

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI SERBUK KACA DAN *FLY ASH* TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON (*THE EFFECT OF GLASS POWDER AND FLY ASH SUBSTITUTION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE*)

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



Fadila Rizki Kurniawan

19511211

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

2024

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI SERBUK KACA DAN FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON (THE EFFECT OF GLASS POWDER AND FLY ASH SUBSTITUTION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE)

Disusun Oleh

Fadila Rizki Kurniawan

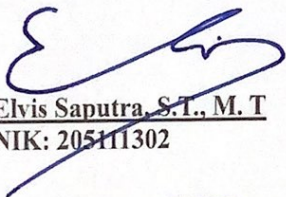
19511211

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

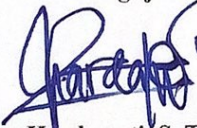
Diuji pada tanggal 30 Agustus 2024

Oleh Dewan Penguji:

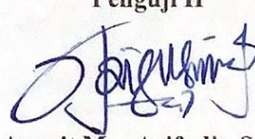
Pembimbing


Elvis Saputra, S.T., M. T
NIK: 205111302

Penguji I


Astriana Hardawati, S. T., M. Eng
NIK: 165111801

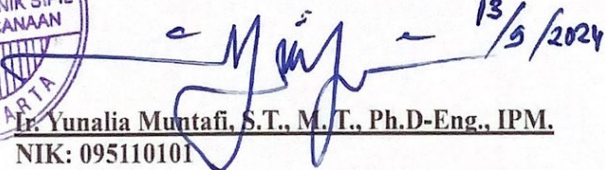
Penguji II


Anggit Mas Arifudin S.T., M. T.
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, 5 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan



Fadila Rizki Kurniawan

(19511211)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya yang berjudul "Pengaruh Substitusi Serbuk Kaca dan *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 ini terdapat hambatan yang dihadapi, akan tetapi berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

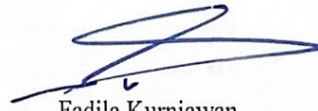
1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D-Eng., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing Proposal Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada saya selama pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini berlangsung.
3. Astriana Hardawati, S. T., M.Eng selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya.
4. Anggit Mas Arifudin, S. T., M. T. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya.
5. Orang tua saya yang selalu memberikan saran, semangat dan doa dalam proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Abang dan kakak saya yang selalu memberikan saran, semangat dan doa dalam proses penyusunan tugas akhir ini.

7. Teman-teman terdekat saya yang selalu menghibur dan memberikan semangat dalam penyusunan tugas akhir ini.

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

Yogyakarta, 5 Agustus, 2024

Penulis,



Fadila Kurniawan
(19511211)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana	9
BAB III LANDASAN TEORI.....	14
3.1 Beton	14
3.2 Bahan Penyusun Beton.....	14
3.3 Agregat Halus.....	14
3.4 Agregat Kasar.....	15
3.5 Semen <i>Portland</i> (PC)	16
3.6 Air.....	17
3.7 Serbuk Kaca	18
3.8 <i>Fly Ash</i>	19
3.9 Perencanaan Campuran Beton.....	20
3.10 Pengujian <i>Slump</i>	26
3.11 Perawatan Beton.....	28
3.12 Pengujian Tekan Beton.....	28

3.13	Pengujian Tarik Belah	29
3.14	Pengujian Modulus Elastisitas.....	30
3.15	Umur Beton	31
BAB IV METODE PENELITIAN		32
4.1	Umum.....	32
4.2	Lokasi	32
4.3	Bahan.....	32
4.4	Alat	33
4.5	Tahap Penelitian	39
4.5.1	Persiapan Bahan	39
4.5.2	Pembuatan Benda Uji.....	40
4.5.3	Perawatan Benda Uji.....	41
4.5.4	Pengujian Benda Uji	41
4.6	Prosedur Pengujian.....	41
4.6.1	Uji Slump	41
4.6.2	Uji Kuat Tekan Beton.....	42
4.6.3	Uji Tarik Belah	42
4.6.4	Uji Modulus Elastisitas	43
4.7	Diagram Alir Penelitian.....	43
BAB V HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN		46
5.1	Pengujian Material	46
5.1.1	Pengujian Agregat Halus.....	46
5.1.2	Pengujian Agregat Kasar.....	54
5.2	Desain Campuran Beton.....	61
5.3	Pengujian Kuat Tekan Beton	72
5.3.1	Pembahasan.....	76
5.4	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	77
5.4.1	Pembahasan.....	81
5.5	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	82
5.5.1	Pembahasan.....	91
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		92
6.1	Kesimpulan.....	92

6.2	Saran.....	92
LAMPIRAN.....		97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Agregat Halus.....	15
Gambar 3.2 Agregat Kasar.....	16
Gambar 3.3 Semen.....	17
Gambar 3.4 Air.....	18
Gambar 3.5 Serbuk Kaca	19
Gambar 3.6 Fly Ash	20
Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	22
Gambar 3.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 10 mm (Sumber: SNI 2834-2000).....	24
Gambar 3.9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm (Sumber: SNI 2834-2000).....	25
Gambar 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 40 mm (Sumber: SNI 2834-2000).....	25
Gambar 3.11 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan ...	26
Gambar 3.12 Tipe-tipe Slump	28
Gambar 3.13 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton	29
Gambar 3.14 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton.....	30
Gambar 3.15 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton	31
Gambar 4.1 Saringan Agregat	34
Gambar 4.2 Timbangan.....	34
Gambar 4.3 Cetakan Silinder	35
Gambar 4.4 Ember	35
Gambar 4.5 Kerucut Abrams.....	36
Gambar 4.6 Oven	36
Gambar 4.7 Tongkat Penumbuk.....	37
Gambar 4.8 Mixer	37
Gambar 4.9 Sekop.....	38
Gambar 4.10 Mesin Uji Tekan	38

Gambar 4.11 Diagram Alir Penelitian.....	45
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah IV.....	51
Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm	59
Gambar 5.3 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	64
Gambar 5.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm (Sumber: SNI 2834-2000).....	67
Gambar 5.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	68
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi	76
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi.....	81
Gambar 5.8 Kurva Tegangan Regangan	85
Gambar 5.9 Hubungan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian	10
Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	21
Tabel 3.2 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	22
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	24
Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton	40
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	47
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	49
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus	50
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 Penyerapan 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 Faktor Pengali	62
Tabel 5.13 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	63
Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m ³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	65
Tabel 5.15 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	66
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	71

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton dengan Serbuk Kaca dan Fly Ash.....	72
Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton.....	73
Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	78
Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1.....	83
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus.....	98
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar.....	105
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	110
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	111
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Tarik Belah Beton	114
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	117

ABSTRAK

Dengan pertumbuhan pembangunan yang cepat di Indonesia, pengelolaan limbah atau sampah merupakan isu serius yang memerlukan solusi inovatif dan penggunaan yang efisien. Limbah kaca yang merupakan limbah yang berasal dari sektor industri dan rumah tangga dapat dijadikan opsi sebagai pengganti bahan campuran beton. Fly ash yang juga merupakan salah satu limbah dengan sifat 'pozzolan' dapat dijadikan bahan pengganti campuran beton.

Pada penelitian ini, bahan substitusi serbuk kaca digunakan pada agregat halus dan fly ash pada semen. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah 15% fly ash dari berat semen, sementara variabel berubah adalah serbuk kaca dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Perhitungan mix design dilakukan menggunakan SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 25 MPa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa substitusi serbuk kaca sebanyak 5% sampai 25% dari berat pasir dan fly ash 15% dari berat semen memengaruhi kuat tekan beton. Kuat tekan beton mengalami kenaikan hingga variasi BV-03 (Variasi 15%). Nilai kuat tekan maksimum ditunjukkan pada variasi 15% substitusi serbuk kaca dengan nilai rata-rata 24,32 MPa, meskipun nilai ini masih lebih rendah dibandingkan kuat tekan beton normal yaitu 26,41 MPa. Nilai kuat tarik belah maksimum dicapai pada variasi 15% dengan nilai rata-rata 2,54 MPa, yang masih lebih rendah dari kuat tarik belah beton normal dengan nilai rata-rata 2,78 MPa. Modulus elastisitas beton juga dicapai nilai tertinggi pada variasi 15% dan mengalami penurunan setelahnya.

Kata kunci: Limbah, Serbuk kaca, *Fly Ash*, Beton.

ABSTRACT

With the rapid development growth in Indonesia, waste management remains a serious issue that requires innovative solutions and efficient use. Glass waste, which comes from the industrial and household sectors, can be an option as a substitute for concrete mix materials. Fly ash, which is also a type of waste with pozzolanic properties, can be used as a substitute for concrete mix materials.

In this study, glass powder be used as a substitute for fine aggregates and fly ash for cement. The constant variable in this study is 15% fly ash by weight of cement, while the variable changes are glass powder with variations of 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% by weight of fine aggregates. Testing was conducted on 28 day old concrete. The mix design calculation was performed using SNI 2834-2000 with a planned strength of 25 MPa.

The results of this study show that substituting glass powder at 5% to 25% of the sand weight and fly ash at 15% of the cement weight affects the compressive strength of concrete. The compressive strength of the concrete increased up to variation BV-03 (15% substitution). The results showed that the maximum compressive strength was achieved at 15% glass powder substitution with an average value of 24.32 MPa, although this value is still lower than the normal concrete compressive strength of 26.41 MPa. The maximum split tensile strength was achieved at the 15% variation with an average value of 2.54 MPa, which is still lower than the normal concrete split tensile strength with an average value of 2.78 MPa. The modulus of elasticity of concrete also reached its highest value at the 15% variation and decreased thereafter.

Keywords: Waste, Glass Powder, Fly Ash, Concrete.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan salah satu elemen dalam konstruksi yang terdiri dari beberapa material sederhana seperti agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Beton termasuk salah satu bahan struktur pada bangunan yang sampai saat ini sering digunakan dibanding bahan lain seperti baja dan kayu. Karena kemudahan memperoleh material beton membuat beton masih banyak digunakan saat ini. Salah satu alasan lain yang membuat beton sering digunakan karena beberapa kelebihanannya seperti: kuat tekan yang tinggi, memiliki ketahanan terhadap karat, tahan dari api, tahan dari cuaca, dan mudah dibentuk.

Saat ini, produksi dan harga semen dan pasir terus meningkat. Seiring dengan peningkatan permintaan semen untuk pembangunan di dalam negeri, banyak ide dan konsep muncul dalam pelaksanaan pengecoran untuk mencapai hasil yang maksimal. Penelitian ini melibatkan pemilihan bahan yang lebih baik dan komposisi campuran khusus, sehingga mutu yang seragam dapat dicapai. 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 dengan biaya yang paling ekonomis.

Dengan pertumbuhan pembangunan yang cepat di Indonesia, pengelolaan limbah atau sampah merupakan isu serius yang memerlukan solusi inovatif dan penggunaan yang efisien. Menurut informasi dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah sampah yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2022 adalah sekitar 19,45 juta ton. Ini merupakan penurunan sebesar 37,52% dibandingkan dengan jumlah sampah pada tahun 2021 yang mencapai 31,13 juta ton. Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2022, persentase sampah kaca adalah sebesar 1,96%.

Limbah kaca yang merupakan limbah yang berasal dari sektor industri dan rumah tangga (Cut Rahmawati, 2022). Kaca digunakan dalam campuran beton dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dan mengurangi limbah kaca yang dapat merusak lingkungan. Kaca merupakan bahan yang tersedia secara melimpah dan memiliki nilai ekonomis. Selain itu, kaca memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi dan dapat bertahan terhadap kondisi cuaca serta serangan kimia berkat kandungan silikanya. Pecahan limbah kaca umumnya termasuk kaca jendela, cermin, gelas minum bekas, mangkuk, piring, botol, dan perabot rumah tangga lainnya. Namun, nilai ekonomisnya relatif rendah. Penggunaan limbah kaca ini diharapkan mampu mempertahankan stabilitas kepadatan campuran beton selama proses pengecoran dan meningkatkan kekuatan tekan beton setelah pengerasan berlangsung.

Kemajuan teknologi dalam industri beton yang terus meningkat seiring waktu dan tingginya permintaan beton dalam konstruksi mendorong usaha untuk menciptakan beton yang berkualitas tinggi dan efisien. Upaya ini tidak dapat terwujud tanpa adanya inovasi, yang menghasilkan konsep pemanfaatan benda-benda tak terpakai (limbah) yang menumpuk. Meskipun demikian, tidak semua jenis limbah dapat digunakan dalam pencampuran beton. Indonesia adalah negara kedua terbesar di dunia dalam hal produksi batubara setelah China, dengan cadangan batubara yang sangat besar. Situasi ini memiliki potensi dampak negatif pada lingkungan. Menggunakan fly ash dapat memiliki efek positif pada lingkungan, oleh karena itu, salah satu opsi yang dapat diambil adalah mencampurkannya dalam campuran beton.

Fly ash adalah hasil samping pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang memiliki sifat pozzolanik dan dapat berreaksi dengan kapur dalam kondisi suhu ruangan ketika terkena air, membentuk senyawa yang memiliki kemampuan pengikat (Darmawan et al., 2013). Penggunaan fly ash sebagai bahan tambahan dalam campuran beton adalah bagian dari upaya untuk mengatasi masalah lingkungan, mengingat fly ash adalah limbah yang dapat mencemari lingkungan sekitar hasil pembakaran batubara. Harga fly ash, limbah abu batu bara, saat ini sekitar Rp. 16.645 per sak, yang jelas lebih terjangkau

dibandingkan dengan harga Portland Cement (PC) yang mencapai Rp. 55.000 per sak. Perlu diingat bahwa PC adalah bahan alam yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, perlu mencari alternatif bahan yang memenuhi persyaratan teknis dan juga memiliki nilai ekonomis yang lebih baik. Salah satu solusinya adalah dengan memanfaatkan *fly ash* atau limbah abu batu bara, sebagai pengikat dalam campuran beton.

Penelitian kali ini menggunakan dua bahan limbah alternatif yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dan semen. Bahan yang digunakan ialah serbuk kaca dan *fly ash*. Serbuk kaca disubstitusikan pada agregat halus dan *fly ash* disubstitusikan pada semen. Komposisi dari serbuk kaca memiliki variasi yang berbeda-beda, sehingga mutu beton juga terpengaruhi. Pada penelitian ini, sampel akan dibuat sebanyak 10 buah per-variasi, yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat halus, dengan campuran *fly ash* variasi 15% dari berat semen. Menurut jurnal Siska Apriwelni tahun 2020, penggunaan *fly ash* dengan angka persentase 15% menghasilkan kuat tekan yang paling signifikan diantara variasi lainnya. Terdapat 60 sampel dari total tersebut. Pengujian beton dilakukan pada umur beton 28 hari setelah pembuatan sampel.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh dari besarnya persentase serbuk kaca dan *fly ash* terhadap kuat tekan beton, tarik belah, dan modulus elastisitas?
2. Berapa jumlah kadar variasi substitusi serbuk kaca terhadap agregat halus dan *fly ash* kepada semen 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 serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash pada semen terhadap kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.
2. Mengetahui jumlah kadar variasi substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash kepada semen yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash pada semen terhadap kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.
2. Untuk mengetahui besar presentasi substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash pada semen terhadap kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.

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. Serbuk kaca berasal dari pecahan limbah kaca seperti jendela, cermin, limbah gelas-gelas minum, mangkuk, piring, botol, dan limbah kaca lainnya. Serbuk kaca diperoleh dengan cara menghancurkan kaca dan digiling hingga menjadi serbuk halus yang tertahan di saringan nomor 50 atau 0.300 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 benda uji untuk tiap variasi sebanyak 10 buah.
10. Variabel tetap adalah *fly ash* 15% dari berat semen.
11. Variabel berubah ialah serbuk kaca 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari berat agregat halus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sejumlah studi sebelumnya telah mengeksplorasi pengaruh substitusi serbuk kaca dan fly ash, dan dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan temuan-temuan tersebut sebagai landasan referensi. Untuk mendukung penelitian ini, peneliti akan merujuk pada jurnal-jurnal sebelumnya, termasuk salah satunya adalah jurnal yang akan disebutkan berikut ini.

1. Fauna Adibroto, Etri Suhelmidawati, Azri Azhar Musaddiq Zade (2018), Berbagai penelitian dan percobaan bidang 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 bisa 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 diuji pada umur 7 hari dan 28 hari. Penelitian ini menguji beton dengan benda uji silinder (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 20,046 MPa. Kuat tekan tertinggi didapat dari penelitian yaitu 30,770 MPa.

2. Mira Setiawati (2018), Penggunaan fly ash sebagai bahan pembentuk beton memiliki dampak positif dalam konteks lingkungan. Fly ash merupakan partikel sangat halus yang merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara. Partikel yang sangat halus ini memiliki potensi untuk mencemari udara. Saat ini, fly ash masih umumnya dibuang di lahan terbuka. Penelitian ini fokus pada identifikasi manfaat penggunaan fly ash sebagai pengganti semen dalam beton, terutama pada kekuatan awal beton. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi dampak penggunaan fly ash sebagai pengganti semen terhadap kekuatan beton. Persentase fly ash yang digunakan bervariasi dari 5% hingga 12,5% dengan selang penggunaan fly ash sebesar 2,5%. Beton diuji pada usia 3, 7, 14, dan 28 hari setelah proses curing. Penelitian ini melibatkan 96 benda uji berbentuk kubus, dengan masing-masing variasi memiliki 12 benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi terjadi pada penggunaan 12,5% fly ash, mencapai 404,03 Kg/cm² pada usia 28 hari dengan peningkatan sebesar 27,95%. Pada usia awal beton, nilai kekuatan tertinggi dicapai pada penggunaan fly ash 12,5%, yakni 231,04 Kg/cm² dengan peningkatan sebesar 60% dibandingkan dengan beton tanpa fly ash. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pada usia awal beton, penggunaan 12,5% fly ash dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tekan maksimum.
3. Meri Apsari Punusingon, Banu D.Handono, Rony Pandaleke (2019), Pemanfaatan material daur ulang merupakan salah satu upaya untuk mengelola limbah yang ada sambil mengurangi jumlah limbah konstruksi dan limbah batubara. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan proporsi yang optimal dan mencari nilai kekuatan tekan beton terbaik dengan menggunakan fly ash dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Sebanyak 36 silinder berukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm diuji, dengan tiga silinder untuk setiap variasi. Terdapat lima variasi fly ash, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, serta tujuh variasi serbuk kaca, mulai dari 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10.5%, 12.5%, hingga 15%. Campuran beton dirancang dengan menggunakan Metode ACI 211.1-91 yang telah

dimodifikasi. Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada beton berumur 28 hari. Hasil analisis terhadap agregat limbah beton menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki keausan sebesar 34.4% dengan absorpsi 8.52%, sementara agregat halus memiliki absorpsi sebesar 12.74%. Beton yang menggunakan agregat buatan dari limbah beton dapat dikategorikan sebagai beton normal, dengan berat volume beton berkisar antara 2021.23 kg/m³ hingga 2061.57 kg/m³. Kekuatan tekan optimum tercapai pada variasi fly ash 20%, mencapai 18.61 MPa. Proporsi campuran C dengan 20% fly ash dan 5% serbuk kaca menghasilkan nilai kekuatan tekan optimum sebesar 16.93 MPa. Dengan penambahan serbuk kaca sebesar 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, dan 15%, kekuatan tekan beton meningkat hingga mencapai 5% penambahan serbuk kaca. Namun, kekuatan tekan cenderung menurun seiring dengan penambahan serbuk kaca sebesar 7.5%, 10%, dan 12.5%, kemudian kembali meningkat pada penambahan 15% serbuk kaca.

