pemanfaatannya untuk mengurangi pasir dalam campuran beton.

Abu batu umumnya berwarna abu-abu yang terdiri dari butiran yang kasar. Kelebihan abu batu bila dibandingkan dengan pasir adalah ukuran butirnya yang kecil seperti debu bisa dimanfaatkan sebagai campuran dalam pembuatan beton, ukurannya cukup merata di setiap bagian. Kelebihan lainnya abu batu memiliki tekstur yang tajam sehingga dapat membuat ikatan yang cukup kuat karena abu batu berasal dari proses pemecahan batu (Alif, 2019).

3.8 Fly Ash

Fly ash adalah salah satu jenis pozzolan yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus yang dapat terbawa oleh aliran udara. Pozzolan merupakan material yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang secara alami tidak memiliki sifat seperti semen. Namun, jika dalam kondisi halus dan bereaksi dengan air, material ini akan berinteraksi dengan kalsium hidroksida (produk reaksi antara semen dan air) pada suhu ruangan, membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat dengan sifat menyerupai semen. *Fly ash* mengandung senyawa-senyawa seperti silika (SiO2), alumina (Al2O3), besi (Fe2O3), kalsium

(CaO), dan belerang (S), yang memberikan karakteristik pozzolan pada material ini (Setiawati, 2018).

3.9 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) adalah proses menentukan proporsi material penyusun beton seperti semen, air, agregat kasar, agregat halus, dan bahan tambahan (*admixture*) untuk mencapai sifat mekanis dan fisik tertentu sesuai kebutuhan. Perencanaan campuran beton dilaksanakan berdasarkan SNI 2834-2000 tentang cara pembuatan rencana campuran beton normal. Adapun tahapan perencanaannya dapat dilihat sebagai berikut.

1. Menentukan nilai standar deviasi (Sd), nilai Sd didasari dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan campuran beton. Semakin baik pengendalian mutu maka nilai Sd akan semakin mengecil. Jika jumlah pengujian kurang dari 30 buah maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dengan faktor pengali yang sudah ditentukan pada SNI-03-2834-2000.
2. Menghitung nilai tambah dengan persamaan 3.1 berikut.

   $M = 1{,}64 \times S_r$ (3.1)

   Keterangan:

   M = Nilai tambah

   1,64 = ketetapan statistik

   S_r = Deviasi standar rencana
3. Menentukan nilai kuat tekan beton rata-rata rencana dengan persamaan 3.2 berikut.

   $f'cr = f'c + M$ (3.2)

   Keterangan:

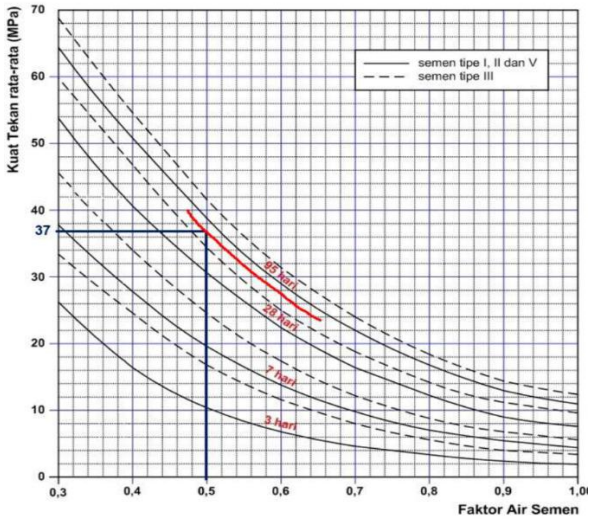
   f'cr = Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (Mpa)

   f'c = Kuat tekan beton rencana (Mpa)
4. Menentukan tipe semen yang akan digunakan
5. Menentukan jenis agregat yang akan digunakan untuk pengujian agregat.
6. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) dengan ketentuan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen Portlan tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (FAS)

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

7. Menentukan nilai minimun jumlah semen dan nilai maksimum FAS berdasarkan tabel 3.2 Berikut ini.

Tabel 3.2 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per-m^3 beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti.	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah.		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan		Tabel 6
a. Air tawar		
b. Air laut		

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

8. Menentukan tinggi *slump*.
9. Menentukan ukuran maksimum dari butir agregat.
10. Mencari nilai kadar semen untu per m^3 beton dengan menggunakan persamaan berikut ini.

    Jumlah semen per m^3 beton $= \frac{Kadar\ air\ bebas}{FAS}$ (3.3)

11. Mencari nilai kadar air bebas agregat campuran menggunakan persamaan berikut.

Kadar air bebas $= \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk$ (3.4)

Keterangan:

Wh = Perkiraan air agregat halus

Wk = Perkiraan air agregat kasar

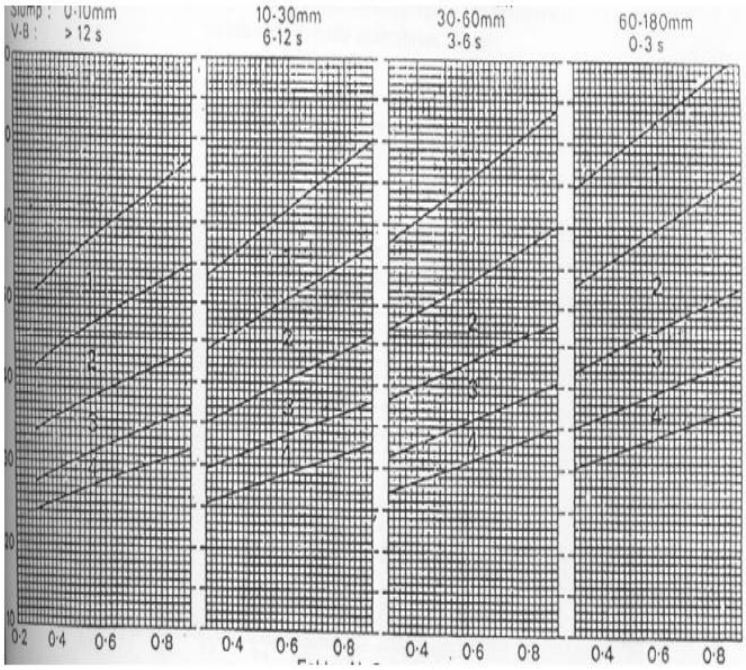
Untuk nilai Wh dan Wk dapat dilohat pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

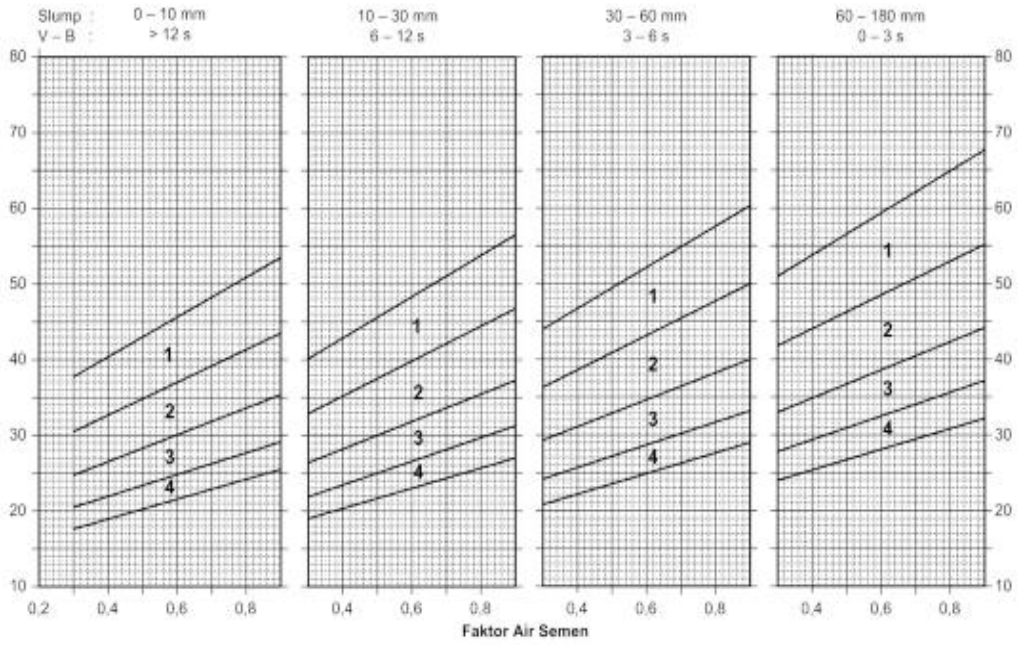
(Sumber: SNI-03-2834-2000)

12. Menentukan nilai persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dapat dilihat pada halaman selanjutnya.



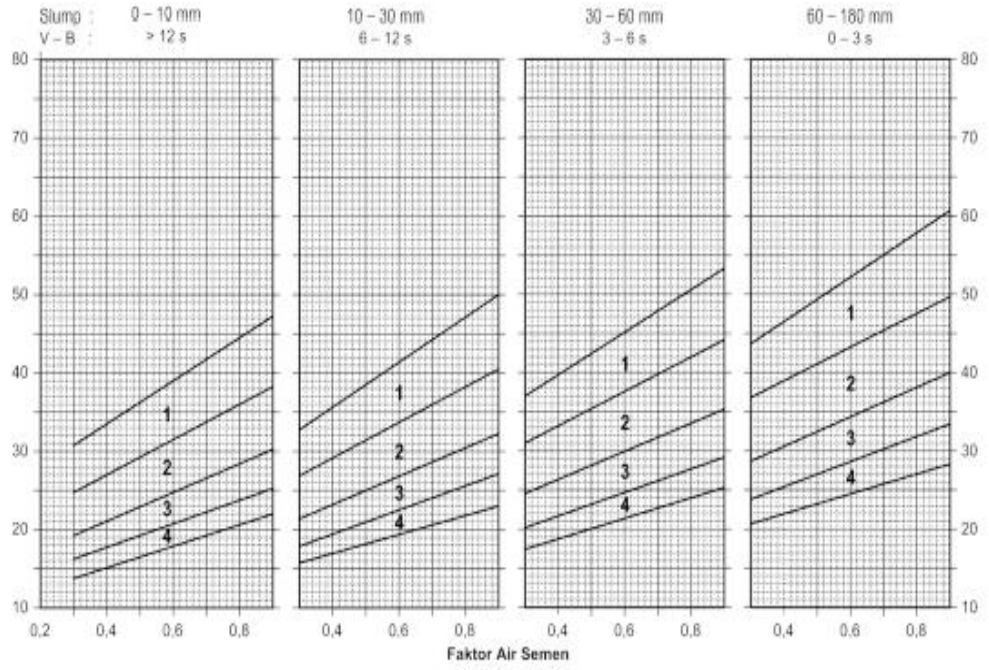
Gambar 3.2 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butiran Maksimum 10 mm

(Sumber : SNI 2834-2000)



Gambar 3.3 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

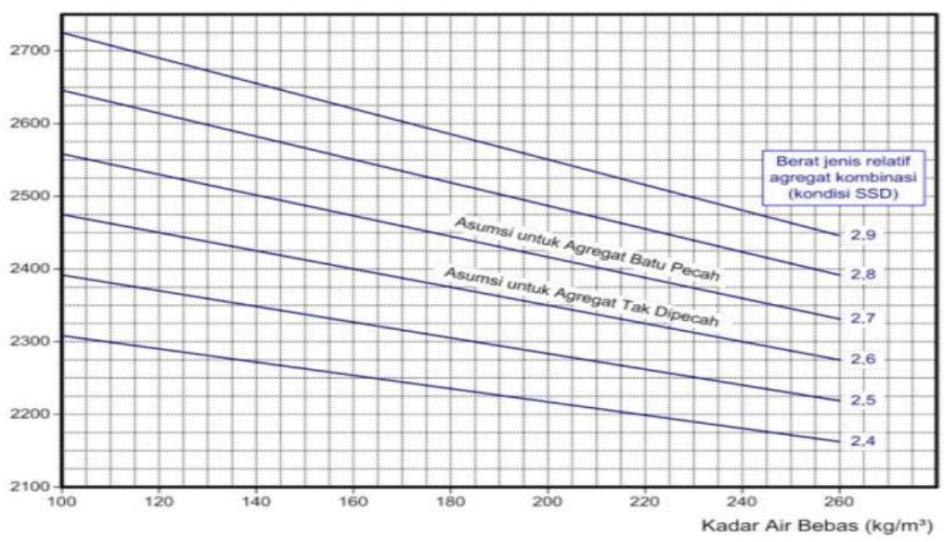
(Sumber : SNI 2834-2000)



Gambar 3.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber : SNI 2834-2000)

13. Menghitung berat jenis relatif agregat.
14. Menentukan nilai dari berat isi beton dengan dasar grafik berikut ini.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

15. Menghitung kadar agregat gabungan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

    AG = Berat isi beton – Kadar semen – Kadar air (3.5)

16. Menghilangkan kadar agregat kasar dan agregat halus.

    Kadar agregat kasar $= \frac{\%Agregat\ Kasar}{100}\ x$ kadar agregat gabungan (3.6)

    Kadar agregat halus $= \frac{\%Agregat\ Halus}{100}\ x$ kadar agregat gabungan (3.7)

17. Menghitung persentase bahan substitusi.

3.10 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan dengan memakai alat kerucut Abrams untuk menghitung nilai *slump* yang menunjukkan tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton dan mutu pengerjaan beton (SNI-1972-2008). *Workability* pada beton umumnya dikaitkan dengan homogenitas campuran beton. *Slump test* dengan nilai yang tinggi menandakan bahwa campuran beton ringan dikerjakan, sementara itu nilai kecil membuat beton menjadi kental dan susah dikerjakan. Berikut merupakan contoh pengujian *slump* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah ini.

3.11 Perawatan Beton

Perawatan beton adalah proses pemeliharaan kelembaban dan suhu beton setelah pengecoran untuk memastikan proses hidrasi semen berlangsung optimal. Proses hidrasi ini sangat penting karena menentukan perkembangan kekuatan dan durabilitas beton. Tanpa perawatan yang memadai, beton dapat mengalami pengerasan yang tidak sempurna, menyebabkan retak, penyusutan berlebih, atau bahkan kegagalan struktural di masa mendatang.

Perawatan benda uji beton adalah langkah penting dalam memastikan bahwa beton mencapai kekuatan optimalnya. Metode *water curing* merupakan metode yang paling umum digunakan dalam penelitian karena memberikan hasil yang sesuai dengan standar. Dengan perawatan yang baik, beton dapat memiliki sifat mekanik yang lebih baik serta daya tahan yang lebih tinggi terhadap lingkungan.

3.12 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kapasitas beton dalam menahan beban aksial per satuan luas. Nilai kuat tekan beton didapat dengan memakai uji mesin tekan (*compression testing machine*) dan ditunjukkan dengan benda uji beton tersebut hancur saat terkena gaya tekan. Kalkulasi kuat tekan beton mengacu pada SNI 03-1974-2011 sebagai berikut.

Kuat tekan beton $f'c = \frac{P}{A}$ (3.8)

Keterangan:

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm^2)

f'c : kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

3.13 Pengujian Tarik Belah

Pengujian tarik kuat bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas beton dalam menahan tekanan lateral pada komponen struktural yang menggunakan agregat. Informasi ini diperoleh melalui uji tarik bahan uji yang ditempatkan secara *horizontal* sejajar dengan mesin uji tekan, sesuai dengan pedoman yang tercantum dalam SNI 2491-2002. Dalam penelitian ini, pengujian tarik kuat beton dilakukan sesuai dengan metode yang dijabarkan dalam SNI 2491-2002. Perhitungan tarik kuat beton pada area tertentu didasarkan pada luas penampang silinder beton dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$T = \frac{2\,P}{\pi\, x\, L\, x\, D} \quad (3.9)$$

Ket :

T = Kuat tarik beton (MPa)

P = Beban maks (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter Benda Uji (mm)

3.14 Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas merupakan parameter yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan pada sampel saat mengalami deformasi elastis, dan biasanya diukur dalam satuan MPa. Modulus elastisitas digunakan untuk menilai sejauh mana kekakuan suatu material. Dengan modulus elastisitas yang tinggi, beton mampu menahan tegangan besar yang timbul akibat beban, namun akan mengalami deformasi yang minimal, mengakibatkan terjadinya retakan yang lebih sedikit. Modulus elastisitas dihittung dengan dua metode, yang pertama ialah metode ASTM C469-94 dan yang kedua metode SNI 2847-2019 yang tertera dibawah ini.

$$Ec = \frac{S2-S1}{\varepsilon 2-0{,}00005} \tag{3.10}$$

Ket:

Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)

ε2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum

S2 = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

S1 = Tegangan ketika regangan 0,00005 MPa

$$Ec = 4700\ x\ \sqrt{f'c} \tag{3.11}$$

Atau

$$Ec = Wc^{1,5} x\ 0043\ x\ \sqrt{f'c} \tag{3.12}$$

Ket :

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

$Wc^{1,5}$ = Berat volume beton (kg/m^3)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah langkah-langkah yang akan dilaksanakan pada saat pengujian. Metode memiliki tujuan guna mendapatkan solusi dari permasalahan dari penelitian yang akan dilaksanakan. Maka dari itu diperlukan adanya pemilihan seputar penelitian yang akan dilakukan dengan tepat. Kemudian metode penelitian yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah dengan menggunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan menguji sampel beton yang mencampurkan limbah abu batu sebagai substitusi agregat halus dan *fly ash* sebagai bahan tambahan pada semen. Kadar limbah abu batu yaitu sebesar 0%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dari berat pasir sebagai agregat halus, sedangkan untuk kadar *fly ash* sebesar 10% dari berat semen konstan pada tiap variasi kadar abu batu. Hal ini dilakukan guna mengetahui pengaruh variasi bahan limbah abu batu dan *fly ash* terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas.

4.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland* (PC)

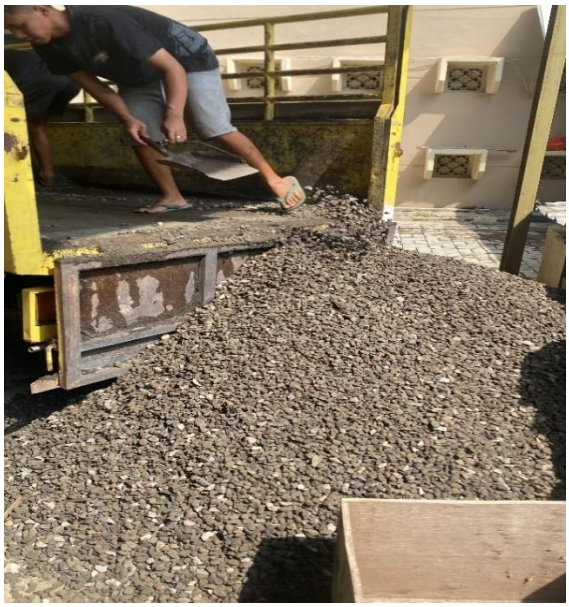
   Penelitian ini menggunakan semen portland tipe I merek Tiga Roda dengan berat 40 kg.



Gambar 4.1 Semen

2. Agregat Kasar

   Agregat kasar yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Clereng, Kulon Progo.



Gambar 4.2 Agregat Kasar

3. Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 4.3 Agregat Halus

4. Air

Pada penelitian ini menggunakan air dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.4 Air

5. Abu Batu

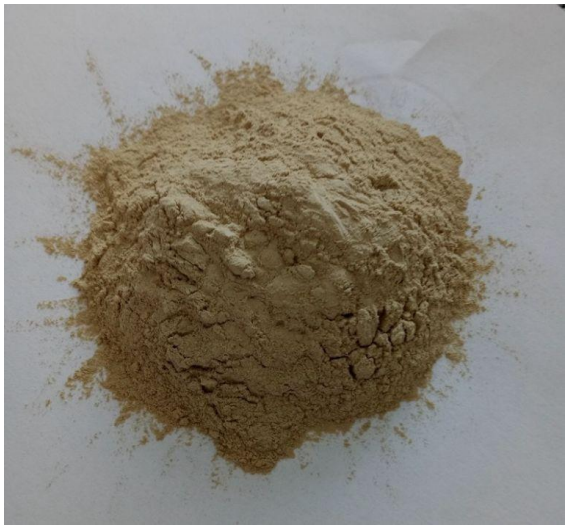
Abu batu yang dipakai pada penelitian ini berasal dari pabrik *Quartcon stone crusher* di Yogyakarta.



Gambar 4.5 Abu Batu

6. *Fly Ash*

Fly ash ialah bahan limbah abu batubara yang berasal dari pembakaran PLTU Paiton.



Gambar 4.6 Fly Ash

(Sumber : *google*)

4.4 Alat

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Saringan Agregat

   Saringan agregat berfungsi untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirnya. Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian analisis lolos saringan pada agregat halus dan kasar**.**



Gambar 4.7 Saringan Agregat

2. Timbangan

   Timbangan digunakan untuk mengukur berat suatu benda. Alat ini akan dipakai untuk menimbang bahan-bahan penyusun beton sebelum pengujian dilakukan.



Gambar 4.8 Timbangan

3. Cetakan Silinder

Cetakan silinder berfungsi sebagai wadah untuk membentuk beton sesuai dengan dimensi benda uji. Cetakan yang akan digunakan memiliki ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 4.9 Cetakan Silinder

4. Alat Ukur

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi benda yang akan diuji.



Gambar 4.10 Jangka Sorong

5. Ember

Ember digunakan untuk mengangkut dan menampung material penyusun beton, seperti air, semen, agregat, dan material lainnya.



Gambar 4.11 Ember

6. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk mengukur nilai slump beton segar yang baru saja dikeluarkan dari mixer.



Gambar 4.12 Kerucut Abrams

7. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan kasar. Oven juga dimanfaatkan dalam pengujian berat jenis agregat dan penyerapan air pada agregat.



Gambar 4.13 Oven

8. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk digunakan saat beton segar dimasukkan ke dalam kerucut Abrams dan cetakan silinder. Fungsi alat ini adalah untuk menekan beton segar yang dituangkan ke dalam cetakan agar tidak ada rongga udara yang tersisa.



Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk

9. *Mixer*

Mixer adalah mesin yang digunakan untuk mengaduk campuran bahan penyusun beton sehingga menghasilkan beton segar.



Gambar 4.15 *Mixer*

10. Sekop

Sekop digunakan untuk memasukkan bahan penyusun beton ke dalam cetakan, memudahkan proses pekerjaan.



Gambar 4.16 Sekop

11. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan dalam proses pengujian kekuatan tekan beton. Perangkat ini berfungsi untuk mengukur beban maksimum yang dapat ditahan oleh sampel uji hingga mencapai titik kehancuran.



Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan

4.5 Tahap Penelitian

Agar penelitian ini menghasilkan data yang tepat, diperlukan prosedur yang terstruktur dan dilaksanakan secara sistematis pada setiap tahapannya, prosedur ini penting untuk mencapai tujuan penelitian tersebut.

4.5.1 Persiapan Bahan

Sebelum dilakukannya penelitian, dibutuhkan persiapan bahan terlebih dahulu agar mutu beton yang direncanakan sesuai. Berikut ini ialah persiapan yang harus dilakukan.

1. Pengadaan Material

   Pengadaan material seperti air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan material khusus lainnya harus dipersiapkan dengan baik untuk mencapai mutu yang sesuai dengan rencana.

2. Pengadaan Material Khusus

   Material khusus yang disiapkan pada penelitian ini yaitu limbah abu batu dan *fly ash*. Abu batu yang dipakai berasal dari pabrik *stone crusher* daerah

Sleman, sedangkan *fly ash* yang dipakai berasal dari pembakaran PLTU paiton.

3. Pembersihan Material

   Agregat halus dan agregat kasar harus dilakukan pembersihan terlebih dahulu untuk menghasilkan bahan material yang memenuhi persyaratan pada campuran beton. Agregat halus harus bersih dari lumpur dan agregat kasar harus bersih dari benda asing, hal ini sangat penting karena jika material tidak bersihkankan akan mempengaruhi mutu beton. Material-material yang sudah dibersihkan disimpan kedalam wadah agar terjaga kebersihannya.

4. Pengujian Material

   Pengujian agregat, yang mencakup pengujian agregat halus dan kasar, digunakan untuk memahami sifat dan ciri-ciri agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian agregat ini menjadi panduan dalam merancang campuran beton (desain campuran). Berikut ini ialah acuan pengujian agregat yang digunakan pada penelitian ini.

   a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus menggunakan acuan dari SNI 1970-1990.
   b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan acuan dari SNI 1969-2016.
   c. Pengujian analisa saringan pada agregat halus menggunakan acuan dari SNI 1968-1990.
   d. Pengujian analisa saringan pada agregat kasar menggunakan acuan dari SNI 1968-1990.
   e. Pengujian berat volume padat dan gembur pada agregat halus menggunakan acuan dari SNI 4804-1998.
   f. Pengujian berat volume padat dan gembur pada agregat kasar menggunakan acuan dari SNI 4804-1998.
   g. Pengujian lolos saringan no.200 mengunakan acuan dari SNI 4142-1996.

Hasil pengujian yang telah dilakukan kemudian dilakukan pengecekan apakah agregat memenuhi persyaratan atau tidak.

4.5.2 Mix *Design*

Mix Design memiliki peran penting dalam memastikan beton yang dihasilkan memenuhi spesifikasi teknis sesuai SNI 2834-2000, efisiensi secara biaya, dan tahan lama dalam jangka panjang. Berikut merupakan prosedur yang dilakukan pada proses *mix design*.

1. Menentukan parameter dasar.
2. Menentukan kuat tekan rencana (f’cr).
3. Menentukan Faktor Air Semen (FAS) berdasarkan mutu beton dan faktok lingkungan.
4. Menentukan kadar air berdasarkan ukuran maksimum agregat dan *slump* yang diinginkan.
5. Menghitung kadar semen yang dibutuhkan.
6. Menentukan berat jenis agregat berdasarkan hasil uji lab.
7. Menghitung jumlah agregat yang dibutuhkan.
8. Lakukan trial *mix* dan uji.

Jika hasil uji yang didapatkan sesuai dengan spesifikasi teknis yang diinginkan, maka bisa dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

4.5.3 Pembuatan Benda Uji

Sampel yang akan dibuat berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sampel tersebut akan dilakukan pengujian kuat tekan modulus dan tarik belah beton. Mutu beton yang direncanakan ialah 25 MPa. Umur beton pada saat pengujian ialah 28 hari. Rincian sampel pada pengujian beton dapat dilihat pada tabel 4.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	**Kode Sampel**	**Persentase Penggunaan Abu Batu (%)**	**Persentase Penggunaan *Fly Ash* (%)**	**Jumlah Sampel**	**Total Sampel**
Kuat Tekan & Modulus Elastisitas	BN	0	0	5	30
	BV1	0	10	5	
	BV2	20	10	5	
	BV3	25	10	5	
	BV4	30	10	5	
	BV5	35	10	5	
Tarik Belah	BN	0	0	5	30
	BV1	0	10	5	
	BV2	20	10	5	
	BV3	25	10	5	
	BV4	30	10	5	
	BV5	35	10	5	
Jumlah Total Sampel					60

Adapun keterangan dari kode benda uji sebagai berikut.

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (0% Abu Batu dan 10% *Fly Ash*)

BV2 = Beton Variasi 2 (20% Abu Batu dan 10% *Fly Ash*)

BV3 = Beton Variasi 3 (25% Abu Batu dan 10% *Fly Ash*)

BV4 = Beton Variasi 4 (30% Abu Batu dan 10% *Fly Ash*)

BV5 = Beton Variasi 5 (35% Abu Batu dan 10% *Fly Ash*)

Tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan dan membersihkan bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Limbah abu batu serta *fly ash* juga disiapkan sebagai bahan ganti Sebagian agregat halus dan semen.

2. Menyiapkan, menakar, dan menimbang bahan yang digunakan sesuai dengan perencanaan campuran beton menurut SNI 2493-2011.
3. Bahan yang telah ditakar sesuai komposisi dimasukkan ke wadah untuk memudahkan pada saat pencampuran ke dalam *mixer* beton.
4. Mengolesi bekisting benda uji silinder pada bagian dalam dengan oli serta melakukan penimbangan dan pencatatan berat bekisting.
5. Menyiapkan *mixer* beton dan diaduk sampai agregat tercampur merata.
6. Agregat kasar dan halus termasuk limbah abu batu serta *fly ash* dimasukkan ke dalam *mixer* beton dan diaduk hingga agregat tercampur merata.
7. Setelah agregat tercampur merata, masukan semen ke dalam *mixer* dan aduk hingga rata.
8. Pencampuran beton segar dilakukan hingga merata (homogen).
9. Setalah campuran homogen, tuang campuran beton segar ke tempat yang telah disiapkan.
10. Memasukkan campuran beton segar ke dalam setu per tiga cetakan bekisting, kemudian tumbuk dengan tongkat penumbuk dan pukul dengan palu karet sampai campuran beton rata tanpa ruang udara. Prosedur ini diulangi hingga bekisting silinder terisi penuh.
11. Ratakan permukaan campuran beton.
12. Timbang dan catat berat beton dengan bekisting benda uji silinder.
13. Setelah kurang lebih 24 jam, bekisting dilepas dari benda uji dan melakukan proses perawatan benda uji.

4.5.4 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji mengacu pada Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium (SNI-2493-2011). Perawatan benda uji yang dilakukan adalah dengan merendam benda uji dalam air. Perendaman dilakukan selama 28 hari. Pengujian benda uji harus dilakukan saat kondisi benda uji kering. Oleh karena itu benda uji harus dikeluarkan dari rendaman air satu hari sebelum dilakukan pengujian.

4.5.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji kuat tekan beton, uji tarik belah, dan uji modulus elastisitas beton. Pengujian dilakukan pada setiap variasi campuran beton dengan umur 28 hari. Benda uji diukur dan ditimbang terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian.

4.6 Prosedur Pengujian

Pada penelitian ini, terdapat beberapa pengujian yang dilakukan selama penelitian berlangsung. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan akan dijelaskan secara prosedural.

4.6.1 Uji *Slump*

Uji *slump* adalah salah satu tes yang digunakan untuk mengukur konsistensi beton segar sebelum dimasukkan ke dalam cetakan beton. Uji *slump* menggunakan SNI 1972-2008. Berikut ialah langkah-langkah untuk melakukakan uji *slump*.

1. Isi 1/3 kerucut abrams dengan beton segar lalu dipadatkan dengan tongkat penumbuk dengan cara menumbuk sebanyak 25 kali, lalu isi 1/3 beton segar lagi (menjadi 2/3) dan dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali, pastikan tongkat penumbuk menyentuh dasar, lalu isi 1/3 beton lagi agar kerucut abrams terisi penuh, dan dilakukan penumbukan lagi sebanyak 25 kali.\
2. Ratakan permukaan dan diamkan beton segar selama 30 detik, lalu angkat kecurut abrams secara vertikal.
3. Lakukan pengukuran nilai *slump* dengan cara membalikan kerucut abrams lalu diletakkan disebelahnya, dan ukur tinggi *slump* dengan penggaris.

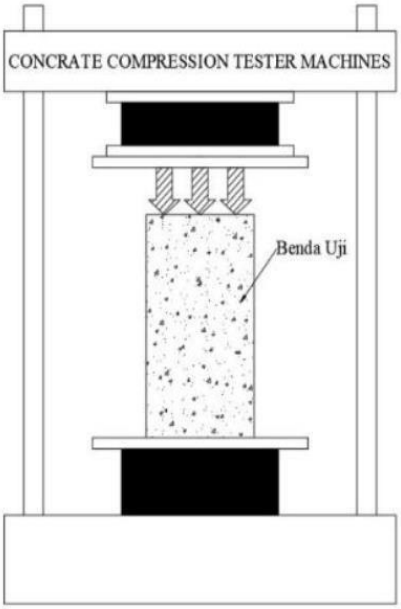


Gambar 4.18 Uji Slump

4.6.2 Uji Kuat Tekan Beton

Pada pengujian ini benda uji yang sudah mencapai umur rencana akan dilakkan pengujian kuat tekan beton. Uji kuat tekan beton menggunakan acuan SNI 1974-2011. Berikut ialah langkah-langkah melalukan uji kuat tekan beton.

1. Mengeluarkan benda uji dari rendaman lalu dibiarkan selama 24 jam agar benda uji tidak dalam keadaan basah pada saat pengujian.
2. Mengukur dimensi dan berat pada benda uji untuk kebutuhan data.
3. Benda uji diletakkan pada landasan tekan bawah.
4. Pastikan penunjuk beban berada pada angka nol.
5. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik.
6. Lakukan pembebanan hingga benda uji hancur lalu mencatat beban maksimum pada benda uji.



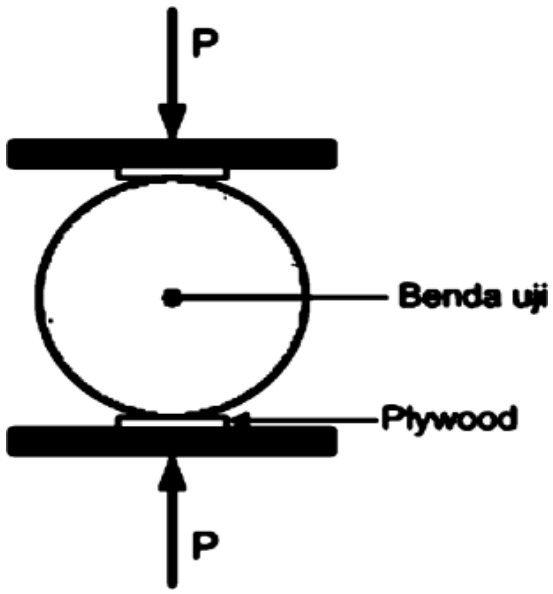
Gambar 4.19 Uji Kuat Tekan

4.6.3 Uji Tarik Belah

Uji kuat tarik belah beton dengan benda uji berbentuk silinder ialah pengujian tarik tidak langsung yang memberikan nilai kuat tarik tidak langsung. Uji tarik belah beton yang dilakukan pada penelitian ini akan menggunakan acuan SNI 2491 2002. Berikut ialah tahapan melakukan uji tarik belah beton.

1. Mempersiapkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian.

2. Mengukur dimensi dan berat pada benda uji.
3. Benda uji dicirikan dengan membuat garis tengah menggunakan alat bantu dari setiap sisi ujung dari benda uji, kedua garis terebut harus terletak pada bidang aksial yang sama atau identik.
4. Memasangkan bantalan bantu pembebanan pada mesin uji.
5. Letakkan objek pengujian di atas bantalan kayu sehingga garis tengah yang telah diberi tanda pada objek tersebut membentuk sudut 90 derajat dengan pusat titik bantalan beban kayu.
6. Letakkan dua lapisan kayu atau *plywood* sebagai bantalan beban di atas objek pengujian, sehingga pusatnya bersilangan dengan garis tengah yang terletak pada ujung silinder objek pengujian.
7. Atur posisi benda uji hingga mencapai kondisi di mana proyeksi dari bidang yang telah ditandai dengan garis tengah di kedua ujung benda uji bertemu dengan titik tengah tepat dibagian atas meja penekan mesin uji.
8. Lalu operasikan mesin tarik belah dengan memberikan beban secara terus menerus tanpa berhenti, dengan kecepatan yang tetap antara 0,7 hingga 1,4 MPa per detik hingga benda uji terbelah menjadi dua. Lalu catat nilai beban maks yang didapat dari hasil pengujian.

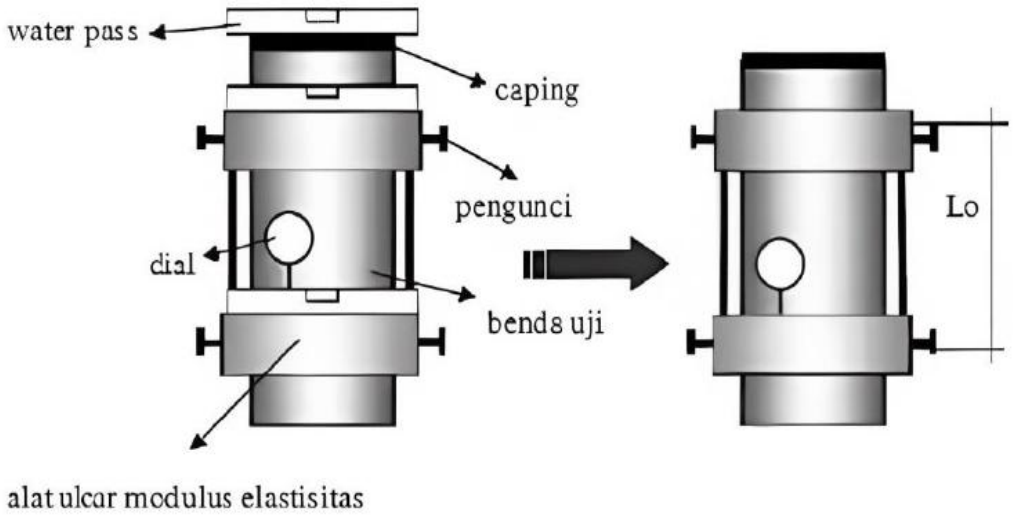


Gambar 4.20 Uji Tarik Belah

4.6.4 Uji Modulus Elastisitas

Menurut SNI 4169-1996, modulus elastisits ialah nilai tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis, pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada penelitian ini akan menggunakan acuan dari ASTM C-469-1994. Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut ini.

1. Mengukur diameter benda uji pada tiga posisi menggunakan jangka sorong dengan ketelitian mencapai 0,05 mm.
2. Ukur dimensi benda uji yang sudah ditambah kaping hingga pembacaan 1 mm.
3. Lakukan penimbangan pada benda uji dengan ketelitain timbangan 0.3%.
4. Letakkan benda uji pada mesin uji tekan dalam posisi simetris setelah pemasangan alat pengukur deformasi.
5. Operasikan mesin uji tekan dan terapkan beban secara teratur dengan kecepatan pembebanan berkisar 207 sampai dengan 275 KPa/detik hingga benda uji mengalami kegagalan. Selama pengujian berlangsung, catat setiap kenaikan beban sebesar 10 KN.



Gambar 4.21 Uji Modulus Elastisitas

4.7 Olah Data

Data yang didapat pada hasil pengujian kemudian diproses menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Pengolahan data dilakukan berdasarkan teori dan peraturan-peraturan terkait. Hasil pengolahan data berupa parameter penting yang akan digunakan pada tahap analisis data.

4.8 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang sudah diolah dan diperoleh parameter yang diinginkan kemudian dilaksanakan proses analisis yang sinkron dengan dasar teori dan peraturan yang terkait. Analisis data dilakukan dengan melakukan komparasi nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton terhadap setiap varian benda uji. Varian benda uji berupa campuran beton dengan subtitusi limbah abu batu 0%, 20%, 25%, 30%, dan 35% dari berat agregat halus serta substitusi *fly ash* 10% dari berat semen pada tiap variasi. Data hasil analisis berupa komparasi nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton .

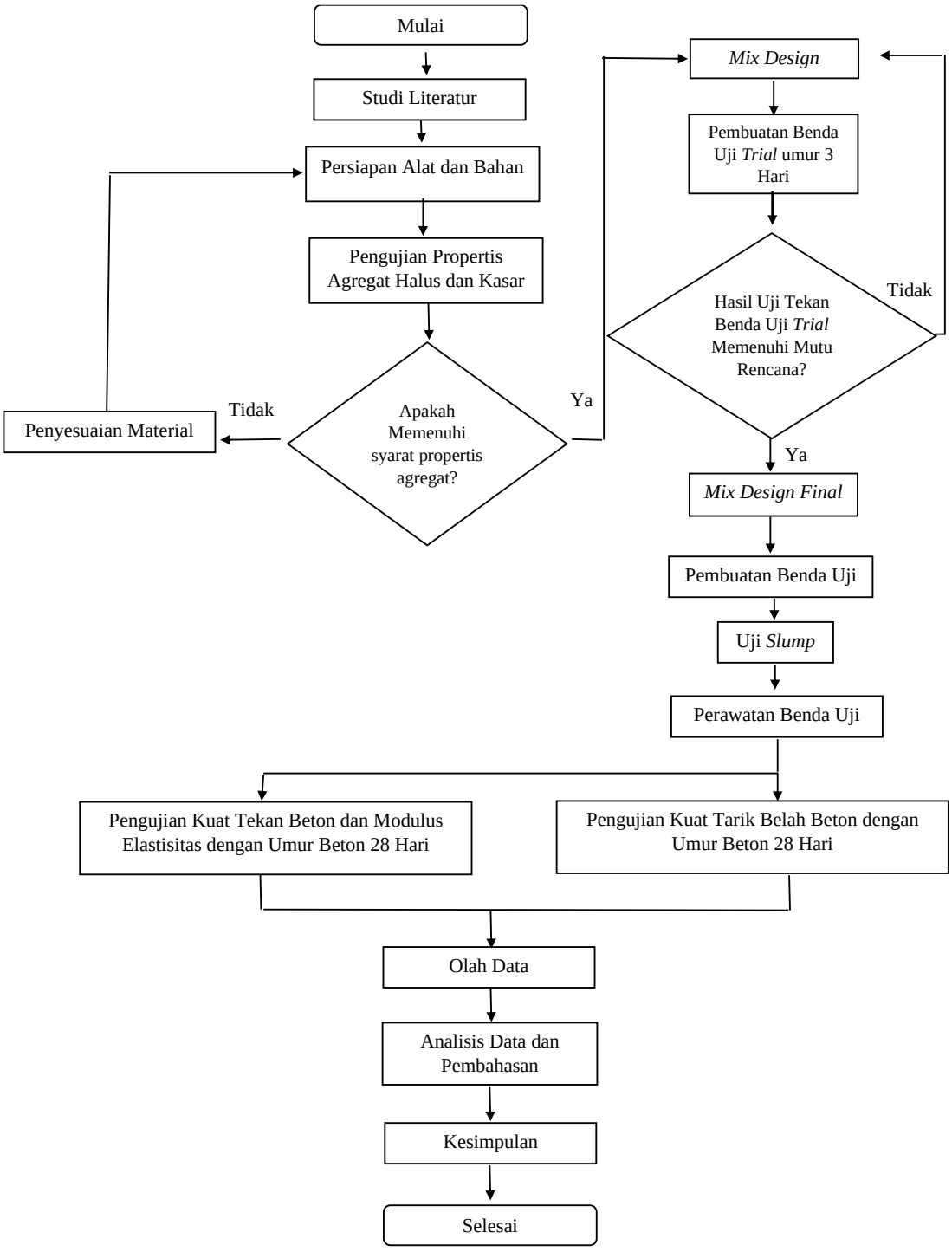
Setelah tahapan analisis data telah selesai dilakukan kemudian dilakukan pembahasan. Pembahasan dilakukan berdasarkan analisis data yang telah dilakukan. Pembahasan dilakukan untuk menafsirkan hasil komparasi nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Pembahasan juga harus menjawab seluruh rumusan masalah yang ada.

4.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah kesimpulan dan saran. Kesimpulan dilakukan dengan menyatakan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan secara singkat, padat, dan jelas sesuai dengan teori dan peraturan terkait. Kesimpulan juga harus searah dengan tujuan penelitian. Selain itu pada tahap ini dilakukan pembuatan saran berdasarkan kesimpulan yang ada untuk penelitian-penelitian berikutnya.

4.10 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Diagram Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis data dan pembahasan, yang bertujuan untuk memperoleh hasil yang telah direncanakan.

5.2 Pengujian Material

Pengujian terhadap agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan sifat dari agregat yang dilakukan pada penelitian ini. Karena agregat memiliki beberapa persyaratan yang harus terpenuhi untuk dapat dijadikan sebagai campuran pada beton. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu pengujian agregat halus dan agregat kasar.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Dalam pengujian agregat halus ini dilakukan beberapa pengujian meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, serta pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kadar lumpur).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

   Pengujian berat jenis agregat halus dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis serta tingkat penyerapan air agregat tersebut. Prosedur pengujian mengacu pada standar SNI 03-1970-1990. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sebagai berikut.

   a. Berat Jenis Curah

   BJ curah $= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$

   $= \frac{485}{(648+500-965)}$

   = 2,650 gram

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

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

$= \frac{500}{(648+500-965)}$

= 2,732 gram

c. Berat Jenis Semu

BJ semu $= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$

$= \frac{485}{(648+485-965)}$

= 2,887 gram

d. Penyerapan Air

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

$= \frac{(500-485)}{485}$

= 3,093 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapain Air Agregat Halus

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	965	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	648	gram
Berat jenis curah	2,650	gram
Berat jenis jenuh kering muka, (SSD)	2,732	gram
Berat Jenis Semu	2,887	gram
Penyerapain air	3,093	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis jenuh sebesar 2,732 gram dan penyerapan air sebesar 3,093 %. Hasil berat jenis jenuh tersebut sesuai dengan SNI 1970:2008 yang berkisar 2,5 – 2,8 gram.

Untuk nilai penyerapan air sesuai dengan batasan umum yang dipakai yaitu dibawah 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Dalam pengujian analisa saringan agregat halus, data yang diperoleh akan diproses untuk mendapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta menentukan daerah gradasinya, sesuai dengan SNI 1968-1990. Perhitungan analisa saringan dapat dilihat pada uraian dibawah ini.

a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\sum Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{91}{2000}\ x\ 100\%$

$= 4{,}55\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{155}{2000}\ x\ 100\%$

$= 7{,}75\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{286}{2000}\ x\ 100\%$

$= 14{,}30\%$

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{669}{2000}\ x\ 100\%$

$= 33{,}45\%$

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{575}{2000}\ x\ 100\%$

$= 28{,}75\%$

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{197}{2000}\ x\ 100\%$

$= 9{,}85\%$

Pan $= \frac{27}{2000}\ x\ 100\%$

$= 1{,}35\%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm $= 4{,}55\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= 4{,}55\% + 7{,}75\%$

$= 12{,}30\%$

Lubang ayakan 1,2 mm = 12,30% + 14,30%
= 26,60%
Lubang ayakan 0,6 mm = 26,60% + 33,45%
= 60,05%
Lubang ayakan 0,3 mm = 60,05% + 28,75%
= 88,80%
Lubang ayakan 0,15 mm = 88,80% + 9,85%
= 98,65%
Pan = 98,65% + 1,35%
= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 4,55%
= 95,45%
Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 12,30%
= 87,70%
Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 26,60%
= 73,40%
Lubang ayakan 0,6 mm = 100% - 60,06%
= 39,95%
Lubang ayakan 0,3 mm = 100% - 88,80%
= 11,20%
Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 98,65%
= 1,35%
Pan = 100% - 100%
= 0%

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisa saringan agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
4,8	91	4,55	4,55	95,45
2,4	155	7,75	12,30	87,70
1,2	286	14,30	26,60	73,40
0,6	669	33,45	60,05	39,95
0,3	575	28,75	88,80	11,20
0,15	197	9,85	98,65	1,35
Sisa	27	1,350	100	0
Jumlah	2000	100	290,950	309,050

d. Modulus Halus Butir

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{290{,}950}{100}$$

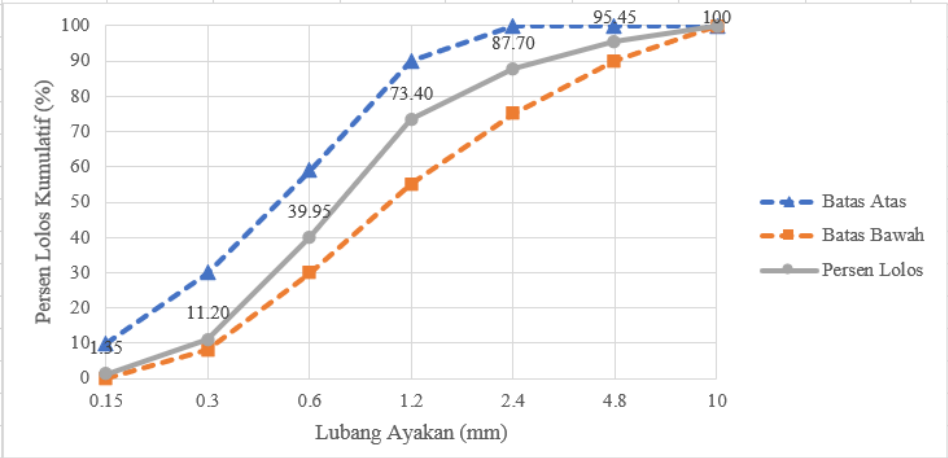
$$= 2{,}910$$

Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 2,910, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat nilai Modulus Halus Butir (MHB) menurut SNI S-04-1989-F, yaitu nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus harus berkisar 1,5–3,8. Selain itu, hasil analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang ada pada Tabel 5.3, lalu dibuat garis kurva agregat halus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus

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

Sumber : SNI 2834-2000



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II

Berdasarkan gambar diatas , agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi II (pasir agak halus).

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume gembur agregat halus dapat dilihat sebagai berikut ini.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 19605 - 10982

= 8623 gram

Volume Tabung (V) $= {}^{1}/_{4}\,\pi\, d^2\, t$

$= {}^{1}/_{4}\,\pi$ x $15{,}20^2$ x 30,01

$= 5446\ cm^3$

Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8623}{5446}$

$= 1{,}583\ gram/cm^3$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10982	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	19605	gram
Berat Agregat, (W3)	8623	gram
Diameter Tabung, (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,583	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,583 $gram/cm^3$. Hasil tersebut sesuai ASTM C29-2003, berada di rentang standar yaitu 1,4 – 1,9 $gram/cm^3$. Sehingga dapat dikategorikan memiliki berat volume gembur yang sesuai.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume padat agregat halus dapat dilihat sebagai berikut ini.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 20120 - 10787

= 9333 gram

Volume Tabung (V) $= {}^{1}/_{4}\,\pi\, d^2\, t$

$= {}^{1}/_{4}\,\pi$ x $15{,}01^2$ x 30,38

$= 5376\ cm^3$

Berat Volume Padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{9333}{5376}$

$= 1{,}736\ gram/cm^3$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dibawah ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	20120	gram
Berat Agregat, (W3)	9333	gram
Diameter Tabung, (d)	15,01	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,38	cm
Volume Tabung, (V)	5376	cm^3
Berat Volume Padat	1,736	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,736 gram/cm3. Hasil tersebut sedikit melebihi rentang yang umum dipakai menurut ASTM C29-2003, yaitu berkisar 1,5 – 1,7 $gram/cm^3$.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4142-1996. Adapun perhitungan lolos saringan no. 200 agregat halus yang dapat dilihat dibawah ini.

Kadar lumpur dalam pasir $= \frac{W1-W2}{W1} x\ 100\%$

$= \frac{500-481}{500} x\ 100\%$

$= 3{,}80\ \%$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven, (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, (W2)	481	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3,80	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 3,80 %. Hasil tersebut sesuai dengan SNI 04-1989-F karena dibawah batas maksimum yaitu 5%. Sehingga agregat halus yang digunakan telah memenuhi syarat.

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan guna mengetahui karakteristik agregat kasar tersebut. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume gembur serta volume padat.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis agregat kasar bertujuan untuk mencari nilai berat jenis dan nilai penyerapan air dari agregat kasar. Pengujian ini menggunakan SNI 1969-2016. Adapun perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar yang dapat dilihat dibawah ini.

a. Berat Jenis Curah

$$\text{BJ curah} = \frac{Bk}{(Bj-B)}$$

$$= \frac{4820}{(5000-3090)}$$

$$= 2{,}524 \text{ gram}$$

b. Berat Jenis Kering Muka

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

$$= \frac{5000}{(5000-3090)}$$

$$= 2{,}618 \text{ gram}$$

c. Berat Jenis Semu

BJ semu $= \frac{Bk}{(Bk-B)}$

$= \frac{4820}{(4820-3090)}$

= 2,786 gram

d. Penyerapan Air

Penyerapan air $= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} x\ 100\%$

$= \frac{(5000-4820)}{4820} x\ 100\%$

= 3,73 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapain Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil Kering Mutlak, (Bk)	4820	gram
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka, (Bj)	5000	gram
Berat Piknometer berisi Pasir dan Air, (Ba)	3090	gram
Berat Jenis Curah, Bk/(Bj-Ba)	2,524	gram
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD), Bj/(Bj-Ba)	2,618	gram
Berat Jenis Semu, Bk/(Bk-Ba)	2,786	gram
Penyerapan Air, (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,734	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat jenis jenuh sebesar 2,618 gram dan nilai penyerapan air sebesar 3,734 %. Hasil berat jenis jenuh tersebut sesuai dengan SNI 1970:2008 yang berkisar 2,5 – 2,8 gram. Untuk nilai penyerapan air sesuai dengan batasan umum yang dipakai yaitu dibawah 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Dalam pengujian analisa saringan agregat kasar, data yang didapatkan akan diproses untuk memperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta menentukan daerah gradasinya, sesuai dengan SNI 1968-1990.

a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\sum Berat\ Tertinggal} x\ 100\%$

Lubang ayakan 40 mm $= \frac{0}{5000} x\ 100\%$

$= 0\%$

Lubang ayakan 20 mm $= \frac{15}{5000} x\ 100\%$

$= 0{,}30\%$

Lubang ayakan 10 mm $= \frac{3617}{5000} x\ 100\%$

$= 72{,}34\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{1244}{5000} x\ 100\%$

$= 24{,}88\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{63}{5000} x\ 100\%$

$= 1{,}26\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{0}{5000} x\ 100\%$

$= 0\%$

Pan $= \frac{61}{5000} x\ 100\%$

$= 1{,}22\%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm $= 0\%$

Lubang ayakan 20 mm $= 0\% + 0{,}30\%$

$= 0{,}30\%$

Lubang ayakan 10 mm $= 0{,}30\% + 72{,}34\%$

$= 72{,}64\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= 72{,}64\% + 24{,}88\%$

$= 97{,}52\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= 97{,}52\% + 1{,}26\%$

$= 98{,}78\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= 98{,}78\% + 0\%$

$= 98{,}78\%$

Pan = 98,78% + 1,22%
= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100%
Lubang ayakan 20 mm = 100% - 0,30%
= 99,70%
Lubang ayakan 10 mm = 100% - 72,64%
= 27,36%
Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 97,52%
= 2,48%
Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 98,78%
= 1,22%
Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 98,78%
= 1,22%
Pan = 100% - 100%
= 0%

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40	0	0	0	100
20	15	0,30	0,30	99,70
10	3617	72,34	72,64	27,36
4,8	1244	24,88	97,52	2,48
2,4	63	1,26	98,78	1,22
1,2	0	0	98,78	1,22
0,6	0	0	98,78	1,22

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
0,3	0	0	98,78	1,22
0,15	0	0	98,78	1,22
Pan	61	1,22	100	0
Jumlah	5000	100	664,36	235,64

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{664{,}36}{100}$$

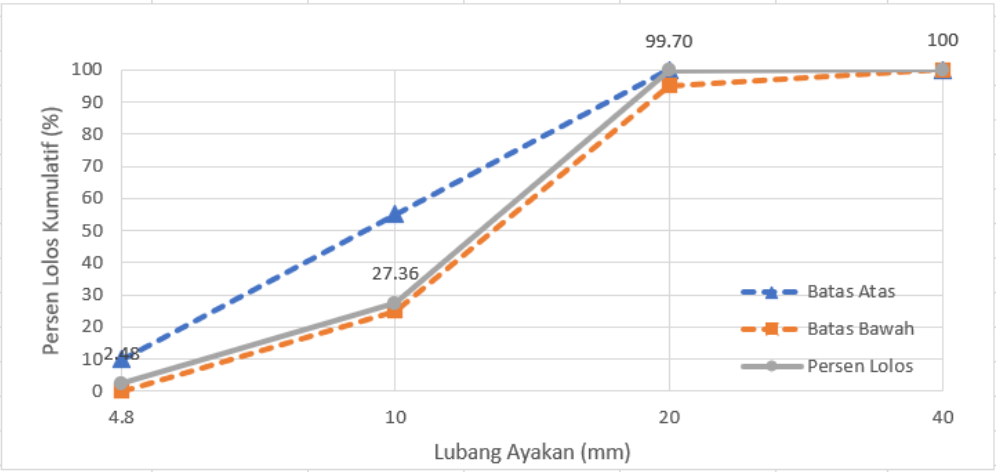
$$= 6{,}644$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat kasar sebesar 6,644, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat nilai Modulus Halus Butir (MHB) menurut SNI S-04-1989-F, yaitu berkisar 5 – 8. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar yang ada pada Tabel 5.9, lalu dibuat garis kurva agregat halus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.

Tabel 5.9 Gradasi Agregat Kasar

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

Sumber : SNI 2834-2000



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

Berdasarkan gambar pada halaman sebelumnya, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini ialah agregat kasar dengan diameter maksimum 20 mm.

3. Pengujian Volume Gembur

Pengujian volume gembur agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat dibawah ini.

Berat agregat (W3) = W2 – W1
= 17612 - 10684
= 6928 gram

Volume tabung (V) = $^1/_4 \pi d^2 t$
= $^1/_4 \pi$ x 15,20^2 x 30,01
= 5446 cm^3

Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
= $\frac{6928}{5446}$
= 1,272 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	17612	gram
Berat Agregat, (W3)	6928	gram
Diameter Tabung, (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,272	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,272 $gram/cm^3$. Hasil tersebut sesuai dengan SNI 4804-1998, karena masih berada di rentang yang umum dipakai yaitu 1,2 – 1,5 $gram/cm^3$

4. Pengujian Volume Padat

Pengujian volume padat pada agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume padat agregat kasar yang dapat dilihat dibawah ini.

Berat agregat (W3) = W2 – W1
= 18423 - 10684
= 7739 gram

Volume tabung (V) = $^1/_4 \pi\, d^2 t$
= $^1/_4 \pi$ x $15{,}03^2$ x 30,4
= 5394 cm^3

Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
= $\frac{7739}{5394}$
= 1,435 $gram/cm^3$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	18423	gram
Berat Agregat, (W3)	7739	gram
Diameter Tabung, (d)	15,03	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,4	cm
Volume Tabung, (V)	5394	cm^3
Berat Volume Padat	1,435	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,435 $gram/cm^3$. Hasil tersebut sedikit dibawah rentang angka yang umum dipakai menurut SNI 4804-1998, yaitu 1,5 – 1,7 $gram/cm^3$. Namun tetap masih bisa dipakai karena tidak terlalu jauh, dan tidak ada penjelasan yang jelas pada SNI bahwa nilai diluar rentang tersebut tidak dapat digunakan ataupun tidak layak.

5.2.3 Hasil Pengujian Agregat Abu Batu

Dalam pengujian agregat abu batu ini dilakukan beberapa pengujian meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume, serta pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kadar lumpur).

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis agregat abu batu dilakukan untuk memperoleh nilai berat jenis serta tingkat penyerapan air agregat tersebut. Prosedur pengujian mengacu pada standar SNI 03-1970-1990. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat abu batu sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

BJ curah $= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$

$= \frac{479}{(647+500-958)}$

= 2,534 gram

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

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

$= \frac{500}{(647+500-958)}$

= 2,646 gram

c. Berat Jenis Semu

BJ semu $= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$

$= \frac{485}{(647+479-958)}$

= 2,851 gram

d. Penyerapan Air

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

$= \frac{(500-480)}{480}$

= 4,384 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat abu batu yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, (Bk)	479	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	958	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	647	gram
Berat jenis curah	2,534	gram
Berat jenis jenuh kering muka, (SSD)	2,646	gram
Berat Jenis Semu	2,851	gram
Penyerapain air	4,384	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai berat jenis jenuh sebesar 2,646 gram dan penyerapan air sebesar 4,384%. Hasil berat jenis

jenuh tersebut sesuai dengan SNI 1970:2008 yang berkisar 2,5 – 2,8 gram. Untuk nilai penyerapan air sesuai dengan batasan umum yang dipakai yaitu dibawah 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Dalam pengujian analisa saringan agregat abu batu, data yang diperoleh akan diproses untuk mendapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta menentukan daerah gradasinya, sesuai dengan SNI 1968-1990. Perhitungan analisa saringan dapat dilihat pada uraian dibawah ini.

a. Persentase Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\sum Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{2000}\ x\ 100\%$

$= 0\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{178}{2000}\ x\ 100\%$

$= 8{,}9\%$

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{312}{2000}\ x\ 100\%$

$= 15{,}6\%$

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{691}{2000}\ x\ 100\%$

$= 34{,}55\%$

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{589}{2000}\ x\ 100\%$

$= 29{,}45\%$

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{156}{2000}\ x\ 100\%$

$= 7{,}8\%$

Pan $= \frac{74}{2000}\ x\ 100\%$

$= 3{,}7\%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm $= 0\%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= 0\% + 8{,}9\%$

= 8,9%

Lubang ayakan 1,2 mm = 8,9% + 15,6%

= 24,5%

Lubang ayakan 0,6 mm = 24,5% + 34,55%

= 59,05%

Lubang ayakan 0,3 mm = 59,05% + 29,45%

= 88,5%

Lubang ayakan 0,15 mm = 88,5% + 7,8%

= 96,3%

Pan = 96,3% + 3,7%

= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 8,9%

= 91,1%

Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 24,5%

= 75,5%

Lubang ayakan 0,6 mm = 100% - 59,05%

= 40,95%

Lubang ayakan 0,3 mm = 100% - 88,5%

= 11,5%

Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 96,3 %

= 3,7%

Pan = 100% - 100%

= 0%

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisa saringan agregat abu batu yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Abu Batu

Lubang Ayakan	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
4,8	0	0,00	0,00	100,00
2,4	178	8,90	8,90	91,10
1,2	312	15,60	24,50	75,50
0,6	691	34,55	59,05	40,95
0,3	589	29,45	88,50	11,50
0,15	156	7,80	96,30	3,70
Sisa	74	3,7	100,000	0
Jumlah	2000	100	277,250	322,750

d. Modulus Halus Butir

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{277{,}250}{100}$$

$$= 2{,}773$$

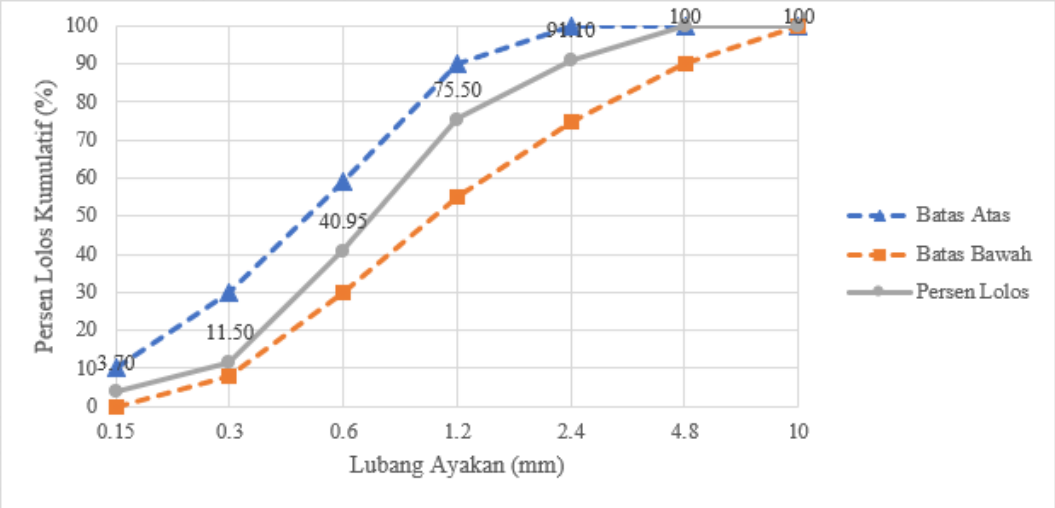
Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 2,773, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat nilai Modulus Halus Butir (MHB) menurut SNI S-04-1989-F, yaitu nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus harus berkisar 1,5–3,8. Selain itu, hasil analisa saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang ada pada Tabel 5.14, lalu dibuat garis kurva agregat halus seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dihalaman selanjutnya

.

Tabel 5.14 Gradasi Agregat Halus

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

Sumber : SNI 2834-2000



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Abu Batu Daerah II

Berdasarkan gambar 5.3 pada halaman sebelumnya , agregat abu batu yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi II (pasir agak halus).

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat abu batu yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume gembur agregat halus dapat dilihat sebagai berikut ini.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18729 - 11096

= 7633 gram

Volume Tabung (V) = $^1/_4 \pi\ d^2\ t$

= $^1/_4 \pi$ x 15,20^2 x 30,01

= 5446 cm^3

Berat Volume Gembur = $\frac{W3}{V}$

= $\frac{7633}{5446}$

= 1,402 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.15 dibawah ini.