4. Siska Apriwelni, Nugraha Bintang Wirawan (2020), Studi ini menginvestigasi dampak dari kekuatan tekan beton mutu tinggi dengan memanfaatkan limbah fly ash dan bubuk kaca. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton pada berbagai variasi, menentukan persentase campuran beton yang menghasilkan kekuatan tekan maksimum, serta menilai efektivitas penggunaan fly ash dan bubuk kaca bersama-sama sebagai bahan campuran beton. Lima variasi komposisi fly ash dipertimbangkan, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, sementara komposisi bubuk kaca memiliki dua variasi, yaitu 5% dan 10%. Sebanyak 30 silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm diuji, dengan tiga silinder untuk setiap variasi. Campuran beton direncanakan sesuai dengan modifikasi dari SNI 03-2834-2000. Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada usia 28 hari beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton dengan fly ash 0% dan bubuk kaca 10% mencapai kekuatan tekan tertinggi, yakni 46,77%. Selain itu, terlihat bahwa semakin besar persentase bubuk kaca yang ditambahkan, semakin tinggi kekuatan tekan betonnya. Penambahan fly ash ke campuran beton juga memengaruhi kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hasil terbaik

diperoleh pada variasi fly ash 15% dengan kekuatan tekan beton sebesar 43,31 MPa. Penelitian ini menunjukkan bahwa kedua limbah ini dapat digabungkan dan dimanfaatkan secara efektif dalam pembuatan beton mutu tinggi.

5. K.I.M Ibrahim (2020), Dengan meningkatnya tekanan lingkungan untuk meminimalisir limbah padat dan menggunakannya kembali sebanyak mungkin, pembuatan beton telah memilih beberapa teknik untuk memenuhi tujuan ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kaca (WG) sebagai pengganti sebagian pasir pada beton biasa dan juga beton bertulang serat kaca (GF). WG digunakan dalam campuran beton sebagai substitusi parsial (agregat halus) dengan proporsi 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 80%. *Silica Fume (SF)* ditambahkan pada campuran beton sebagai substitusi parsial dari berat semen sebesar 10%, dan juga GF ditambahkan dengan rasio 1% dari berat semen. Pada semua rasio substitusi limbah kaca, beberapa sifat beton yang mengeras dan beton segar dievaluasi dalam penelitian ini. Kuat Tarik belah dan kuat tekan beton dengan kadar penggantian 20% WG meningkat sekitar 12% dan 15%, terkait dengan campuran referensi.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	Fauna Adibroto, Etri Suhelmidawati, Azri Azhar Musaddiq Zade (2018)	Mira Setiawati (2018)	Meri Apsari Punusingon, dkk (2019)	Siska Apriwelni, Nugraha Bintang Wirawan (2020)	K.I.M Ibrahim (2020)	Fadila Kurniawan (2024)
Judul Penelitian	Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan <i>Fly Ash</i> sebagai Pengganti Sebagian Semen	<i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton	Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang Dengan Bahan Tambah Abu Terbang (<i>fly ash</i>) dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen	Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi.	The Effect of Using Waste Glass [WG] as Partial Replacement of sand on Concrete.	Pengaruh Substitusi Serbuk Kaca dan <i>Fly Ash</i> terhadap Sifat Mekanis Beton
Tujuan	1. Mengetahui sejauh mana pengaruh penggantian sebagian semen dengan abu terbang terhadap mutu kuat tekan beton, sehingga bisa digunakan untuk perencanaan perkerasan kaku pada jalan raya.	1. Fly ash merupakan partikel sangat halus yang merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi dampak penggunaan fly ash sebagai pengganti semen terhadap kekuatan beton.	1. Pemanfaatan material daur ulang merupakan salah satu upaya untuk mengelola limbah yang ada sambil mengurangi jumlah limbah konstruksi dan limbah batubara. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan proporsi yang optimal dan mencari nilai kekuatan tekan beton terbaik dengan menggunakan fly ash dan serbuk kaca	1. Studi ini menginvestigasi dampak dari kekuatan tekan beton mutu tinggi dengan memanfaatkan limbah fly ash dan bubuk kaca. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan tekan beton pada berbagai variasi, menentukan persentase campuran beton	1. Dengan meningkatnya tekanan lingkungan untuk meminimalisir limbah padat dan menggunakannya kembali sebanyak mungkin, pembuatan beton telah memilih beberapa teknik untuk memenuhi tujuan ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh	1. Mengetahui pengaruh substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash pada semen terhadap kuat tekan beton, kuat Tarik belah, dan modulus elastisitas. 2. Mengetahui jumlah kadar variasi substitusi serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash kepada semen yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
			sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton.	yang menghasilkan kekuatan tekan maksimum, serta menilai efektivitas penggunaan fly ash dan bubuk kaca bersama-sama sebagai bahan campuran beton.	penggunaan limbah kaca (WG) sebagai pengganti sebagian pasir pada beton biasa dan juga beton bertulang serat kaca (GF).	
Kesimpulan	1. Nilai kuat tekan beton dapat mengalami peningkatan sampai umur 28 hari dengan kuat tekan tertinggi 30,770 MPa pada variasi 10% kemudian diikuti variasi 12,5%, 15%, 20%, 25%. Kuat tekan tertinggi 30,770 MPa dengan variasi <i>fly ash</i> 10%, melebihi kuat tekan beton normal pada umur 28 hari yaitu 28,134 MPa. Sehingga berdasarkan hasil uji kuat tekan ini,	1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi terjadi pada penggunaan 12,5% fly ash, mencapai 404,03 Kg/cm ² pada usia 28 hari dengan peningkatan sebesar 27,95%. Pada usia awal beton, nilai kekuatan tertinggi dicapai pada penggunaan fly ash 12,5%, yakni 231,04 Kg/cm ² dengan peningkatan sebesar 60% dibandingkan dengan beton tanpa fly ash. Secara keseluruhan, dapat	1. Penggunaan agregat dari pecahan limbah menghasilkan FAS yang tinggi, sehingga nilai kuat tekan rendah. 2. Pengujian kuat tekan beton daur ulang dengan fly ash sebagai pengganti sebagian semen menunjukan hasil nilai kuat tekan optimum pada variasi 20% fly ash sebesar 18,61 MPa. 3. Penambahan serbuk kaca, kuat tekan beton meningkat hingga penambahan 5% serbuk kaca, lalu	1. Selain itu, terlihat bahwa semakin besar persentase bubuk kaca yang ditambahkan, semakin tinggi kekuatan tekan betonnya. Penambahan fly ash ke campuran beton juga memengaruhi kekuatan tekan beton yang dihasilkan. Hasil terbaik diperoleh pada variasi fly ash 15% dengan kekuatan tekan beton sebesar 43,31 MPa.	1. Ketika pasir digantikan oleh limbah kaca (WG), kuat tekan dan kuat Tarik belah dari semua campuran beton meningkat hingga penggantian 30%. 2. Ketika semen diganti dengan 10% silica fume, kekuatan tekan dan kekuatan Tarik meningkat untuk semua persentase penggantian limbah kaca. 3. Penggunaan limbah kaca dalam beton dapat dipastikan hemat biaya.	1. Substitusi serbuk kaca sebanyak 5% sampai 25% dari berat pasir dan <i>fly ash</i> 15% dari berat semen memengaruhi kuat tekan beton. Kuat tekan beton mengalami kenaikan hingga variasi 15% tetapi tidak lebih tinggi dari kuat tekan beton normal, lalu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase serbuk kaca. 2. Nilai mutu beton tertinggi terjadi pada variasi 15% dengan nilai 24,32 MPa. Tetapi nilai tersebut tidak lebih tinggi dari kuat tekan beton normal yaitu 26,41 MPa. Nilai kuat Tarik belah

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
	penggunaan variasi <i>fly ash</i> 10% bisa digunakan untuk perencanaan jalan kaku, sebagaimana tujuan dari penelitian ini.	disimpulkan bahwa pada usia awal beton, penggunaan 12,5% <i>fly ash</i> dapat menghasilkan beton dengan kekuatan tekan maksimum.	kuat tekan menurun seiring bertambahnya serbuk kaca. 4. Variasi dengan kadar 20% <i>fly ash</i> dan 5% serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen menghasilkan nilai kuat tekan yang optimum yaitu 16,93 MPa.	Penelitian ini menunjukkan bahwa kedua limbah ini dapat digabungkan dan dimanfaatkan secara efektif dalam pembuatan beton mutu tinggi.	4. Penggunaan limbah kaca dalam beton dipastikan ramah lingkungan, sehingga membuka jalan bagi beton yang lebih ramah lingkungan.	beton maksimum untuk beton variasi ada pada variasi 15% dengan nilai rata-rata yaitu 2,54 MPa. Nilai tersebut tidak lebih dari beton normal dengan nilai rata-rata yaitu 2,78 MPa

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan-perbedaan antara penelitian terdahulu dan sekarang, Adapun perbedaan seperti berikut ini.

1. Penelitian ini menggunakan serbuk kaca sebagai bahan substitusi pada agregat halus, dan menggunakan *fly ash* sebagai bahan substitusi pada semen.
2. Terdapat 25 benda uji dengan kandungan 15% *fly ash* untuk setiap benda uji.
3. Pengujian uji tekan beton akan dilakukan pada umur beton 28 hari setelah curing.
4. Kuat tekan beton rencana ialah $f'_c = 25$ MPa.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat agregat lain yang dicampur jadi satu dengan suatu pasta yang terbuat dari semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan. Terkadang satu atau lebih bahan aditif ditambahkan untuk menghasilkan beton dengan kataristik tertentu, seperti kemudahan pengerjaan (workability), durabilitas, dan waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan sebuah bahan komposit yang terbentuk dari beberapa komponen, termasuk agregat kasar, agregat halus, semen Portland, dan air. Selain itu, dalam campuran beton, kita juga bisa memasukkan bahan tambahan (admixture) untuk mencapai sifat-sifat khusus yang diinginkan. Setiap komponen beton memiliki peran yang berbeda dan memengaruhi beton dengan cara yang beragam, serta harus memenuhi persyaratan khusus sebagai bahan pembentuk beton.

3.3 Agregat Halus

Menurut SNI 2834-2000 agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil pecahan alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industry pemecah baatu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5,0 mm. Berikut adalah syarat-syarat untuk agregat halus dalam campuran beton.

- a. Agregat halus teridir dari butiran-butiran tajam dan keras, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur dengan kadar lebih dari 5% terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kondisi tersebut terjadi, maka agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- 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.



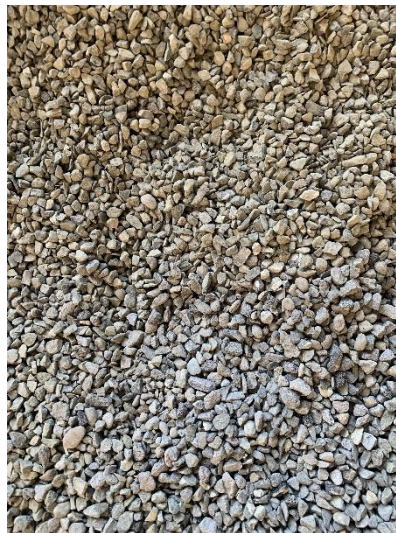
Gambar 3.1 Agregat Halus

3.4 Agregat Kasar

Menurut SNI 2834-2000 agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm. Berikut adalah syarat-syarat untuk agregat halus dalam campuran beton.

- a. Agregat kasar terdiri dari 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 oleh pengaruh cuaca.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Apabila kadar lumpur melebihi 1%, maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.

- 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 harus terdiri dari butiran-butiran yang beraneka raga 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%-98% berat agregat.
 - 3) Selisih antara 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 syara sebagai berikut.
 - 1) $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi cetakan.
 - 2) $\frac{1}{3}$ ketebalan slab.
 - 3) $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.



Gambar 3.2 Agregat Kasar

3.5 Semen *Portland* (PC)

Semen *Portland* (PC) berperan sebagai agen pengikat dalam komposisi material beton. Ketika tercampur dengan air, semen akan mengalami reaksi, sehingga baik semen maupun air termasuk dalam kategori komponen yang aktif

dalam campuran beton. Menurut SNI-15-2049-2004 terdapat 5 Jenis semen Portland, Adapun jenis dan penggunaannya sebagai berikut.

1. Semen *Portland* tipe I untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Semen *Portland* tipe II yang pada penggunaannya diperlukan untuk ketahanan terhadap sulfat dan kalor hidrasi sedang.
3. Semen *Portland* tipe III yang dalam penggunaannya diperlukan untuk menghasilkan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
4. Semen *Portland* tipe IV yang dalam penggunaannya diperlukan kalor hidrasi yang rendah
5. Semen *Portland* tipe V yang dalam penggunaannya diperlukan untuk ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.



Gambar 3.3 Semen

3.6 Air

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan. Air yang

digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Kekuatan dan mutu beton umumnya sangat dipengaruhi oleh air yang digunakan. Air yang digunakan harus disesuaikan pada batas yang memungkinkan untuk pelaksanaan pekerjaan campuran beton dengan baik



Gambar 3.4 Air

3.7 Serbuk Kaca

Kaca adalah salah satu produk industri kimia yang merupakan gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya (Dian, 2011). Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang sangat familiar dalam kehidupan sehari-hari kita. Secara fisik, kaca dapat dianggap sebagai zat cair yang memiliki suhu sangat rendah. Istilah ini digunakan karena struktur partikel penyusun kaca tersebar cukup jauh, mirip dengan zat cair, meskipun kaca itu sendiri berbentuk padat. Hal ini terjadi karena pendinginan yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak memiliki waktu untuk mengatur diri mereka dengan susunan yang teratur. Unsur pokok dari kaca adalah silika (Setiawan, 2006). Silika (SiO_2) merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan Mutu Beton, akibat reaksi yang terjadi antara Silika dan Kapur bebas yang ada

didalam campuran beton. Umumnya Silika (SiO_2) yang dicampurkan pada beton merupakan bahan additive buatan pabrik seperti Silica fume.

Pada penelitian ini, serbuk kaca akan digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus. Serbuk kaca yang akan digunakan pada penelitian ini berasal dari pecahan limbah kaca seperti jendela, cermin, limbah gelas-gelas minum, mangkuk, piring, botol, dan limbah kaca lainnya. Kadar serbuk kaca yang digunakan ialah sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat halus. Ukuran serbuk kaca yang akan digunakan serbuk kaca yang lolos dari saringan no. 50 atau 0,300 mm



Gambar 3.5 Serbuk Kaca

3.8 Fly Ash

Fly ash adalah jenis pozzolan yang dihasilkan ketika batubara dibakar dan terdiri dari partikel yang sangat kecil sehingga dapat terbawa oleh udara. Pozzolan adalah materi yang mengandung senyawa silika dan alumina, yang pada dasarnya tidak memiliki sifat seperti semen. Namun, ketika pozzolan berbentuk halus dan terpapar air, senyawa-senyawa tersebut akan mengalami reaksi kimia dengan kalsium hidroksida (yang merupakan produk dari reaksi antara semen dan air) pada suhu ruangan, membentuk senyawa kalsium aluminat hidrat yang memiliki sifat mirip dengan semen. Fly ash mengandung senyawa-senyawa seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi (Fe_2O_3), kalsium (CaO), dan belerang (S). Senyawa-senyawa ini membuat fly ash memiliki sifat pozzolan. Hal ini membuat fly ash

dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton, serta mengurangi jumlah semen yang dibutuhkan, sehingga mengurangi dampak lingkungan. Penggunaan fly ash juga membantu dalam mengelola limbah batu bara.



Gambar 3.6 Fly Ash

3.9 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) ialah suatu metode untuk menentukan proporsi campuran yang didasarkan oleh mutu beton yang sudah direncanakan. Penelitian ini dilakukan perencanaan campuran beton dengan mengacu pada metode SNI 03-2834-2000, berikut ialah prosedur untuk perencanaan campuran beton.

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 harus dilakukan koreksi pada nilai deviasi standar dengan faktor pengali yang sudah ditentukan pada SNI 03-2843-2000.
2. Menghitung nilai tambah dengan persamaan 3.1 dibawah ini.