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Abu Batu

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	11096	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	18729	gram
Berat Agregat, (W3)	7633	gram
Diameter Tabung, (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,402	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat abu batu sebesar 1,402 gram/cm^3. Hasil tersebut sesuai ASTM C29-2003, berada di rentang standar yaitu 1,4 – 1,9 gram/cm^3. Sehingga dapat dikategorikan memiliki berat volume gembur yang sesuai.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Adapun perhitungan berat volume padat agregat halus dapat dilihat sebagai berikut ini.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 19639 - 11096

= 8543 gram

Volume Tabung (V) = $^1/_4 \pi\ d^2\ t$

= $^1/_4 \pi$ x 15,01^2 x 30,38

= 5376 cm^3

Berat Volume Padat = $\frac{W3}{V}$

= $\frac{8543}{5376}$

= 1,589 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Abu Batu

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	11096	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	19639	gram
Berat Agregat, (W3)	8543	gram
Diameter Tabung, (d)	15,01	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,38	cm
Volume Tabung, (V)	5376	cm^3
Berat Volume Padat	1,589	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,589 gram/cm3. Hasil tersebut berada pada rentang yang umum dipakai menurut ASTM C29-2003, yaitu berkisar 1,5 – 1,7 gram/cm^3.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan no. 200 agregat abu batu yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 04142-1996. Adapun perhitungan lolos saringan no. 200 agregat halus yang dapat dilihat sebagai berikut.

Kadar lumpur dalam pasir $= \frac{W1-W2}{W1} x\ 100\%$

$= \frac{500-480}{500} x\ 100\%$

$= 4\ \%$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.17 dibawah ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven, (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, (W2)	480	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	4,00	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 4 %. Hasil tersebut sesuai dengan SNI 04-1989-F karena dibawah batas maksimum yaitu 5%. Sehingga agregat halus yang digunakan telah memenuhi syarat.

5.3 Desain Campuran Beton

Desain campuran beton (*Mix Design*) ini mengacu pada SNI 03-2834-2000. Adapun perhitungan rencana campuran beton ialah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (*f'c*) sebesar 25 MPa.
2. Benda uji merupakan silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Menghitung nilai tambah sebagai berikut.

   M = 1,64 x Sr

   = 1,64 x 7

   = 11,48 MPa ≈ 12 MPa
4. Menghitungan nilai mutu beton rata-rata yang ditetapkan sebagai berikut.

   F'cr = F'c + M

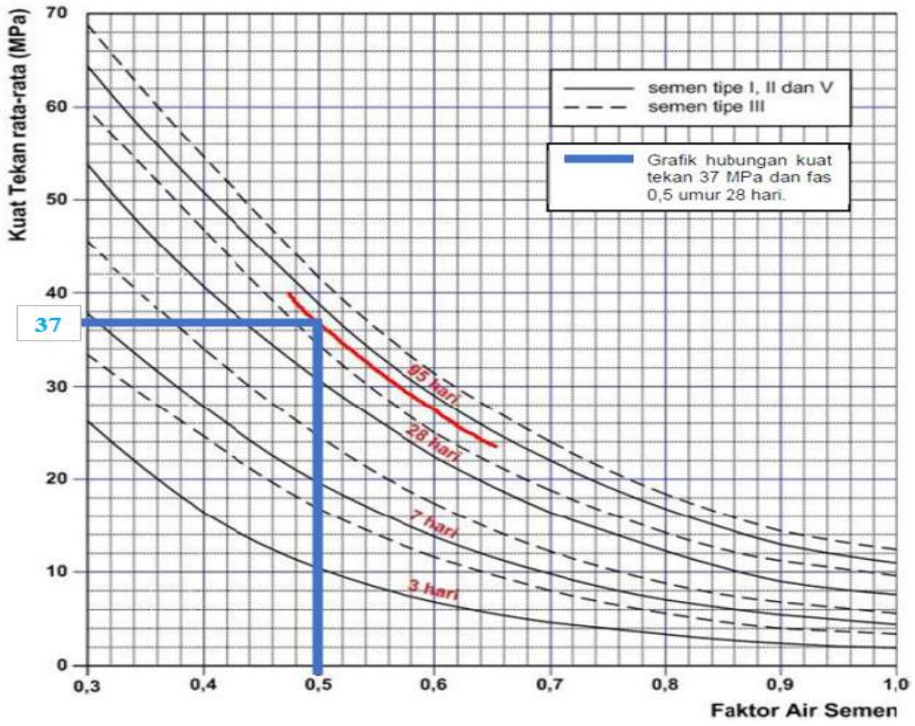
   = 25 + 12

   = 37 MPa
5. Semen yang digunakan ialah semen tipe I jenis PCC dengan merk Tiga Roda.

6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo dan termasuk kedalam daerah gradasi II berdasarkan pengujian analisa saringan.
7. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Progo dan memiliki ukuran maksimum 20 mm berdasarkan pengujian analisa saringan.
8. Menentukan nilai Faktor Air Semen (FAS) menggunakan Tabel 5.18 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.
   a. Berdasarkan pada Tabel 5.18, ditetapkan semen *portland* tipe I, benda uji berupa silinder, maka perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 sebesar 37 MPa.

Tabel 5.18 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	**Jenis Agregat Kasar**	**Kuat Tekan (MPa)**				
		Pada Umur (Hari)				**Bentuk Benda Uji**
		3	**7**	**28**	**29**	
Semen *Portland* Tipe I	Batu Tak Dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu Tak Dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen *Portland* Tipe III	Batu Tak Dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
Semen *Portland* Tipe III	Batu Tak Dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	



Gambar 5.4 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

b. Berdasarkan Gambar 5.4, didapatkan nilai Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,5.

9. Menetapkan nilai *slump* sebesar 10 ± 2 cm, sehingga termasuk dalam rentang *slump* 60-180 mm.
10. Diperoleh ukuran maksimum agregat berdasarkan pada hasil pengujian *properties* agregat, sebagai berikut.
    a. Tipe agregat halus yang digunakan adalah batu tak dipecahkan, sedangkan untuk agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah.
    b. Ukuran butir maksimum agregat kasar yang diperoleh sebesar 20 mm berdasarkan hasil uji analisa saringan agregat kasar.
    c. Agregat halus termasuk ke daerah gradasi II berdasarkan hasil uji analisa saringan agregat halus
11. Nilai kadar air bebas yang dipakai dapat dihitung berdasarkan Tabel 5.19 pada halaman selanjutya.

Tabel 5.19 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m3) yang dibutuhkan untuk beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	*Slump* (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu Tak Dipecahkan	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu Tak Dipecahkan	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu Tak Dipecahkan	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 2834-200

Diperoleh ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm dan didapatkan nilai *slump* 60-180 mm, sehingga diperoleh nilai untuk batu tidak pecah sebesar 195 kg/cm^3 dan batu pecah sebesar 225 kg/cm^3. Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Kadar air bebas $= \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk$

$= \frac{2}{3}195 + \frac{1}{3}225$

$= 205$ kg/m^3

12. Menentukan nilai maksimum untuk FAS dan minimum jumlah semen berdasarkan Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m^3 beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling non korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52

Lanjutan Tabel 5.20 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m^3 beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk kedalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan		
a. air tawar		Tabel 6
b. air laut		

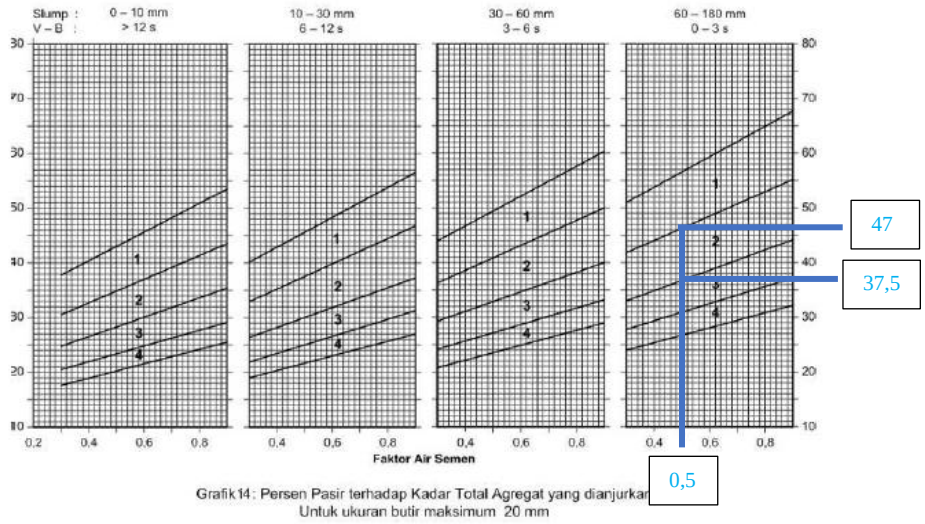
Sumber : SNI 2834-2000

13. Menentukan kadar semen
    a. Nilai FAS yang diperoleh dari pembacaan grafik adalah 0,5. Sedangkan nilai FAS maksimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 0,60. Nilai FAS yang dipilih adalah yang terkecil yaitu 0,5 dari hasil pembacaan grafik.
    b. Menghitung kadar semen

$$\text{Kadar semen} = \frac{Kadar\ Air}{FAS}$$
$$= \frac{205}{0{,}5}$$
$$= 410\ \text{kg/m}^3$$

    c. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar semen adalah 410 kg/m^3, sementara kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 275 kg/m^3. Oleh karena itu, kadar semen yang digunakan adalah 410 kg/m^3.

14. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap total agregat seperti pada Gambar 5.5 dibawah ini.
    a. Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, dengan *slump* yang direncanakan berada dalam rentang 60-180 mm, nilai FAS sebesar 0,5 dan gradasi agregat halus berada dalam daerah gradasi II.



Gambar 5.5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)

Berdasarkan pada Gambar 5.5 didapatkan batas atas proporsi agregat sebesar 47% dan batas bawah sebesar 37,5%. Oleh karena itu persentase agregat halus dapat dihitung sebagai berikut.

Persentase agregat halus $= \frac{47\%+37{,}5\%}{2}$

$= 42{,}25\%$

Persentase agregat kasar = 100% - agregat halus

= 100% - 42,25%

= 57,75%

15. Menentukan berat jenis gabungan

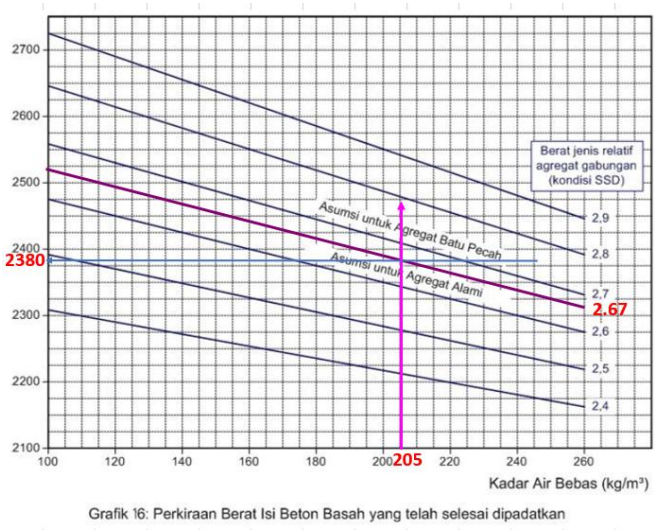
Dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut.

$BJ_{gabungan}$ = % ag.halus x $BJ_{ag.halus}$ + % ag.kasar x $BJ_{ag.kasar}$

= 42,25 x 2,732 + 57,75 x 2,618

= 2,666

16. Menentukan berat isi beton pada pengujian kadar air bebas dan berat jenis gabungan menggunakan grafik seperti pada Gambar 5.6 dibawah ini.



Gambar 5.6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

Berdasarkan pada Gambar 5.6 diatas, didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2380 kg/m^3.

17. Menentukan kadar agregat sebagai berikut.

a. Kadar agregat gabungan = Berat isi beton – kadar semen – kadar air
= 2380 – 410 – 205
= 1765 kg/m^3

b. Kadar agregat halus = % agregat halus x kadar agregat gabungan
= 42,25% x 1765
= 745,713 kg/m^3

c. Kadar agregat kasar = kadar agregat – kadar agregat halus
= 1765 – 745,713
= 1019,287 kg/m^3

18. Proposi campuran per 1m^3 beton

Diperoleh dari hasil perencanaan campuran beton proporsi sebagai berikut.

Air = 205 kg
Agregat halus = 745,713 kg
Agregat kasar = 1019,29 kg
Semen = 410 kg

19. Proporsi campuran beton untuk 1 m^3 beton dengan angka penyusutan

    Pada penelitian ini angka penyusutan yang digunakan sebesar 25%, berdasarkan hal tersebut diperoleh proporsi campuran beton setiap 1 m^3 dengan penyusutan 25% sebagai berikut.

    Air = 256,25 kg

    Agregat halus = 932,141 kg

    Agregat kasar = 1274,109 kg

    Semen = 512,5 kg

20. Proporsi campuran per 10 benda Uji

    Pada penelitian ini terdapat 6 variasi campuran beton, sedangkan untuk tiap variasi menggunakan 10 buah silinder.

    a. Volume Silinder (10 buah)

    $V = 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$

    $= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}15^2 \times 0{,}3$

    $= 10 \times 0{,}0053$

    $= 0{,}053\ m^3$

    b. Air $= V_{kebutuhan} \times V_{kebutuhan\ air}$

    $= 0{,}053 \times 256{,}25$

    $= 13{,}58$ kg

    c. Agregat halus $= V_{kebutuhan} \times V_{kebutuhan\ ag.halus}$

    $= 0{,}053 \times 932{,}14$

    $= 49{,}41$ kg

    d. Agregat kasar $= V_{kebutuhan} \times V_{kebutuhan\ ag.kasar}$

    $= 0{,}053 \times 1274{,}109$

    $= 67{,}55$ kg

    e. Semen $= V_{kebutuhan} \times V_{kebutuhan\ semen}$

    $= 0{,}053 \times 512{,}5$

    $= 27{,}17$ kg

    Adapun rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton Metode SNI 03-2834-200			
No.	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
1	Kuat tekan beton yang digunakan	25	MPa
2	Standar deviasi		MPa
3	Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	*Slump*	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m^3
12	Kadar semen	410	kg/m^3
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m^3
14	Kadar semen minimum	275	kg/m^3
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m^3
16	FAS disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,732	Gram
	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,618	Gram
19	Persen agregat halus	42,25	%
20	Persen agregat kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,67	
22	Berat isi beton	2380	kg/m^3
23	Kadar agregat gabungan	1765	kg/m^3
24	Kadar agregat halus	745,713	kg/m^3
25	Kadar agregat kasar	1019,29	kg/m^3
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,5	kg/m^3
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	931,12	kg/m^3
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1274,11	kg/m^3
29	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m^3

21. Perhitungan kebutuhan substitusi *fly ash* dan abu batu

Penelitian ini bertujuan untuk menguji penggunaan *fly ash* dan pasir abu batu yang ditambahkan kedalam campuran beton dengan proporsi tertent, dihitung berdasarkan berat total semen dan berat total agregat halus. Berikut contoh perhitungan proporsi campuran beton dengan substitusi *fly ash* dan abu batu per 10 benda uji.

a. Perhitungan substitusi *fly ash* 10% (konstan) pada tiap beton variasi

Fly Ash = Total Semen x 10% (variasi *fly ash*)
= 27,17 x 0,10
= 2,72 kg

Kebutuhan semen yang digunakan pada proporsi campuran

Semen = 27,17 – 2,72
= 24,45 kg

b. Perhitungan substitusi abu batu pada tiap variasi

Abu Batu = Total Agregat Halus x 20% (variasi abu batu)
= 49,41 x 0,20
= 9,88 kg

Kebutuhan agregat halus yang digunakan pada proporsi campuran

Agregat Halus = 49,41 – 9,88
= 39,53 kg

Berat total semen dan agregat halus yang digunakan dalam setiap 10 buah sampel beton dapat dilihat pada Tabel 5.22 dibawah ini.

Tabel 5.22 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Substitusi *Fly Ash* dan Abu Batu

Kode Beton	Kadar *Fly Ash*		Kadar Abu Batu		Air (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
	%	kg	%	kg				
BN	0	0	0	0	13,58	27,17	49,42	67,55
BV1	10	2,72	0	0	13,58	24,45	49,42	67,55
BV2	10	2,72	20	9,88	13,58	24,45	39,53	67,55

Lanjutan Tabel 5.22 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Substitusi Fly Ash dan Abu Batu

Kode Beton	Kadar *Fly Ash*		Kadar Abu Batu		Air	Semen	Pasir	Kerikil
	%	kg	%	kg	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
BV3	10	2,72	25	12,35	13,58	24,45	37,06	67,55
BV4	10	2,72	30	14,83	13,58	24,45	34,59	67,55
BV5	10	2,72	35	17,30	13,58	24,45	32,12	67,55

Pada penelitian ini menggunakan 6 variasi campuran beton, masing-masing variasi menggunakan campuran *fly ash* 10% konstan dan abu batu yang berbeda. Sehingga penelitian ini dilakukan sebanyak 6 kali proses *mixing*, dan setiap *mixing* membutuhkan 10 buah silinder.

5.4 Hasil Uji Coba Benda Uji

Percobaan paa benda uji dilakukan untuk mengetahui ketepatan perencanaan campuran beton yang telah dibuat. Untuk pengujian, sampel yang dibuat terdiri dari tiga buah silinder dan diuji pada umur beton tiga hari. Hasil uji kuat tekan kemudian dikonversi ke umur 28 hari. Adapun rekapitulasi hasil dari pengujian kuat tekan yang dapat dilihat pada Tabel 5.23 dibawah ini.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Uji Coba Beton Normal Umur 3 Hari

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Umur	Beban Maksimum	Konversi 28 Hari		Kuat Tekan Rerata
		Tinggi	Diameter					
		cm	cm	hari	kN	kN	MPa	MPa
1	BT-1	30,22	15,05	3	246,74	353,466	34,675	36,992
2	BT-2	30,05	15,20	3	270,32	379,640	37,243	
3	BT-3	30,05	15,40	3	291,01	398,151	39,059	

Adapun contoh perhitungan untuk hasil *trial mix* beton pada umur 3 hari yang dikonversi ke umur 28 hari untuk beton trial 1 (BT-1) sebagai berikut.

F'c (konversi umur) = $\frac{P}{A}\ x\ 1/0{,}4$

$= \frac{(246{,}74\ x\ 1000)}{(0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15{,}05^2)}\ x\ 1/0{,}4$

= 34,675 MPa

Keterangan :

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

F'c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

Nilai 1 = Angka konversi beton umur 28 hari

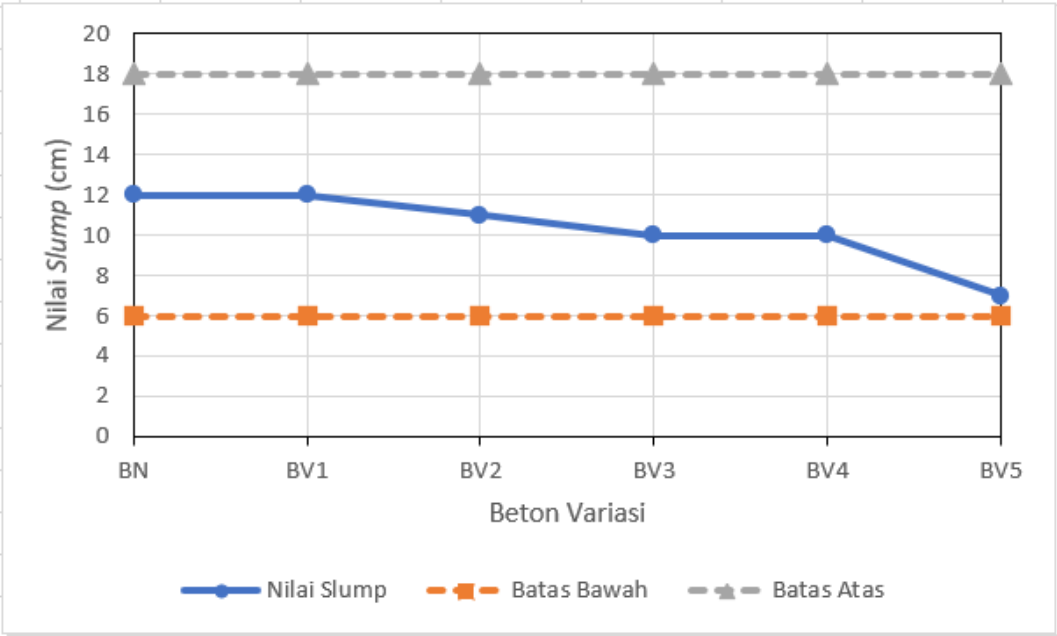
Nilai 0,4 = Angka konversi beton umur 3 hari

5.5 Pengujian *Slump*

Nilai *slump* diperoleh untuk mengetahui besar kecilnya tingkat *workability* dari sebuah beton segar, kemudian semakin tinggi nilai *slump* maka campuran beton segar akan lebih mudah untuk dikerjakan. Akan tetapi nilai *slump* yang direncanakan adalah 60-180 mm. Berikut rekapitulasi hasil pengujian *slump* yang dapat dilihat pada Tabel 5.24 dibawah ini.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slump*

Benda Uji	**Tinggi *Slump***	**Ketentuan Syarat *Slump***
	mm	**(60-180) mm**
BN	120	Memenuhi
BV1	120	Memenuhi
BV2	110	Memenuhi
BV3	100	Memenuhi
BV4	100	Memenuhi
BV5	70	Memenuhi



Gambar 5.7 Grafik Antara Nilai *Slump* dengan Variasi Beton

Berdasarkan Tabel 5.24 halaman sebelumnya dan Gambar 5.7 diatas, hasil uji *slump* yang diperoleh dari masing-masing variasi telah memenuhi target yaitu 60-180 mm. Adapun contoh pengujian *slump* yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dibawah ini.



Gambar 5.8 Pengujian Slump

5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat umur beton berumur 28 hari direndam, dengan jumlah benda uji sebanyak 30 buah silinder dan setiap variasi benda uji sebanyak 5 buah. Pengujian dilakukan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM). Sebelum dilakukan pengujian untuk kuat tekan, beton dikeringkan terlebih dahulu 1 hari dalam suhu ruang, lalu kemudian dilakukan proses *capping* pada permukaan beton. *Capping* merupakan suatu proses pelapisan pada permukaan beton dengan menggunakan belerang, tujuan dilakukan proses *capping* ini ialah agar permukaan beton yang sebelumnya tidak rata menjadi rata, agar beban dapat terdistribusi secara merata saat proses pengujian kuat tekan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM).

5.6.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM) hingga benda uji tersebut hancur dan menerima beban maksimum. Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton normal (BN) yang dapat dilihat dibawah ini.

$$F'c = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{485{,}53\ x\ 10^3}{17600{,}844}$$

$$= 27{,}59 \text{ MPa}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada benda uji lainnya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan Gambar 5.9 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BN	1	149,7	302,5	0	0	17600,844	485,53	27,59	27,74
	2	149,1	301,7			17460,037	437,27	25,04	
	3	149,4	303,1			17530,370	517,56	29,52	
	4	149,6	300,2			17577,337	479,71	27,29	
	5	149,2	305,7			17483,466	511,41	29,25	
BV1	1	151,2	300,4	10	0	17955,333	558,3	31,09	29,59
	2	151,7	298,7			18074,282	593,41	32,83	
	3	151	304,2			17907,864	632,5	35,32	
	4	150,3	303,1			17742,215	581,86	32,80	
	5	149,3	303,7			17506,910	278,56	15,91	

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BV2	1	149,8	302,4	10	20	17624,366	496,94	28,20	35,01
	2	151,2	302,7			17955,333	660,16	36,77	
	3	149,7	304,9			17600,844	689,11	39,15	
	4	150,8	303,8			17860,457	625,38	35,01	
	5	151,6	300,2			18050,460	648,57	35,93	
BV3	1	150	306,1	10	25	17671,459	563,98	31,91	35,97
	2	150,6	303			17813,113	658,7	36,98	
	3	149,9	303,6			17647,905	657,36	37,25	
	4	151	303,8			17907,864	703,23	39,27	
	5	150,7	300,9			17836,777	614,14	34,43	

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

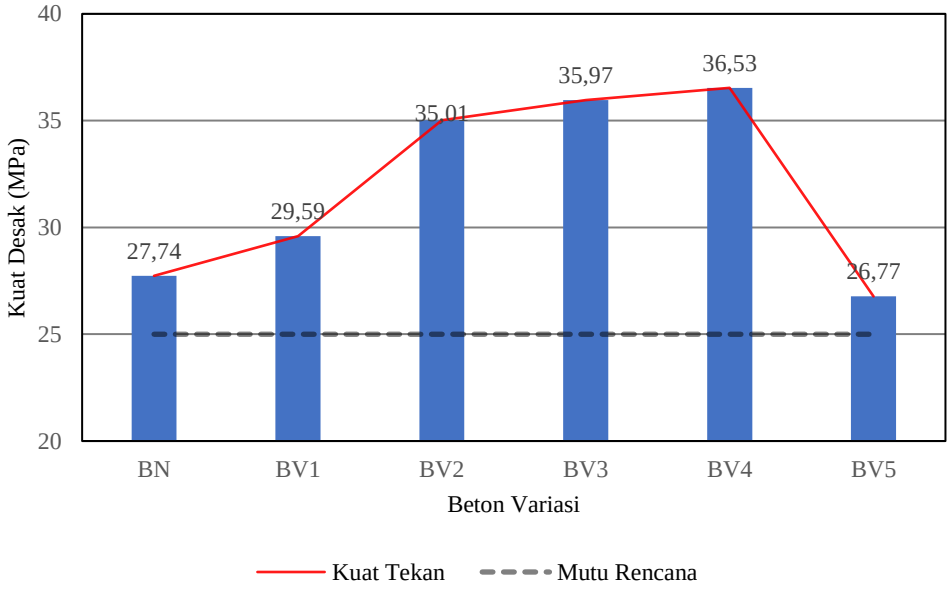
Lanjutan Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BV4	1	149,6	303,4	10	30	17577,337	608,01	34,59	36,53
	2	151,2	300,8			17955,333	723,27	40,28	
	3	149,7	300,6			17600,844	533,09	30,29	
	4	150,3	301			17742,215	701,14	39,52	
	5	150,5	304			17789,465	675,94	38,00	
BV5	1	150	304,4	10	35	17671,459	599,35	33,92	26,77
	2	150,1	304,1			17695,028	385,99	21,81	
	3	150	300			17671,459	428,36	24,24	
	4	150,9	301,8			17884,152	415,68	23,24	
	5	149,8	302,3			17624,366	540,24	30,65	

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dan Tiap Variasi

5.6.2 Pembahasan

Berdasarkan pada Tabel 5.25 dan Gambar 5.9, dapat dilihat bahwa kuat tekan beton mengalami variasi seiring dengan perbedaan komposisi campuran *fly ash* dan abu batu. Beton Normal (BN) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 27,74 MPa, sedangkan Beton Variasi 1 (BV1) sampai dengan Beton Variasi 5 (BV5) berturut-turut sebesar 29,59 MPa; 35,01 MPa; 35,97 MPa; 36,53 MPa; dan 26,77 MPa. Adapun nilai yang didapatkan di salah satu sampel baik pada BV1 dan BV2 yang cukup jauh nilainya dari sampel yang lain. Namun, sudah dilakukan pengecekan *outlier* melalui metode *Z-score* dan *Interquartie Range* (IQR), hasil yang didapatkan tidak ada terjadinya *outlier* pada data-data tersebut. Sehingga dipustukan untuk tetap menggunakan data tersebut dalam hasil pengujian yang dilakukan.

Beton Variasi 1 (BV1) dengan campuran *fly ash* 10% dan abu batu 0%, kuat tekan rata-rata didapatkan sebesar 29,59 MPa meningkat 6,26% dari beton normal. Hal ini sejalan dengan penelitian dimana dinyatakan persentase optimal *fly ash* sebagai material substitusi terhadap semen berada di angka 10%, dengan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 30,77 MPa, meningkat 8,57% dari beton normal. Hasil tersebut terjadi karena *fly ash* memberikan reaksi *pozzolanic* yang terus

berlangsung, sehingga meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton dalam jangka panjang (Adibroto, 2018).

Peningkatan kuat tekan semakin signifikan terlihat pada Beton Variasi 2 (BV2) didapatkan hasil sebesar 35,01 MPa, Beton Variasi 3 (BV3) sebesar 35,97 MPa, dan Beton Variasi 4 (BV4) sebesar 36,53 MPa. Nilai optimum dicapai pada Beton Variasi 4 (BV4) dengan campuran *fly ash* 10% dan abu batu 30%, yang meningkat 24,08% dari beton normal. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa persentase optimal abu batu (*stone crusher*) sebagai material substitusi terhadap agregat halus berada di angka 30%, dengan kuat tekan rata-rata sebesar 28,86 MPa pada umur 7 hari, meningkat 8,56% dari beton normal (Febrio, 2020). Abu batu memiliki tekstur yang lebih tajam dan permukaan yang relatif kasar dibandingkan pasir biasa yang lebih halus dan bulat. Struktur yang tajam dan kasar ini yang menghasilkan ikatan mekanik (*mechanical interlock*) yang lebih baik antara pasta semen dan agregat yang menyebabkan berkurangnya celah antarmuka atau *interfacial transition zone* sehingga dapat mengisi ruang bebas (*voids*) diantara agregat dan pasta dengan lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi *fly ash* dan abu batu pada proporsi tertentu mampu meningkatkan kekuatan tekan melebihi beton normal maupun mutu rencana, karena agregat abu batu yang ada pada campuran beton bereaksi dengan semen dan *fly ash* sebagai bahan ikat yang dapat mengisi rongga-rongga yang ada.

Namun, pada Beton Variasi 5 (BV5) dengan campuran *fly ash* 10% dan abu batu 35%, kuat tekan menurun drastis menjadi 26,77 MPa, lebih rendah dari Beton Normal (BN) tetapi masih masuk mutu rencana. Penurunan terjadi akibat berkurangnya pasta semen efektif yang mengikat agregat, sehingga ikatan antar partikel melemah. Hal ini disebabkan oleh nilai penyerapan air pada abu batu yang lebih besar daripada pasir yaitu sebesar 4,384%. Kadar air yang berkurang dalam beton dapat mengakibatkan menurunnya nilai FAS rencana pada *mix design*, hal tersebut akan memengaruhi hasil pemadatan beton dikarenakan proses pengikatan dan berlangsungnya pengerasan kurang maksimal (Pradhipta, 2022).

Secara keseluruhan, penggunaan *fly ash* 10% dan abu batu hingga 30% sebagai material substitusi semen dan pasir memberikan hasil optimal terhadap kuat

tekan beton normal. Peningkatan kuat tekan pada BV2–BV4 menunjukkan bahwa variasi campuran tersebut tidak hanya melampaui beton normal, tetapi juga melebihi standar mutu rencana yang ditunjukkan pada grafik. Akan tetapi, apabila komposisi abu batu ditingkatkan lebih dari 30%, seperti pada BV5, maka kualitas beton mengalami penurunan yang cukup signifikan.

5.7 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat Tarik belah sama halnnya seperti uji tekan beton, dilakukan pada saat umur beton berumur 28 hari direndam, dengan jumlah benda uji sebanyak 30 buah silinder dan setiap variasi benda uji sebanyak 5 buah. Pengujian dilakukan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM), dengan benda uji dalam posisi berbaring. Tidak ada proses *capping* pada pengujian ini, karena titik pengujian yang dilakukan pada *Compression Test Machine* (CTM) tidak terletak pada permukaan beton seperti pada pengujian kuat tekan beton.

5.7.1 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Pengujian ini dilakukan menggunakan *Compression Test Machine* (CTM) hingga benda uji tersebut hancur dan menerima beban maksimum. Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton normal (BN) yang dapat dilihat dibawah ini.

$$F'ct = \frac{2P}{\pi DL}$$

$$= \frac{2\ x\ 198}{\pi\ x\ 150{,}45\ x\ 304}\ x\ 10^3$$

$$= 2{,}76 \text{ MPa}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada benda uji lainnya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Gambar 5.10 dihalaman selanjutnya.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BN	1	150,45	304	0	0	198	2,76	2,63
	2	150,5	299,1			204	2,89	
	3	158,4	306			187	2,46	
	4	151,2	304,3			189	2,62	
	5	156	307			182	2,42	
BV1	1	150,6	306,8	10	0	191	2,63	2,67
	2	150,6	301,4			183	2,57	
	3	150,1	302,9			205	2,87	
	4	150,5	305,5			184	2,55	
	5	150,8	306,5			198	2,73	

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BV2	1	150,5	300,4	10	20	197	2,77	2,76
	2	150,5	300,6			193	2,72	
	3	151,2	303,2			199	2,76	
	4	150,4	302,9			191	2,67	
	5	150,8	303,1			206	2,87	
BV3	1	150,7	302,1	10	25	211	2,95	2,82
	2	151	303			198	2,76	
	3	151,2	303			196	2,72	
	4	149,7	301,8			205	2,89	
	5	151,9	306,6			202	2,76	

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

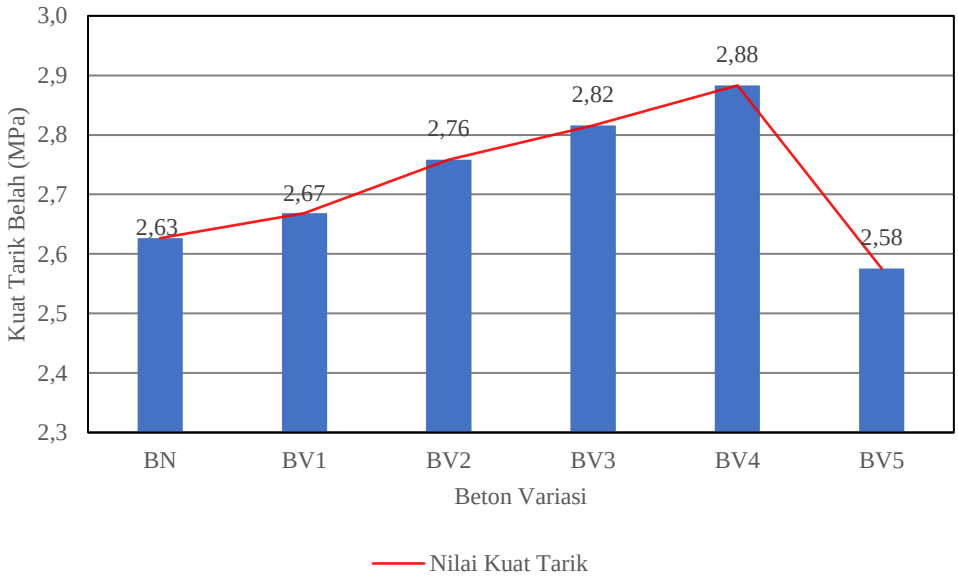
Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BV4	1	150,8	305,1	10	30	195	2,70	2,88
	2	150,5	303			201	2,81	
	3	150,2	302,9			200	2,80	
	4	150,4	302,6			221	3,09	
	5	151,1	302,6			217	3,02	
BV5	1	150,5	302,6	10	35	181	2,53	2,58
	2	150,2	302,5			192	2,69	
	3	151,7	304,1			188	2,59	
	4	151,8	304,6			184	2,53	
	5	151,9	306,6			185	2,53	

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Antara Kuat Tarik Belah Beton dengan Tiap Variasi

5.7.2 Pembahasan

Berdasarkan grafik yang ada pada Gambar 5.10, ditunjukkan bahwa kuat tarik belah beton mengalami peningkatan dari Beton Normal (BN) hingga Beton Variasi 4 (BV4), lalu menurun pada Beton Variasi 5 (BV5). Beton normal memiliki kuat tarik belah 2,63 MPa, sedangkan Beton Variasi 4 (BV4) dengan campuran *fly ash* 10% dan abu batu 30% mencapai nilai tertinggi yaitu 2,88 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* 10% dan abu batu hingga 30% sebagai material substitusi semen dan pasir memberikan hasil optimal. Namun, pada Beton Variasi 5 (BV5) campuran *fly ash* 10% dan abu batu 35%, kuat tarik belah menurun menjadi 2,58 MPa akibat proporsi abu batu yang berlebihan.

Nilai kuat tarik belah beton ini cenderung mengikuti hasil nilai kuat tekan pada beton. Penurunan pada BV5 disebabkan karena proporsi abu batu yang berlebih membuat kadar air pada beton berkurang, sehingga pasta semen efektif yang mengikat agregat pun berkurang. Hal ini yang menyebabkan tidak terikatnya agregat kasar yang ada di campuran beton variasi tersebut dengan baik pada pasta semen, letak agregat kasar yang tidak merata karena tidak terikat dengan baik inilah

yang menyebabkan pemadatan kurang maksimal pada saat prosen pemadatan beton sehingga mudah terlepas pada saat menerima beban tarik (Romadhon, 2023).

5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Perhitungan modulus elastisitas beton dilakukan berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan teoritis. Pengujian ini melibatkan penekanan silinder beton hingga terjadi deformasi. Pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan metode yang sama seperti pengujian kuat tekan, yaitu dengan menekan silinder beton menggunakan *Compression Test MachineI* (CTM) hingga mencapai beban maksimum. Pada silinder beton dipasang alat kompressiometer yang terhubung dengan *dial gauge* digital untuk mengukur penurunan beton saat beban bertambah hingga mencapai beban maksimum. Setiap kenaikan beban 10 kN pembacaan dial akan dilakukan.

5.8.1 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus akan memperoleh data tegangan dan regangan aksial yang diakibatkan dari pembebanan. Adapun contoh perhitungan nilai regangan dan tegangan saat beban beton mencapai 10 kN pada beton normal sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai Deformasi (ΔL)

$$\Delta L = \frac{\Delta L'}{2} x\ 10^{-3}$$
$$= \frac{2}{2} x\ 10^{-3}$$
$$= 0{,}001 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo}$$
$$= \frac{0{,}001}{200}$$
$$= 0{,}0005\%$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{10000}{17600{,}844}$$
$$= 0{,}57 \text{ MPa}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada benda uji lainnya. Adapun contoh rekapitulasi perhitungan regangan-tegangan beton normal yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut ini.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan - Regangan BN-01

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	**(mm)**	**(mm)**	**(ε)**	**(σ)**
10	2	0,001	0,001%	0,57
20	11	0,0055	0,003%	1,14
30	20	0,01	0,005%	1,70
40	29	0,0145	0,007%	2,27
50	38	0,019	0,010%	2,84
60	48	0,024	0,012%	3,41
70	56	0,028	0,014%	3,98
80	63	0,0315	0,016%	4,55
90	71	0,0355	0,018%	5,11
100	80	0,04	0,020%	5,68
110	89	0,0445	0,022%	6,25
120	98	0,049	0,025%	6,82
130	105	0,0525	0,026%	7,39
140	113	0,0565	0,028%	7,95
150	123	0,0615	0,031%	8,52
160	130	0,065	0,033%	9,09
170	140	0,07	0,035%	9,66
180	151	0,0755	0,038%	10,23
190	161	0,0805	0,040%	10,79
200	170	0,085	0,043%	11,36
210	181	0,0905	0,045%	11,93
220	192	0,096	0,048%	12,50
230	201	0,1005	0,050%	13,07

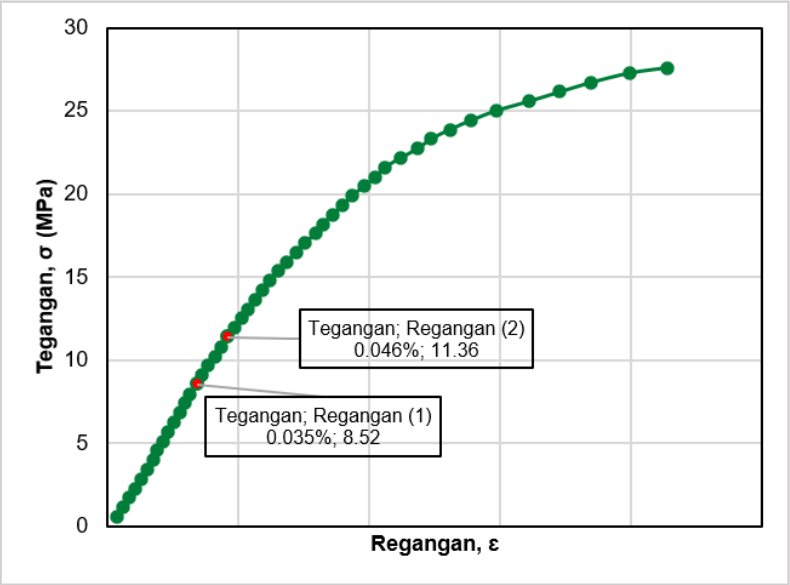
Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan – Reganga BN-01

Beban	Ekstensiometer x 10^{-3}	Deformasi	Regangan	Tegangan
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
240	212	0,106	0,053%	13,64
250	223	0,1115	0,056%	14,20
260	235	0,1175	0,059%	14,77
270	248	0,124	0,062%	15,34
280	260	0,13	0,065%	15,91
290	275	0,1375	0,069%	16,48
300	288	0,144	0,072%	17,04
310	304	0,152	0,076%	17,61
320	315	0,1575	0,079%	18,18
330	330	0,165	0,083%	18,75
340	345	0,1725	0,086%	19,32
350	360	0,18	0,090%	19,89
360	378	0,189	0,095%	20,45
370	396	0,198	0,099%	21,02
380	410	0,205	0,103%	21,59
390	434	0,217	0,109%	22,16
400	460	0,23	0,115%	22,73
410	480	0,24	0,120%	23,29
420	509	0,2545	0,127%	23,86
430	542	0,271	0,136%	24,43
440	580	0,29	0,145%	25,00
450	630	0,315	0,158%	25,57
460	677	0,3385	0,169%	26,14
470	725	0,3625	0,181%	26,70
480	784	0,392	0,196%	27,27
485,53	841	0,4205	0,210%	27,58

Berdasarkan Tabel 5.27, didapatkan hasil perhitungan regangan-tegangan beton yang diperoleh dari pembacaan dial selama pengujian modulus elastisitas beton.

Adapun pemilihan pada dua titik beban yaitu 150 kN dan 200 kN yang didasarkan pada perhitungan yang sesuai definisi modulus elastisitas beton menurut ASTM C-469-94 (modulus pengujian). Dapat dilihat titik 200 kN dipilih karena nilainya yang paling mendekati 40% dari beban maksimum (485,5 kN). Sedangkan untuk titik 150 kN karena sebagai titik terdekat dan terjelas untuk menarik garis lurus yang dimulai dari regangan awal 0,00005 dan berakhir di regangan ε_2 (0,043). Ketika diplot, ia merupakan titik paling akurat yang berkorespondensi dengan regangan awal setelah di interpolasi atau dikoreksi melalui *autocad*.

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan juga grafik hubungan antara regangan dan tegangan seperti pada Gambar 5.11 yang dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 5.11 Kurva Tegangan - Regangan BN-01

Berdasarkan data dan grafik yang ditampilkan pada Tabel 5.27 dan Gambar 5.11 diatas, dilakukan perhitungan modulus elastisitas dengan metode ASTM C469-94 sebagai berikut.

$$E_{uji} = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0{,}0005}$$

E = Modulus Elastisitas Beton

ε_2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum

S_2 = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,00005 MPa

Angka 0,00005 digunakan sebagai titik referensi awal dalam perhitungan modulus elastisitas beton menurut ASTM C469-94 (modulus pengujian). Nilai standar tersebut sering digunakan karena pada regangan ini, beton umumnya masih menunjukkan perilaku linier. Nilai tidak harus selalu 0,00005 MPa, nilai ini bisa lebih besar atau lebih kecil, selama nilai tersebut berada dalam rentang linier elastis dari beton, maka nilai tersebut dapat digunakan. Beton umumnya menunjukka perilaku linier elastis pada regangan rendah.

$S_1 = \frac{P}{A}$

$= \frac{150000}{17600,844}$

= 8,52 MPa

$S_2 = \frac{P}{A}$

$= \frac{200000}{17600,844}$

= 11,36 MPa

$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,062}{200}$

= 0,031

$\varepsilon_2 = \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,085}{200}$

= 0,0425

$E_{uji} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$

$= \frac{11,36 - 8,52}{0,0425 - 0,031}$

= 24702,37 MPa

Perhitungan modulus elastisitas menggunakan metode SNI 2847-2019 (modulus teoritis) dapat dilihat dibawah ini.

$E_{teoritis}$ = 4700 x $\sqrt{f'c}$

= 4700 x $\sqrt{27,59}$

= 24685,34 MPa

Berdasarkan data dari Tabel 5.27, maka didapatkan nilai modulus elastisitas untuk Beton Normal (BN) sampel 1 pada umur 28 hari sebesar 24702,37 MPa. Dalam penelitian ini, modulus elastisitas teoritis juga dihitung untuk setiap sampel menggunakan persamaan berdasarkan SNI 2847-2019, yaitu 4700 x $\sqrt{f'c}$. Untuk Beton Normal (BN) sampel 1 pada umur 28 hari, diperoleh nilai modulus elastisitas teoritis sebesar 24685,34 MPa.

Adapun rekapitulasi hasil nilai modulus elastisitas beton untuk semua variasi sampel yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 di halaman selanjutnya

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BN	28	1	27,59	24702,37	24685,34	26156,79	24743,35
		2	25,04	25454,95	23520,69		
		3	29,52	27244,83	25537,75		
		4	27,29	25285,08	24553,35		
		5	29,25	28096,72	25419,60		
BV1	28	1	31,09	26349,74	26208,06	27200,06	25346,86
		2	32,83	30815,17	26930,52		
		3	35,32	31101,53	27932,27		
		4	32,80	28693,76	26915,55		
		5	15,91	19040,10	18747,89		

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BV2	28	1	28,20	25217,61	24957,04	31239,16	27769,77
		2	36,77	33416,26	28498,74		
		3	39,15	34720,56	29408,67		
		4	35,01	31184,09	27811,45		
		5	35,93	31657,29	28172,94		
BV3	28	1	31,91	27604,11	26551,77	32155,33	28169,72
		2	36,98	33683,05	28580,63		
		3	37,25	33441,02	28684,87		
		4	39,27	35268,25	29452,67		
		5	34,43	30780,20	27578,67		

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

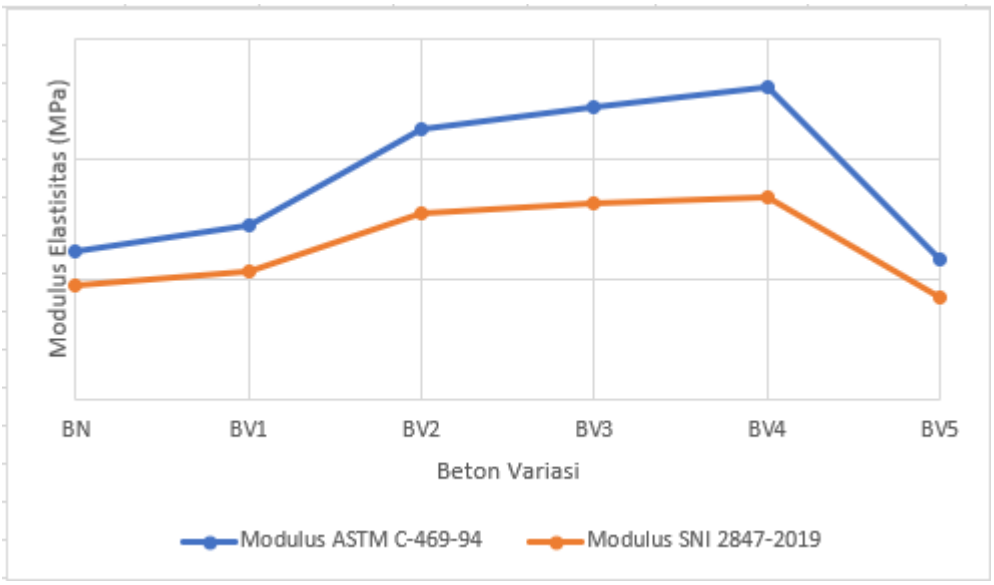
Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BV4	28	1	34,59	30856,37	27642,46	32939,03	28371,15
		2	40,28	36371,43	29829,87		
		3	30,29	26736,69	25866,13		
		4	39,52	35597,52	29545,84		
		5	38,00	35133,15	28971,47		
BV5	28	1	33,92	29342,15	27371,71	25845,30	24228,78
		2	21,81	22988,36	21951,30		
		3	24,24	25150,41	23140,15		
		4	23,24	24311,05	22659,13		
		5	30,65	27434,55	26021,63		

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Nilai Modulus Elastisitas Beton dengan Tiap Variasi

5.8.2 Pembahasan

Berdasarkan Gambar 5.12 terlihat bahwa nilai modulus elastisitas beton bervariasi pada setiap campuran beton. Beton normal (BN) memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan beberapa variasi beton dengan substitusi *fly ash* dan abu batu. Peningkatan modulus elastisitas mulai terlihat signifikan pada Beton Variasi 2 (BV2) campuran *fly ash* 10% dan abu batu 20%, dan mencapai nilai tertinggi pada Beton Variasi 4 (BV4) campuran *fly ash* 10% dan abu batu 30%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *fly ash* 10% sebagai substitusi sebagian semen, serta abu batu dari 20% hingga 30% sebagai substitusi agregat halus mampu membuat beton semakin padat sehingga menambah nilai modulus elastisitas beton.

Namun, pada Beton Variasi 5 (BV5) campuran *fly ash* 10% dan abu batu 35%, nilai modulus elastisitas menurun cukup signifikan baik pada hasil metode ASTM C-469-94 (modulus pengujian) maupun metode SNI 2847-2019 (modulus teoritis). Penurunan nilai modulus disebabkan beton kekurangan air akibat luas permukaan yang meningkat seiring penambahan abu batu, serta abu batu itu sendiri yang memiliki daya serap tinggi terhadap air.

Hasil ini berbanding lurus dengan kuat tekan beton dimana dari Beton Normal (BN) hingga Beton Variasi 4 (BV4) mengalami peningkatan lalu mengalami

penurunan pada Beton Variasi 5 (BV5). Hal ini dikarenakan nilai modulus elastisitas akan meningkat seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton (Leonova, 2021).

Jika dibandingkan antara hasil pengujian dan hasil teoritis, terlihat bahwa pola kedua kurva relatif sama, dengan hasil modulus metode ASTM C-469-94 (modulus pengujian) cenderung menghasilkan nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi dengan selisih rata-rata 9% dibandingkan hasil modulus metode SNI 2847-2019. Perbedaan ini terjadi karena nilai modulus SNI 2847-2019 (modulus teoritis) menggunakan metode pendekatan empiris dari nilai kuat tekan dan berat isi beton, sangat berbeda dengan nilai modulus ASTM C-469-94 yang diperoleh dari kondisi actual yang terjadi pada saat pengujian kuat tekan beton berdasarkan kurva tegangan-regangan (Pradhipta, 2022).

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Substitusi parsial semen dengan *fly ash* sebesar 10% konstan dan agregat halus dengan abu batu pada rentang 20-30% dapat berpengaruh terhadap sifat mekanis beton. Peningkatan terjadi pada kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dibandingkan beton normal. Hal ini disebabkan oleh kombinasi efek pozzolan *fly ash* yang bereaksi dengan hasil hidrasi semen serta abu batu sebagai material substitusi agregat halus, sehingga dapat menghasilkan beton yang lebih rapat dan kuat.
2. Persentase variasi optimal diperoleh pada BV4 (*fly ash* 10% dan abu batu 30%), dengan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 36,53 MPa, kuat tarik belah rata-rata sebesar 2,88 MPa, dan nilai modulus elastisitas tertinggi berdasarkan metode ASTM C469-94. Peningkatan mutu beton hingga BV4 terjadi karena proporsi *fly ash* 10% dan abu batu 30% mampu memberikan keseimbangan antara gradasi partikel dan kadar air, sehingga ikatan antar partikel semakin kuat dan beton menjadi lebih padat. Namun, pada BV5 dengan proporsi *fly ash* 10% dan abu batu 35% mutu beton menurun karena daya serap air abu batu yang tinggi menyebabkan kurangnya kadar air efektif pada campuran beton.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang peneliti dapat sampaikan, agar penelitian kedepannya bisa dilakukan dengan lebih baik sebagaimana yang dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

1. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terkait substitusi abu batu terhadap pasir dengan persentase kadar abu batu disekitar angka 30% dengan interval 2,5%. Guna mengetahui variasi optimal dengan campuran *fly ash* 10% konstan terhadap semen dan abu batu terhadap pasir dengan kadar yang lebih spesifik.
2. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut substitusi *fly ash* terhadap semen dan abu batu terhadap pasir terkait sifat mekanis beton lainnya, seperti pengujian absorpsi beton, dan pengujian uji lentur dengan menggunakan sampel balok.

DAFTAR PUSTAKA

Adibroto, F., Suhelmidawati, E., & Zade, A. A. M. (2018). Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, *15*(1), 11–16. https://doi.org/10.30630/jirs.15.1.85

Alif, A. (2019). Pengaruh Abu Batu Sebagai Subtitusi Agregat Halus dan Penambahan Superplasticizer Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi (Abu Batu Effect As Subtitusion Of Fine Aggregate And Addition Of Superplasticizer Characteristics On High Quality Concrete). *Universitas Islam Indonesia*, 11–25.

American Standard Testing and Material. (1994). *ASTM C-469-1994 Modulus of Elasticity* (pp. 1–4).

ASTM C 29. (2003). ASTM C 29/C 29M – 97. Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. *ASTM International*, *97*(Reapproved), 4. http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-29.pdf

Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, *8*, 720.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1989). SNI 04-1989-F. 齐鲁学刊, *06*, 49–54.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1990a). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1990b). Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Bandung: Badan Standardisasnisi Indonesia*, 1–17.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1996). *Standar Nasional Indonesia (SNI 03-4142-1996) Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregate yang Lolos Saringan nomor 200 (0,0075 mm)*. *200*, 1–4.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. *Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*, 1–6.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Sni*, *3*, 2834.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). *Cara Uji Slump BetonSNI-1972. (2008). Cara Uji Slump Beton.*

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011a). *Badan Standarisasi Nasional Cara Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*.

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011b). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 23. www.bsn.go.id

Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 1969:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20. https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-1969-2016-metode-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar/KB19B

Bps.go.id. (2024). *Pada Desember 2024, perubahan Indeks Harga Perdagangan Besar (IHPB) Umum Nasional tahun ke tahun sebesar 1,98 persen*. Bps.Go.Id. https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2025/01/02/2396/pada-desember-2024--perubahan-indeks-harga-perdagangan-besar--ihpb--umum-nasional-tahun-ke-tahun-sebesar-1-98-persen-.html

Febrio, S., Fajra, M., & Al-Azhar. (2020). Journal of Applied Engineering Scienties. *Journal of Applied Engineering Scienties*, *3*(1), 1–6.

Klinik Konstruksi. (2018). *DAFTAR HARGA BARANG BANGUNAN KULON PROGO*. Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta. https://klinikkonstruksi.jogjaprov.go.id/file/harga/KP %28Wates%29 Oktober 2018.pdf?

Leonova, L., Elvira, -, & Priadi, E. (2021). Hubungan Antara Kuat Tekan Dengan Modulus Elastisitas Terhadap Usia Beton Untuk Berbagai Variasi Kadar

Superplasticizer. *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, *21*(1), 1–6. https://doi.org/10.26418/jtsft.v21i1.50661

Neville, A. . (2011). Properties of Concrete-5th Edition. In *Concrete Mix Design, Quality Control and Specification*. Trans-Atlantic Publications, Inc.

Pradhipta, R. (2022). Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Batu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Karakteristik Beton Pada Mutu 30 MPa. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, *2*(1), 10–10.

Romadhon, M. I. (2023). Analisis Beton Self Compacted Menggunakan Semen Pcc. *Jurnal Teknik Sipil-Arsitektur*, *22*(1), 103–112. https://doi.org/10.54564/jtsa.v22i1.143

Setiawati, M. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018* , 1–8.

Tjokrodimuljo, K. (2007). Teknologi Beton. *Universitas Gadjah Mada*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	965	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	648	gram
Berat Jenis Curah	2.650	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2.732	gram
Berat Jenis semu	2.887	gram
Penyerapan Air	3.093	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
4,80	91	4.55	4.55	95.45
2,40	155	7.75	12.30	87.70
1,20	286	14.30	26.60	73.40
0,60	669	33.45	60.05	39.95
0,30	575	28.75	88.80	11.20
0,15	197	9.85	98.65	1.35
Sisa	27	1.350	100.000	0
Jumlah	2000	100	290.950	-

MHB $= \frac{290{,}950}{100}$

= 2,910 (memenuhi syarat, yaitu 1,5 – 3,8)

GRADASI AGREGAT HALUS

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

Sumber : SNI-03-2834-2000

Keterangan :

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

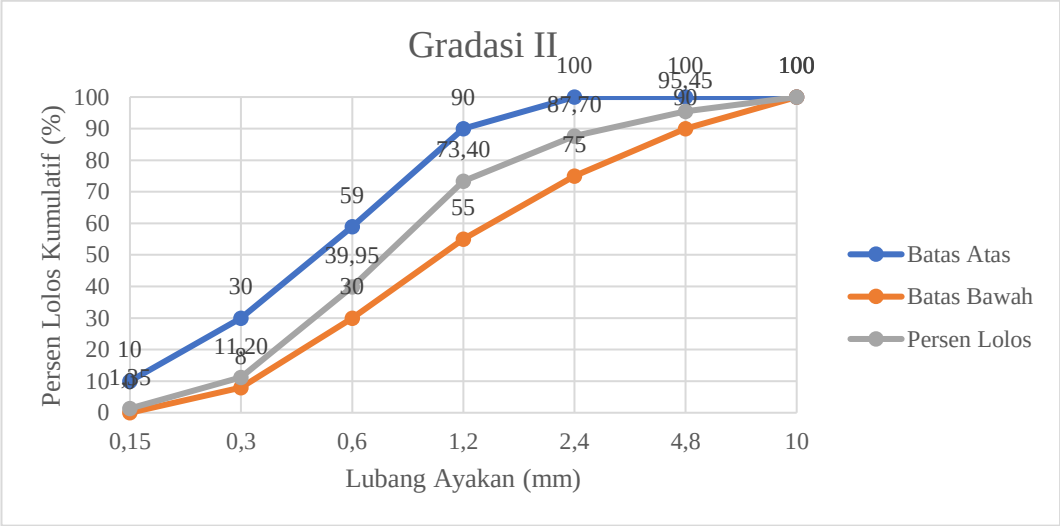
Daerah IV : Pasir halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir masuk daerah : Daerah II

Jenis pasir : Pasir agak kasar

Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10982	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	19605	gram
Berat Agregat, (W3)	8623	gram
Diameter Tabung, (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,583	$gram/cm^3$

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Tabung, (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	20120	gram
Berat Agregat, (W3)	9333	gram
Diameter Tabung, (d)	15,01	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,38	cm
Volume Tabung, (V)	5376	cm^3
Berat Volume Padat	1,736	$gram/cm^3$

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200 / UJI KADAR LUMPUR DALAM PASIR

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven, (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, (W2)	481	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3,80	%

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR ABU BATU

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil**	**Satuan**
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	479	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	958	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	647	gram
Berat Jenis Curah	2.534	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2.646	gram
Berat Jenis semu	2.851	gram
Penyerapan Air	4.384	%

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS SARINGAN ABU BATU

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	(gram)	(%)	(%)	(%)
4,80	0	0.00	0.00	100.00
2,40	178	8.90	8.90	91.10
1,20	312	15.60	24.50	75.50
0,60	691	34.55	59.05	40.95
0,30	589	29.45	88.50	11.50
0,15	156	7.80	96.30	3.70
Sisa	74	3.7	100.000	0
Jumlah	2000	100	277.250	-

MHB $= \frac{277{,}566}{100}$

= 2,773 (memenuhi syarat, yaitu 1,5 – 3,8)

GRADASI AGREGAT ABU BATU

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

Sumber : SNI-03-2834-2000

Keterangan :

Daerah I : Pasir kasar

Daerah II : Pasir agak kasar

Daerah III : Pasir agak halus

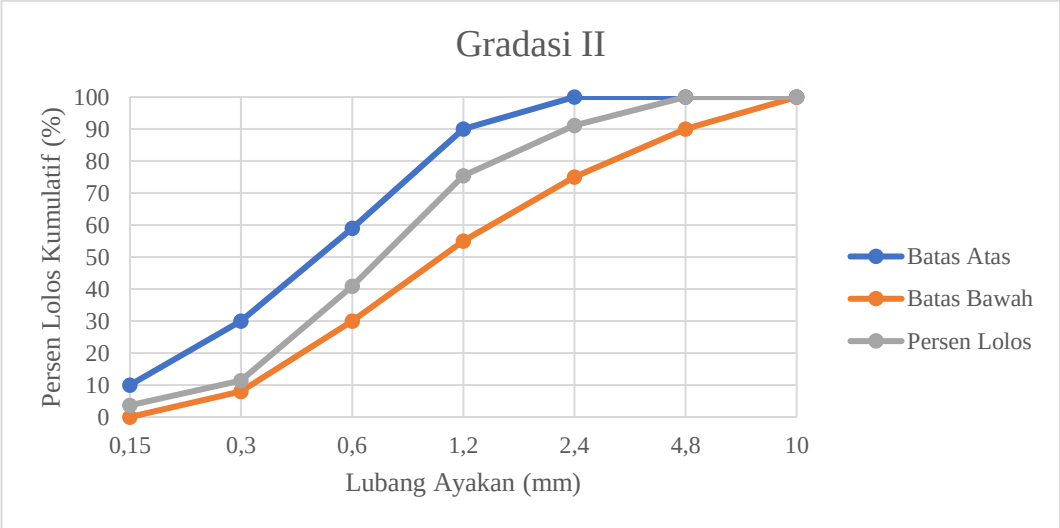
Daerah IV : Pasir halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir masuk daerah : Daerah II

Jenis pasir : Pasir agak kasar

Kurva Gradasi Agregat Abu Batu Daerah II



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR ABU BATU

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Tabung, (W1)	11096	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	18729	gram
Berat Agregat, (W3)	7633	gram
Diameter Tabung, (d)	15.20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30.01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1.402	$gram/cm^3$

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT ABU BATU

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Tabung, (W1)	11096	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	19639	gram
Berat Agregat, (W3)	8543	gram
Diameter Tabung, (d)	15.01	cm
Tinggi Tabung, (t)	30.38	cm
Volume Tabung, (V)	5376	cm^3
Berat Volume Padat	1.589	$gram/cm^3$

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200 / UJI KADAR LUMPUR DALAM ABU BATU

Asal Pasir	*Quartcon Stone Crusher*
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Agregat Kering Oven, (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, (W2)	480	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	4,00	%

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil Kering Mutlak, (Bk)	4820	gram
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka, (Bj)	5000	gram
Berat Piknometer berisi Pasir dan Air, (Ba)	3090	gram
Berat Jenis Curah, Bk/(Bj-Ba)	2,524	gram
Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD), Bj/(Bj-Ba)	2,618	gram
Berat Jenis Semu, Bk/(Bk-Ba)	2,786	gram
Penyerapan Air, (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,73	%

PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal**	**Berat Tertinggal Kumulatif**	**Persen Lolos Kumulatif**
(mm)	**(gram)**	**(%)**	**(%)**	**(%)**
40	0	0,00	0,00	100
20	15	0,30	0,30	99,70
10	3617	72,34	72,64	27,36
4,8	1244	24,88	97,52	2,48
2,4	63	1,26	98,78	1,22
1,2	0	0,00	98,78	1,22
0,6	0	0,00	98,78	1,22
0,3	0	0,00	98,78	1,22
0,15	0	0,00	98,78	1,22
Pan	61	1,22	100,00	0,00
Jumlah	5000,00	100,00	664,36	235,64

MHB $= \frac{664,36}{100}$

$= 6,644$

GRADASI AGREGAT KASAR

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	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	17612	gram
Berat Agregat, (W3)	6928	gram
Diameter Tabung, (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,01	cm
Volume Tabung, (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,272	$gram/cm^3$