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

Keterangan :

M = Nilai tambah

S_r = Deviasi standar rencana

- Menentukan nilai kuat tekan beton rata-rata rencana dengan persamaan 3.2 berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah

- Menentukan tipe semen yang akan digunakan
- Menentukan jenis agregat yang akan digunakan untuk pengujian agregat.
- Menentukan nilai faktor air semen (FAS) dengan ketentuan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, 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 Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834-2000

Lanjutan Tabel 3.2

Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan erik 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 dengan air tawar dan air laur		Tabel 6

Sumber :SNI 2834-2000

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

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

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

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.4)$$

Keterangan:

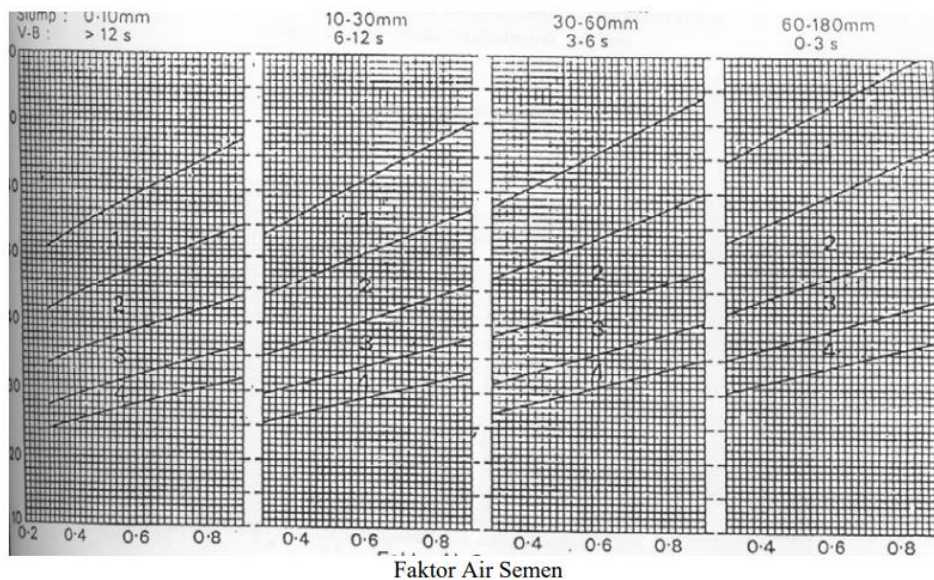
 W_h = Perkiraan air agregat halus W_k = Perkiraan air agregat kasarUntuk nilai W_h dan W_k dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini.

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

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis 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

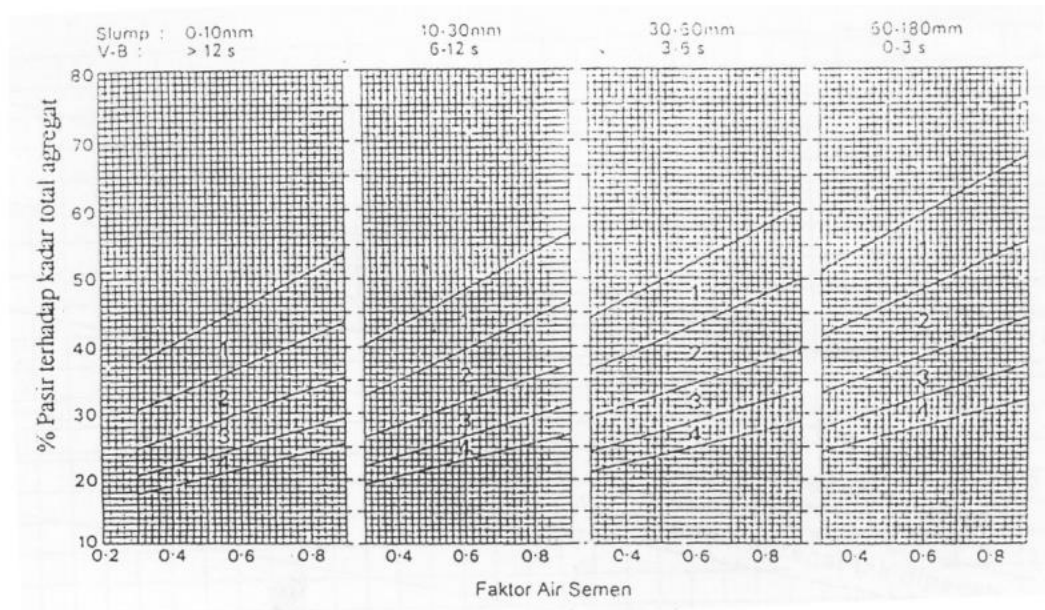
Sumber : SNI 2834-2000

12. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap kadar total agregat.

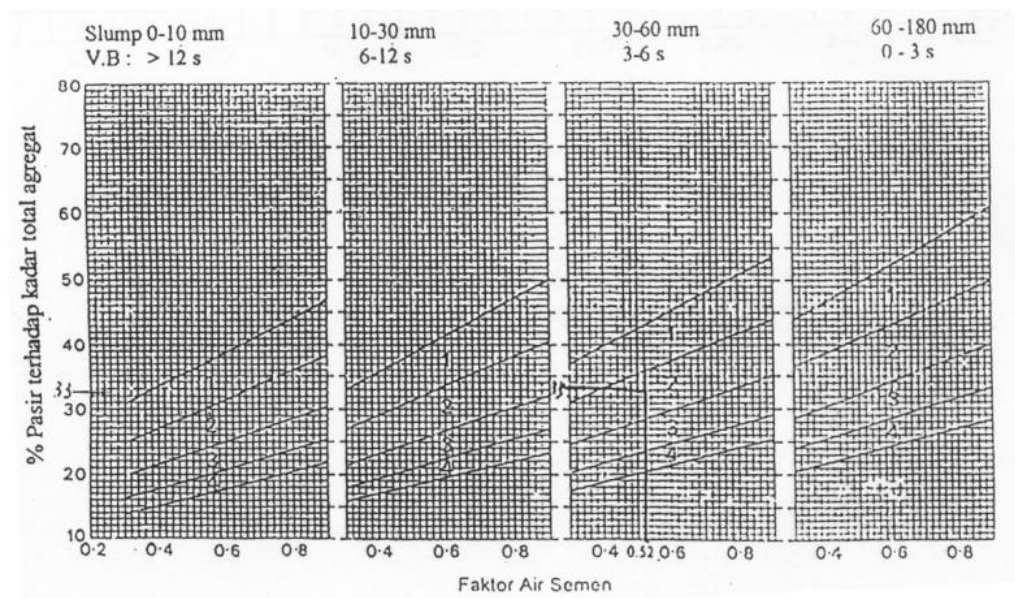


Gambar 3.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 10 mm

(Sumber: SNI 2834-2000)



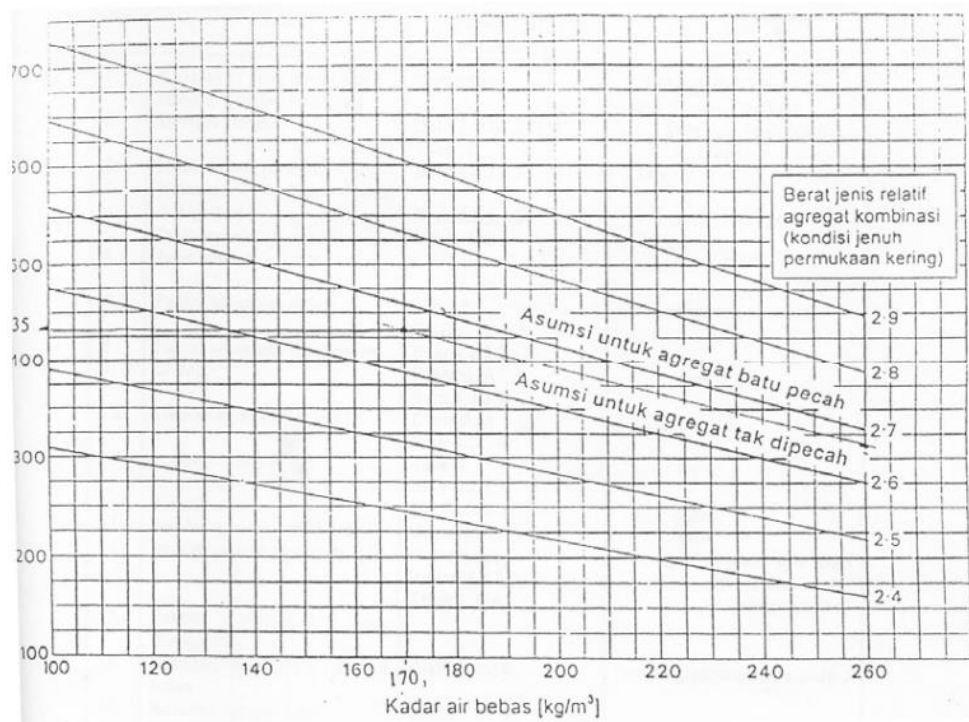
Gambar 3.9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm
(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 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 3.11 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 2834-2000)

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

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \quad (3.6)$$

16. Menghitung kadar agregat kasar dan agregat halus.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{Agregat Kasar}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.7)$$

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{Agregat Halus}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.8)$$

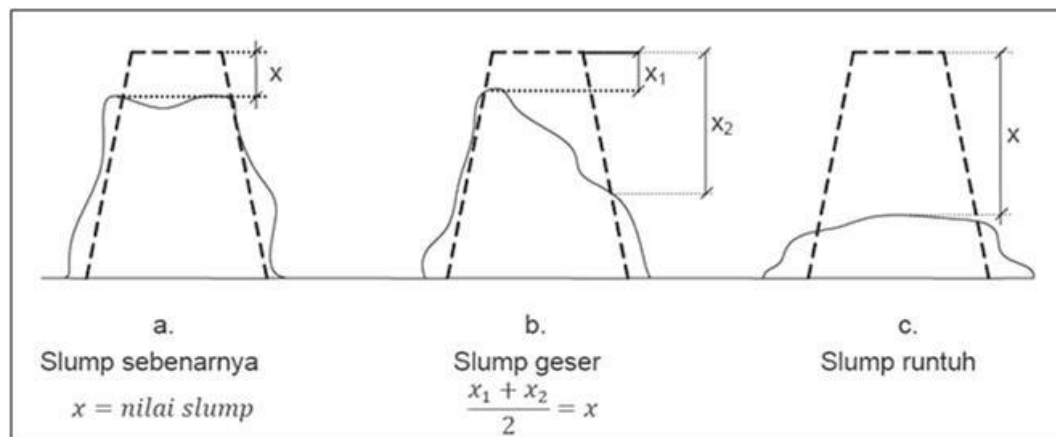
17. Menghitung presentase bahan substitusi.

3.10 Pengujian Slump

Pengujian slump dilaksanakan untuk mengevaluasi tingkat kecenderungan campuran beton untuk mengalir. Kemudahan kerja campuran beton dapat dilihat dari hasil pengukuran nilai slump. Apabila nilai slump tinggi, maka campuran beton cenderung lebih mudah mengalir, sehingga tingkat kemudahan kerjanya juga tinggi.

Dalam klasifikasi yang dikemukakan oleh Neville & Brooks (1987), terdapat empat kategori nilai slump, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, dan tinggi. Slump sangat rendah memiliki kisaran nilai antara 0-25 mm, rendah memiliki kisaran nilai antara 25-50 mm, sedang memiliki kisaran nilai antara 50-100 mm, dan tinggi memiliki kisaran nilai antara 100-175 mm.

Pengujian *Slump* dilakukan menggunakan alat bernama kerucut abrams. Campuran beton segar dimasukan kedalam kerucut abrams tersebut dan setiap 1/3 dimasukan campuran beton segar lalu ditumbuk sebanyak 25 kali. Pastikan agar kerucut abrams benar-benar tertahan rapat pada permukaan lantai kerja dan tidak terdapat sedikit celah pada bagian bawah kerucut abrams. Jika kerucut abrams sudah penuh oleh campuran, kerucut abrams diangkat secara tegak dan perlahan. Campuran beton akan runtuh secara perlahan sesuai dengan kelecakan yang dimiliki. Nilai *slump* merupakan selisih dari ketinggian antara permukaan campuran beton awal dengan permukaan campuran beton setelah runtuh. Dalam Neville & Brooks (1987), terdapat 3 tipe slump, yaitu true slump, shear slump, dan collapse slump. True slump terjadi apabila permukaan campuran beton menurun semua. Hal ini menandakan campuran beton sudah homogen. Shear slump terjadi apabila permukaan beton runtuh pada satu sisinya saja. Hal ini menandakan campuran beton belum teraduk sempurna dan perlu diulang. Collapse slump umumnya terjadi pada campuran beton yang memiliki nilai slump yang tinggi atau terdapat bahan-tambah pengencer campuran beton. Gambar tipe-tipe slump dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.12 Tipe-tipe Slump

(sumber: <https://lauwtjunnji.weebly.com/pengukuran-slump.html>)

3.11 Perawatan Beton

Perawatan beton dilakukan untuk mencapai kualitas terbaik. Salah satu metode perawatan yang digunakan adalah water curing, yang bertujuan untuk mengurangi penguapan air dari campuran beton. Prosesnya melibatkan penyimpanan beton segar dalam air atau melindungi permukaan beton dengan plastik hitam untuk menjaga tingkat kelembaban. Alternatif lainnya mencakup melindungi permukaan beton dengan karung goni yang lembab dan menyiram permukaan beton secara berkala.

3.12 Pengujian Tekan Beton

Tujuan dari pengujian kuat tekan beton ialah untuk mengetahui kemampuan dari beton pada saat menerima beban tekan per-satuan luas. Kuat tekan beton ditunjukkan dengan besarnya nilai beban per-satuan luas yang membuat benda uji hancur pada saat pengujian dengan mesin tekan. Berdasarkan SNI 03-1974-2011 Nilai kuat tekan beton dapat dihitung pada persamaan dibawah berikut.

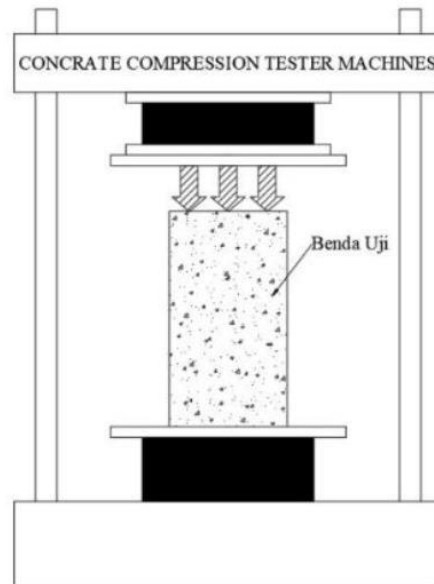
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

Ket:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm^2)

P = Beban Maks (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 3.13 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

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 2491-2014. Dalam penelitian ini, pengujian tarik kuat beton dilakukan sesuai dengan metode yang dijabarkan dalam SNI 2491-2014. Perhitungan tarik kuat beton pada area tertentu didasarkan pada luas penampang silinder beton dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D} \quad (3.10)$$

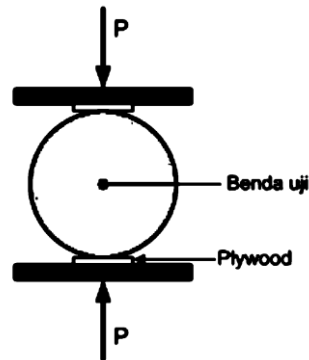
Ket:

T = Kuat tarik beton (MPa)

P = Beban maks (N)

L = Panjang benda uji (mm)

D = Diameter benda uji (mm)



Gambar 3.14 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton

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. Semakin tinggi nilainya, semakin sedikit perubahan bentuk yang akan terjadi pada material ketika dikenai gaya, menunjukkan tingkat kekakuan yang lebih tinggi. 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 dihitung dengan dua metode, yang pertama ialah metode ASTM C469-94 dan yang kedua metode SNI 2847-2019 yang tertera dibawah ini.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005} \quad (3.11)$$

Ket:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

ϵ_2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum

S_2 = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,00005 MPa

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.12)$$

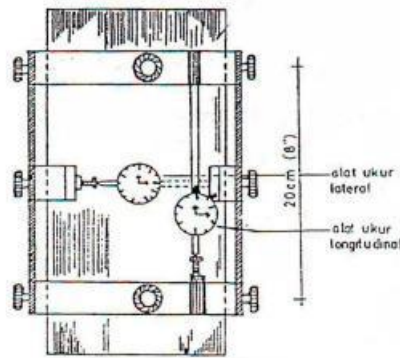
atau

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.13)$$

Ket :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

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



Gambar 3.15 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

3.15 Umur Beton

Kuat tekan akan meningkat seiring dengan umur beton yang bertambah. Umumnya kekuatan tekan rencana beton dihitung dalam 28 hari. Pengujian kuat tekan beton pada umumnya dapat dilakukan sebelum umur beton mencapai hingga 28 hari, pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan ketika umur beton sudah mencapai umur 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental, yang dapat dijelaskan sebagai sebuah metode yang diperoleh dari hasil penelitian menggunakan sampel beton dengan menambahkan serbuk kaca pada agregat halus dan fly ash pada semen sebagai bahan campurannya. Sampel atau benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi 150 mm x 300 mm. Namun, berbagai variasi diuji, termasuk slump test dan uji kuat tekan. Seluruh pengujian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Bahan Konstruksi, yang merupakan bagian dari Jurusan Teknik Sipil di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan di Universitas Islam Indonesia.

4.2 Lokasi

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (LAB. BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Bahan

Adapun bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Semen *Portland* (PC)

Semen Portland yang digunakan adalah jenis 1 merek tiga roda saat menghasilkan beton. Mutu semen tetap terjaga dengan disimpan dalam kondisi penyimpanan yang sesuai.

2. Agregat Halus

Agregat dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan diambil dari sungai progo,

Daerah Istimewa Yogyakarta dengan dilakukannya analisa saringan terlebih dahulu sebelum digunakan.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo.

4. Air

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

5. Serbuk Kaca

Serbuk kaca ialah bahan limbah yang akan digunakan sebagai substitusi pada agregat halus. Serbuk kaca yang akan digunakan didapatkan dari pecahan piring, gelas, botol kaca yang kemudian dihancurkan dengan cara ditumbuk hingga halus menjadi serbuk kaca yang halus dan tertahan di saringan nomor 50 atau 0.300 mm.

6. *Fly Ash*

Fly ash ialah bahan limbah abu batubara yang berasal dari pembakaran PLTU Paiton, *fly ash* akan digunakan sebagai bahan substitusi pada semen dengan variasi 15% dari berat semen.

4.4 Alat

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Saringan Agregat

Saringan agregat berfungsi untuk memisahkan agregat sesuai dengan ukuran butirnya, saringan berfungsi untuk melakukan pengujian analisa lolos saringan terhadap agregat halus dan kasar.



Gambar 4.1 Saringan Agregat

2. Timbangan

Fungsi dari timbangan ialah untuk menimbang berat dari suatu benda. Timbangan akan digunakan untuk menimbang bahan-bahan penyusun beton sebelum dilakukannya pengujian.



Gambar 4.2 Timbangan

3. Cetakan Silinder

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



Gambar 4.3 Cetakan Silinder

4. Alat Ukur

Alat digunakan untuk mengukur dimensi benda yang akan di uji.

5. Ember

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



Gambar 4.4 Ember

6. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk mencari nilai *slump* beton segar yang baru saja keluar dari mixer.



Gambar 4.5 Kerucut Abrams

7. Oven

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



Gambar 4.6 Oven

8. Tongkat Penumbuk

Tongkat penumbuk akan digunakan pada saat beton segar dimasukan kedalam kerucut abrams dan cetakan silinder, tongkat penumbuk berfungsi sebaga penumbuk beton segar yang dituangkan kedalam cetakan agar tidak ada rongga udara yang tersisa dalam cetakan.



Gambar 4.7 Tongkat Penumbuk

9. *Mixer*

Mixer ialah mesin untuk mengaduk campuran penyusun material beton untuk menghasilkan beton segar.



Gambar 4.8 *Mixer*

10. Sekop

Bahan penyusun beton akan dimasukan ke cetakan menggunakan sekop agar mempermudah pekerjaan.



Gambar 4.9 Sekop

11. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan dalam proses pengujian kekuatan tekan beton. Perangkat ini digunakan untuk mengukur besaran beban yang bisa ditahan oleh sampel uji hingga mencapai titik kehancuran (beban maksimal).



Gambar 4.10 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 bahan substitusi lainnya harus dipersiapkan dengan baik untuk mencapai mutu yang sesuai dengan rencana.

2. 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 dibersihkan akan mempengaruhi mutu beton. Material-material yang sudah dibersihkan disimpan kedalam wadah agar terjaga kebersihannya.

3. 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 BJ dan penyerapan air pada agregat halus menggunakan acuan dari SNI 1970-1990.
- b. Pengujian BJ dan penyerapan air pada agregat kasar menggunakan acuan dari SNI 1969-1990.
- 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 menggunakan acuan dari SNI 4142-1996.

4.5.2 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 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Kode Sampel	Persentase penggunaan serbuk kaca (%)	Persentase penggunaan <i>fly ash</i> (%)	Jumlah Sampel	Total Sampel
Kuat tekan & Modulus Elastisitas	BN	0	0	5	30
	BV-01	5	15	5	
	BV-02	10	15	5	
	BV-03	15	15	5	
	BV-04	20	15	5	
	BV-05	25	15	5	
Tarik belah	BN	0	0	5	30
	BV-01	5	15	5	
	BV-02	10	15	5	
	BV-03	15	15	5	
	BV-04	20	15	5	
	BV-05	25	15	5	

4.5.3 Perawatan Benda Uji

Menurut SNI-2493-2011 untuk perawatan sampel pada tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton, benda uji dilepaskan dari cetakan minimal 24 jam setelah beto dituangkan ke dalam cetakan. Lalu dilakukan perendaman benda uji selama 28 hari. Benda uji harus dikeluarkan dari rendaman satu hari sebelum dilakukannya pengujian, agar kondisi beton kering saat dilakukannya pengujian.

4.5.4 Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat tekan beton pada saat umur beton berumur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji akan diukur dimensinya terlebih dahulu untuk kebutuhan data.

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. Uji *slump* dilakukan sebelum beton segar dimasukkan ke dalam cetakan beton. Berikut ialah langkah-langkah untuk melakukan 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.

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 melakukan 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.

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 tersebut 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.

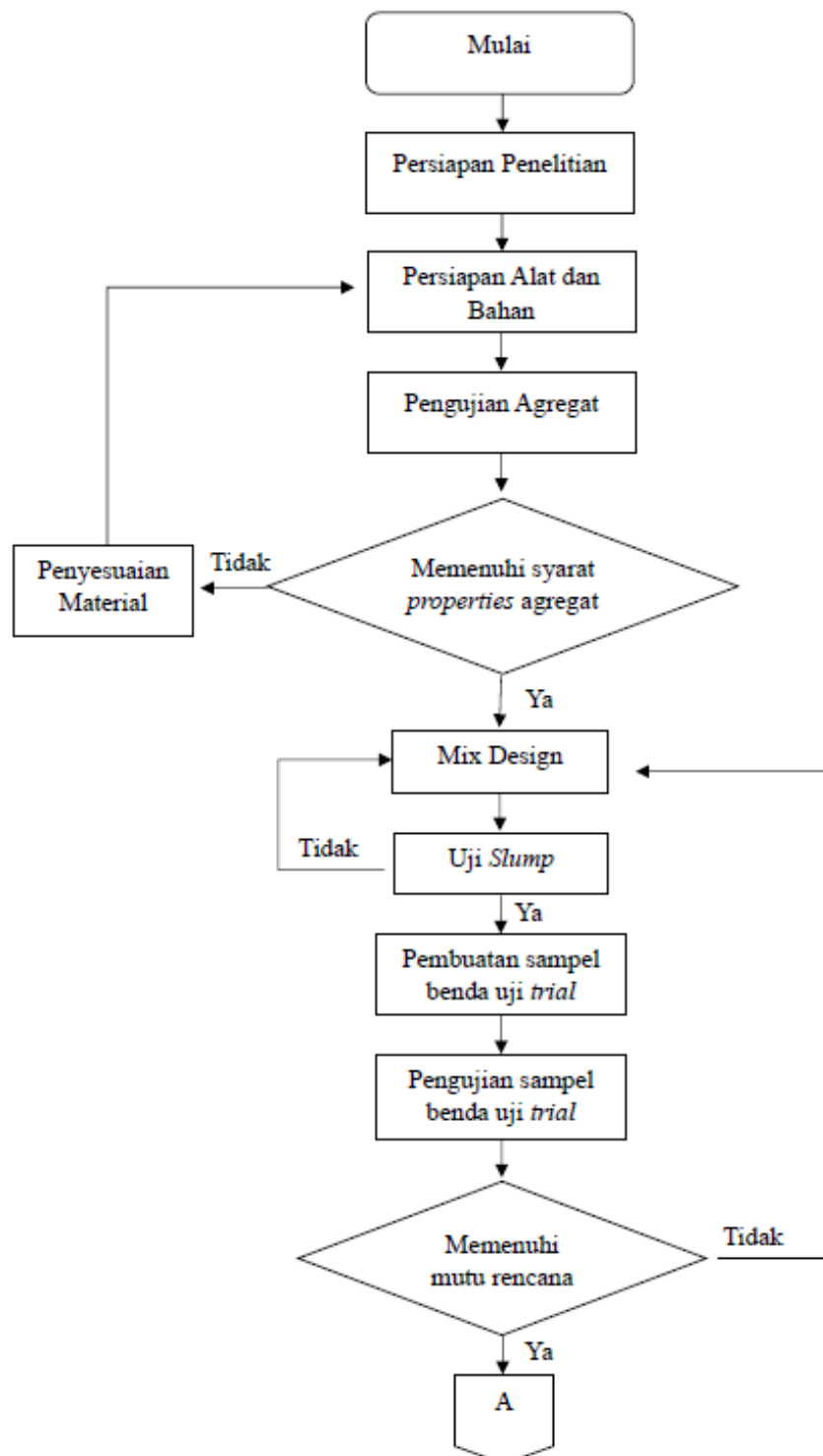
4.6.4 Uji Modulus Elastisitas

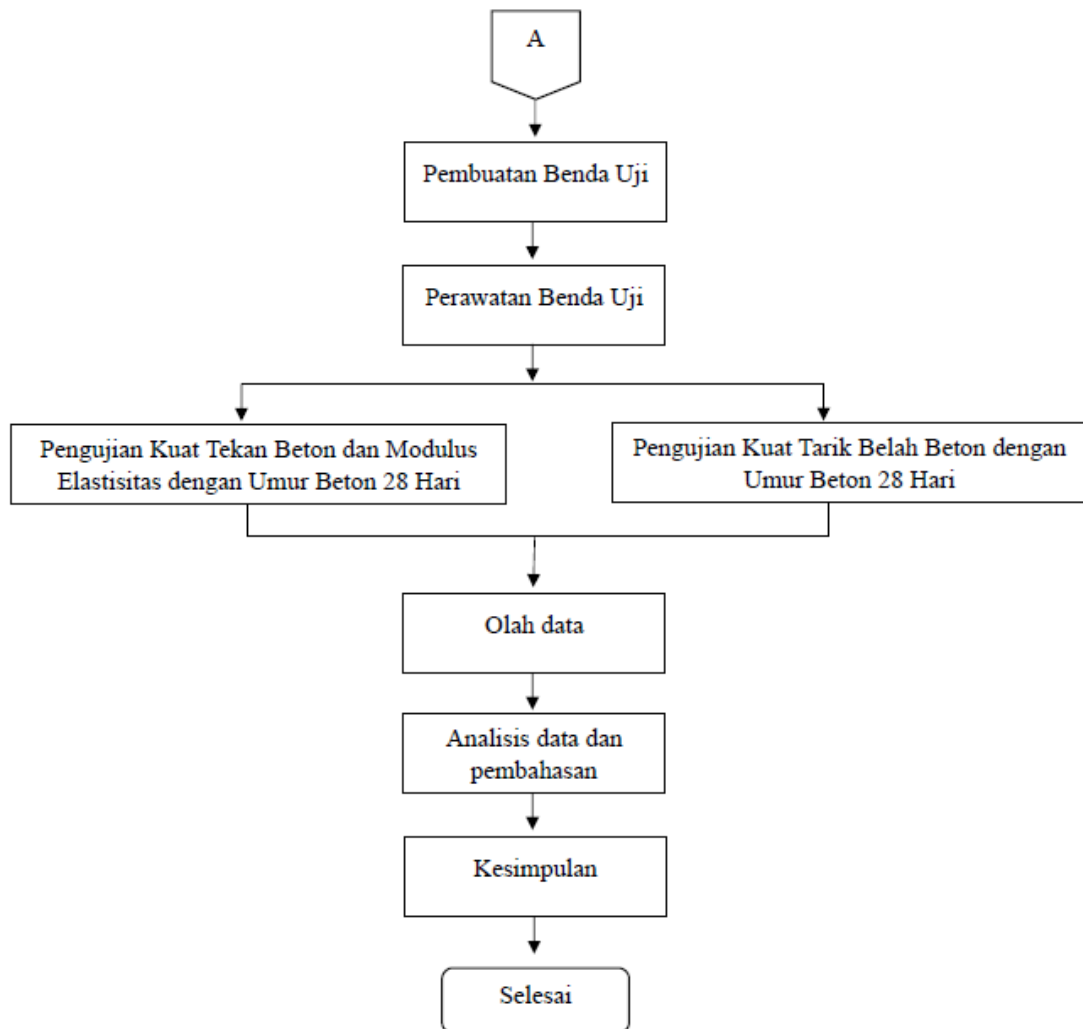
Menurut SNI 4169-1996, modulus elastisits ialah nilai tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis, pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada penelitian ini akan menggunakan acuan dari ASTM C-469-1994. Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut ini.

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 10Kn.

4.7 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut.





Gambar 4.11 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat halus tersebut, pada penelitian kali ini, agregat halus yang digunakan berasal dari Kali Progo. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume gembur & volume padat, pengujian kadar air, dan pengujian lolos saringan no. 200.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat dilakukan bertujuan untuk mencari nilai berat jenis dan nilai penyerapan air dari agregat halus. Pengujian ini menggunakan SNI 1970-1990. Adapun perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{BJ curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{490}{(657+500-968)} \\ &= 2,592 \text{ gram}\end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(657+500-968)} \\ &= 2.64 \text{ gram}\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{BJ Semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{490}{(657+490-968)} \\ &= 2.73 \text{ gram}\end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air} &= \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 490)}{490} \times 100\% \\
 &= 2,04 \%
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	968	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	657	gram
Berat Jenis Curah	2,5926	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6455	gram
Berat Jenis semu	2,7374	gram
Penyerapan Air	2,0408	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis curah sebesar 2,59 gram dan penyerapan air sebesar 2,04 %.

2. Pengujian Analisa Saringan

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

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase berat tertinggal} &= \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\% \\
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{0}{2000} \times 100\% \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{2}{2000} \times 100\% \\
 &= 0,1\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{6}{2000} \times 100\% \\
 &= 0,3\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{187}{2000} \times 100\% \\
 &= 9,35\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{1025}{2000} \times 100\% \\
 &= 51,25\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{712}{2000} \times 100\% \\
 &= 35,6\% \\
 \text{Pan} &= \frac{68}{2000} \times 100\% \\
 &= 3,4\%
 \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 0\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 0\% + 0,1\% \\
 &= 0,1\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 0,1\% + 0,3\% \\
 &= 0,4\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= 0,4\% + 9,35\% \\
 &= 9,75\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= 9,75\% + 51,25\% \\
 &= 61\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 61\% + 35,6\% \\
 &= 96,6\% \\
 \text{Pan} &= 96\% + 3,4\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = 100\% - 0\%$$

	= 100 %
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 0,1%
	= 99,9%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 0,4%
	= 99,6
Lubang ayakan 0,6 mm	= 100% - 9,75%
	= 90,25
Lubang ayakan 0,3 mm	= 100% - 61%
	= 39%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 96,6%
	= 3,4%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	2	0,1	0,1	99,9
1,2	6	0,3	0,4	99,6
0,6	187	9,35	9,75	90,25
0,3	1025	51,25	61	39
0,15	712	35,6	96,6	3,4
Pan	68	3,4	100	0
Jumlah	2000	100	267,85	

d. Modulus Halus Butir

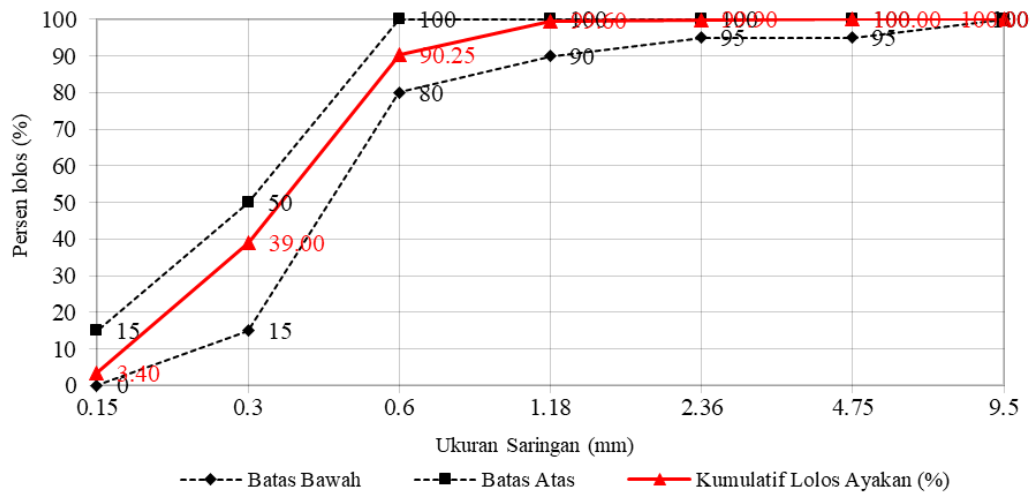
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{ Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{267,85}{100} \\
 &= 2,67
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai MHB sebesar 2,67, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat nilai MHB menurut SNI S-04-1989-F, yaitu nilai MHB agregat halus harus berkisar 1,5 – 3,8. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang ada pada Tabel 5.3 Dari tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus yang ditampilkan pada Gambar 5.1 berikut ini.

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 IV

Berdasarkan gambar di atas, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi IV (pasir 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.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19015 - 10959 \\
 &= 8056 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,08^2 \times 30,12 \\
 &= 5379,57 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8056}{5379,57} \\
 &= 1,49 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10959	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19015	gram
Berat Agregat (W3)	8056	gram
Diameter Tabung (d)	15,08	cm
Tinggi Tabung (t)	30,12	cm
Volume Tabung (V)	5379,57	cm ³
Berat Volume Gembur	1,4975	gram/cm ³

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,497 gram/cm³.

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.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 20316 - 10959 \\
 &= 9357 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,22^2 \times 29,97 \\
 &= 5454,823 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{9357}{5454,823}
 \end{aligned}$$

$$= 1,71 \text{ gram/cm}^3$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10959	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	20316	gram
Berat Agregat (W3)	9357	gram
Diameter Tabung (d)	15,22	cm
Tinggi Tabung (t)	29,97	cm
Volume Tabung (V)	5454,8234	cm ³
Berat Volume Gembur	1,7154	gram/cm ³

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,7154 gram/cm³.

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 dapat dilihat sebagai berikut ini

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 488}{500} \times 100\% \\
 &= 2,4 \%
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus 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 di cuci (W2)	488	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2,4	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 2,4 %.

5.1.2 Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat kasar tersebut. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume gembur & volume padat.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat dilakukan 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 agregat kasar sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}
 \text{BJ curah} &= \frac{Bk}{(Bj-B)} \\
 &= \frac{4886}{(5000-3100)} \\
 &= 2,571 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Kering Muka

$$\begin{aligned}
 \text{BJ jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\
 &= \frac{5000}{(5000-3100)} \\
 &= 2,691 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

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

$$= \frac{4886}{(4886-3100)}$$

$$= 2,735 \text{ gram}$$

d. Penyerapan Air

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

$$= \frac{(5000 - 4886)}{4886} \times 100\%$$

$$= 2,333 \%$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4886	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3100	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,5716	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,6916	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,7357	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,3332	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis curah sebesar 2,571 gram dan penyerapa air sebesar 2,33%.