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung, (W1)	10684	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku, (W2)	18423	gram
Berat Agregat, (W3)	7739	gram
Diameter Tabung, (d)	15,03	cm
Tinggi Tabung, (t)	30,4	cm
Volume Tabung, (V)	5394	cm^3
Berat Volume Padat	1,435	$gram/cm^3$

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

Formulir Perencanaan Campuran Beton Metode SNI 03-2834-200			
No.	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
1	Kuat tekan beton yang digunakan	25	MPa
2	Standar deviasi		MPa
3	Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	*Slump*	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m^3
12	Kadar semen	410	kg/m^3
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m^3
14	Kadar semen minimum	275	kg/m^3
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m^3
16	FAS disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,732	Gram
	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,618	Gram
19	Persen agregat halus	42,25	%
20	Persen agregat kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,67	
22	Berat isi beton	2380	kg/m^3
23	Kadar agregat gabungan	1765	kg/m^3
24	Kadar agregat halus	745,713	kg/m^3
25	Kadar agregat kasar	1019,29	kg/m^3
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,5	kg/m^3
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	931,12	kg/m^3
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1274,11	kg/m^3
29	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m^3

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BN	1	149,7	302,5	0	0	17600,844	485,53	27,59	27,74
	2	149,1	301,7			17460,037	437,27	25,04	
	3	149,4	303,1			17530,370	517,56	29,52	
	4	149,6	300,2			17577,337	479,71	27,29	
	5	149,2	305,7			17483,466	511,41	29,25	
BV1	1	151,2	300,4	10	0	17955,333	558,3	31,09	29,59
	2	151,7	298,7			18074,282	593,41	32,83	
	3	151	304,2			17907,864	632,5	35,32	
	4	150,3	303,1			17742,215	581,86	32,80	
	5	149,3	303,7			17506,910	278,56	15,91	

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BV2	1	149,8	302,4	10	20	17624,366	496,94	28,20	35,01
	2	151,2	302,7			17955,333	660,16	36,77	
	3	149,7	304,9			17600,844	689,11	39,15	
	4	150,8	303,8			17860,457	625,38	35,01	
	5	151,6	300,2			18050,460	648,57	35,93	
BV3	1	150	306,1	10	25	17671,459	563,98	31,91	35,97
	2	150,6	303			17813,113	658,7	36,98	
	3	149,9	303,6			17647,905	657,36	37,25	
	4	151	303,8			17907,864	703,23	39,27	
	5	150,7	300,9			17836,777	614,14	34,43	

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Luas Penampang	Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu			Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(mm^2)	(kN)	MPa	MPa
BV4	1	149,6	303,4	10	30	17577,337	608,01	34,59	36,53
	2	151,2	300,8			17955,333	723,27	40,28	
	3	149,7	300,6			17600,844	533,09	30,29	
	4	150,3	301			17742,215	701,14	39,52	
	5	150,5	304			17789,465	675,94	38,00	
BV5	1	150	304,4	10	35	17671,459	599,35	33,92	26,77
	2	150,1	304,1			17695,028	385,99	21,81	
	3	150	300			17671,459	428,36	24,24	
	4	150,9	301,8			17884,152	415,68	23,24	
	5	149,8	302,3			17624,366	540,24	30,65	

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BN	1	150,45	304	0	0	198	2,76	2,63
	2	150,5	299,1			204	2,89	
	3	158,4	306			187	2,46	
	4	151,2	304,3			189	2,62	
	5	156	307			182	2,42	
BV1	1	150,6	306,8	10	0	191	2,63	2.67
	2	150,6	301,4			183	2,57	
	3	150,1	302,9			205	2,87	
	4	150,5	305,5			184	2,55	
	5	150,8	306,5			198	2,73	

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BV2	1	150,5	300,4	10	20	197	2,77	2,76
	2	150,5	300,6			193	2,72	
	3	151,2	303,2			199	2,76	
	4	150,4	302,9			191	2,67	
	5	150,8	303,1			206	2,87	
BV3	1	150,7	302,1	10	25	211	2,95	2,82
	2	151	303			198	2,76	
	ik3	151,2	303			196	2,72	
	4	149,7	301,8			205	2,89	
	5	151,9	306,6			202	2,76	

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

Kode Sampel	Nomor Sampel	Diameter	Tinggi	Variasi Campuran		Beban Maksimum	Kuat Desak	
				Fly Ash	Abu Batu		Unit	Rata-rata
		(mm)	(mm)	(%)	(%)	(kN)	MPa	MPa
BV4	1	150,8	305,1	10	30	195	2,70	2,88
	2	150,5	303			201	2,81	
	3	150,2	302,9			200	2,80	
	4	150,4	302,6			221	3,09	
	5	151,1	302,6			217	3,02	
BV5	1	150,5	302,6	10	35	181	2,53	2,58
	2	150,2	302,5			192	2,69	
	3	151,7	304,1			188	2,59	
	4	151,8	304,6			184	2,53	
	5	151,9	306,6			185	2,53	

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas BN Sampel 1

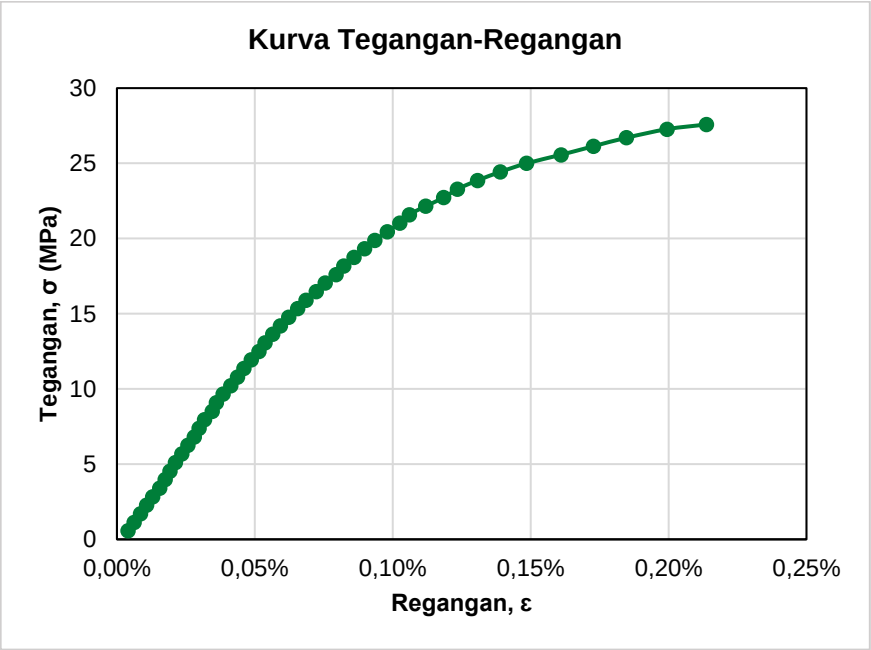
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	0%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	**(mm)**	**(mm)**	**(ε)**	**(σ)**
10	2	0.001	0.001%	0.57
20	11	0.0055	0.003%	1.14
30	20	0.01	0.005%	1.70
40	29	0.0145	0.007%	2.27
50	38	0.019	0.010%	2.84
60	48	0.024	0.012%	3.41
70	56	0.028	0.014%	3.98
80	63	0.0315	0.016%	4.55
90	71	0.0355	0.018%	5.11
100	80	0.04	0.020%	5.68
110	89	0.0445	0.022%	6.25
120	98	0.049	0.025%	6.82
130	105	0.0525	0.026%	7.39
140	113	0.0565	0.028%	7.95
150	123	0.0615	0.031%	8.52
160	130	0.065	0.033%	9.09
170	140	0.07	0.035%	9.66
180	151	0.0755	0.038%	10.23

190	161	0.0805	0.040%	10.79
200	170	0.085	0.043%	11.36
210	181	0.0905	0.045%	11.93
220	192	0.096	0.048%	12.50
230	201	0.1005	0.050%	13.07
240	212	0.106	0.053%	13.64
250	223	0.1115	0.056%	14.20
260	235	0.1175	0.059%	14.77
270	248	0.124	0.062%	15.34
280	260	0.13	0.065%	15.91
290	275	0.1375	0.069%	16.48
300	288	0.144	0.072%	17.04
310	304	0.152	0.076%	17.61
320	315	0.1575	0.079%	18.18
330	330	0.165	0.083%	18.75
340	345	0.1725	0.086%	19.32
350	360	0.18	0.090%	19.89
360	378	0.189	0.095%	20.45
370	396	0.198	0.099%	21.02
380	410	0.205	0.103%	21.59
390	434	0.217	0.109%	22.16
400	460	0.23	0.115%	22.73
410	480	0.24	0.120%	23.29
420	509	0.2545	0.127%	23.86
430	542	0.271	0.136%	24.43
440	580	0.29	0.145%	25.00
450	630	0.315	0.158%	25.57
460	677	0.3385	0.169%	26.14
470	725	0.3625	0.181%	26.70
480	784	0.392	0.196%	27.27

485,53	841	0.4205	0.210%	27.58

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 1



Kuat Desak, f'c	27,59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24702,37	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24685,34	MPa

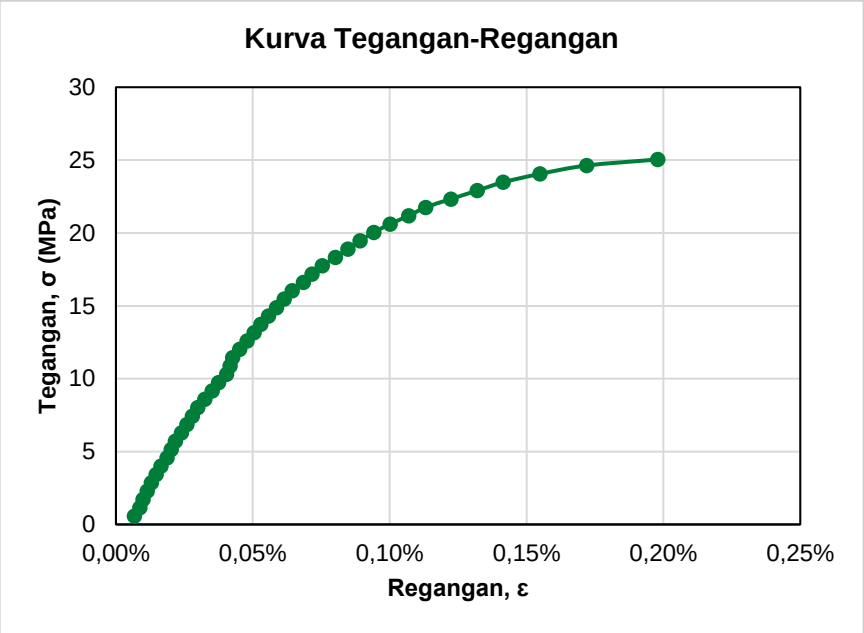
Modulus Elastisitas BN Sampel 2

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	0%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	1	0.0005	0.000%
20	20000	9	0.0045	0.002%
30	30000	14	0.007	0.004%
40	40000	20	0.01	0.005%
50	50000	26	0.013	0.007%
60	60000	33	0.0165	0.008%
70	70000	40	0.02	0.010%
80	80000	49	0.0245	0.012%
90	90000	55	0.0275	0.014%
100	100000	61	0.0305	0.015%
110	110000	70	0.035	0.018%
120	120000	78	0.039	0.020%
130	130000	86	0.043	0.022%
140	140000	94	0.047	0.024%
150	150000	104	0.052	0.026%
160	160000	115	0.0575	0.029%
170	170000	124	0.062	0.031%
180	180000	136	0.068	0.034%
190	190000	141	0.0705	0.035%
200	200000	145	0.0725	0.036%

210	210000	155	0.0775	0.039%
220	220000	166	0.083	0.042%
230	230000	176	0.088	0.044%
240	240000	186	0.093	0.047%
250	250000	197	0.0985	0.049%
260	260000	209	0.1045	0.052%
270	270000	220	0.11	0.055%
280	280000	232	0.116	0.058%
290	290000	248	0.124	0.062%
300	300000	261	0.1305	0.065%
310	310000	276	0.138	0.069%
320	320000	295	0.1475	0.074%
330	330000	313	0.1565	0.078%
340	340000	331	0.1655	0.083%
350	350000	351	0.1755	0.088%
360	360000	375	0.1875	0.094%
370	370000	402	0.201	0.101%
380	380000	427	0.2135	0.107%
390	390000	464	0.232	0.116%
400	400000	502	0.251	0.126%
410	410000	540	0.27	0.135%
420	420000	594	0.297	0.149%
430	430000	662	0.331	0.166%
437.27	437270	766	0.383	0.192%

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 2



Kuat Desak, f'c	25,04	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25454,95	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23520,69	MPa

Modulus Elastistias BN Sampel 3

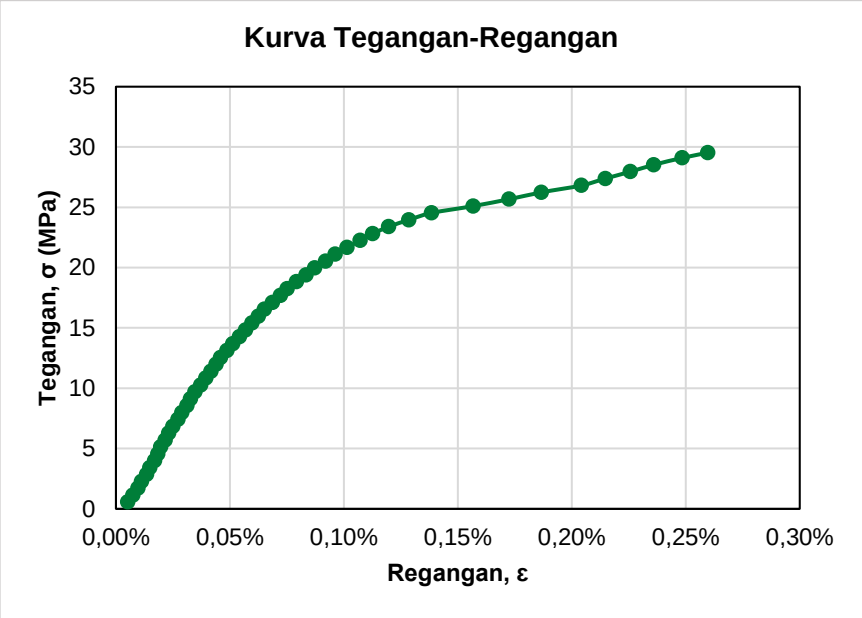
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	0%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	2	0.001	0.001%
20	20000	11	0.0055	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	26	0.013	0.007%
50	50000	35	0.0175	0.009%
60	60000	41	0.0205	0.010%
70	70000	49	0.0245	0.012%
80	80000	55	0.0275	0.014%
90	90000	60	0.03	0.015%
100	100000	68	0.034	0.017%
110	110000	74	0.037	0.019%
120	120000	81	0.0405	0.020%
130	130000	90	0.045	0.023%
140	140000	97	0.0485	0.024%
150	150000	106	0.053	0.027%
160	160000	112	0.056	0.028%
170	170000	120	0.06	0.030%
180	180000	130	0.065	0.033%
190	190000	139	0.0695	0.035%
200	200000	148	0.074	0.037%

210	210000	157	0.0785	0.039%
220	220000	165	0.0825	0.041%
230	230000	176	0.088	0.044%
240	240000	186	0.093	0.047%
250	250000	198	0.099	0.050%
260	260000	209	0.1045	0.052%
270	270000	220	0.11	0.055%
280	280000	231	0.1155	0.058%
290	290000	242	0.121	0.061%
300	300000	256	0.128	0.064%
310	310000	270	0.135	0.068%
320	320000	282	0.141	0.071%
330	330000	298	0.149	0.075%
340	340000	315	0.1575	0.079%
350	350000	330	0.165	0.083%
360	360000	349	0.1745	0.087%
370	370000	366	0.183	0.092%
380	380000	387	0.1935	0.097%
390	390000	410	0.205	0.103%
400	400000	432	0.216	0.108%
410	410000	460	0.23	0.115%
420	420000	495	0.2475	0.124%
430	430000	535	0.2675	0.134%
440	440000	608	0.304	0.152%
450	450000	671	0.3355	0.168%
460	460000	728	0.364	0.182%
470	470000	798	0.399	0.200%
480	480000	840	0.42	0.210%
490	490000	884	0.442	0.221%
500	500000	925	0.4625	0.231%

510	510000	975	0.4875	0.244%
517.6	517600	1020	0.51	0.255%

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 3



Kuat Desak, f'c	29,52	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27244,83	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25537,75	MPa

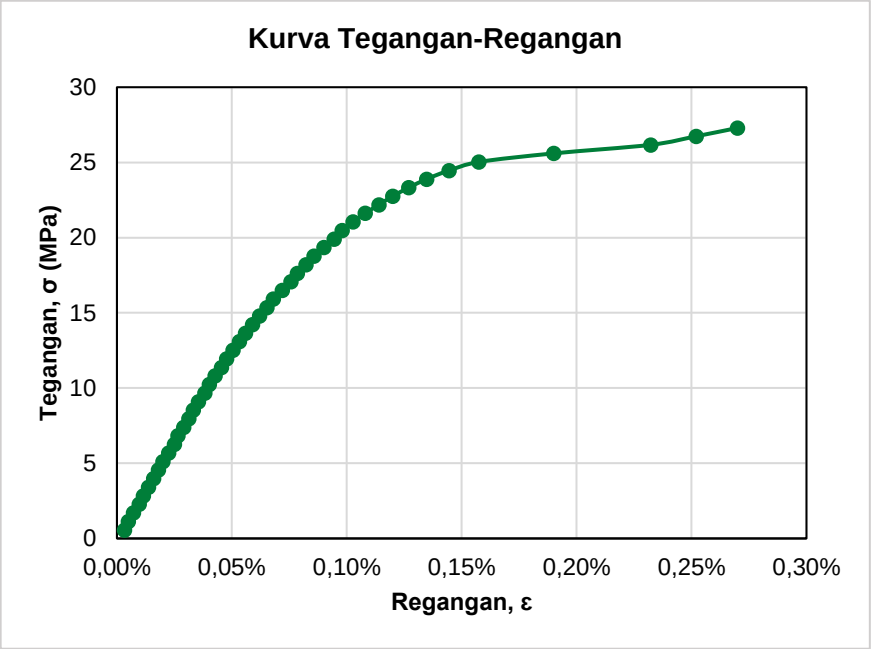
Modulus Elastisitas BN Sampel 4

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	0%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	3	0.0015	0.001%
20	20000	10	0.005	0.003%
30	30000	19	0.0095	0.005%
40	40000	29	0.0145	0.007%
50	50000	36	0.018	0.009%
60	60000	45	0.0225	0.011%
70	70000	54	0.027	0.014%
80	80000	62	0.031	0.016%
90	90000	70	0.035	0.018%
100	100000	80	0.04	0.020%
110	110000	90	0.045	0.023%
120	120000	96	0.048	0.024%
130	130000	106	0.053	0.027%
140	140000	115	0.0575	0.029%
150	150000	123	0.0615	0.031%
160	160000	132	0.066	0.033%
170	170000	143	0.0715	0.036%
180	180000	151	0.0755	0.038%
190	190000	161	0.0805	0.040%
200	200000	172	0.086	0.043%

210	210000	181	0.0905	0.045%
220	220000	192	0.096	0.048%
230	230000	203	0.1015	0.051%
240	240000	214	0.107	0.054%
250	250000	226	0.113	0.057%
260	260000	238	0.119	0.060%
270	270000	251	0.1255	0.063%
280	280000	262	0.131	0.066%
290	290000	278	0.139	0.070%
300	300000	293	0.1465	0.073%
310	310000	304	0.152	0.076%
320	320000	319	0.1595	0.080%
330	330000	333	0.1665	0.083%
340	340000	350	0.175	0.088%
350	350000	368	0.184	0.092%
360	360000	382	0.191	0.096%
370	370000	401	0.2005	0.100%
380	380000	422	0.211	0.106%
390	390000	446	0.223	0.112%
400	400000	470	0.235	0.118%
410	410000	498	0.249	0.125%
420	420000	529	0.2645	0.132%
430	430000	568	0.284	0.142%
440	440000	620	0.31	0.155%
450	450000	750	0.375	0.188%
460	460000	919	0.4595	0.230%
470	470000	998	0.499	0.250%
479.71	479710	1070	0.535	0.268%

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 4



Kuat Desak, f'c	27,29	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25285,08	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24553,35	MPa

Modulus Elastisitas BN Sampel 5

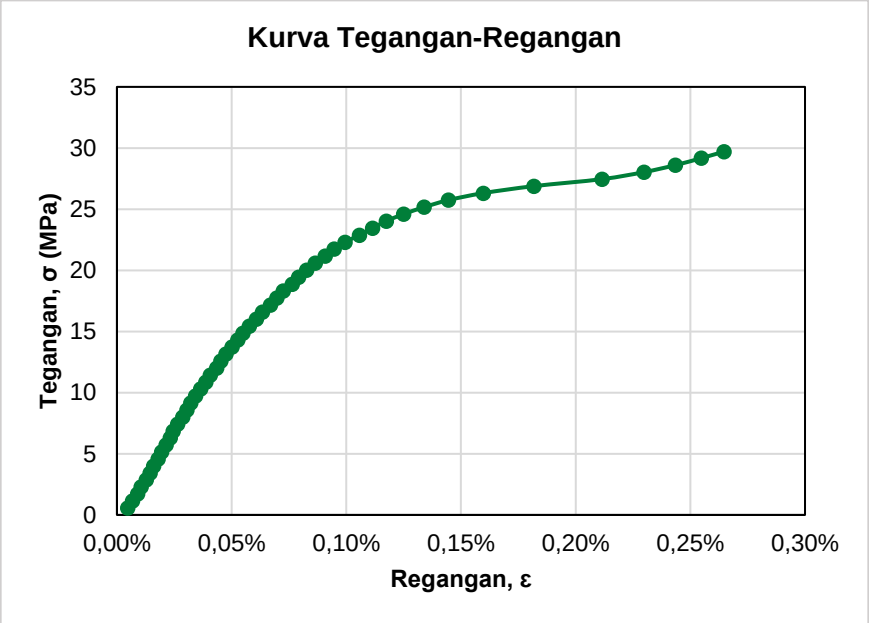
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	0%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	1	0.0005	0.000%
20	20000	9	0.0045	0.002%
30	30000	18	0.009	0.005%
40	40000	24	0.012	0.006%
50	50000	33	0.0165	0.008%
60	60000	40	0.02	0.010%
70	70000	46	0.023	0.012%
80	80000	54	0.027	0.014%
90	90000	60	0.03	0.015%
100	100000	68	0.034	0.017%
110	110000	75	0.0375	0.019%
120	120000	80	0.04	0.020%
130	130000	88	0.044	0.022%
140	140000	97	0.0485	0.024%
150	150000	104	0.052	0.026%
160	160000	111	0.0555	0.028%
170	170000	119	0.0595	0.030%
180	180000	128	0.064	0.032%
190	190000	137	0.0685	0.034%
200	200000	145	0.0725	0.036%

210	210000	156	0.078	0.039%
220	220000	163	0.0815	0.041%
230	230000	172	0.086	0.043%
240	240000	183	0.0915	0.046%
250	250000	193	0.0965	0.048%
260	260000	202	0.101	0.051%
270	270000	213	0.1065	0.053%
280	280000	225	0.1125	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	250	0.125	0.063%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	272	0.136	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	299	0.1495	0.075%
350	350000	313	0.1565	0.078%
360	360000	328	0.164	0.082%
370	370000	345	0.1725	0.086%
380	380000	361	0.1805	0.090%
390	390000	380	0.19	0.095%
400	400000	405	0.2025	0.101%
410	410000	428	0.214	0.107%
420	420000	452	0.226	0.113%
430	430000	482	0.241	0.121%
440	440000	518	0.259	0.130%
450	450000	560	0.28	0.140%
460	460000	621	0.3105	0.155%
470	470000	709	0.3545	0.177%
480	480000	828	0.414	0.207%
490	490000	901	0.4505	0.225%
500	500000	956	0.478	0.239%

510	510000	1001	0.5005	0.250%
519.3	519300	1041	0.5205	0.260%

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 5



Kuat Desak, f'c	29,25	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28096,72	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25419,60	MPa

Modulus Elastisitas BV1 Sampel 1

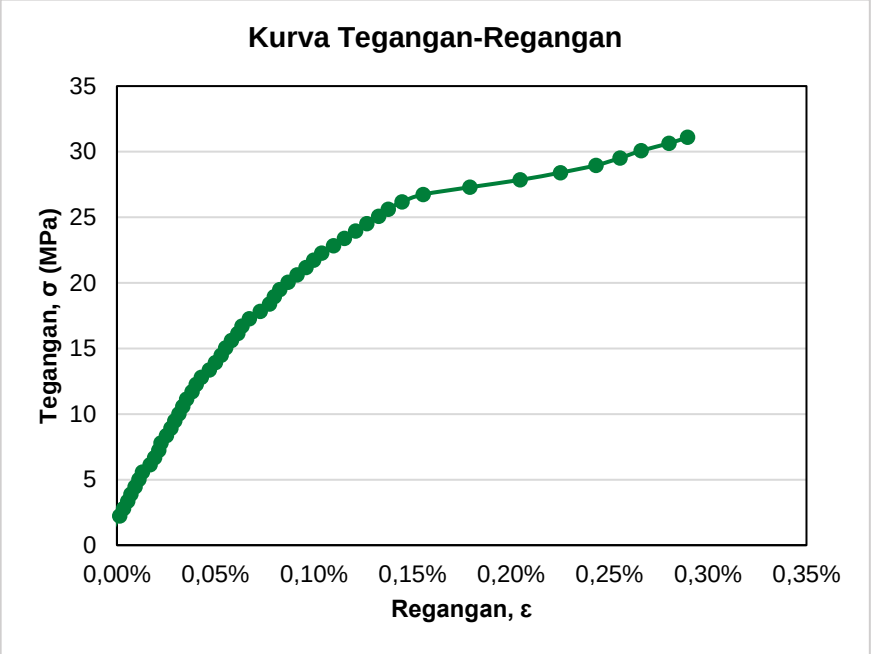
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	28	0.014	0.007%
50	50000	36	0.018	0.009%
60	60000	44	0.022	0.011%
70	70000	51	0.0255	0.013%
80	80000	59	0.0295	0.015%
90	90000	67	0.0335	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	90	0.045	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	112	0.056	0.028%
150	150000	123	0.0615	0.031%
160	160000	132	0.066	0.033%
170	170000	140	0.07	0.035%
180	180000	148	0.074	0.037%
190	190000	156	0.078	0.039%
200	200000	164	0.082	0.041%

210	210000	175	0.0875	0.044%
220	220000	183	0.0915	0.046%
230	230000	194	0.097	0.049%
240	240000	210	0.105	0.053%
250	250000	222	0.111	0.056%
260	260000	234	0.117	0.059%
270	270000	243	0.1215	0.061%
280	280000	255	0.1275	0.064%
290	290000	268	0.134	0.067%
300	300000	276	0.138	0.069%
310	310000	291	0.1455	0.073%
320	320000	313	0.1565	0.078%
330	330000	332	0.166	0.083%
340	340000	342	0.171	0.086%
350	350000	353	0.1765	0.088%
360	360000	370	0.185	0.093%
370	370000	388	0.194	0.097%
380	380000	406	0.203	0.102%
390	390000	422	0.211	0.106%
400	400000	438	0.219	0.110%
410	410000	462	0.231	0.116%
420	420000	484	0.242	0.121%
430	430000	507	0.2535	0.127%
440	440000	530	0.265	0.133%
450	450000	554	0.277	0.139%
460	460000	573	0.2865	0.143%
470	470000	601	0.3005	0.150%
480	480000	644	0.322	0.161%
490	490000	739	0.3695	0.185%
500	500000	841	0.4205	0.210%

510	510000	923	0.4615	0.231%
520	520000	995	0.4975	0.249%
530	530000	1044	0.522	0.261%
540	540000	1087	0.5435	0.272%
550	550000	1143	0.5715	0.286%
558.3	558300	1181	0.5905	0.295%

Grafik Modulus Elastisitas BV1 Sampel 1



Kuat Desak, f'c	31,09	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26349,74	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26208,06	MPa

Modulus Elastisitas BV1 Sampel 2

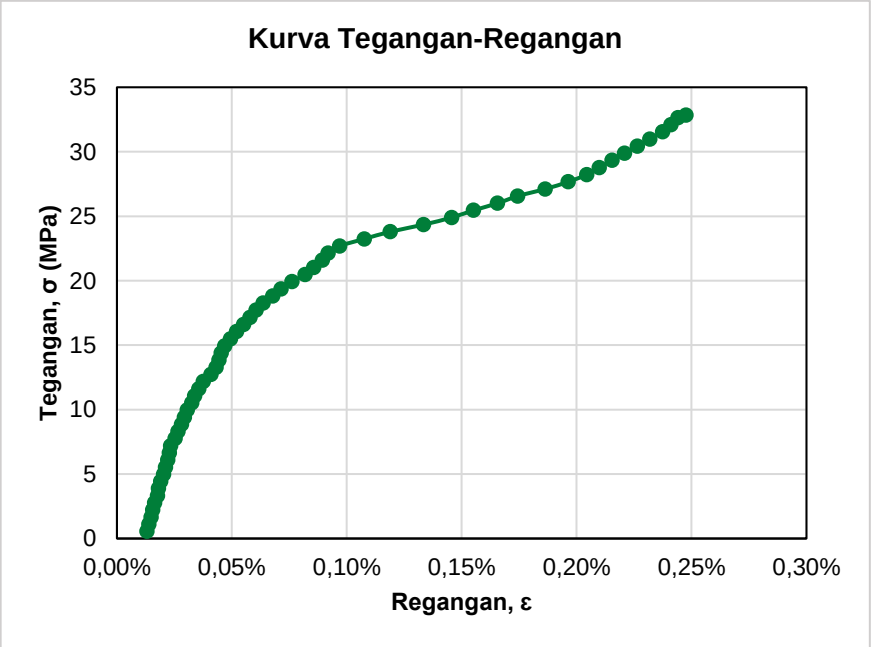
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	0	0	0.000%
20	20000	3	0.0015	0.001%
30	30000	7	0.0035	0.002%
40	40000	10	0.005	0.003%
50	50000	13	0.0065	0.003%
60	60000	18	0.009	0.005%
70	70000	20	0.01	0.005%
80	80000	24	0.012	0.006%
90	90000	29	0.0145	0.007%
100	100000	32	0.016	0.008%
110	110000	36	0.018	0.009%
120	120000	39	0.0195	0.010%
130	130000	41	0.0205	0.010%
140	140000	49	0.0245	0.012%
150	150000	54	0.027	0.014%
160	160000	60	0.03	0.015%
170	170000	65	0.0325	0.016%
180	180000	70	0.035	0.018%
190	190000	78	0.039	0.020%
200	200000	83	0.0415	0.021%

210	210000	90	0.045	0.023%
220	220000	98	0.049	0.025%
230	230000	111	0.0555	0.028%
240	240000	120	0.06	0.030%
250	250000	125	0.0625	0.031%
260	260000	129	0.0645	0.032%
270	270000	135	0.0675	0.034%
280	280000	145	0.0725	0.036%
290	290000	156	0.078	0.039%
300	300000	168	0.084	0.042%
310	310000	179	0.0895	0.045%
320	320000	190	0.095	0.048%
330	330000	202	0.101	0.051%
340	340000	219	0.1095	0.055%
350	350000	233	0.1165	0.058%
360	360000	252	0.126	0.063%
370	370000	275	0.1375	0.069%
380	380000	290	0.145	0.073%
390	390000	305	0.1525	0.076%
400	400000	315	0.1575	0.079%
410	410000	335	0.1675	0.084%
420	420000	378	0.189	0.095%
430	430000	423	0.2115	0.106%
440	440000	481	0.2405	0.120%
450	450000	530	0.265	0.133%
460	460000	568	0.284	0.142%
470	470000	610	0.305	0.153%
480	480000	645	0.3225	0.161%
490	490000	693	0.3465	0.173%
500	500000	733	0.3665	0.183%

510	510000	765	0.3825	0.191%
520	520000	787	0.3935	0.197%
530	530000	809	0.4045	0.202%
540	540000	831	0.4155	0.208%
550	550000	853	0.4265	0.213%
560	560000	875	0.4375	0.219%
570	570000	897	0.4485	0.224%
580	580000	912	0.456	0.228%
590	590000	924	0.462	0.231%
593.41	593410	938	0.469	0.235%

Grafik Modulus Elastisitas BV1 Sampel 2



Kuat Desak, f'c	32,83	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30815,17	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26930,52	MPa

Modulus Elastisitas BV1 Sampel 3

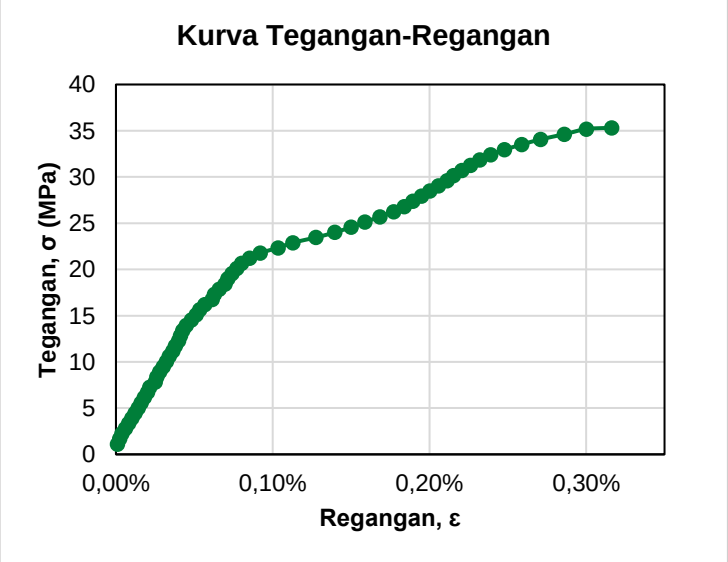
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	19	0.0095	0.005%
40	40000	25	0.0125	0.006%
50	50000	34	0.017	0.009%
60	60000	42	0.021	0.011%
70	70000	50	0.025	0.013%
80	80000	58	0.029	0.015%
90	90000	66	0.033	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	82	0.041	0.021%
120	120000	90	0.045	0.023%
130	130000	96	0.048	0.024%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	114	0.057	0.029%
160	160000	121	0.0605	0.030%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	155	0.0775	0.039%

210	210000	161	0.0805	0.040%
220	220000	169	0.0845	0.042%
230	230000	174	0.087	0.044%
240	240000	180	0.09	0.045%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	202	0.101	0.051%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	378	0.189	0.095%
400	400000	423	0.2115	0.106%
410	410000	461	0.2305	0.115%
420	420000	520	0.26	0.130%
430	430000	568	0.284	0.142%
440	440000	610	0.305	0.153%
450	450000	645	0.3225	0.161%
460	460000	683	0.3415	0.171%
470	470000	718	0.359	0.180%
480	480000	745	0.3725	0.186%
490	490000	767	0.3835	0.192%
500	500000	789	0.3945	0.197%

510	510000	811	0.4055	0.203%
520	520000	833	0.4165	0.208%
530	530000	855	0.4275	0.214%
540	540000	871	0.4355	0.218%
550	550000	892	0.446	0.223%
560	560000	914	0.457	0.229%
570	570000	938	0.469	0.235%
580	580000	966	0.483	0.242%
590	590000	1001	0.5005	0.250%
600	600000	1045	0.5225	0.261%
610	610000	1093	0.5465	0.273%
620	620000	1154	0.577	0.289%
630	630000	1210	0.605	0.303%
632.5	632500	1275	0.6375	0.319%

Grafik Modulus Elastisitas BV1 Sampel 3



Kuat Desak, f'c	35,32	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31101,53	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	27932,27	MPa

Modulus Elastisitas BV1 Sampel 4

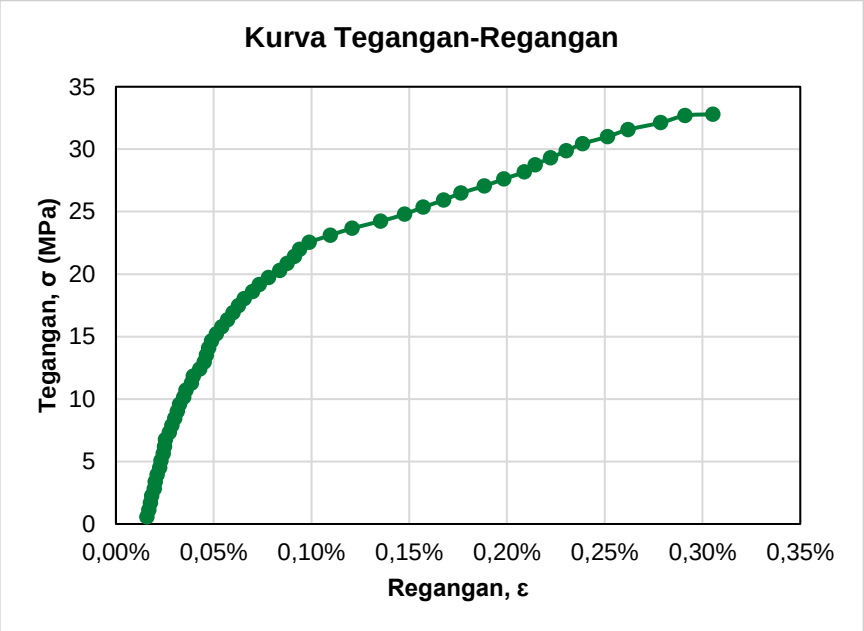
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	3	0.0015	0.001%
20	20000	7	0.0035	0.002%
30	30000	10	0.005	0.003%
40	40000	13	0.0065	0.003%
50	50000	18	0.009	0.005%
60	60000	20	0.01	0.005%
70	70000	24	0.012	0.006%
80	80000	29	0.0145	0.007%
90	90000	32	0.016	0.008%
100	100000	36	0.018	0.009%
110	110000	39	0.0195	0.010%
120	120000	41	0.0205	0.010%
130	130000	49	0.0245	0.012%
140	140000	54	0.027	0.014%
150	150000	60	0.03	0.015%
160	160000	65	0.0325	0.016%
170	170000	70	0.035	0.018%
180	180000	78	0.039	0.020%
190	190000	83	0.0415	0.021%
200	200000	94	0.047	0.024%

210	210000	98	0.049	0.025%
220	220000	111	0.0555	0.028%
230	230000	120	0.06	0.030%
240	240000	125	0.0625	0.031%
250	250000	129	0.0645	0.032%
260	260000	135	0.0675	0.034%
270	270000	145	0.0725	0.036%
280	280000	156	0.078	0.039%
290	290000	168	0.084	0.042%
300	300000	179	0.0895	0.045%
310	310000	190	0.095	0.048%
320	320000	202	0.101	0.051%
330	330000	219	0.1095	0.055%
340	340000	233	0.1165	0.058%
350	350000	252	0.126	0.063%
360	360000	275	0.1375	0.069%
370	370000	290	0.145	0.073%
380	380000	305	0.1525	0.076%
390	390000	315	0.1575	0.079%
400	400000	335	0.1675	0.084%
410	410000	378	0.189	0.095%
420	420000	423	0.2115	0.106%
430	430000	481	0.2405	0.120%
440	440000	530	0.265	0.133%
450	450000	568	0.284	0.142%
460	460000	610	0.305	0.153%
470	470000	645	0.3225	0.161%
480	480000	693	0.3465	0.173%
490	490000	733	0.3665	0.183%
500	500000	775	0.3875	0.194%

510	510000	797	0.3985	0.199%
520	520000	829	0.4145	0.207%
530	530000	861	0.4305	0.215%
540	540000	894	0.447	0.224%
550	550000	945	0.4725	0.236%
560	560000	987	0.4935	0.247%
570	570000	1054	0.527	0.264%
580	580000	1104	0.552	0.276%
581.86	581860	1161	0.5805	0.290%

Grafik Modulus Elastisitas BV1 Sampel 4



Kuat Desak, f'c	32,80	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28693,76	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	26915,55	MPa

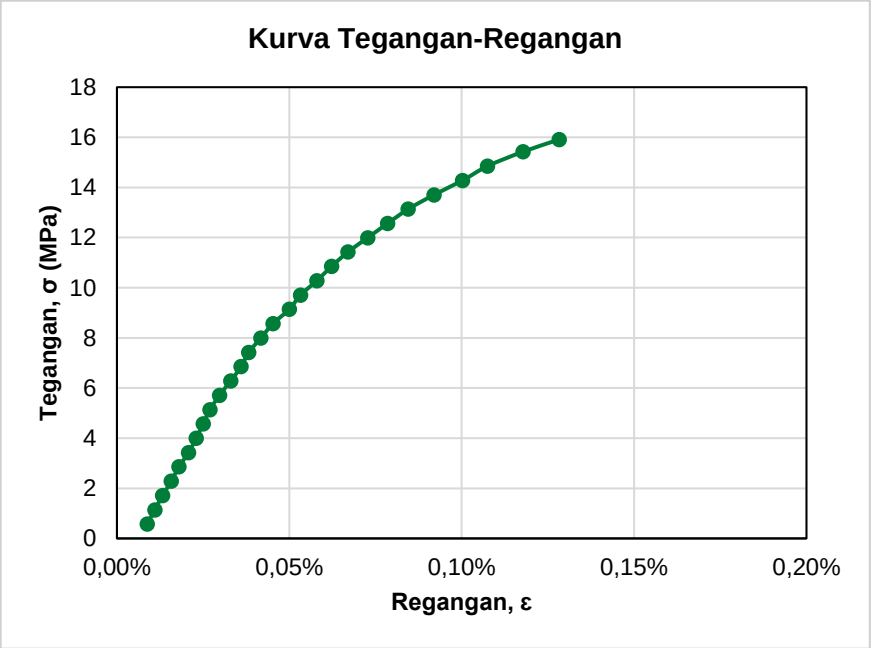
Modulus Elastisitas BV1 Sampel 5

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	2	0.001	0.001%
20	20000	11	0.0055	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	30	0.015	0.008%
50	50000	39	0.0195	0.010%
60	60000	50	0.025	0.013%
70	70000	59	0.0295	0.015%
80	80000	67	0.0335	0.017%
90	90000	75	0.0375	0.019%
100	100000	86	0.043	0.022%
110	110000	99	0.0495	0.025%
120	120000	111	0.0555	0.028%
130	130000	120	0.06	0.030%
140	140000	134	0.067	0.034%
150	150000	148	0.074	0.037%
160	160000	167	0.0835	0.042%
170	170000	180	0.09	0.045%
180	180000	199	0.0995	0.050%
190	190000	216	0.108	0.054%
200	200000	235	0.1175	0.059%

210	210000	258	0.129	0.065%
220	220000	281	0.1405	0.070%
230	230000	305	0.1525	0.076%
240	240000	335	0.1675	0.084%
250	250000	368	0.184	0.092%
260	260000	397	0.1985	0.099%
270	270000	438	0.219	0.110%
278.56	278560	480	0.24	0.120%

Grafik Modulus Elastisitas BV1 Sampel 5



Kuat Desak, f'c	15,91	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	19040,10	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	18747,89	MPa

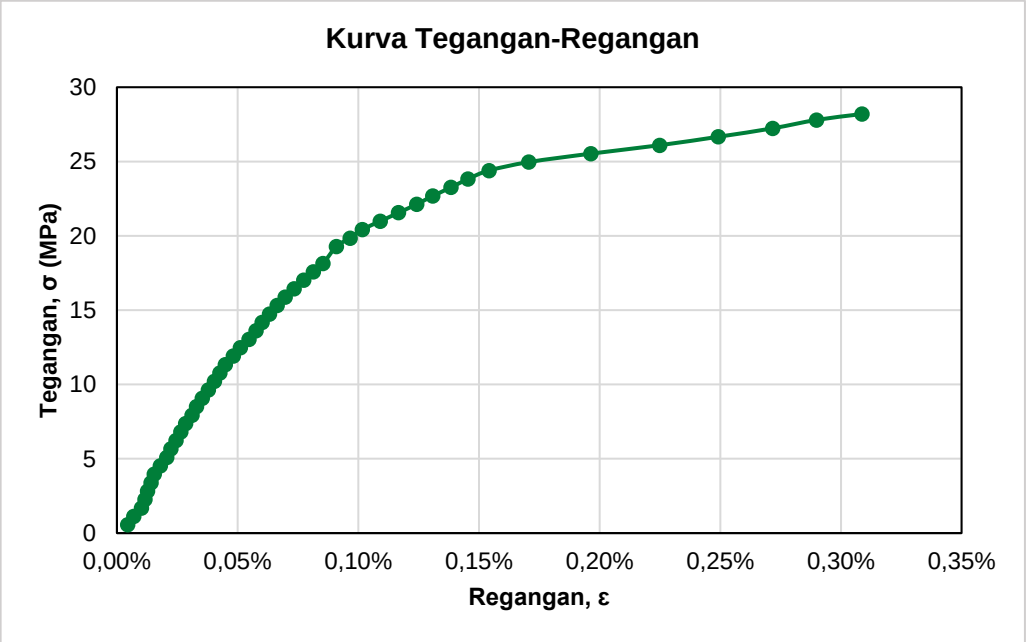
Modulus Elastisitas BV2 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	6	0.003	0.002%
20	20000	16	0.008	0.004%
30	30000	29	0	0.007%
40	40000	35	0.0175	0.009%
50	50000	39	0.0195	0.010%
60	60000	45	0.0225	0.011%
70	70000	50	0.025	0.013%
80	80000	60	0.03	0.015%
90	90000	71	0.0355	0.018%
100	100000	78	0.039	0.020%
110	110000	86	0.043	0.022%
120	120000	94	0.047	0.024%
130	130000	102	0.051	0.026%
140	140000	113	0.0565	0.028%
150	150000	120	0.06	0.030%
160	160000	130	0.065	0.033%
170	170000	140	0.07	0.035%
180	180000	150	0.075	0.038%
190	190000	159	0.0795	0.040%
200	200000	168	0.084	0.042%

210	210000	181	0.0905	0.045%
220	220000	193	0.0965	0.048%
230	230000	207	0.1035	0.052%
240	240000	219	0.1095	0.055%
250	250000	229	0.1145	0.057%
260	260000	241	0.1205	0.060%
270	270000	254	0.127	0.064%
280	280000	267	0.1335	0.067%
290	290000	282	0.141	0.071%
300	300000	298	0.149	0.075%
310	310000	314	0.157	0.079%
320	320000	330	0.165	0.083%
340	340000	352	0.176	0.088%
350	350000	375	0.1875	0.094%
360	360000	395	0.1975	0.099%
370	370000	425	0.2125	0.106%
380	380000	455	0.2275	0.114%
390	390000	485	0.2425	0.121%
400	400000	512	0.256	0.128%
410	410000	542	0.271	0.136%
420	420000	570	0.285	0.143%
430	430000	605	0.3025	0.151%
440	440000	671	0.3355	0.168%
450	450000	774	0.387	0.194%
460	460000	888	0.444	0.222%
470	470000	985	0.4925	0.246%
480	480000	1075	0.5375	0.269%
490	490000	1148	0.574	0.287%
496.94	496940	1223	0.6115	0.306%

Grafik Modulus Elastisitas BV2 Sampel 1



Kuat Desak, f'c	28,20	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25217,61	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	24957,04	MPa

Modulus Elastisitas BV2 Sampel 2

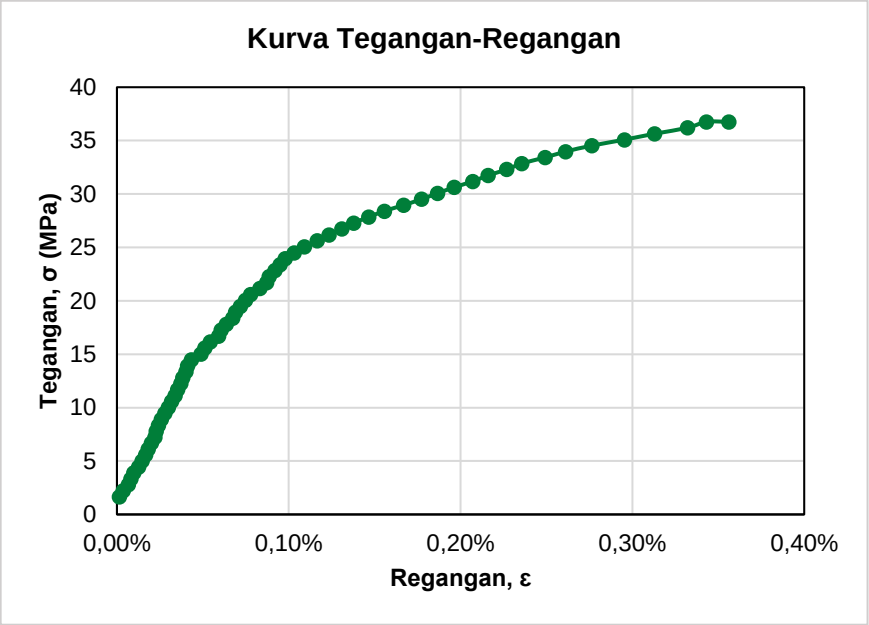
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	6	0.003	0.002%
20	20000	11	0.0055	0.003%
30	30000	24	0.012	0.006%
40	40000	33	0.0165	0.008%
50	50000	45	0.0225	0.011%
60	60000	51	0.0255	0.013%
70	70000	58	0.029	0.015%
80	80000	69	0.0345	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	85	0.0425	0.021%
110	110000	91	0.0455	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	115	0.0575	0.029%
160	160000	122	0.061	0.031%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	154	0.077	0.039%

210	210000	160	0.08	0.040%
220	220000	167	0.0835	0.042%
230	230000	172	0.086	0.043%
240	240000	179	0.0895	0.045%
250	250000	183	0.0915	0.046%
260	260000	192	0.096	0.048%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	367	0.1835	0.092%
400	400000	373	0.1865	0.093%
410	410000	386	0.193	0.097%
420	420000	398	0.199	0.100%
430	430000	410	0.205	0.103%
440	440000	431	0.2155	0.108%
450	450000	455	0.2275	0.114%
460	460000	485	0.2425	0.121%
470	470000	512	0.256	0.128%
480	480000	542	0.271	0.136%
490	490000	570	0.285	0.143%
500	500000	605	0.3025	0.151%

510	510000	641	0.3205	0.160%
520	520000	686	0.343	0.172%
530	530000	728	0.364	0.182%
540	540000	765	0.3825	0.191%
550	550000	804	0.402	0.201%
560	560000	847	0.4235	0.212%
570	570000	883	0.4415	0.221%
580	580000	926	0.463	0.232%
590	590000	961	0.4805	0.240%
600	600000	1015	0.5075	0.254%
610	610000	1063	0.5315	0.266%
620	620000	1124	0.562	0.281%
630	630000	1200	0.6	0.300%
640	640000	1270	0.635	0.318%
650	650000	1347	0.6735	0.337%
660	660000	1391	0.6955	0.348%
660.16	660160	1443	0.7215	0.361%

Grafik Modulus Elastisitas BV2 Sampel 2



Kuat Desak, f'c	36,77	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	33416,26	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	28498,74	MPa

Modulus Elastisitas BV2 Sampel 3

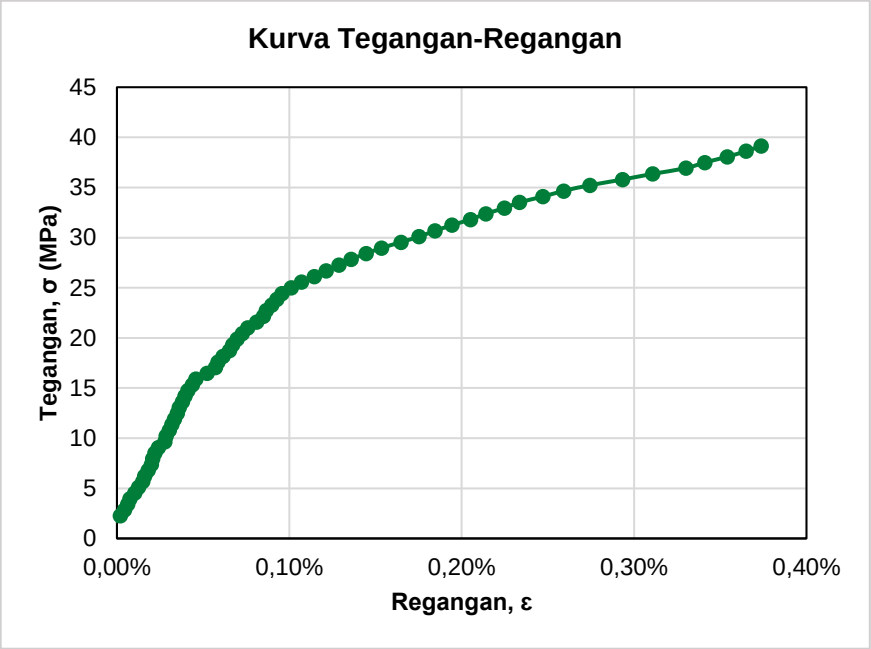
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	5	0.0025	0.001%
20	20000	12	0.006	0.003%
30	30000	23	0.0115	0.006%
40	40000	35	0.0175	0.009%
50	50000	44	0.022	0.011%
60	60000	52	0.026	0.013%
70	70000	57	0.0285	0.014%
80	80000	68	0.034	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	87	0.0435	0.022%
110	110000	91	0.0455	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	115	0.0575	0.029%
160	160000	123	0.0615	0.031%
170	170000	138	0.069	0.035%
180	180000	141	0.0705	0.035%
190	190000	148	0.074	0.037%
200	200000	154	0.077	0.039%

210	210000	160	0.08	0.040%
220	220000	167	0.0835	0.042%
230	230000	171	0.0855	0.043%
240	240000	179	0.0895	0.045%
250	250000	185	0.0925	0.046%
260	260000	191	0.0955	0.048%
270	270000	202	0.101	0.051%
280	280000	210	0.105	0.053%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	367	0.1835	0.092%
400	400000	373	0.1865	0.093%
410	410000	386	0.193	0.097%
420	420000	398	0.199	0.100%
430	430000	410	0.205	0.103%
440	440000	431	0.2155	0.108%
450	450000	455	0.2275	0.114%
460	460000	485	0.2425	0.121%
470	470000	512	0.256	0.128%
480	480000	542	0.271	0.136%
490	490000	570	0.285	0.143%
500	500000	605	0.3025	0.151%

510	510000	641	0.3205	0.160%
520	520000	686	0.343	0.172%
530	530000	728	0.364	0.182%
540	540000	765	0.3825	0.191%
550	550000	804	0.402	0.201%
560	560000	847	0.4235	0.212%
570	570000	883	0.4415	0.221%
580	580000	926	0.463	0.232%
590	590000	961	0.4805	0.240%
600	600000	1015	0.5075	0.254%
610	610000	1063	0.5315	0.266%
620	620000	1124	0.562	0.281%
630	630000	1200	0.6	0.300%
640	640000	1270	0.635	0.318%
650	650000	1347	0.6735	0.337%
660	660000	1391	0.6955	0.348%
670	670000	1443	0.7215	0.361%
680	680000	1487	0.7435	0.372%
689.11	689110	1522	0.761	0.381%

Grafik Modulus Elastisitas BV2 Sampel 3



Kuat Desak, f'c	39,15	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	34720,56	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	29408,67	MPa

Modulus Elastisitas BV2 Sampel 4

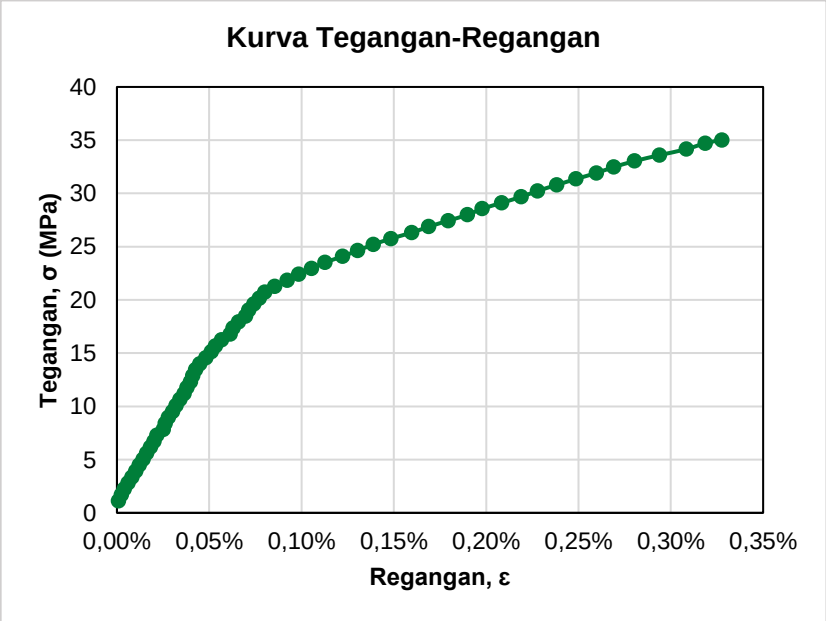
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	19	0.0095	0.005%
40	40000	25	0.0125	0.006%
50	50000	34	0.017	0.009%
60	60000	42	0.021	0.011%
70	70000	50	0.025	0.013%
80	80000	58	0.029	0.015%
90	90000	66	0.033	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	82	0.041	0.021%
120	120000	90	0.045	0.023%
130	130000	96	0.048	0.024%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	114	0.057	0.029%
160	160000	121	0.0605	0.030%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	155	0.0775	0.039%

210	210000	161	0.0805	0.040%
220	220000	169	0.0845	0.042%
230	230000	174	0.087	0.044%
240	240000	180	0.09	0.045%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	202	0.101	0.051%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	378	0.189	0.095%
400	400000	403	0.2015	0.101%
410	410000	431	0.2155	0.108%
420	420000	460	0.23	0.115%
430	430000	498	0.249	0.125%
440	440000	531	0.2655	0.133%
450	450000	565	0.2825	0.141%
460	460000	603	0.3015	0.151%
470	470000	648	0.324	0.162%
480	480000	685	0.3425	0.171%
490	490000	727	0.3635	0.182%
500	500000	769	0.3845	0.192%

510	510000	801	0.4005	0.200%
520	520000	843	0.4215	0.211%
530	530000	885	0.4425	0.221%
540	540000	921	0.4605	0.230%
550	550000	962	0.481	0.241%
560	560000	1004	0.502	0.251%
570	570000	1048	0.524	0.262%
580	580000	1086	0.543	0.272%
590	590000	1131	0.5655	0.283%
600	600000	1185	0.5925	0.296%
610	610000	1243	0.6215	0.311%
620	620000	1284	0.642	0.321%
625.38	625380	1320	0.66	0.330%

Grafik Modulus Elastisitas BV2 Sampel 4



Kuat Desak, f'c	35,01	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31184,09	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	27811,45	MPa

Modulus Elastisitas BV2 Sampel 5

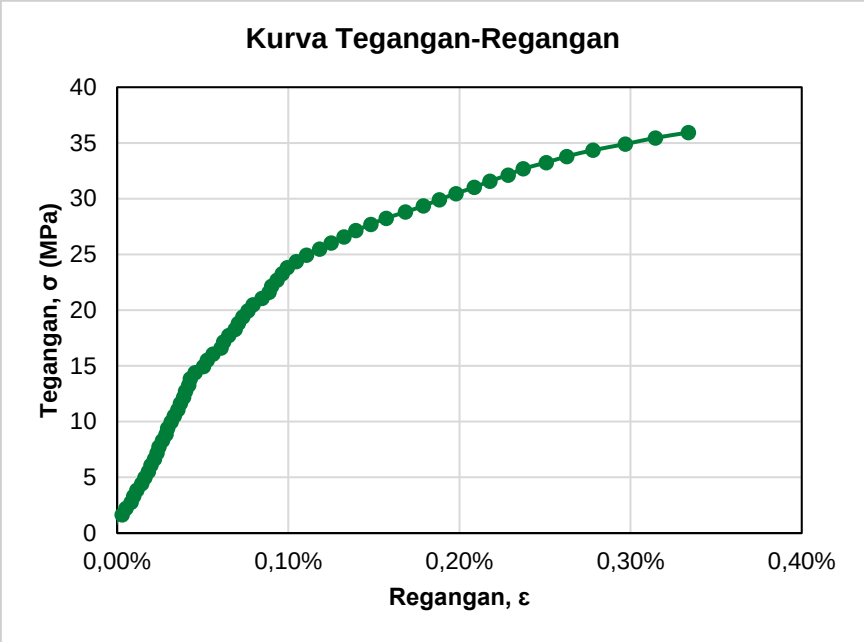
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	6	0.003	0.002%
20	20000	11	0.0055	0.003%
30	30000	24	0.012	0.006%
40	40000	33	0.0165	0.008%
50	50000	45	0.0225	0.011%
60	60000	51	0.0255	0.013%
70	70000	58	0.029	0.015%
80	80000	69	0.0345	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	85	0.0425	0.021%
110	110000	91	0.0455	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	105	0.0525	0.026%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	118	0.059	0.030%
160	160000	126	0.063	0.032%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	154	0.077	0.039%

210	210000	160	0.08	0.040%
220	220000	167	0.0835	0.042%
230	230000	172	0.086	0.043%
240	240000	179	0.0895	0.045%
250	250000	183	0.0915	0.046%
260	260000	194	0.097	0.049%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	367	0.1835	0.092%
400	400000	373	0.1865	0.093%
410	410000	386	0.193	0.097%
420	420000	398	0.199	0.100%
430	430000	410	0.205	0.103%
440	440000	431	0.2155	0.108%
450	450000	455	0.2275	0.114%
460	460000	485	0.2425	0.121%
470	470000	512	0.256	0.128%
480	480000	542	0.271	0.136%
490	490000	570	0.285	0.143%
500	500000	605	0.3025	0.151%

510	510000	641	0.3205	0.160%
520	520000	686	0.343	0.172%
530	530000	728	0.364	0.182%
540	540000	765	0.3825	0.191%
550	550000	804	0.402	0.201%
560	560000	847	0.4235	0.212%
570	570000	883	0.4415	0.221%
580	580000	926	0.463	0.232%
590	590000	961	0.4805	0.240%
600	600000	1015	0.5075	0.254%
610	610000	1063	0.5315	0.266%
620	620000	1124	0.562	0.281%
630	630000	1200	0.6	0.300%
640	640000	1270	0.635	0.318%
648.57	648570	1347	0.6735	0.337%

Grafik Modulus Elastisitas BV2 Sampel 5



Kuat Desak, f'c	35.93	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31657,29	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	28172,94	MPa

Modulus Elastisitas BV3 Sampel 1

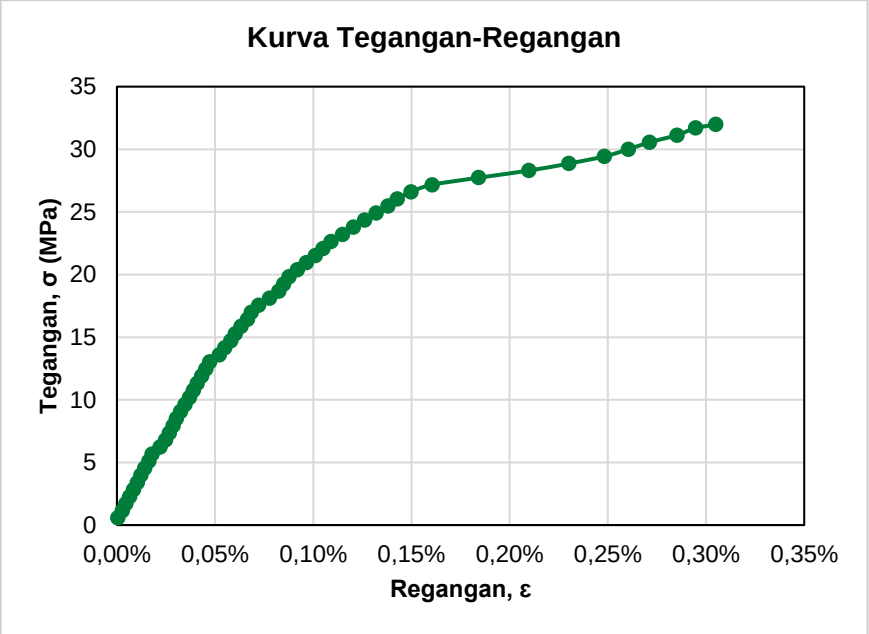
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	28	0.014	0.007%
50	50000	36	0.018	0.009%
60	60000	44	0.022	0.011%
70	70000	51	0.0255	0.013%
80	80000	59	0.0295	0.015%
90	90000	67	0.0335	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	90	0.045	0.023%
120	120000	101	0.0505	0.025%
130	130000	109	0.0545	0.027%
140	140000	117	0.0585	0.029%
150	150000	123	0.0615	0.031%
160	160000	132	0.066	0.033%
170	170000	141	0.0705	0.035%
180	180000	150	0.075	0.038%
190	190000	158	0.079	0.040%
200	200000	166	0.083	0.042%