2. Pengujian Analisa Saringan

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

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

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

$$= 0\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{20}{5000} \times 100\% \\
 &= 0,4\% \\
 \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3645}{5000} \times 100\% \\
 &= 72,9\% \\
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1201}{5000} \times 100\% \\
 &= 24\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{39}{5000} \times 100\% \\
 &= 0,78\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{2}{5000} \times 100\% \\
 &= 0,04\% \\
 \text{Pan} &= \frac{93}{5000} \times 100\% \\
 &= 1,86\%
 \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 0\% \\
 \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,4\% \\
 &= 0,4\% \\
 \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 0,4\% + 72,9\% \\
 &= 73,3\% \\
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 73,3\% + 24,02\% \\
 &= 97,32\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 97,32\% + 0,78\% \\
 &= 98,1\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 98,1\% + 0,04\% \\
 &= 98,14\% \\
 \text{Pan} &= 98,14\% + 1,86\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% \\
 \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,4\%
 \end{aligned}$$

	= 99,6%
Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 73,3%
	= 26,7%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 97,32%
	= 2,68%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 98,1%
	= 1,9%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 98,14%
	= 1,86%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	20	0.4	0.4	99.6
10	3645	72.9	73.3	26.7
4,8	1201.0	24.02	97.32	2.68
2,4	39.000	0.78	98.1	1.9
1,2	2.000	0.04	98.14	1.86
0,6	0	0.00	98.14	1.86
0,3	0	0.00	98.14	1.86
0,15	0	0.00	98.14	1.86
Pan	93	1.86	100	0
Jumlah	5000	100	661.68	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

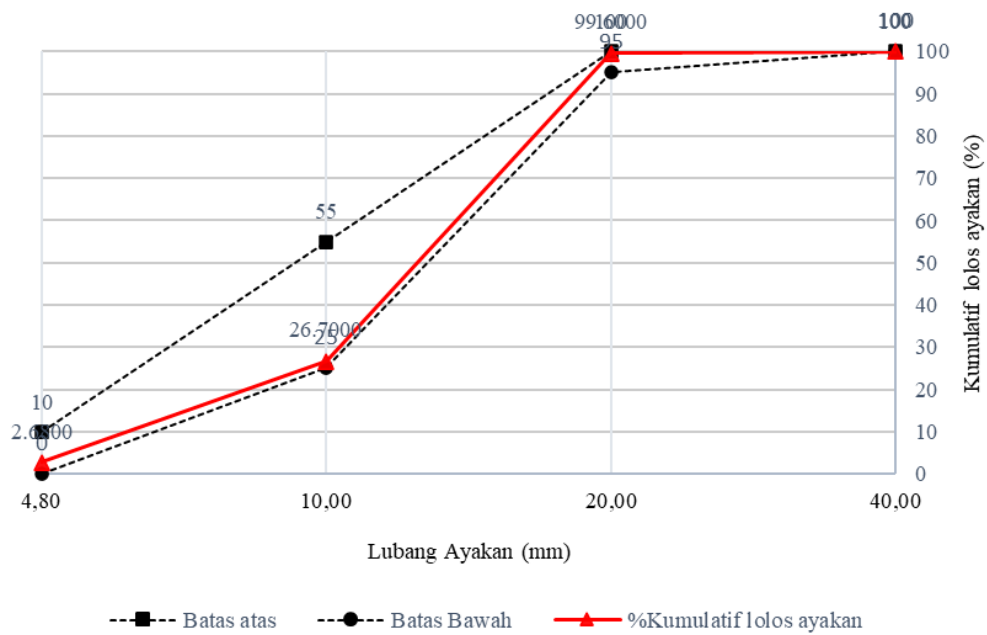
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{ Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{661,68}{100} \\
 &= 6,61
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai MHB agregat kasar sebesar 6,61, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat nilai MHB menurut SNI S-04-1989-F, yaitu nilai MHB agregat kasar harus berkisar 5 – 8. Selain itu, hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar yang ada pada tabel 5.9. Dari tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat kasar yang ditampilkan 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 Maks 20 mm

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

3. Pengujian Volume Gembur

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

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18294 - 10958 \\
 &= 7336 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5303,571 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat volume gembur} = \frac{W3}{V}$$

$$= \frac{7336}{5303,571}$$

$$= 1,383 \text{ gram/cm}^3$$

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

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10958	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18294	gram
Berat Agregat (W3)	7336	gram
Diameter Tabung (d)	15	cm
Tinggi Tabung (t)	30	cm
Volume Tabung (V)	5303,5714	cm ³
Berat Volume Gembur	1,3832	gram/cm ³

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,3832 gram/cm³.

4. Pengujian Volume Padat

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

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19214 - 10218 \\ &= 8996 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 5303,571 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8996}{5303,571} \\
 &= 1,696 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10218	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19214	gram
Berat Agregat (W3)	8996	gram
Diameter Tabung (d)	15	cm
Tinggi Tabung (t)	30	cm
Volume Tabung (V)	5303,5714	cm ³
Berat Volume Gembur	1,6962	gram/cm ³

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat kasar sebesar 1,6962 gram/cm³

5.2 Desain Campuran Beton

Desain campuran beton ini mengacu pada SNI 2834-2000. Adapun perhitungan rencana campuran beton ialah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana sebesar 25 MPa.
2. Benda uji merupakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Semen yang akan digunakan ialah semen *Portland* tipe I merk Tiga Roda.
4. Berat jenis agregat halus sebesar 2.425 gram dan penyerapan air sebesar 3,09%.
5. Berat jenis agregat asar sebesar 2.571 gram dan penyerapan air sebesar 2.333%.

6. Ukuran agregat maks sebesar 20 mm.
7. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah IV (pasir halus), diperoleh dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus.
8. Sampel silinder sebanyak 5 buah, berdasarkan SNI 2834-2000 nilai margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5.12 Faktor Pengali

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

Sumber: SNI 2834-2000

*) bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_c + 12 \text{ MPa})$.

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

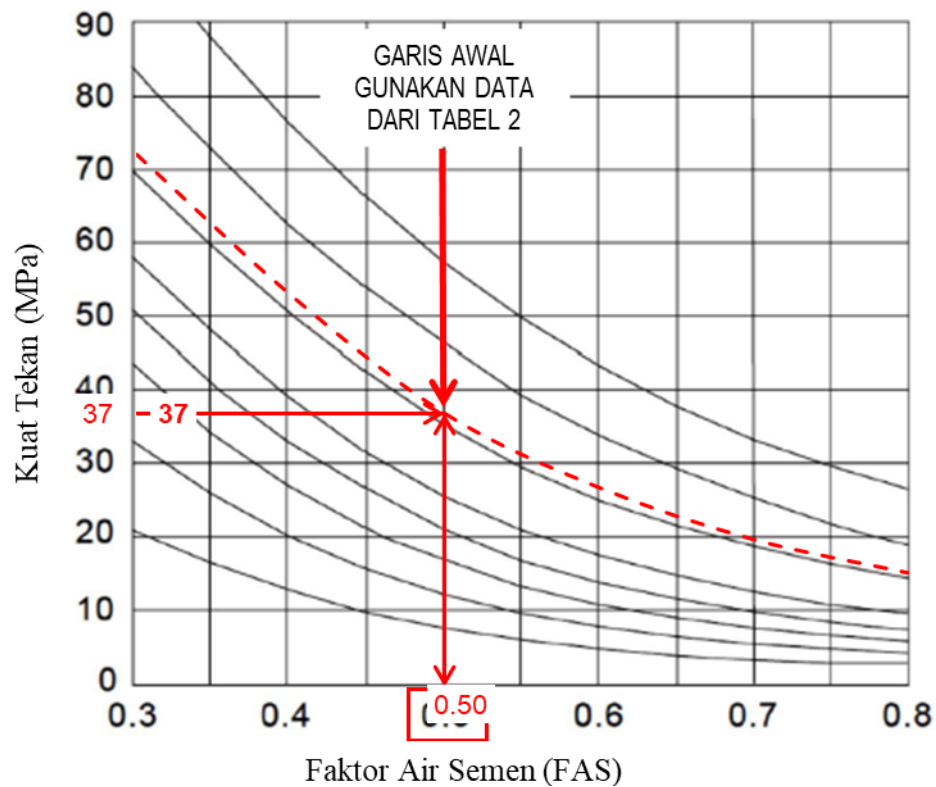
9. Menentukan nilai FAS berdasarkan tabel 5.13 dan gambar 5.3 berikut ini.

Tabel 5.13 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, 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 Portland tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834-2000

- Semen portland tipe I digunakan bersama dengan agregat kasar berupa batu pecah. Bentuk benda uji ialah silinder, dan pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Berdasarkan Tabel 5.13, perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 adalah sebesar 37 MPa.
- Dengan merujuk pada Gambar 5.3, tarik garis vertikal dari nilai fas 0,5 dan tarik garis horizontal dari nilai kuat tekan rata-rata 37 MPa (seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.13). Titik perpotongan kedua garis tersebut akan diperoleh.
- Buat kurva baru terhadap titik potongan.



Gambar 5.3 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)
(Sumber: SNI 2834-2000)

10. Menentukan kadar air.
 - a. Hasil pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa ukuran butir maksimum agregat kasar adalah 20 mm.
 - b. Jenis batuan ialah batu tak dipecahkan dan batu pecah.
 - c. *Slump* yang direncanakan adalah 10 ± 2 cm, sehingga termasuk dalam rentang slump 60 – 180 mm.

Tabel 5.14 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 2834-2000

- d. Mencari nilai kadar air bebas agregat campuran.menggunakan persaamaan berikut.

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

11. Menentukan nilai maksimum untuk FAS dan minimum jumlah semen berdasarkan tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m³ 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 erik 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 dengan air tawar dan air laur		Tabel 6

Sumber :SNI 2834-2000

12. Menentukan kadar semen

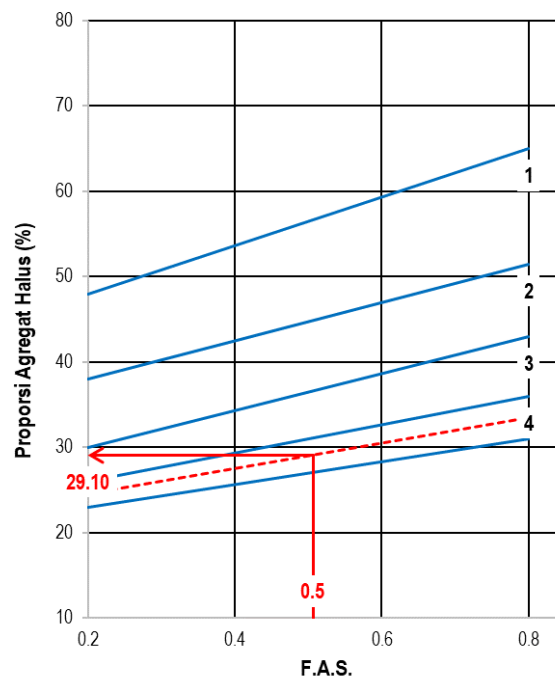
- Nilai fas yang diperoleh dari pembacaan grafik adalah 0,5, sedangkan nilai fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 0,60. Nilai fas yang dipilih adalah yang terkecil, yaitu 0,5 dari hasil pembacaan grafik.
- Menghitung kadar semen

$$\text{Kadar semen} = \frac{\text{Kadar air}}{\text{fas}}$$

$$= \frac{205}{0,5}$$

$$= 410 \text{ kg/m}^3$$

- 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 .
13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap pada total agregat.
- 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 gradasi IV (pasir halus).



Gambar 5.4 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm

(Sumber: SNI 2834-2000)

Dari grafik didapatkan persentase agregat halus sebesar 29%, adapun hasil perhitungan nilai persentase agregat kasar sebagai berikut.

Persentase agregat kasar = $100\% - \text{Persentase agregat halus}$

$$= 100\% - 29\%$$

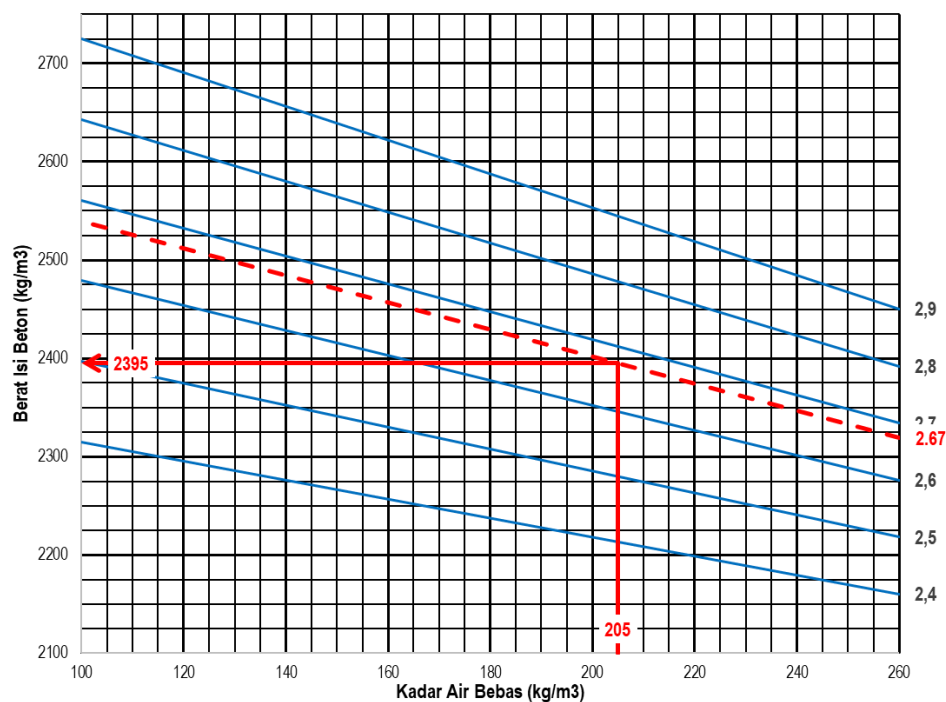
$$= 71\%$$

14. Menentukan berat jenis gabungan

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis gabungan} &= (0,29 \times \text{bj agregat halus}) + (0,71 \times \text{bj agregat kasar}) \\ &= (0,29 \times 2,6) + (0,71 \times 2,7) \\ &= 2,67\end{aligned}$$

15. Menentukan berat isi beton

- Buatlah kurva baru dengan berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,67
- Tarik garis vertikal ke atas dari kadar air 205 kg hingga mencapai kurva yang telah dibuat pada langkah a.
- Dari titik perpotongan tersebut, tarik garis horizontal ke kiri sampai didapatkan nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2395 kg/m³.



Gambar 5.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 2834-2000)

16. Menentukan kadar agregat

$$\text{a. Kadar agregat gabungan} = \text{Berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air}$$

$$= 2395 - 410 - 205$$

$$= 1780 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{b. Kadar agregat halus} = \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar agregat}$$

$$= 29\% \times 1780$$

$$= 516,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{c. Kadar agregat kasar} = \text{Kadar agregat} - \text{Kadar agregat halus}$$

$$= 1780 - 516,20$$

$$= 1263,8 \text{ kg/m}^3$$

17. Proporsi campuran per 1 m³ beton

$$\text{Air} = 205 \text{ lt}$$

$$\text{Semen} = 410 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Halus} = 516,2 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 1263,8 \text{ kg}$$

18. Proporsi campuran per 1 m³ beton dengan angka penyusutan 25%

$$\text{Air} = 255,04 \text{ lt}$$

$$\text{Semen} = 512,5 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Halus} = 646,93 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 1579,28 \text{ kg}$$

19. Proporsi campuran per 10 benda uji

$$\text{Volume Silinder} = \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t$$

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

$$= 0,0053 \text{ m}^3$$

$$\text{Air} = 0,0053 \times 255,04 \times 10$$

$$= 13,521 \text{ lt}$$

$$\text{Semen} = 0,0053 \times 512,5$$

$$= 27,169 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Halus} = 0,0053 \times 646,93 \times 10$$

$$= 34,296 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat Kasar} &= 0,0053 \times 1579,28 \times 10 \\ &= 83,724 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	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		kg/m ³
16	Fas disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 4	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,7	Gram
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,6	Gram
19	Persen Agregat Halus	29	%
20	Persen Agregat Kasar	71	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,65	
22	Berat isi Beton	2395	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1780	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	516,2	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1263,8	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	255,07	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	512,5	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	646,93	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	1579,28	kg/m ³

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton dengan Serbuk Kaca dan Fly Ash

Kode Sampel	Jumlah Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Serbuk Kaca		Fly Ash	
						Berat (kg)	%	Berat (kg)	%
BN	10	27,169	34,29	83,72	13,5	0	0	0	0
BV-01	10	23,094	32,58	83,72	13,5	1,714	5	4,075	15
BV-02	10	23,094	30,86	83,72	13,5	3,429	10	4,075	15
BV-03	10	23,094	29,15	83,72	13,5	5,144	15	4,075	15
BV-04	10	23,094	27,43	83,72	13,5	6,859	20	4,075	15
BV-05	10	23,094	25,72	83,72	13,5	8,574	25	4,075	15

5.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan *capping* terlebih dahulu, *capping* bertujuan untuk meratakan bagian permukaan beton. Pengujian dilakukan menggunakan *compression testing machine* (CTM). Pengujian dilakukan hingga benda uji tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan mesin. Selama proses penekanan beton, dial beban akan meningkat hingga mencapai beban maksimum. Kuat tekan beton ditentukan oleh nilai beban maksimum yang dicapai selama pengujian. Adapun contoh perhitungan dan hasil rekapitulasi dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 5.17 di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{\text{beban maks} \times 1000}{0.25 \times \pi \times d^2} \\
 &= \frac{461.3 \times 1000}{0.25 \times \pi \times 147,4} \\
 &= 27,033 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BN	147,4	301,3	0	0	461,3	17064,2	27,0333	26,41
	148,05	300			445,9	17215	25,9018	
	148,35	304,25			442,7	17284,8	25,6121	
	147,05	302			449,1	16983,2	26,4438	
	148,05	305,25			465,5	17215	27,0404	
BV-01	148,05	302,1	15	5	387,3	17215	22,4978	21,86
	150,25	304			379	17730,4	21,3757	
	148,35	303,25			393,7	17284,8	22,7772	
	151,15	305			372,6	17943,5	20,7652	
	149	305,1			381,2	17436,6	21,862	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BV-02	149,5	304,3	15	10	427,3	17553,8	24,3422	23,29
	149,23	301,3			399,4	17489,3	22,8368	
	149,2	303,3			411	17483,5	23,5079	
	148,4	304			401,7	17296,5	23,2244	
	149,45	303,05			395,4	17542,1	22,5401	
BV-03	149,35	301,3	15	15	436,7	17518,6	24,9277	24,32
	150,15	304,2			438,9	17706,8	24,7871	
	152,1	304,25			433,2	18169,7	23,8419	
	150	303,35			428,4	17671,5	24,2425	
	152,2	305			432,9	18193,6	23,7941	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

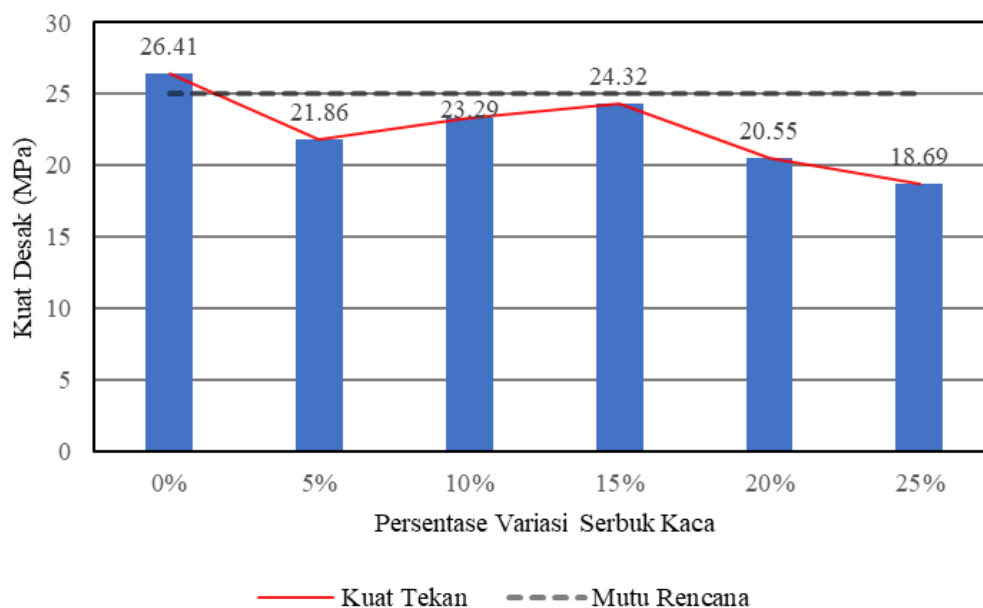
Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BV-04	149,35	302	15	20	354,1	17518,6	20,2128	20,55
	149,30	302,2			371,7	17506,9	21,2316	
	150,15	300			365,2	17706,8	20,6248	
	150,05	303,05			362,5	17683,2	20,4996	
	153	303,15			371,4	18385,4	20,2008	
BV-05	146	303	15	25	309,1	16741,5	18,463	18,69
	149,15	304,2			348,1	17471,7	19,9236	
	146,45	306,1			316,6	16844,9	18,795	
	150	303			329,3	17671,5	18,6346	
	150,35	304			312,9	17754	17,6242	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5



Gambar 5.6 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi

5.3.1 Pembahasan

Pada gambar 5.6 dan tabel 5.18 di atas, beton dengan kode sampel BN dengan kadar variasi serbuk kaca 0% dan *fly ash* 0% mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 26,41 MPa, yang mana beton tersebut telah melewati mutu yang telah direncanakan yaitu 25 MPa. Kuat tekan beton cenderung menurun seiring dengan peningkatan persentase substitusi serbuk kaca pada agregat halus. Pada persentase 0%, kuat tekan beton mencapai nilai tertinggi sebesar 26,41 MPa. Namun, ketika serbuk kaca ditambahkan hingga 5%, terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan menjadi 21,86 MPa. Pada persentase 10% dan 15%, kuat tekan mengalami peningkatan kembali, dengan nilai tertinggi pada 15% sebesar 24,32 MPa. Meskipun demikian, setelah persentase 15%, kuat tekan kembali menurun, dengan nilai terendah tercatat pada 25% serbuk kaca, yaitu 18,69 MPa. Dari grafik ini, dapat dilihat bahwa hanya beton tanpa serbuk kaca dan *fly ash* yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dari mutu rencana sebesar 25 MPa. Terdapat pola di mana penambahan variasi hingga 15% berdampak positif terhadap kuat desak, tetapi penambahan lebih lanjut di atas 15% justru berdampak negatif. Oleh karena itu, ada indikasi bahwa persentase variasi optimal untuk mencapai kuat desak maksimal berada di sekitar 15%. Tidak tercapainya mutu rencana pada beton variasi terjadi

karena beberapa faktor, *fly ash* memiliki sifat yang berbeda dari semen portland, dan proporsi 15% tidak memberikan kekuatan yang diperlukan untuk menggantikan semen secara efektif. *Fly ash* juga membutuhkan waktu curing yang lebih lama untuk mencapai kekuatan yang optimal dibandingkan dengan semen biasa. Jika waktu curing tidak diperpanjang, beton mempengaruhi perkembangan kekuatan beton yang mengandung *fly ash* dan serbuk kaca.

5.4 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Uji kuat tarik belah beton dilakukan saat beton berusia 28 hari dan telah melalui masa perawatan. Untuk setiap variasi, diambil pembacaan kuat tarik belah dari 5 sampel. Pengujian dilakukan menggunakan mesin CTM, dengan benda uji dalam posisi berbaring. Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah sebagai berikut dan hasil rekapan perhitungan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel 5.18.

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tarik Belah BN1} &= \frac{2 \times \text{beban maks} \times 1000}{\pi \times d \times h} \\
 &= \frac{2 \times 214 \times 1000}{\pi \times 150 \times 306,3} \\
 &= 2,97 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BN	150	306,3	0	0	214	2,97	2,78
	151,4	304			198	2,74	
	147,4	301			199	2,86	
	149,2	303,3			191	2,69	
	154,45	305			195	2,64	
BV-01	143,05	301,1	15	5	155	2,29	2,23
	147,1	306,05			157	2,22	
	150,25	304,2			156	2,17	
	150,45	301			160	2,25	
	151,20	300,45			158	2,21	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BV-02	151,1	299,1	15	10	172	2,42	2,36
	149,45	301,05			161	2,28	
	150,45	300,5			170	2,39	
	150,05	305			171	2,38	
	148	300,35			163	2,33	
BV-03	150	303,4	15	15	175	2,45	2,54
	150	301,15			180	2,54	
	151,05	304,1			183	2,54	
	152,45	305			180	2,50	
	149,4	303,3			190	2,67	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

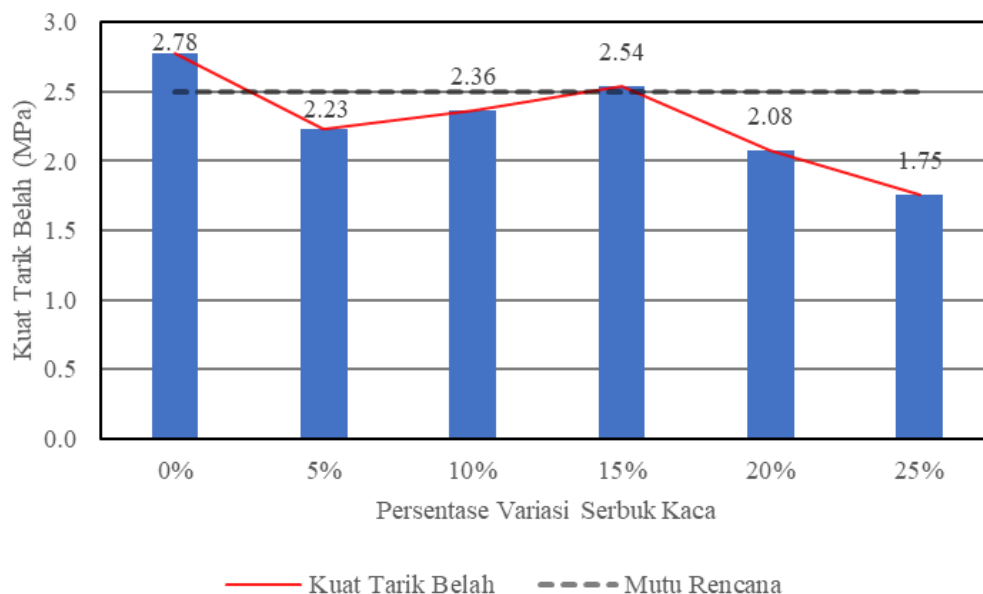
Lanjutan Tabel 5.19 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BV-04	147,5	300,25	15	20	142	2,04	2,08
	151,1	304			150	2,08	
	150,15	301,45			147	2,07	
	153	302			150	2,07	
	148,25	302,4			151	2,14	
BV-05	149,45	303,05	15	25	124	1,74	1,75
	150,25	307			116	1,60	
	149,1	303,15			135	1,90	
	150	305,05			122	1,70	
	149,45	303,45			130	1,82	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi

5.4.1 Pembahasan

Kuat tarik belah beton berkisar antara 10% hingga 15% dari kuat tekan beton (ACI 318-19). Dari tabel 5.19 dan gambar 5.7 diatas, terlihat bahwa beton normal variasi 0% mendapat nilai kuat tarik belah tertinggi yaitu 2,78 MPa. Pada beton tanpa serbuk kaca (0%), kuat tarik belah berada di angka tertinggi sebesar 2,78 MPa. Ketika serbuk kaca ditambahkan sebanyak 5%, nilai kuat tarik belah menurun menjadi 2,23 MPa. Pada variasi 10% dan 15% serbuk kaca, nilai kuat tarik belah kembali meningkat, mencapai puncak kedua pada 15% dengan nilai 2,54 MPa. Setelah itu, kuat tarik belah menurun signifikan pada variasi 20% dan 25%, dengan nilai terendah berada di 1,75 MPa pada 25%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa dalam konteks yang disajikan, variasi 0% memberikan kuat tarik belah terbaik.

5.5 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Perhitungan modulus elastisitas beton dilakukan berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan teoretis. 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 mesin 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. Pengujian modulus akan memperoleh data tegangan dan regangan aksial yang diakibatkan dari pembebanan. Adapun perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban beton mencapai 10 kN sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai Deformasi (ΔL)

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{2}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0.001 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0.001}{200} \\ &= 0.000005\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17064,157} \\ &= 0.59 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Adapun hasil rekapan dari perhitungan pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1

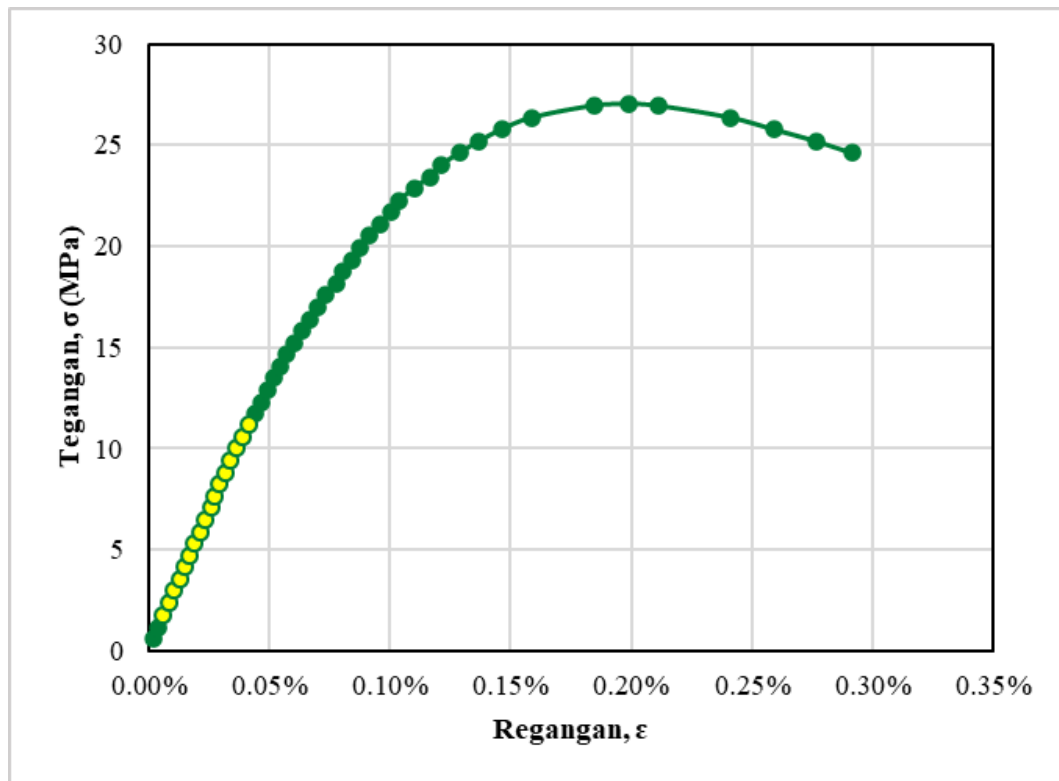
Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0,001	0,000005	0,59
20	11	0,0055	0,0000275	1,17
30	20	0,01	0,00005	1,76
40	29	0,0145	0,0000725	2,34
50	38	0,019	0,000095	2,93
60	48	0,024	0,00012	3,52
70	56	0,028	0,00014	4,10
80	63	0,0315	0,0001575	4,69
90	71	0,0355	0,0001775	5,27
100	80	0,04	0,0002	5,86
110	89	0,0445	0,0002225	6,45
120	98	0,049	0,000245	7,03
130	105	0,0525	0,0002625	7,62
140	113	0,0565	0,0002825	8,20
150	123	0,0615	0,0003075	8,79
160	130	0,065	0,000325	9,38
170	140	0,07	0,00035	9,96
180	151	0,0755	0,0003775	10,55
190	161	0,0805	0,0004025	11,13
200	170	0,085	0,000425	11,72
210	181	0,0905	0,0004525	12,31
220	192	0,096	0,00048	12,89
230	201	0,1005	0,0005025	13,48
240	212	0,106	0,00053	14,06
250	223	0,1115	0,0005575	14,65
260	235	0,1175	0,0005875	15,24
270	248	0,124	0,00062	15,82

Lanjutan Tabel 5.20 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1

280	260	0,13	0,00065	16,41
290	275	0,1375	0,0006875	16,99
300	288	0,144	0,00072	17,58
310	304	0,152	0,00076	18,17
320	315	0,1575	0,0007875	18,75
330	330	0,165	0,000825	19,34
340	345	0,1725	0,0008625	19,92
350	360	0,18	0,0009	20,51
360	378	0,189	0,000945	21,10
370	396	0,198	0,00099	21,68
380	410	0,205	0,001025	22,27
390	434	0,217	0,001085	22,85
400	460	0,23	0,00115	23,44
410	480	0,24	0,0012	24,03
420	509	0,2545	0,0012725	24,61
430	542	0,271	0,001355	25,20
440	580	0,29	0,00145	25,79
450	630	0,315	0,001575	26,37
460	732	0,366	0,00183	26,96
461,3	790	0,395	0,001975	27,03
460	838	0,419	0,002095	26,96
450	958	0,479	0,002395	26,37
440	1030	0,515	0,002575	25,79
430	1100	0,55	0,00275	25,20
420	1160	0,58	0,0029	24,61
410	1219	0,6095	0,0030475	24,03
400	1279	0,6395	0,0031975	23,44

Berdasarkan tabel 5.20, didapatkan hasil yang diperoleh dari pembacaan dial selama pengujian modulus elastisitas. Modulus Elastisitas adalah kemiringan kurva

tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier (Gere & Timoshenko, 1999). Didapatkan juga grafik hubungan antara regangan dan tegangan berdasarkan tabel 5.20. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.8 Kurva Tegangan Regangan

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada gambar 5.8 dan data yang tertera tabel 5.20 di atas, dilakukan perhitungan modulus elastisitas dengan metode ASTM C469-94 di bawah ini.

$$E_{uji} = \frac{S2 - S1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

E = Modulus Elastisitas Beton

ϵ_2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum

$S2$ = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

$S1$ = Tegangan ketika regangan 0,00005 MPa

Angka 0,00005 digunakan sebagai titik referensi awal dalam perhitungan modulus elastisitas beton menurut ASTM C469-94. Nilai standar 0.00005 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 menunjukkan perilaku linier elastis pada regangan rendah.

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{3000}{17064,157} \\ &= 1,76 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S2 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{19000}{17064,157} \\ &= 11,13 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \varepsilon 2 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0805}{200} \\ &= 0,000402 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{uji} &= \frac{S2 - S1}{\varepsilon 2 - \varepsilon 1} \\ &= \frac{11,13 - 1,76}{0,000402 - 0,00005} \\ &= 26599,66 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perhitungan modulus elastisitas menggunakan metode SNI 2847-2019 dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned} E_{Teori} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{27,03} \\ &= 24436,96 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 5.8 di atas, nilai modulus elastisitas untuk beton variasi 0% dengan umur 28 hari pada sampel 1 adalah sebesar 265990,66 MPa. Dalam

penelitian ini, modulus elastisitas teoretis juga dihitung untuk setiap sampel menggunakan persamaan berdasarkan SNI 2847-2019, yaitu $4700 \sqrt{f_c}$. Untuk beton variasi 0% dengan umur 28 hari pada sampel 1, diperoleh modulus elastisitas teoretis sebesar 24436,96 MPa. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk semua varian sampel dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)
BN	28 Hari	1	27,0333	26599,66	24436,96	29108,24	24150,4
		2	25,9018	29572,54	23920,11		
		3	25,6121	31426,98	23785,93		
		4	26,4438	26663,39	24169,04		
		5	27,0404	31278,65	24440,18		
BV-01	28 Hari	1	22,4978	26939,79	22292,99	26842,91	21969,394
		2	21,3757	25583,63	21729,92		
		3	22,7772	27225,51	22430,97		
		4	20,7652	26538,39	21417,37		
		5	21,862	27927,22	21975,72		

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Lanjutan Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)
BV-02	28 Hari	1	24,3422	26448,24	23188,79	27339,99	22680,2
		2	22,8368	22871,09	22460,29		
		3	23,5079	25420,84	22787,94		
		4	23,2244	30993,74	22650,09		
		5	22,5401	30966,06	22313,89		
BV-03	28 Hari	1	24,9277	27796,48	23466,01	28024,86	23176,472
		2	24,7871	28237,71	23399,70		
		3	23,8419	29030,30	22949,22		
		4	24,2425	26189,68	23141,23		
		5	23,7941	28870,14	22926,20		

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

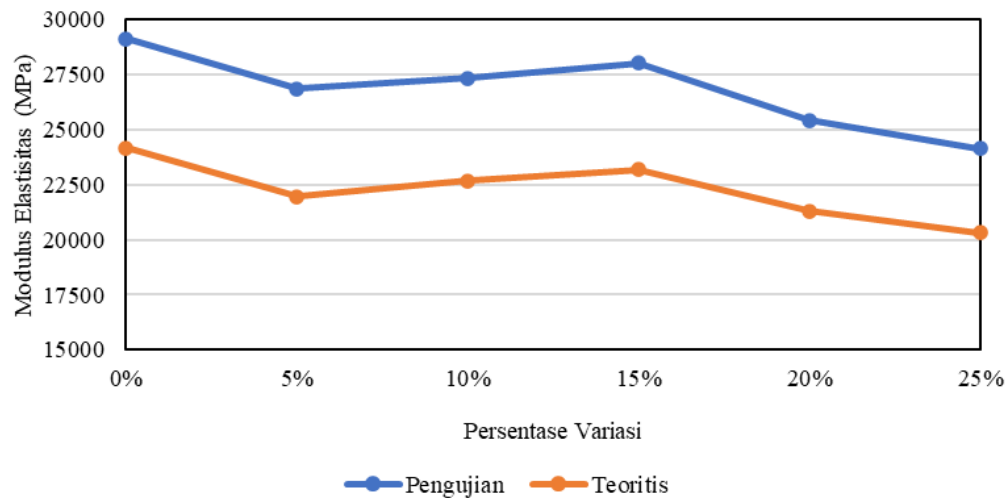
Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	Pengujian	Teoretis ($4700 \times \sqrt{f'c}$)
BV-04	28 Hari	1	20,2128	23920,10	21130,54	25429,22	21307,244
		2	21,2316	20359,71	21656,56		
		3	20,6248	27217,07	21344,84		
		4	20,4996	28789,46	21279,97		
		5	20,2008	26859,77	21124,31		
BV-05	28 Hari	1	18,463	22540,24	20195,27	24121,58	20314,022
		2	19,9236	26934,24	20978,85		
		3	18,795	23452,89	20376,00		
		4	18,6346	25150,41	20288,85		
		5	17,6242	22530,11	19731,14		

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5



Gambar 5.9 Hubungan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi

5.5.1 Pembahasan

Berdasarkan gambar 5.9 diatas, dapat diketahui bahwa nilai modulus elastisitas dari hasil pengujian selalu lebih tinggi dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas dari hasil teoretis untuk setiap variasi. Dari hasil pengujian, terlihat bahwa modulus elastisitas tertinggi terjadi pada beton tanpa serbuk kaca (0%). Namun, saat persentase serbuk kaca meningkat hingga 5%, terjadi penurunan yang cukup signifikan. Setelah itu, nilai modulus elastisitas kembali sedikit meningkat pada variasi 10% dan 15%, sebelum akhirnya menurun tajam pada variasi 20% dan 25%. Dan begitu juga untuk modulus elastisitas teoretis. Metode pengujian dan teoritis memiliki nilai selisih dengan rata-rata 17%. Metode SNI bersifat teoretis dan memberikan estimasi yang tidak selalu sesuai dengan kondisi spesifik dari beton yang diuji di laboratorium. Ini bisa menghasilkan nilai yang lebih rendah atau lebih konservatif dibandingkan dengan pengukuran langsung. Sementara metode ASTM melibatkan pengujian secara langsung di laboratorium untuk mengukur deformasi beton sehingga memberikan hasil yang lebih spesifik dan akurat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh hal-hal berikut.