210	210000	175	0.0875	0.044%
220	220000	183	0.0915	0.046%
230	230000	191	0.0955	0.048%
240	240000	211	0.1055	0.053%
250	250000	222	0.111	0.056%
260	260000	234	0.117	0.059%
270	270000	243	0.1215	0.061%
280	280000	255	0.1275	0.064%
290	290000	268	0.134	0.067%
300	300000	276	0.138	0.069%
310	310000	291	0.1455	0.073%
320	320000	313	0.1565	0.078%
330	330000	332	0.166	0.083%
340	340000	342	0.171	0.086%
350	350000	353	0.1765	0.088%
360	360000	370	0.185	0.093%
370	370000	388	0.194	0.097%
380	380000	406	0.203	0.102%
390	390000	422	0.211	0.106%
400	400000	438	0.219	0.110%
410	410000	462	0.231	0.116%
420	420000	484	0.242	0.121%
430	430000	507	0.2535	0.127%
440	440000	530	0.265	0.133%
450	450000	554	0.277	0.139%
460	460000	573	0.2865	0.143%
470	470000	601	0.3005	0.150%
480	480000	644	0.322	0.161%
490	490000	739	0.3695	0.185%
500	500000	841	0.4205	0.210%

510	510000	923	0.4615	0.231%
520	520000	995	0.4975	0.249%
530	530000	1044	0.522	0.261%
540	540000	1087	0.5435	0.272%
550	550000	1143	0.5715	0.286%
560	560000	1181	0.5905	0.295%
564.98	564980	1222	0.611	0.306%

Grafik Modulus Elastisitas BV3 Sampel 1



Kuat Desak, f'c	31,91	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27604,11	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	26551,77	MPa

Modulus Elastisitas BV3 Sampel 2

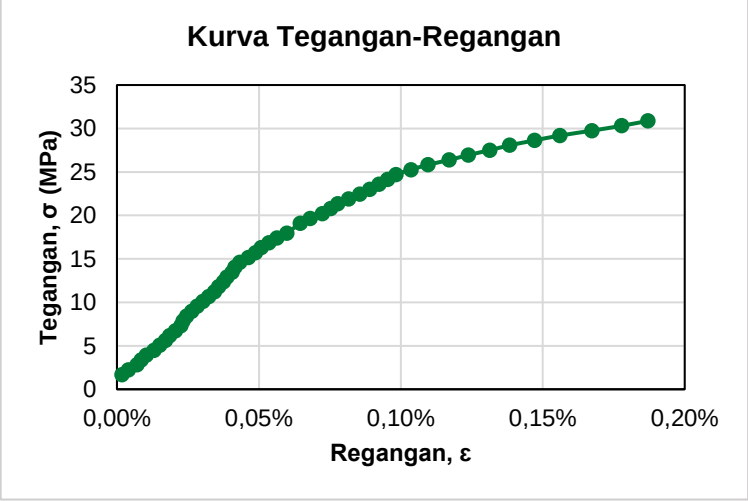
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	6	0.003	0.002%
20	20000	11	0.0055	0.003%
30	30000	24	0.012	0.006%
40	40000	33	0.0165	0.008%
50	50000	45	0.0225	0.011%
60	60000	51	0.0255	0.013%
70	70000	58	0.029	0.015%
80	80000	69	0.0345	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	85	0.0425	0.021%
110	110000	91	0.0455	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	115	0.0575	0.029%
160	160000	122	0.061	0.031%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	154	0.077	0.039%

210	210000	160	0.08	0.040%
220	220000	167	0.0835	0.042%
230	230000	172	0.086	0.043%
240	240000	179	0.0895	0.045%
250	250000	183	0.0915	0.046%
260	260000	190	0.095	0.048%
270	270000	202	0.101	0.051%
280	280000	212	0.106	0.053%
290	290000	220	0.11	0.055%
300	300000	231	0.1155	0.058%
310	310000	242	0.121	0.061%
320	320000	256	0.128	0.064%
340	340000	275	0.1375	0.069%
350	350000	289	0.1445	0.072%
360	360000	306	0.153	0.077%
370	370000	318	0.159	0.080%
380	380000	328	0.164	0.082%
390	390000	343	0.1715	0.086%
400	400000	359	0.1795	0.090%
410	410000	373	0.1865	0.093%
420	420000	386	0.193	0.097%
430	430000	398	0.199	0.100%
440	440000	410	0.205	0.103%
450	450000	431	0.2155	0.108%
460	460000	455	0.2275	0.114%
470	470000	485	0.2425	0.121%
480	480000	512	0.256	0.128%
490	490000	542	0.271	0.136%
500	500000	570	0.285	0.143%
510	510000	605	0.3025	0.151%

520	520000	641	0.3205	0.160%
530	530000	686	0.343	0.172%
540	540000	728	0.364	0.182%
550	550000	765	0.3825	0.191%
560	560000	804	0.402	0.201%
570	570000	847	0.4235	0.212%
580	580000	883	0.4415	0.221%
590	590000	926	0.463	0.232%
600	600000	961	0.4805	0.240%
610	610000	1015	0.5075	0.254%
620	620000	1063	0.5315	0.266%
630	630000	1124	0.562	0.281%
640	640000	1200	0.6	0.300%
650	650000	1270	0.635	0.318%
658.7	658700	1347	0.6735	0.337%

Grafik Modulus Elastisitas BV3 Sampel 2



Kuat Desak, f'c	36,98	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	33683,05	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	28580,63	MPa

Modulus Elastisitas BV3 Sampel 3

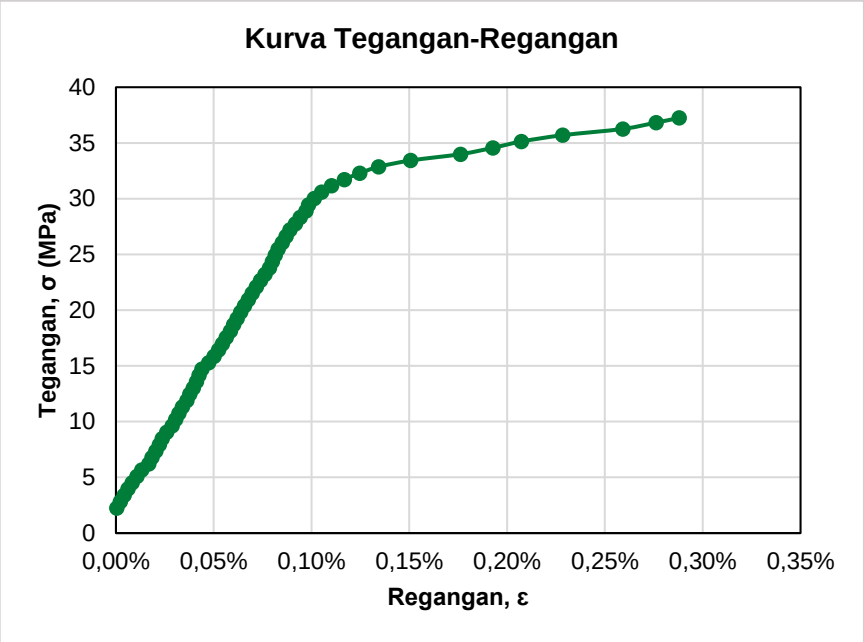
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	2	0.001	0.001%
20	20000	8	0.004	0.002%
30	30000	14	0.007	0.004%
40	40000	21	0.0105	0.005%
50	50000	28	0.014	0.007%
60	60000	36	0.018	0.009%
70	70000	44	0.022	0.011%
80	80000	52	0.026	0.013%
90	90000	62	0.031	0.016%
100	100000	72	0.036	0.018%
110	110000	86	0.043	0.022%
120	120000	93	0.0465	0.023%
130	130000	101	0.0505	0.025%
140	140000	108	0.054	0.027%
150	150000	114	0.057	0.029%
160	160000	123	0.0615	0.031%
170	170000	134	0.067	0.034%
180	180000	141	0.0705	0.035%
190	190000	148	0.074	0.037%
200	200000	155	0.0775	0.039%

210	210000	164	0.082	0.041%
220	220000	170	0.085	0.043%
230	230000	177	0.0885	0.044%
240	240000	184	0.092	0.046%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	195	0.0975	0.049%
270	270000	209	0.1045	0.052%
280	280000	220	0.11	0.055%
290	290000	229	0.1145	0.057%
300	300000	237	0.1185	0.059%
310	310000	245	0.1225	0.061%
320	320000	253	0.1265	0.063%
330	330000	260	0.13	0.065%
340	340000	267	0.1335	0.067%
350	350000	274	0.137	0.069%
360	360000	282	0.141	0.071%
370	370000	290	0.145	0.073%
380	380000	298	0.149	0.075%
390	390000	306	0.153	0.077%
400	400000	315	0.1575	0.079%
410	410000	324	0.162	0.081%
420	420000	333	0.1665	0.083%
430	430000	339	0.1695	0.085%
440	440000	345	0.1725	0.086%
450	450000	351	0.1755	0.088%
460	460000	359	0.1795	0.090%
470	470000	367	0.1835	0.092%
480	480000	375	0.1875	0.094%
490	490000	386	0.193	0.097%
500	500000	396	0.198	0.099%

510	510000	408	0.204	0.102%
520	520000	413	0.2065	0.103%
530	530000	425	0.2125	0.106%
540	540000	440	0.22	0.110%
550	550000	460	0.23	0.115%
560	560000	486	0.243	0.122%
570	570000	518	0.259	0.130%
580	580000	556	0.278	0.139%
590	590000	622	0.311	0.156%
600	600000	724	0.362	0.181%
610	610000	790	0.395	0.198%
620	620000	848	0.424	0.212%
630	630000	933	0.4665	0.233%
640	640000	1056	0.528	0.264%
650	650000	1124	0.562	0.281%
657.36	657360	1171	0.5855	0.293%

Grafik Modulus Elastisitas BV3 Sampel 3



Kuat Desak, f'c	37,25	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	33441,02	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	28684,87	MPa

Modulus Elastisitas BV3 Sampel 4

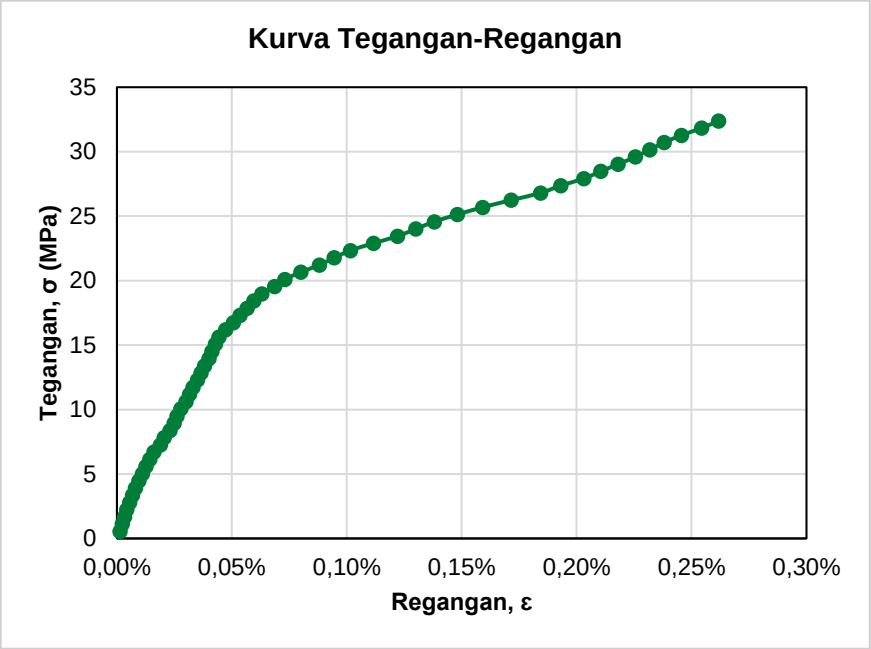
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	3	0.0015	0.001%
20	20000	7	0.0035	0.002%
30	30000	11	0.0055	0.003%
40	40000	15	0.0075	0.004%
50	50000	20	0.01	0.005%
60	60000	25	0.0125	0.006%
70	70000	30	0.015	0.008%
80	80000	36	0.018	0.009%
90	90000	42	0.021	0.011%
100	100000	48	0.024	0.012%
110	110000	55	0.0275	0.014%
120	120000	62	0.031	0.016%
130	130000	73	0.0365	0.018%
140	140000	80	0.04	0.020%
150	150000	90	0.045	0.023%
160	160000	97	0.0485	0.024%
170	170000	102	0.051	0.026%
180	180000	109	0.0545	0.027%
190	190000	118	0.059	0.030%
200	200000	124	0.062	0.031%

210	210000	130	0.065	0.033%
220	220000	138	0.069	0.035%
230	230000	144	0.072	0.036%
240	240000	150	0.075	0.038%
250	250000	158	0.079	0.040%
260	260000	163	0.0815	0.041%
270	270000	169	0.0845	0.042%
280	280000	175	0.0875	0.044%
290	290000	187	0.0935	0.047%
300	300000	200	0.1	0.050%
310	310000	212	0.106	0.053%
320	320000	224	0.112	0.056%
330	330000	236	0.118	0.059%
340	340000	250	0.125	0.063%
350	350000	272	0.136	0.068%
360	360000	290	0.145	0.073%
370	370000	318	0.159	0.080%
380	380000	350	0.175	0.088%
390	390000	376	0.188	0.094%
400	400000	404	0.202	0.101%
410	410000	444	0.222	0.111%
420	420000	486	0.243	0.122%
430	430000	518	0.259	0.130%
440	440000	550	0.275	0.138%
450	450000	590	0.295	0.148%
460	460000	634	0.317	0.159%
470	470000	684	0.342	0.171%
480	480000	735	0.3675	0.184%
490	490000	770	0.385	0.193%
500	500000	810	0.405	0.203%

510	510000	840	0.42	0.210%
520	520000	870	0.435	0.218%
530	530000	900	0.45	0.225%
540	540000	925	0.4625	0.231%
550	550000	950	0.475	0.238%
560	560000	980	0.49	0.245%
570	570000	1015	0.5075	0.254%
580	580000	1045	0.5225	0.261%
590	590000	1090	0.545	0.273%
600	600000	1142	0.571	0.286%
610	610000	1192	0.596	0.298%
620	620000	1240	0.62	0.310%
630	630000	1286	0.643	0.322%
640	640000	1336	0.668	0.334%
650	650000	1400	0.7	0.350%
660	660000	1445	0.7225	0.361%
670	670000	1490	0.745	0.373%
680	680000	1530	0.765	0.383%
690	690000	1610	0.805	0.403%
700	700000	1670	0.835	0.418%
703.23	703230	1689	0.8445	0.422%

Grafik Modulus Elastisitas BV3 Sampel 4



Kuat Desak, f'c	39,27	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	35268,25	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	29452,67	MPa

Modulus Elastisitas BV3 Sampel 5

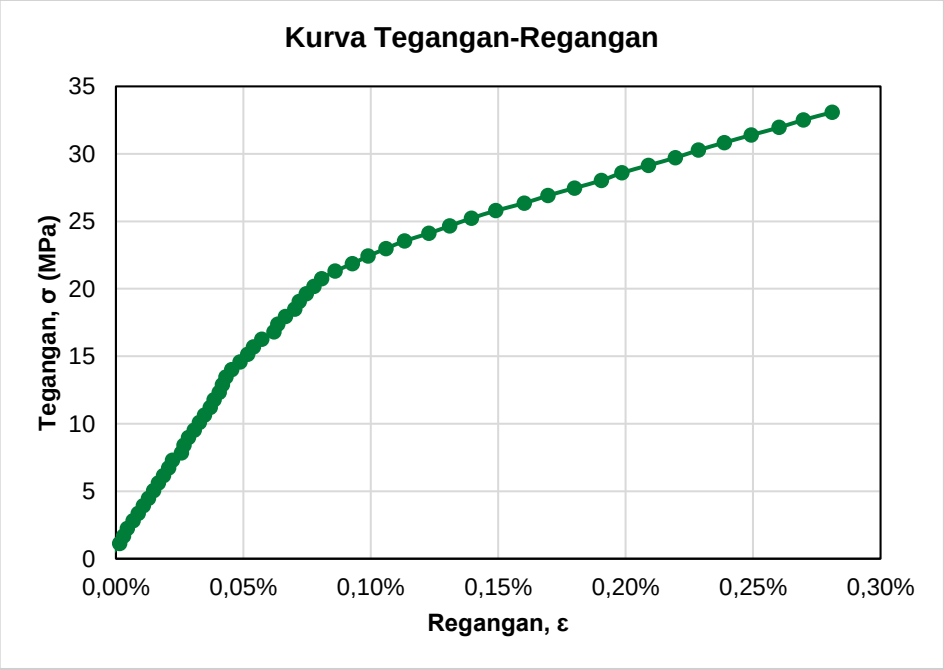
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	19	0.0095	0.005%
40	40000	25	0.0125	0.006%
50	50000	34	0.017	0.009%
60	60000	42	0.021	0.011%
70	70000	50	0.025	0.013%
80	80000	58	0.029	0.015%
90	90000	66	0.033	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	82	0.041	0.021%
120	120000	90	0.045	0.023%
130	130000	96	0.048	0.024%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	114	0.057	0.029%
160	160000	121	0.0605	0.030%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	155	0.0775	0.039%

210	210000	161	0.0805	0.040%
220	220000	169	0.0845	0.042%
230	230000	174	0.087	0.044%
240	240000	180	0.09	0.045%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	202	0.101	0.051%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	378	0.189	0.095%
400	400000	403	0.2015	0.101%
410	410000	431	0.2155	0.108%
420	420000	460	0.23	0.115%
430	430000	498	0.249	0.125%
440	440000	531	0.2655	0.133%
450	450000	565	0.2825	0.141%
460	460000	603	0.3015	0.151%
470	470000	648	0.324	0.162%
480	480000	685	0.3425	0.171%
490	490000	727	0.3635	0.182%
500	500000	769	0.3845	0.192%

510	510000	801	0.4005	0.200%
520	520000	843	0.4215	0.211%
530	530000	885	0.4425	0.221%
540	540000	921	0.4605	0.230%
550	550000	962	0.481	0.241%
560	560000	1004	0.502	0.251%
570	570000	1048	0.524	0.262%
580	580000	1086	0.543	0.272%
590	590000	1131	0.5655	0.283%
600	600000	1185	0.5925	0.296%
610	610000	1243	0.6215	0.311%
614.14	614140	1284	0.642	0.321%

Grafik Modulus Elastisitas BV3 Sampel 5



Kuat Desak, f'c	34,43	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30780,20	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	27578,67	MPa

Modulus Elastisitas BV4 Sampel 1

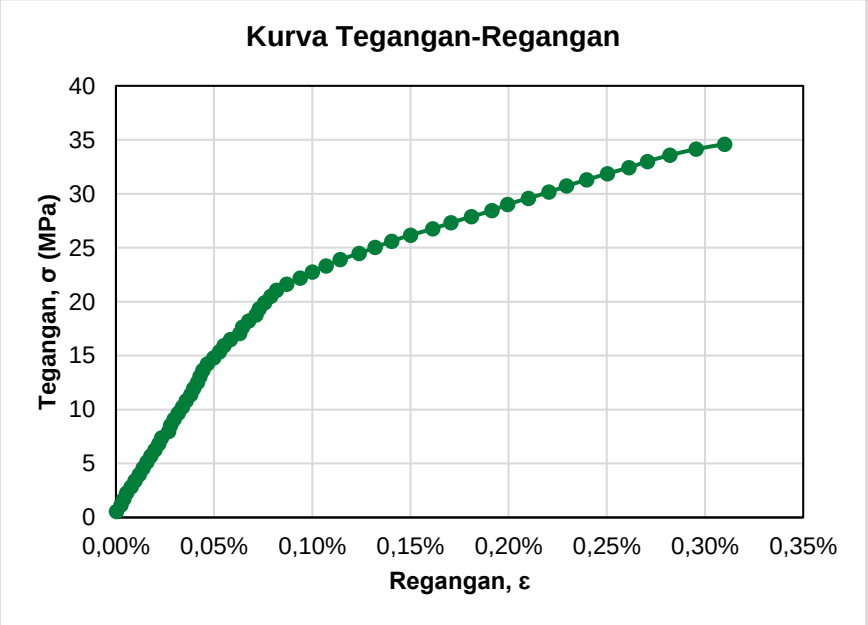
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	30%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	19	0.0095	0.005%
40	40000	25	0.0125	0.006%
50	50000	34	0.017	0.009%
60	60000	42	0.021	0.011%
70	70000	50	0.025	0.013%
80	80000	58	0.029	0.015%
90	90000	66	0.033	0.017%
100	100000	74	0.037	0.019%
110	110000	82	0.041	0.021%
120	120000	90	0.045	0.023%
130	130000	96	0.048	0.024%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	114	0.057	0.029%
160	160000	121	0.0605	0.030%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	138	0.069	0.035%
190	190000	146	0.073	0.037%
200	200000	155	0.0775	0.039%

210	210000	161	0.0805	0.040%
220	220000	169	0.0845	0.042%
230	230000	174	0.087	0.044%
240	240000	180	0.09	0.045%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	202	0.101	0.051%
270	270000	214	0.107	0.054%
280	280000	223	0.1115	0.056%
290	290000	236	0.118	0.059%
300	300000	255	0.1275	0.064%
310	310000	261	0.1305	0.065%
320	320000	273	0.1365	0.068%
330	330000	288	0.144	0.072%
340	340000	295	0.1475	0.074%
350	350000	306	0.153	0.077%
360	360000	318	0.159	0.080%
370	370000	330	0.165	0.083%
380	380000	351	0.1755	0.088%
390	390000	378	0.189	0.095%
400	400000	403	0.2015	0.101%
410	410000	431	0.2155	0.108%
420	420000	460	0.23	0.115%
430	430000	498	0.249	0.125%
440	440000	531	0.2655	0.133%
450	450000	565	0.2825	0.141%
460	460000	603	0.3015	0.151%
470	470000	648	0.324	0.162%
480	480000	685	0.3425	0.171%
490	490000	727	0.3635	0.182%
500	500000	769	0.3845	0.192%

510	510000	801	0.4005	0.200%
520	520000	843	0.4215	0.211%
530	530000	885	0.4425	0.221%
540	540000	921	0.4605	0.230%
550	550000	962	0.481	0.241%
560	560000	1004	0.502	0.251%
570	570000	1048	0.524	0.262%
580	580000	1086	0.543	0.272%
590	590000	1131	0.5655	0.283%
600	600000	1185	0.5925	0.296%
608.01	608010	1243	0.6215	0.311%

Grafik Modulus Elastisitas BV4 Sampel 1



Kuat Desak, f'c	34,59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30856,37	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	27642,46	MPa

Modulus Elastisitas BV4 Sampel 2

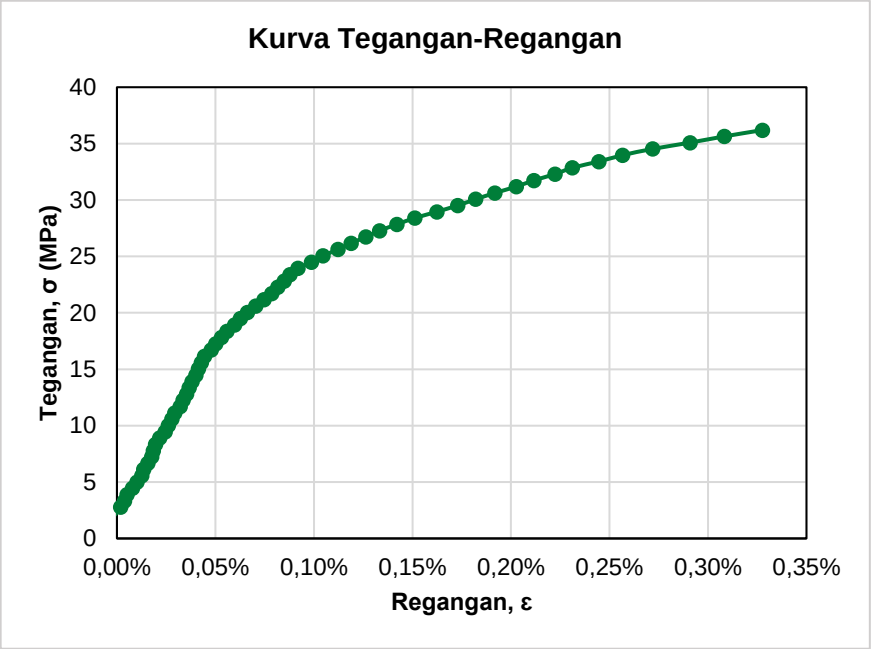
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	30%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	5	0.0025	0.001%
20	20000	12	0.006	0.003%
30	30000	23	0.0115	0.006%
40	40000	35	0.0175	0.009%
50	50000	44	0.022	0.011%
60	60000	52	0.026	0.013%
70	70000	57	0.0285	0.014%
80	80000	68	0.034	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	87	0.0435	0.022%
110	110000	91	0.0455	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	115	0.0575	0.029%
160	160000	123	0.0615	0.031%
170	170000	134	0.067	0.034%
180	180000	141	0.0705	0.035%
190	190000	148	0.074	0.037%
200	200000	154	0.077	0.039%

210	210000	165	0.0825	0.041%
220	220000	171	0.0855	0.043%
230	230000	178	0.089	0.045%
240	240000	183	0.0915	0.046%
250	250000	189	0.0945	0.047%
260	260000	197	0.0985	0.049%
270	270000	202	0.101	0.051%
280	280000	208	0.104	0.052%
290	290000	214	0.107	0.054%
300	300000	228	0.114	0.057%
310	310000	237	0.1185	0.059%
320	320000	249	0.1245	0.062%
330	330000	260	0.13	0.065%
340	340000	275	0.1375	0.069%
350	350000	287	0.1435	0.072%
360	360000	301	0.1505	0.075%
370	370000	318	0.159	0.080%
380	380000	335	0.1675	0.084%
390	390000	351	0.1755	0.088%
400	400000	363	0.1815	0.091%
410	410000	376	0.188	0.094%
420	420000	388	0.194	0.097%
430	430000	404	0.202	0.101%
440	440000	431	0.2155	0.108%
450	450000	455	0.2275	0.114%
460	460000	485	0.2425	0.121%
470	470000	512	0.256	0.128%
480	480000	542	0.271	0.136%
490	490000	570	0.285	0.143%
500	500000	605	0.3025	0.151%

510	510000	641	0.3205	0.160%
520	520000	686	0.343	0.172%
530	530000	728	0.364	0.182%
540	540000	765	0.3825	0.191%
550	550000	804	0.402	0.201%
560	560000	847	0.4235	0.212%
570	570000	883	0.4415	0.221%
580	580000	926	0.463	0.232%
590	590000	961	0.4805	0.240%
600	600000	1015	0.5075	0.254%
610	610000	1063	0.5315	0.266%
620	620000	1124	0.562	0.281%
630	630000	1200	0.6	0.300%
640	640000	1270	0.635	0.318%
650	650000	1347	0.6735	0.337%
660	660000	1391	0.6955	0.348%
670	670000	1443	0.7215	0.361%
680	680000	1487	0.7435	0.372%
690	690000	1522	0.761	0.381%
700	700000	1564	0.782	0.391%
710	710000	1611	0.8055	0.403%
720	720000	1668	0.834	0.417%
723.27	723270	1695	0.8475	0.424%

Grafik Modulus Elastisitas BV4 Sampel 2



Kuat Desak, f'c	40,28	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	36371,43	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	29829,87	MPa

Modulus Elastisitas BV4 Sampel 3

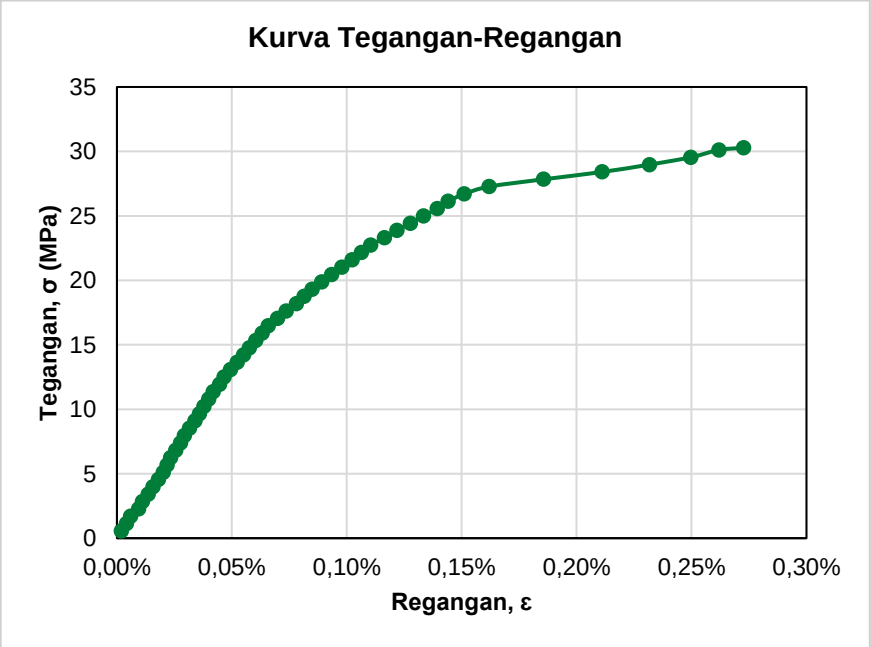
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	30%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	34	0.017	0.009%
50	50000	41	0.0205	0.010%
60	60000	51	0.0255	0.013%
70	70000	59	0.0295	0.015%
80	80000	69	0.0345	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	84	0.042	0.021%
110	110000	90	0.045	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	114	0.057	0.029%
150	150000	123	0.0615	0.031%
160	160000	132	0.066	0.033%
170	170000	140	0.07	0.035%
180	180000	148	0.074	0.037%
190	190000	156	0.078	0.039%
200	200000	164	0.082	0.041%

210	210000	175	0.0875	0.044%
220	220000	183	0.0915	0.046%
230	230000	194	0.097	0.049%
240	240000	206	0.103	0.052%
250	250000	217	0.1085	0.054%
260	260000	227	0.1135	0.057%
270	270000	238	0.119	0.060%
280	280000	249	0.1245	0.062%
290	290000	260	0.13	0.065%
300	300000	276	0.138	0.069%
310	310000	291	0.1455	0.073%
320	320000	309	0.1545	0.077%
330	330000	322	0.161	0.081%
340	340000	336	0.168	0.084%
350	350000	353	0.1765	0.088%
360	360000	370	0.185	0.093%
370	370000	388	0.194	0.097%
380	380000	406	0.203	0.102%
390	390000	422	0.211	0.106%
400	400000	438	0.219	0.110%
410	410000	462	0.231	0.116%
420	420000	484	0.242	0.121%
430	430000	507	0.2535	0.127%
440	440000	530	0.265	0.133%
450	450000	554	0.277	0.139%
460	460000	573	0.2865	0.143%
470	470000	601	0.3005	0.150%
480	480000	644	0.322	0.161%
490	490000	739	0.3695	0.185%
500	500000	841	0.4205	0.210%

510	510000	923	0.4615	0.231%
520	520000	995	0.4975	0.249%
530	530000	1044	0.522	0.261%
533.09	533090	1087	0.5435	0.272%

Grafik Modulus Elastisitas BV4 Sampel 3



Kuat Desak, f'c	30,29	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26736,69	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	25866,13	MPa