1. Substitusi serbuk kaca sebanyak 5% sampai 25% dari berat pasir dan *fly ash* 15% dari berat semen memengaruhi kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan tarik belah beton. Tidak terjadi peningkatan mutu beton, terjadi penurunan mutu beton dari beton BN (Variasi 0%) hingga variasi BV-05 (Variasi 25%). Hal ini terjadi dikarenakan beton dengan campuran *fly ash* membutuhkan waktu *curing* yang lebih lama untuk mendapatkan hasil yang optimal.
2. Nilai mutu beton tertinggi terjadi pada variasi BN (Variasi 0%) dengan rata-rata nilai sebesar 26,41 MPa, lalu untuk beton variasi nilai tertinggi didapatkan pada BV-03 (Variasi 15%) dengan nilai 24,32 MPa. Nilai kuat tarik belah beton maksimum untuk beton variasi ada pada BV-03 (variasi 15%) dengan nilai rata-rata yaitu 2,54 MPa. Nilai tersebut tidak lebih dari beton normal dengan nilai rata-rata yaitu 2,78 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang bisa penulis sampaikan agar penelitian kedepannya bisa dilakukan dengan lebih baik, Adapun saran sebagai berikut.

1. Melakukan pengujian lebih lanjut untuk menentukan ukuran partikel optimal dan proporsi serbuk kaca dan *fly ash*.
2. Mengoptimalkan waktu *curing* dan kondisi lingkungan untuk memastikan beton mencapai kekuatan penuh.

3. Menyesuaikan proporsi *fly ash* dan menambahkan *superplasticizer* untuk meningkatkan *workability* tanpa menambah terlalu banyak air.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2019). 318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. In *318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. <https://doi.org/10.14359/51716937>
- 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.
- Apriwelni, S., & Wirawan, N. B. (2020). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi. *Jurnal Saintis*, 20(01), 61-68.
- ASTM. (1994). *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression C469-94*. American Society for Testing and Materials.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar SNI 1968-1990*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm) SNI 4142-1996*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). *Metode Pengujian Modulus Elastisitas Statis dan Rasio Poison Beton dengan Kompresometer 4169-1996*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal SNI 2834-2000*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland SNI 2049-2004*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cra Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus SNI 1970-2008*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium SNI 2493-2011*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder SNI 1974-2011*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder SNI 2491-2014*.

- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 1969-2016*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan SNI 2847-2019*.
- Darmawan, M. (2019). TA PENAMBAHAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BETON NORMAL. *Jutateks*, 3(1), 75-84
- Dian, 2011. 2011. *Jenis-Jenis Kaca dan Aplikasinya*, Teknik Industri. <http://www.kompasiana.com/diansudianto/5500695b8133119fa78b7/jenis-kaca-dan-aplikasinya>.
- Ibrahim, K. I. M. (2021). Recycled waste glass powder as a partial replacement of cement in concrete containing silica fume and fly ash. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00630.
- Setiawati, M. (2018). Fly ash sebagai bahan pengganti semen pada beton. *Prosiding Semnastek*.
- Punusingon, M. A., Handono, B. D., & Pandaleke, R. E. (2019). Uji eksperimental kuat tekan beton daur ulang dengan bahan tambah abu terbang (fly ash) dan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1).
- Purnomo, H., & Hisyam, E. S. (2014). Pemanfaatan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton ditinjau dari kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton. In *Forum Profesional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, p. 55681). Bangka Belitung University.
- Putri, A. M. H. (2023). Parah! Ini Dia 5 jenis komposisi sampah di Indonesia. Retrieved from <https://www.cnbcindonesia.com/research/20230314073930-128-421382/parah-ini-dia-5-jenis-komposisi-sampah-di-indonesia>.
- Setiawan, B. (2006). *Pengaruh penggunaan agregat kaca pada beton ditinjau dari segi kekuatan dan shrinkage* (Doctoral dissertation, Petra Christian University).
- Suwignyo, G. A. L. (2015). *Pengaruh Substitusi Sebagian Agregat Halus dengan Serbuk Kaca Terhadap Sifat Mekanik Beton* (Doctoral dissertation, UAJY).

Woo, Sang Kyun, Young Chul Song, and Jong-Pil Won. "Enhanced durability performance of face slab concrete in Concrete-Faced Rock-filled Dam using fly ash and PVA fibre." *KSCE Journal of Civil Engineering* 15 (2011): 875-882.

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)	490.00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	968.00	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	657.00	gram
Berat Jenis Curah	2.5926	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2.6455	gram
Berat Jenis semu	2.7374	gram
Penyerapan Air	2.0408	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	2	0,1	0,1	99,9
1,2	6	0,3	0,4	99,6
0,6	187	9,35	9,75	90,25
0,3	1025	51,25	61	39
0,15	712	35,6	96,6	3,4
Pan	68	3,4	100	0
Jumlah	2000	100	267,85	

$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{267,85}{100} \\ &= 2,67 \text{ (Memenuhi syarat yaitu: } 1,5 - 3,8) \end{aligned}$$

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

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

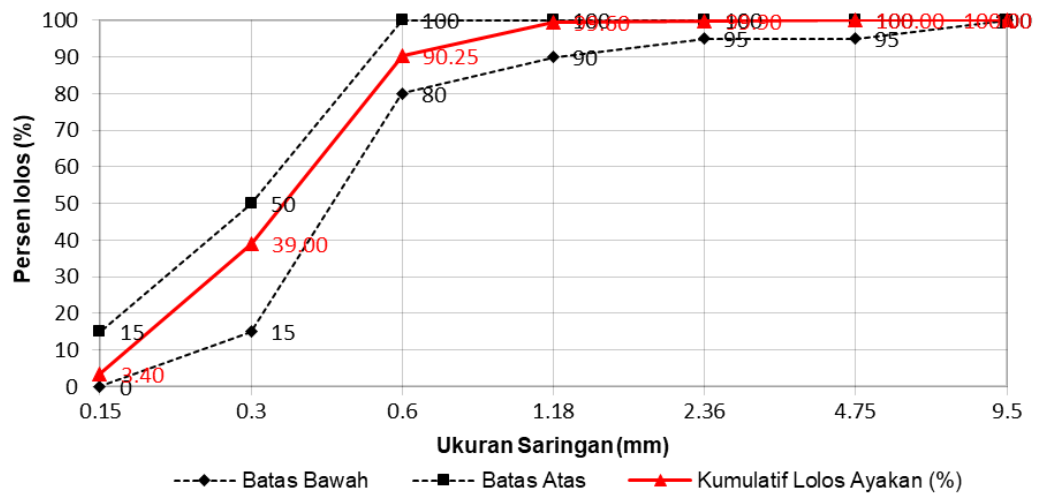
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah IV (Pasir Halus)

Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah IV



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10959	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19015	gram
Berat Agregat (W3)	8056	gram
Diameter Tabung (d)	15.08	cm
Tinggi Tabung (t)	30.12	cm
Volume Tabung (V)	5379.57	cm ³
Berat Volume Gembur	1.4975	gram/cm ³

$$\text{Berat volume gembur} = \frac{8056}{5379,57}$$

$$= 1,49 \text{ gram/cm}^3$$

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10959	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	20316	gram
Berat Agregat (W3)	9357	gram
Diameter Tabung (d)	15.22	cm
Tinggi Tabung (t)	29.97	cm
Volume Tabung (V)	5454.8234	cm ³
Berat Volume Gembur	1.7154	gram/cm ³

$$\begin{aligned}
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{9357}{5454,823} \\
 &= 1,715 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2)	488	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	2,4	%

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)	4886.00	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3100.00	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.5716	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.6316	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.7357	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2.3332	%

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

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

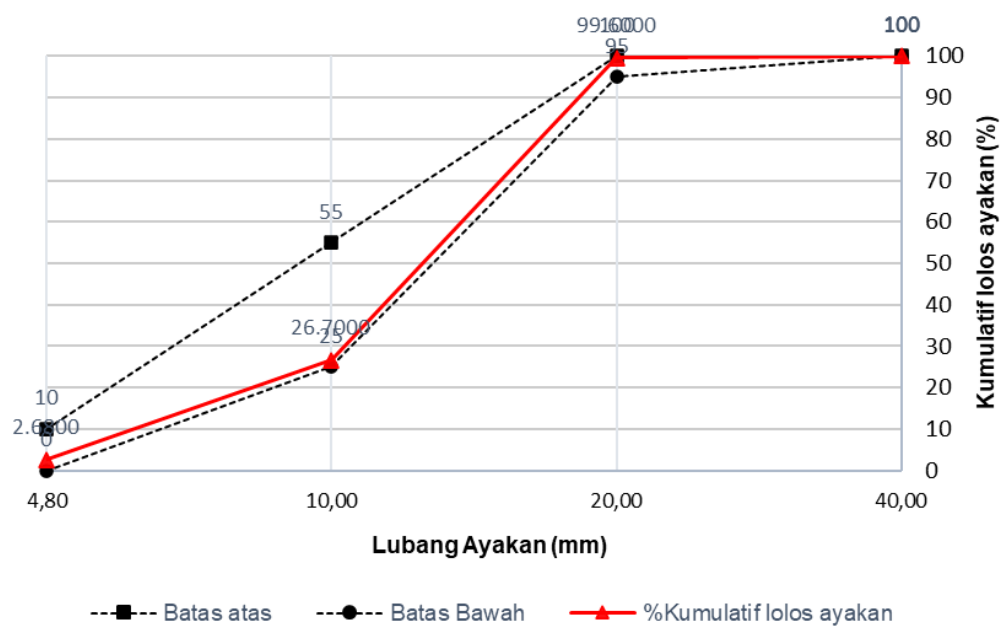
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	20	0.4	0.4	99.6
10	3645	72.9	73.3	26.7
4,8	1201.0	24.02	97.32	2.68
2,4	39.000	0.78	98.1	1.9
1,2	2.000	0.04	98.14	1.86
0,6	0	0.00	98.14	1.86
0,3	0	0.00	98.14	1.86
0,15	0	0.00	98.14	1.86
Pan	93	1.86	100	0
Jumlah	5000	100	661.68	

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{661,68}{100} \\
 &= 6,61 \text{ (Memenuhi syarat yaitu: 5-8)}
 \end{aligned}$$

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)	10958	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18294	gram
Berat Agregat (W3)	7336	gram
Diameter Tabung (d)	15.00	cm
Tinggi Tabung (t)	30.00	cm
Volume Tabung (V)	5303.5714	cm ³
Berat Volume Gembur	1.3832	gram/cm ³

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10218	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19214	gram
Berat Agregat (W3)	8996	gram
Diameter Tabung (d)	15.00	cm
Tinggi Tabung (t)	30.00	cm
Volume Tabung (V)	5303.5714	cm ³
Berat Volume Gembur	1.6962	gram/cm ³

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Mpa
2	Standar Deviasi	7	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	402	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	325	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan		kg/m ³
16	Fas disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 4	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,5	Gram
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,6	Gram
19	Persen Agregat Halus	29	%
20	Persen Agregat Kasar	71	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,61	
22	Berat isi Beton	2395	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1780	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	516,2	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1263,8	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	255,07	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	512,5	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	646,93	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	1579,28	kg/m ³

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BN	147.4	301.3	0	0	461.3	17064.2	27.0333	26,41
	148.05	300			445.9	17215	25.9018	
	148.35	304.25			442.7	17284.8	25.6121	
	147.05	302			449.1	16983.2	26.4438	
	148.05	305.25			465.5	17215	27.0404	
BS-01	148.05	302.1	15	5	387.3	17215	22.4978	21.86
	150.25	304			379	17730.4	21.3757	
	148.35	303.25			393.7	17284.8	22.7772	
	151.15	305			372.6	17943.5	20.7652	
	149	305.1			381.2	17436.6	21.862	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BS-02	149.5	304.3	15	10	427.3	17553.8	24.3422	23,29
	149.23	301.3			399.4	17489.3	22.8368	
	149.2	303.3			411	17483.5	23.5079	
	148.4	304			401.7	17296.5	23.2244	
	149.45	303.05			395.4	17542.1	22.5401	
BS-03	149.35	301.3	15	15	436.7	17518.6	24.9277	24,32
	150.15	304.2			438.9	17706.8	24.7871	
	152.1	304.25			433.2	18169.7	23.8419	
	150	303.35			428.4	17671.5	24.2425	
	152.2	305			432.9	18193.6	23.7941	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca			Unit	Rata-Rata
BS-04	149.35	302	15	20	354.1	17518.6	20.2128	20,55
	149.30	302.2			371.7	17506.9	21.2316	
	150.15	300			365.2	17706.8	20.6248	
	150.05	303.05			362.5	17683.2	20.4996	
	153	303.15			371.4	18385.4	20.2008	
BS-05	146	303	15	25	309.1	16741.5	18.463	18,69
	149.15	304.2			348.1	17471.7	19.9236	
	146.45	306.1			316.6	16844.9	18.795	
	150	303			329.3	17671.5	18.6346	
	150.35	304			312.9	17754	17.6242	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BN	150	306.3	0	0	214	2,97	2,78
	151.4	304			198	2,74	
	147.4	301			199	2,86	
	149.2	303.3			191	2,69	
	154.45	305			195	2,64	
BV-01	143.05	301.1	15	5	155	2,29	2,23
	147.1	306.05			157	2,22	
	150.25	304.2			156	2,17	
	150.45	301			160	2,25	
	151.20	300.45			158	2,21	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BV-02	151.1	299.1	15	10	172	2,42	2,36
	149.45	301.05			161	2,28	
	150.45	300.5			170	2,39	
	150.05	305			171	2,38	
	148	300.35			163	2,33	
BV-03	150	303.4	15	15	175	2,45	2,54
	150	301.15			180	2,54	
	151.05	304.1			183	2,54	
	152.45	305			180	2,50	
	149.4	303.3			190	2,67	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Serbuk Kaca		Unit	Rata-Rata
BV-04	147.5	300.25	15	20	142	2,04	2,08
	151.1	304			150	2,08	
	150.15	301.45			147	2,07	
	153	302			150	2,07	
	148.25	302.4			151	2,14	
BV-05	149.45	303.05	15	25	124	1,74	1,75
	150.25	307			116	1,60	
	149.1	303.15			135	1,90	
	150	305.05			122	1,70	
	149.45	303.45			130	1,82	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas BN 1

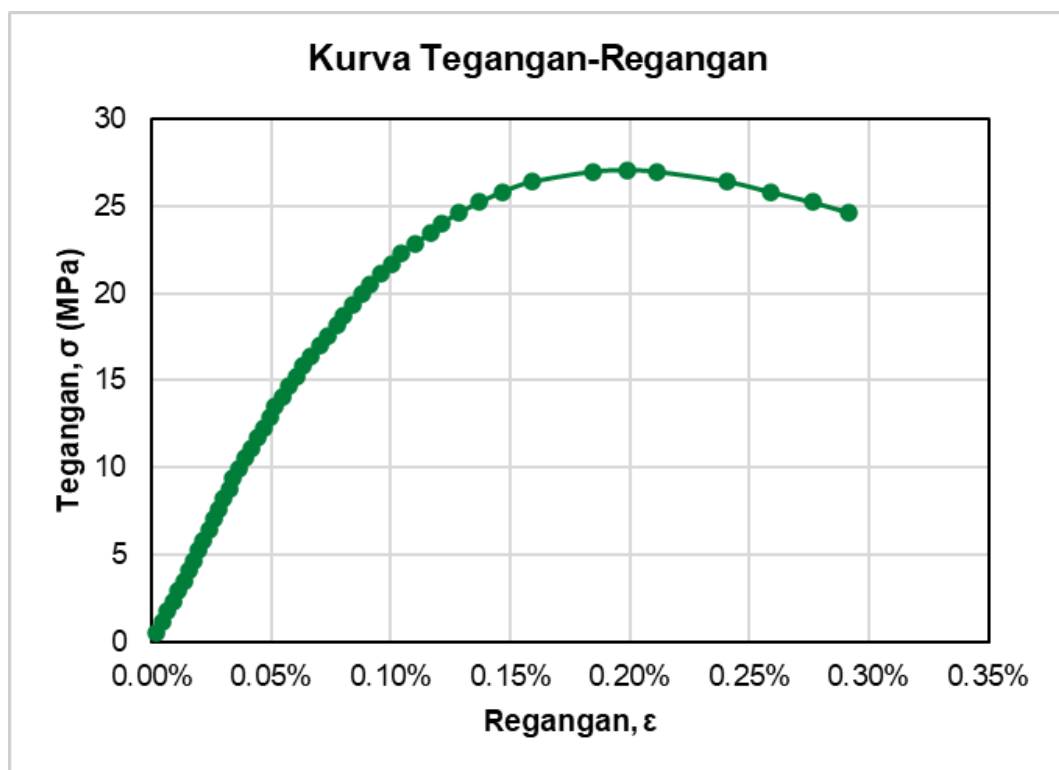
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.59
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.17
30	30000	20	0.01	0.005%	1.76
40	40000	29	0.0145	0.007%	2.34
50	50000	38	0.019	0.010%	2.93
60	60000	48	0.024	0.012%	3.52
70	70000	56	0.028	0.014%	4.10
80	80000	63	0.0315	0.016%	4.69
90	90000	71	0.0355	0.018%	5.27
100	100000	80	0.04	0.020%	5.86
110	110000	89	0.0445	0.022%	6.45
120	120000	98	0.049	0.025%	7.03
130	130000	105	0.0525	0.026%	7.62
140	140000	113	0.0565	0.028%	8.20
150	150000	123	0.0615	0.031%	8.79
160	160000	130	0.065	0.033%	9.38
170	170000	140	0.07	0.035%	9.96
180	180000	151	0.0755	0.038%	10.55