Modulus Elastisitas BV4 Sampel 4

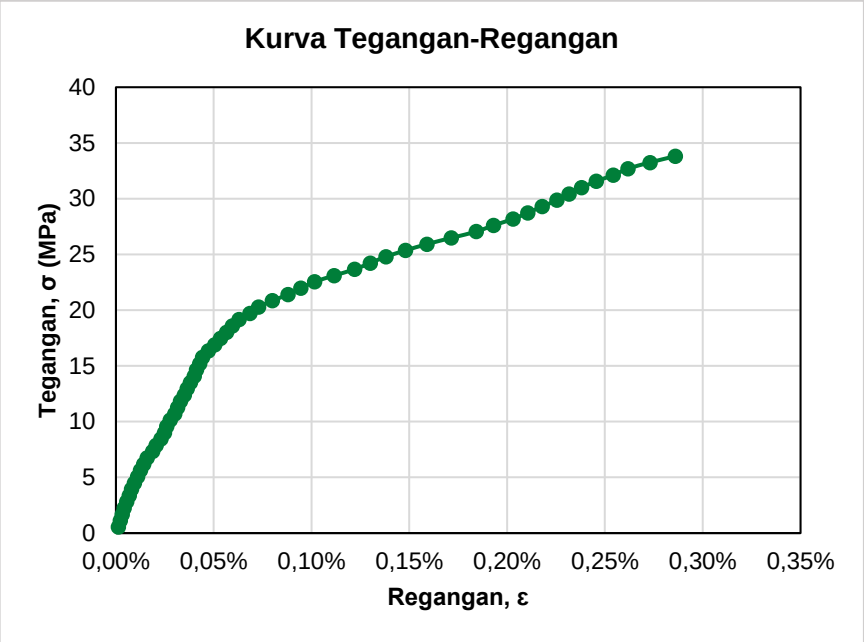
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	30%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	3	0.0015	0.001%
20	20000	7	0.0035	0.002%
30	30000	11	0.0055	0.003%
40	40000	15	0.0075	0.004%
50	50000	20	0.01	0.005%
60	60000	25	0.0125	0.006%
70	70000	30	0.015	0.008%
80	80000	36	0.018	0.009%
90	90000	42	0.021	0.011%
100	100000	48	0.024	0.012%
110	110000	55	0.0275	0.014%
120	120000	62	0.031	0.016%
130	130000	73	0.0365	0.018%
140	140000	80	0.04	0.020%
150	150000	90	0.045	0.023%
160	160000	97	0.0485	0.024%
170	170000	102	0.051	0.026%
180	180000	109	0.0545	0.027%
190	190000	118	0.059	0.030%
200	200000	124	0.062	0.031%

210	210000	130	0.065	0.033%
220	220000	138	0.069	0.035%
230	230000	144	0.072	0.036%
240	240000	150	0.075	0.038%
250	250000	158	0.079	0.040%
260	260000	163	0.0815	0.041%
270	270000	169	0.0845	0.042%
280	280000	175	0.0875	0.044%
290	290000	187	0.0935	0.047%
300	300000	200	0.1	0.050%
310	310000	212	0.106	0.053%
320	320000	224	0.112	0.056%
330	330000	236	0.118	0.059%
340	340000	250	0.125	0.063%
350	350000	272	0.136	0.068%
360	360000	290	0.145	0.073%
370	370000	318	0.159	0.080%
380	380000	350	0.175	0.088%
390	390000	376	0.188	0.094%
400	400000	404	0.202	0.101%
410	410000	444	0.222	0.111%
420	420000	486	0.243	0.122%
430	430000	518	0.259	0.130%
440	440000	550	0.275	0.138%
450	450000	590	0.295	0.148%
460	460000	634	0.317	0.159%
470	470000	684	0.342	0.171%
480	480000	735	0.3675	0.184%
490	490000	770	0.385	0.193%
500	500000	810	0.405	0.203%

510	510000	840	0.42	0.210%
520	520000	870	0.435	0.218%
530	530000	900	0.45	0.225%
540	540000	925	0.4625	0.231%
550	550000	950	0.475	0.238%
560	560000	980	0.49	0.245%
570	570000	1015	0.5075	0.254%
580	580000	1045	0.5225	0.261%
590	590000	1090	0.545	0.273%
600	600000	1142	0.571	0.286%
610	610000	1192	0.596	0.298%
620	620000	1240	0.62	0.310%
630	630000	1286	0.643	0.322%
640	640000	1336	0.668	0.334%
650	650000	1400	0.7	0.350%
660	660000	1445	0.7225	0.361%
670	670000	1490	0.745	0.373%
680	680000	1530	0.765	0.383%
690	690000	1610	0.805	0.403%
700	700000	1670	0.835	0.418%
701.14	701140	1689	0.8445	0.422%

Grafik Modulus Elastisitas BV4 Sampel 4



Kuat Desak, f'c	39,52	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	35597,52	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	29545,84	MPa

Modulus Elastisitas BV4 Sampel 5

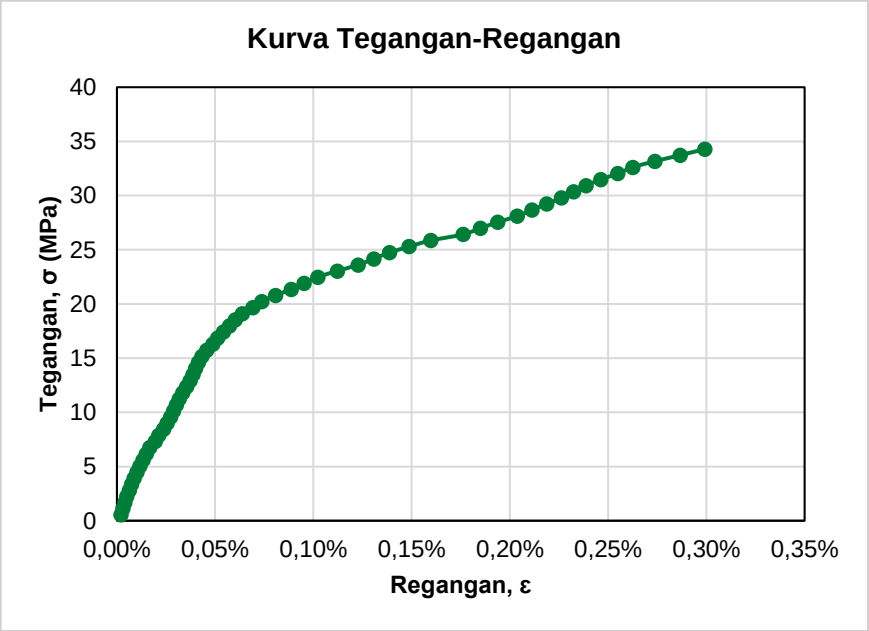
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	30%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	3	0.0015	0.001%
20	20000	7	0.0035	0.002%
30	30000	11	0.0055	0.003%
40	40000	15	0.0075	0.004%
50	50000	20	0.01	0.005%
60	60000	25	0.0125	0.006%
70	70000	30	0.015	0.008%
80	80000	36	0.018	0.009%
90	90000	42	0.021	0.011%
100	100000	48	0.024	0.012%
110	110000	55	0.0275	0.014%
120	120000	62	0.031	0.016%
130	130000	73	0.0365	0.018%
140	140000	80	0.04	0.020%
150	150000	90	0.045	0.023%
160	160000	97	0.0485	0.024%
170	170000	104	0.052	0.026%
180	180000	110	0.055	0.028%
190	190000	116	0.058	0.029%
200	200000	122	0.061	0.031%

210	210000	129	0.0645	0.032%
220	220000	137	0.0685	0.034%
230	230000	144	0.072	0.036%
240	240000	150	0.075	0.038%
250	250000	155	0.0775	0.039%
260	260000	161	0.0805	0.040%
270	270000	168	0.084	0.042%
280	280000	178	0.089	0.045%
290	290000	190	0.095	0.048%
300	300000	200	0.1	0.050%
310	310000	212	0.106	0.053%
320	320000	224	0.112	0.056%
330	330000	236	0.118	0.059%
340	340000	250	0.125	0.063%
350	350000	272	0.136	0.068%
360	360000	290	0.145	0.073%
370	370000	318	0.159	0.080%
380	380000	350	0.175	0.088%
390	390000	376	0.188	0.094%
400	400000	404	0.202	0.101%
410	410000	444	0.222	0.111%
420	420000	486	0.243	0.122%
430	430000	518	0.259	0.130%
440	440000	550	0.275	0.138%
450	450000	590	0.295	0.148%
460	460000	634	0.317	0.159%
470	470000	700	0.35	0.175%
480	480000	735	0.3675	0.184%
490	490000	770	0.385	0.193%
500	500000	810	0.405	0.203%

510	510000	840	0.42	0.210%
520	520000	870	0.435	0.218%
530	530000	900	0.45	0.225%
540	540000	925	0.4625	0.231%
550	550000	950	0.475	0.238%
560	560000	980	0.49	0.245%
570	570000	1015	0.5075	0.254%
580	580000	1045	0.5225	0.261%
590	590000	1090	0.545	0.273%
600	600000	1142	0.571	0.286%
610	610000	1192	0.596	0.298%
620	620000	1240	0.62	0.310%
630	630000	1286	0.643	0.322%
640	640000	1336	0.668	0.334%
650	650000	1400	0.7	0.350%
660	660000	1445	0.7225	0.361%
670	670000	1490	0.745	0.373%
675.94	675940	1530	0.765	0.383%

Grafik Modulus Elastisitas BV4 Sampel 5



Kuat Desak, f'c	38,00	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	35133,15	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	28971,47	MPa

Modulus Elastisitas BV5 Sampel 1

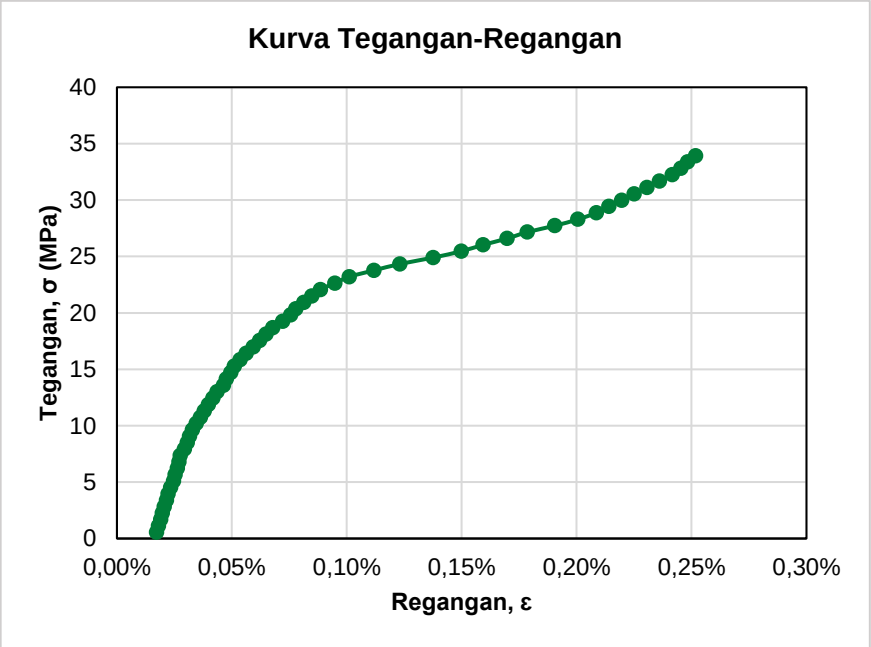
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	35%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	0	0	0.000%
20	20000	3	0.0015	0.001%
30	30000	7	0.0035	0.002%
40	40000	10	0.005	0.003%
50	50000	13	0.0065	0.003%
60	60000	17	0.0085	0.004%
70	70000	20	0.01	0.005%
80	80000	24	0.012	0.006%
90	90000	29	0.0145	0.007%
100	100000	32	0.016	0.008%
110	110000	36	0.018	0.009%
120	120000	39	0.0195	0.010%
130	130000	41	0.0205	0.010%
140	140000	48	0.024	0.012%
150	150000	53	0.0265	0.013%
160	160000	57	0.0285	0.014%
170	170000	62	0.031	0.016%
180	180000	69	0.0345	0.017%
190	190000	76	0.038	0.019%
200	200000	83	0.0415	0.021%

210	210000	90	0.045	0.023%
220	220000	98	0.049	0.025%
230	230000	105	0.0525	0.026%
240	240000	116	0.058	0.029%
250	250000	121	0.0605	0.030%
260	260000	129	0.0645	0.032%
270	270000	135	0.0675	0.034%
280	280000	145	0.0725	0.036%
290	290000	156	0.078	0.039%
300	300000	168	0.084	0.042%
310	310000	179	0.0895	0.045%
320	320000	190	0.095	0.048%
330	330000	202	0.101	0.051%
340	340000	219	0.1095	0.055%
350	350000	233	0.1165	0.058%
360	360000	242	0.121	0.061%
370	370000	256	0.128	0.064%
380	380000	270	0.135	0.068%
390	390000	285	0.1425	0.071%
400	400000	310	0.155	0.078%
410	410000	335	0.1675	0.084%
420	420000	378	0.189	0.095%
430	430000	423	0.2115	0.106%
440	440000	481	0.2405	0.120%
450	450000	530	0.265	0.133%
460	460000	568	0.284	0.142%
470	470000	610	0.305	0.153%
480	480000	645	0.3225	0.161%
490	490000	693	0.3465	0.173%
500	500000	733	0.3665	0.183%

510	510000	765	0.3825	0.191%
520	520000	787	0.3935	0.197%
530	530000	809	0.4045	0.202%
540	540000	831	0.4155	0.208%
550	550000	853	0.4265	0.213%
560	560000	875	0.4375	0.219%
570	570000	897	0.4485	0.224%
580	580000	912	0.456	0.228%
590	590000	924	0.462	0.231%
599.35	599350	938	0.469	0.235%

Grafik Modulus Elastisitas BV5 Sampel 1



Kuat Desak, f'c	33,92	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29342,15	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	27371,71	MPa

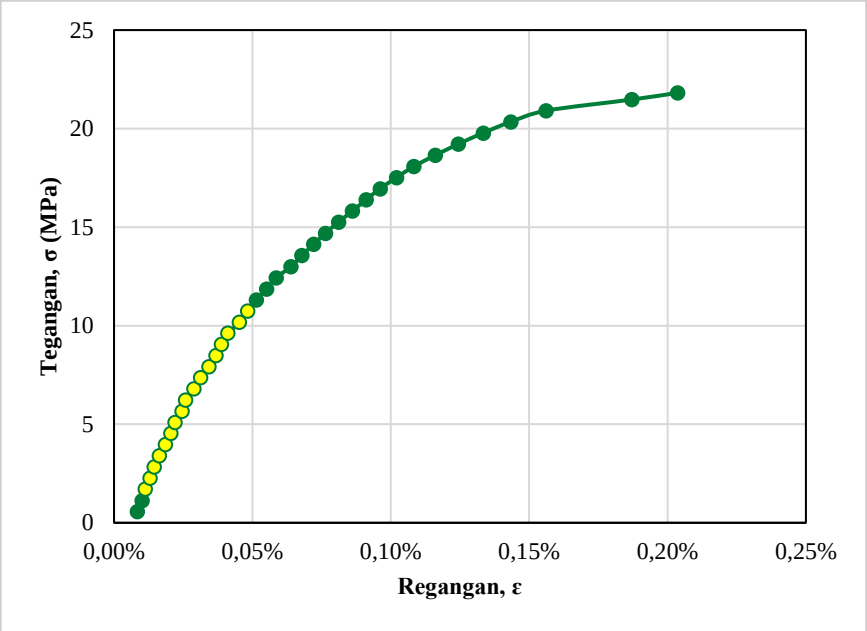
Modulus Elastisitas BV5 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	35%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	0	0	0
20	20000	7	0.0035	0.0000175
30	30000	12	0.006	0.00003
40	40000	19	0.0095	0.0000475
50	50000	25	0.0125	0.0000625
60	60000	32	0.016	0.00008
70	70000	41	0.0205	0.0001025
80	80000	49	0.0245	0.0001225
90	90000	55	0.0275	0.0001375
100	100000	65	0.0325	0.0001625
110	110000	70	0.035	0.000175
120	120000	82	0.041	0.000205
130	130000	92	0.046	0.00023
140	140000	104	0.052	0.00026
150	150000	114	0.057	0.000285
160	160000	122	0.061	0.000305
170	170000	131	0.0655	0.0003275
180	180000	148	0.074	0.00037
190	190000	160	0.08	0.0004
200	200000	172	0.086	0.00043

210	210000	187	0.0935	0.0004675
220	220000	201	0.1005	0.0005025
230	230000	222	0.111	0.000555
240	240000	238	0.119	0.000595
250	250000	255	0.1275	0.0006375
260	260000	272	0.136	0.00068
270	270000	291	0.1455	0.0007275
280	280000	311	0.1555	0.0007775
290	290000	331	0.1655	0.0008275
300	300000	351	0.1755	0.0008775
310	310000	375	0.1875	0.0009375
320	320000	400	0.2	0.001
330	330000	431	0.2155	0.0010775
340	340000	464	0.232	0.00116
350	350000	500	0.25	0.00125
360	360000	540	0.27	0.00135
370	370000	591	0.2955	0.0014775
380	380000	715	0.3575	0.0017875
385.99	385990	781	0.3905	0.0019525

Grafik Modulus Elastisitas BV5 Sampel 2



Kuat Desak, f'c	21,81	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	22988,36	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	21951,30	MPa

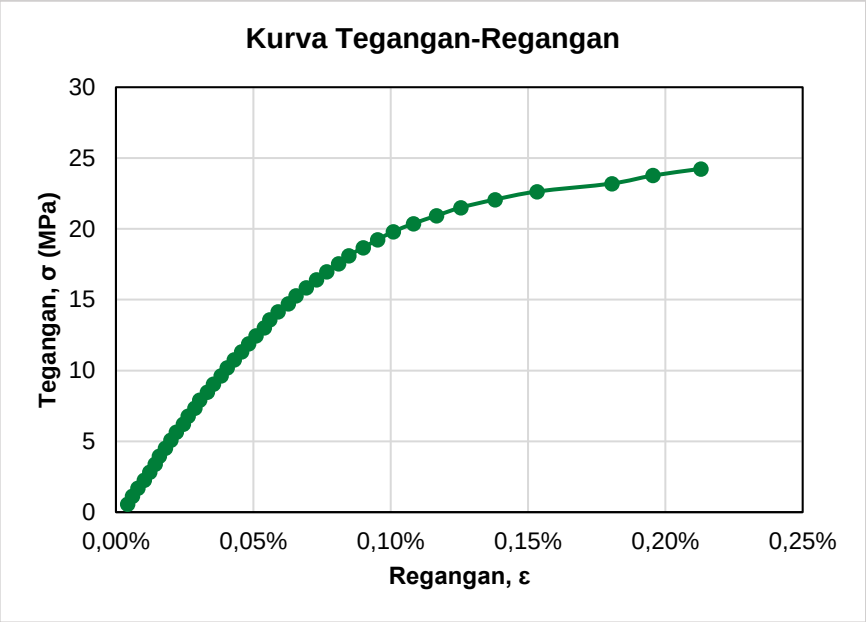
Modulus Elastisitas BV5 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	35%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	5	0.0025	0.001%
20	20000	12	0.006	0.003%
30	30000	20	0.01	0.005%
40	40000	29	0.0145	0.007%
50	50000	37	0.0185	0.009%
60	60000	45	0.0225	0.011%
70	70000	51	0.0255	0.013%
80	80000	60	0.03	0.015%
90	90000	68	0.034	0.017%
100	100000	76	0.038	0.019%
110	110000	86	0.043	0.022%
120	120000	93	0.0465	0.023%
130	130000	103	0.0515	0.026%
140	140000	110	0.055	0.028%
150	150000	121	0.0605	0.030%
160	160000	130	0.065	0.033%
170	170000	141	0.0705	0.035%
180	180000	150	0.075	0.038%
190	190000	160	0.08	0.040%
200	200000	171	0.0855	0.043%

210	210000	181	0.0905	0.045%
220	220000	192	0.096	0.048%
230	230000	204	0.102	0.051%
240	240000	212	0.106	0.053%
250	250000	224	0.112	0.056%
260	260000	239	0.1195	0.060%
270	270000	250	0.125	0.063%
280	280000	265	0.1325	0.066%
290	290000	280	0.14	0.070%
300	300000	295	0.1475	0.074%
310	310000	312	0.156	0.078%
320	320000	327	0.1635	0.082%
330	330000	348	0.174	0.087%
340	340000	369	0.1845	0.092%
350	350000	392	0.196	0.098%
360	360000	421	0.2105	0.105%
370	370000	455	0.2275	0.114%
380	380000	490	0.245	0.123%
390	390000	540	0.27	0.135%
400	400000	601	0.3005	0.150%
410	410000	710	0.355	0.178%
420	420000	770	0.385	0.193%
428.36	428360	840	0.42	0.210%

Grafik Modulus Elastisitas BV5 Sampel 3



Kuat Desak, f'c	24,24	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25150,41	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	23140,15	MPa

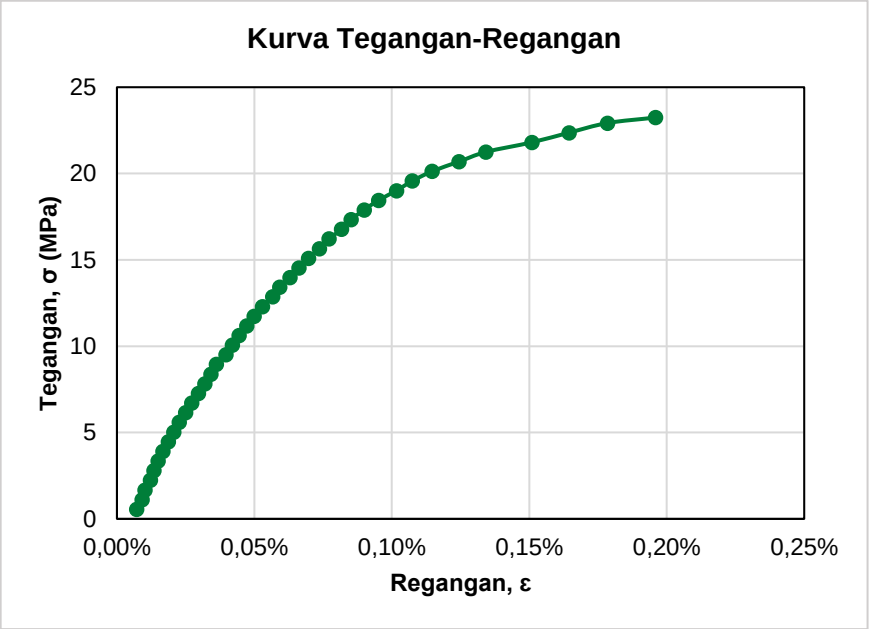
Modulus Elastisitas BV5 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	35%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	0	0	0.000%
20	20000	8	0.004	0.002%
30	30000	12	0.006	0.003%
40	40000	20	0.01	0.005%
50	50000	25	0.0125	0.006%
60	60000	31	0.0155	0.008%
70	70000	38	0.019	0.010%
80	80000	46	0.023	0.012%
90	90000	54	0.027	0.014%
100	100000	62	0.031	0.016%
110	110000	71	0.0355	0.018%
120	120000	80	0.04	0.020%
130	130000	90	0.045	0.023%
140	140000	99	0.0495	0.025%
150	150000	108	0.054	0.027%
160	160000	116	0.058	0.029%
170	170000	130	0.065	0.033%
180	180000	139	0.0695	0.035%
190	190000	149	0.0745	0.037%
200	200000	160	0.08	0.040%

210	210000	171	0.0855	0.043%
220	220000	183	0.0915	0.046%
230	230000	198	0.099	0.050%
240	240000	208	0.104	0.052%
250	250000	223	0.1115	0.056%
260	260000	236	0.118	0.059%
270	270000	250	0.125	0.063%
280	280000	266	0.133	0.067%
290	290000	280	0.14	0.070%
300	300000	298	0.149	0.075%
310	310000	312	0.156	0.078%
320	320000	331	0.1655	0.083%
330	330000	352	0.176	0.088%
340	340000	378	0.189	0.095%
350	350000	401	0.2005	0.100%
360	360000	430	0.215	0.108%
370	370000	469	0.2345	0.117%
380	380000	508	0.254	0.127%
390	390000	575	0.2875	0.144%
400	400000	629	0.3145	0.157%
410	410000	685	0.3425	0.171%
415.68	415680	755	0.3775	0.189%

Grafik Modulus Elastisitas BV5 Sampel 4



Kuat Desak, f'c	23,24	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24311,05	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	22659,13	MPa

Modulus Elastisitas BV5 Sampel 5

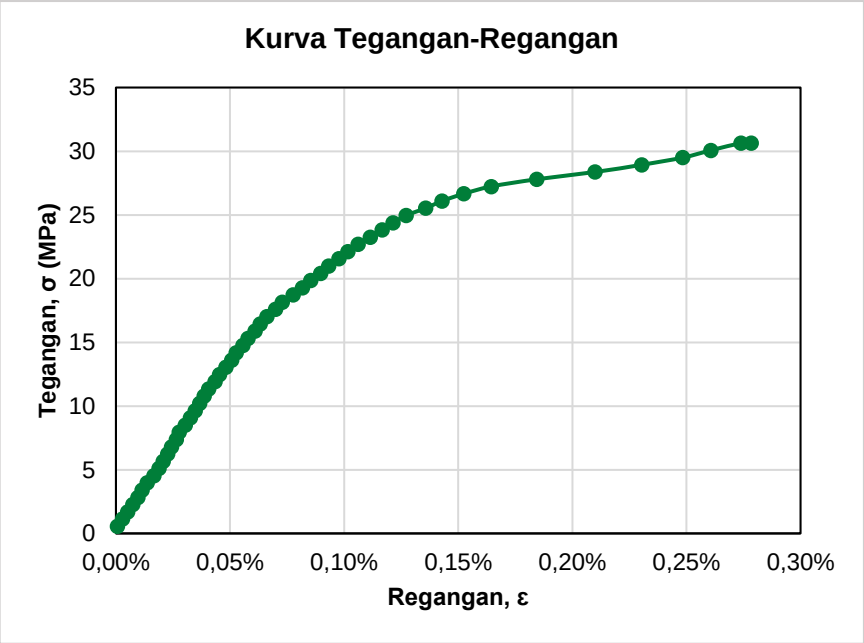
Data Sampel	
Kadar *Fly Ash*	10%
Kadar Abu Batu	35%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban	**Ekstensiometer x 10^{-3}**	**Deformasi**	**Regangan**	**Tegangan**
(kN)	(mm)	(mm)	(ε)	(σ)
10	10000	4	0.002	0.001%
20	20000	13	0.0065	0.003%
30	30000	22	0.011	0.006%
40	40000	31	0.0155	0.008%
50	50000	40	0.02	0.010%
60	60000	47	0.0235	0.012%
70	70000	56	0.028	0.014%
80	80000	68	0.034	0.017%
90	90000	77	0.0385	0.019%
100	100000	84	0.042	0.021%
110	110000	92	0.046	0.023%
120	120000	99	0.0495	0.025%
130	130000	107	0.0535	0.027%
140	140000	112	0.056	0.028%
150	150000	123	0.0615	0.031%
160	160000	132	0.066	0.033%
170	170000	140	0.07	0.035%
180	180000	148	0.074	0.037%
190	190000	156	0.078	0.039%
200	200000	164	0.082	0.041%

210	210000	175	0.0875	0.044%
220	220000	183	0.0915	0.046%
230	230000	194	0.097	0.049%
240	240000	204	0.102	0.051%
250	250000	212	0.106	0.053%
260	260000	224	0.112	0.056%
270	270000	233	0.1165	0.058%
280	280000	245	0.1225	0.061%
290	290000	254	0.127	0.064%
300	300000	266	0.133	0.067%
310	310000	281	0.1405	0.070%
320	320000	293	0.1465	0.073%
330	330000	312	0.156	0.078%
340	340000	328	0.164	0.082%
350	350000	343	0.1715	0.086%
360	360000	360	0.18	0.090%
370	370000	374	0.187	0.094%
380	380000	392	0.196	0.098%
390	390000	408	0.204	0.102%
400	400000	426	0.213	0.107%
410	410000	447	0.2235	0.112%
420	420000	468	0.234	0.117%
430	430000	487	0.2435	0.122%
440	440000	510	0.255	0.128%
450	450000	544	0.272	0.136%
460	460000	573	0.2865	0.143%
470	470000	611	0.3055	0.153%
480	480000	659	0.3295	0.165%
490	490000	739	0.3695	0.185%
500	500000	841	0.4205	0.210%

510	510000	923	0.4615	0.231%
520	520000	995	0.4975	0.249%
530	530000	1044	0.522	0.261%
540	540000	1097	0.5485	0.274%
540.24	540240	1115	0.5575	0.279%

Grafik Modulus Elastisitas BV5 Sampel 5



Kuat Desak, f'c	30,65	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27434,55	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{teo}	26021,63	MPa

Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BN	28	1	27,59	24702,37	24685,34	26156,79	24743,35
		2	25,04	25454,95	23520,69		
		3	29,52	27244,83	25537,75		
		4	27,29	25285,08	24553,35		
		5	29,25	28096,72	25419,60		
BV1	28	1	31,09	26349,74	26208,06	27200,06	25346,86
		2	32,83	30815,17	26930,52		
		3	35,32	31101,53	27932,27		
		4	32,80	28693,76	26915,55		
		5	15,91	19040,10	18747,89		

Keterangan :

BN = Beton Normal

BV1 = Beton Variasi 1 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 0%)

Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BV2	28	1	28,20	25217,61	24957,04	31239,16	27769,77
		2	36,77	33416,26	28498,74		
		3	39,15	34720,56	29408,67		
		4	35,01	31184,09	27811,45		
		5	35,93	31657,29	28172,94		
BV3	28	1	31,91	27604,11	26551,77	32155,33	28169,72
		2	36,98	33683,05	28580,63		
		3	37,25	33441,02	28684,87		
		4	39,27	35268,25	29452,67		
		5	34,43	30780,20	27578,67		

Keterangan :

BV2 = Beton Variasi 2 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 20%)

BV3 = Beton Variasi 3 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 25%)

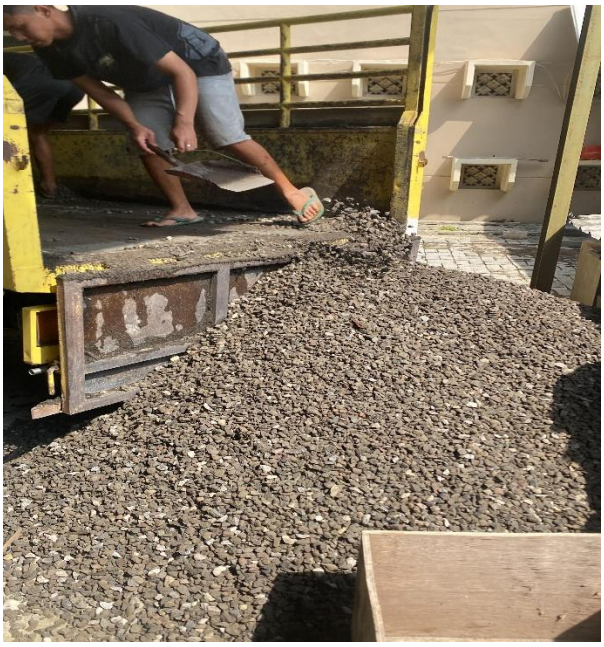
Kode Sampel	Umur Beton	Nomor Sampel	Kuat Tekan, f'c	Modulus Elastisitas, E		Modulus Elastisitas Rerata, E	
				Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$	Pengujian	Teoritis $4700 \times \sqrt{f'c}$
	(Hari)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
BV4	28	1	34,59	30856,37	27642,46	32939,03	28371,15
		2	40,28	36371,43	29829,87		
		3	30,29	26736,69	25866,13		
		4	39,52	35597,52	29545,84		
		5	38,00	35133,15	28971,47		
BV5	28	1	33,92	29342,15	27371,71	25845,30	24228,78
		2	21,81	22988,36	21951,30		
		3	24,24	25150,41	23140,15		
		4	23,24	24311,05	22659,13		
		5	30,65	27434,55	26021,63		

Keterangan :

BV4 = Beton Variasi 4 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 30%)

BV5 = Beton Variasi 5 (*Fly Ash* 10% + Abu Batu 35%)

Lampiran 7 Dokumentasi Laboratorium










12537






57
19139