190	190000	161	0.0805	0.040%	11.13
200	200000	170	0.085	0.043%	11.72
210	210000	181	0.0905	0.045%	12.31
220	220000	192	0.096	0.048%	12.89
230	230000	201	0.1005	0.050%	13.48
240	240000	212	0.106	0.053%	14.06
250	250000	223	0.1115	0.056%	14.65
260	260000	235	0.1175	0.059%	15.24
270	270000	248	0.124	0.062%	15.82
280	280000	260	0.13	0.065%	16.41
290	290000	275	0.1375	0.069%	16.99
300	300000	288	0.144	0.072%	17.58
310	310000	304	0.152	0.076%	18.17
320	320000	315	0.1575	0.079%	18.75
330	330000	330	0.165	0.083%	19.34
340	340000	345	0.1725	0.086%	19.92
350	350000	360	0.18	0.090%	20.51
360	360000	378	0.189	0.095%	21.10
370	370000	396	0.198	0.099%	21.68
380	380000	410	0.205	0.103%	22.27
390	390000	434	0.217	0.109%	22.85
400	400000	460	0.23	0.115%	23.44
410	410000	480	0.24	0.120%	24.03
420	420000	509	0.2545	0.127%	24.61
430	430000	542	0.271	0.136%	25.20
440	440000	580	0.29	0.145%	25.79
450	450000	630	0.315	0.158%	26.37
460	460000	732	0.366	0.183%	26.96
461.3	461300	790	0.395	0.198%	27.03
460	460000	838	0.419	0.210%	26.96

450	450000	958	0.479	0.240%	26.37
440	440000	1030	0.515	0.258%	25.79
430	430000	1100	0.55	0.275%	25.20
420	420000	1160	0.58	0.290%	24.61
410	410000	1219	0.6095	0.305%	24.03
400	400000	1279	0.6395	0.320%	23.44

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	27.03	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26599,66	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24436.96	MPa

Modulus Elastisitas BN 2

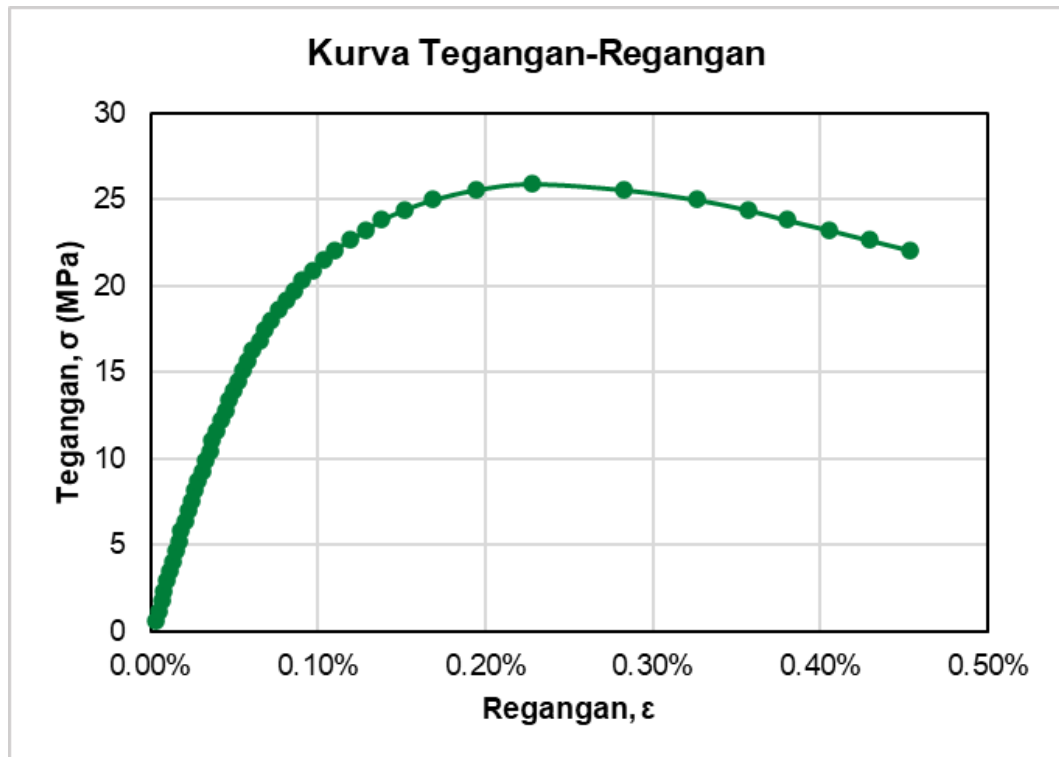
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.58
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.16
30	30000	14	0.007	0.004%	1.74
40	40000	20	0.01	0.005%	2.32
50	50000	26	0.013	0.007%	2.90
60	60000	33	0.0165	0.008%	3.49
70	70000	40	0.02	0.010%	4.07
80	80000	49	0.0245	0.012%	4.65
90	90000	55	0.0275	0.014%	5.23
100	100000	61	0.0305	0.015%	5.81
110	110000	70	0.035	0.018%	6.39
120	120000	78	0.039	0.020%	6.97
130	130000	86	0.043	0.022%	7.55
140	140000	95	0.0475	0.024%	8.13
150	150000	102	0.051	0.026%	8.71
160	160000	110	0.055	0.028%	9.29
170	170000	121	0.0605	0.030%	9.88
180	180000	130	0.065	0.033%	10.46
190	190000	135	0.0675	0.034%	11.04

200	200000	145	0.0725	0.036%	11.62
210	210000	155	0.0775	0.039%	12.20
220	220000	166	0.083	0.042%	12.78
230	230000	176	0.088	0.044%	13.36
240	240000	186	0.093	0.047%	13.94
250	250000	197	0.0985	0.049%	14.52
260	260000	209	0.1045	0.052%	15.10
270	270000	220	0.11	0.055%	15.68
280	280000	232	0.116	0.058%	16.26
290	290000	248	0.124	0.062%	16.85
300	300000	261	0.1305	0.065%	17.43
310	310000	276	0.138	0.069%	18.01
320	320000	295	0.1475	0.074%	18.59
330	330000	313	0.1565	0.078%	19.17
340	340000	331	0.1655	0.083%	19.75
350	350000	351	0.1755	0.088%	20.33
360	360000	375	0.1875	0.094%	20.91
370	370000	402	0.201	0.101%	21.49
380	380000	427	0.2135	0.107%	22.07
390	390000	464	0.232	0.116%	22.65
400	400000	502	0.251	0.126%	23.24
410	410000	540	0.27	0.135%	23.82
420	420000	594	0.297	0.149%	24.40
430	430000	662	0.331	0.166%	24.98
440	440000	766	0.383	0.192%	25.56
445.9	445900	900	0.45	0.225%	25.90
440	440000	1120	0.56	0.280%	25.56
430	430000	1295	0.6475	0.324%	24.98
420	420000	1415	0.7075	0.354%	24.40
410	410000	1509	0.7545	0.377%	23.82

400	400000	1610	0.805	0.403%	23.24
390	390000	1705	0.8525	0.426%	22.65
380	380000	1802	0.901	0.451%	22.07

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	25,9	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29572,54	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23920,11	MPa

Modulus Elastisitas BN 3

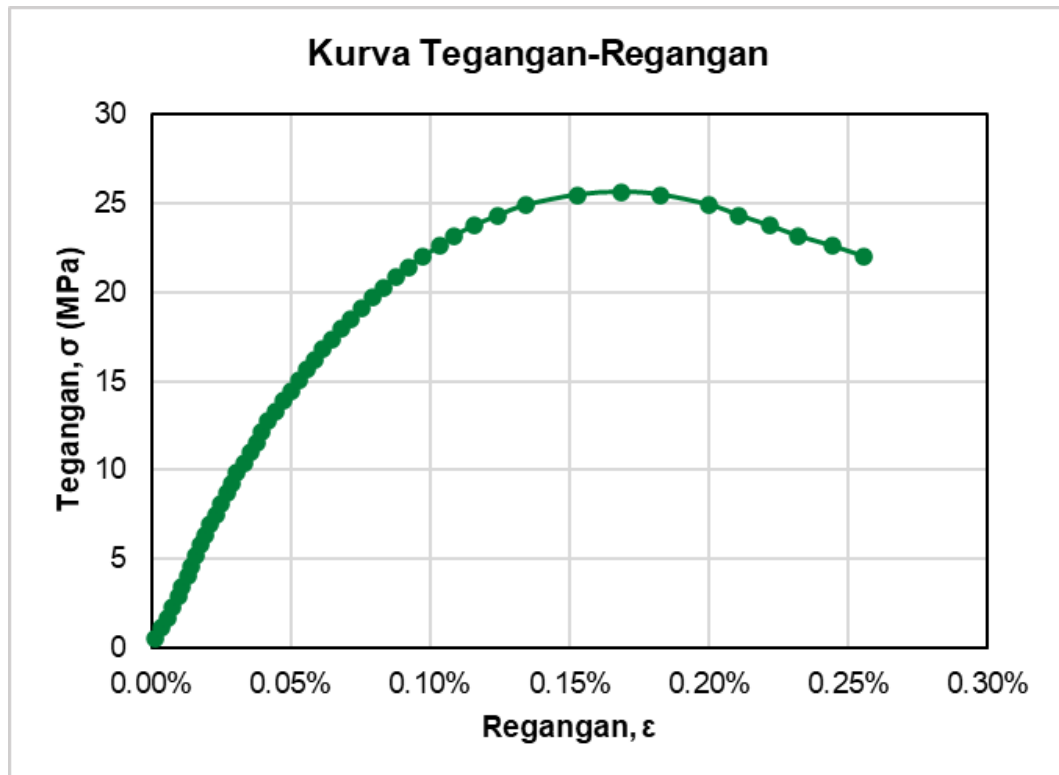
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.58
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.16
30	30000	20	0.01	0.005%	1.74
40	40000	26	0.013	0.007%	2.31
50	50000	35	0.0175	0.009%	2.89
60	60000	41	0.0205	0.010%	3.47
70	70000	49	0.0245	0.012%	4.05
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.63
90	90000	60	0.03	0.015%	5.21
100	100000	68	0.034	0.017%	5.79
110	110000	74	0.037	0.019%	6.36
120	120000	81	0.0405	0.020%	6.94
130	130000	90	0.045	0.023%	7.52
140	140000	97	0.0485	0.024%	8.10
150	150000	106	0.053	0.027%	8.68
160	160000	112	0.056	0.028%	9.26
170	170000	120	0.06	0.030%	9.84
180	180000	130	0.065	0.033%	10.41
190	190000	139	0.0695	0.035%	10.99

200	200000	148	0.074	0.037%	11.57
210	210000	155	0.0775	0.039%	12.15
220	220000	165	0.0825	0.041%	12.73
230	230000	176	0.088	0.044%	13.31
240	240000	186	0.093	0.047%	13.89
250	250000	198	0.099	0.050%	14.46
260	260000	209	0.1045	0.052%	15.04
270	270000	220	0.11	0.055%	15.62
280	280000	231	0.1155	0.058%	16.20
290	290000	242	0.121	0.061%	16.78
300	300000	256	0.128	0.064%	17.36
310	310000	270	0.135	0.068%	17.93
320	320000	282	0.141	0.071%	18.51
330	330000	298	0.149	0.075%	19.09
340	340000	315	0.1575	0.079%	19.67
350	350000	330	0.165	0.083%	20.25
360	360000	349	0.1745	0.087%	20.83
370	370000	366	0.183	0.092%	21.41
380	380000	387	0.1935	0.097%	21.98
390	390000	410	0.205	0.103%	22.56
400	400000	432	0.216	0.108%	23.14
410	410000	460	0.23	0.115%	23.72
420	420000	495	0.2475	0.124%	24.30
430	430000	535	0.2675	0.134%	24.88
440	440000	608	0.304	0.152%	25.46
442.7	442700	671	0.3355	0.168%	25.61
440	440000	728	0.364	0.182%	25.46
430	430000	798	0.399	0.200%	24.88
420	420000	840	0.42	0.210%	24.30
410	410000	884	0.442	0.221%	23.72

400	400000	925	0.4625	0.231%	23.14
390	390000	975	0.4875	0.244%	22.56
380	380000	1020	0.51	0.255%	21.98

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	25,61	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31426,98	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23785,93	MPa

Modulus Elastisitas BN 4

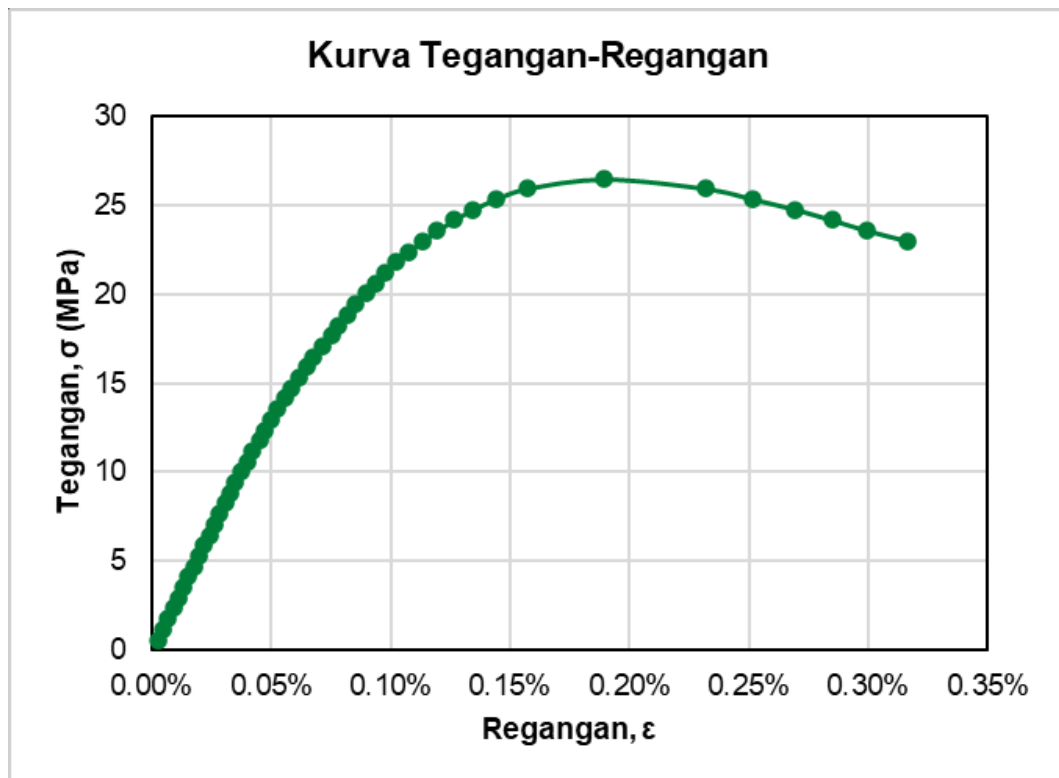
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.59
20	20000	10	0.005	0.003%	1.18
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.77
40	40000	29	0.0145	0.007%	2.36
50	50000	36	0.018	0.009%	2.94
60	60000	45	0.0225	0.011%	3.53
70	70000	54	0.027	0.014%	4.12
80	80000	62	0.031	0.016%	4.71
90	90000	70	0.035	0.018%	5.30
100	100000	80	0.04	0.020%	5.89
110	110000	90	0.045	0.023%	6.48
120	120000	96	0.048	0.024%	7.07
130	130000	106	0.053	0.027%	7.65
140	140000	115	0.0575	0.029%	8.24
150	150000	123	0.0615	0.031%	8.83
160	160000	132	0.066	0.033%	9.42
170	170000	143	0.0715	0.036%	10.01
180	180000	151	0.0755	0.038%	10.60
190	190000	161	0.0805	0.040%	11.19

200	200000	172	0.086	0.043%	11.78
210	210000	181	0.0905	0.045%	12.37
220	220000	192	0.096	0.048%	12.95
230	230000	203	0.1015	0.051%	13.54
240	240000	214	0.107	0.054%	14.13
250	250000	226	0.113	0.057%	14.72
260	260000	238	0.119	0.060%	15.31
270	270000	251	0.1255	0.063%	15.90
280	280000	262	0.131	0.066%	16.49
290	290000	278	0.139	0.070%	17.08
300	300000	293	0.1465	0.073%	17.66
310	310000	304	0.152	0.076%	18.25
320	320000	319	0.1595	0.080%	18.84
330	330000	333	0.1665	0.083%	19.43
340	340000	350	0.175	0.088%	20.02
350	350000	368	0.184	0.092%	20.61
360	360000	382	0.191	0.096%	21.20
370	370000	401	0.2005	0.100%	21.79
380	380000	422	0.211	0.106%	22.38
390	390000	446	0.223	0.112%	22.96
400	400000	470	0.235	0.118%	23.55
410	410000	498	0.249	0.125%	24.14
420	420000	529	0.2645	0.132%	24.73
430	430000	568	0.284	0.142%	25.32
440	440000	620	0.31	0.155%	25.91
449.1	449100	750	0.375	0.188%	26.44
440	440000	919	0.4595	0.230%	25.91
430	430000	998	0.499	0.250%	25.32
420	420000	1070	0.535	0.268%	24.73
410	410000	1131	0.5655	0.283%	24.14

400	400000	1190	0.595	0.298%	23.55
390	390000	1258	0.629	0.315%	22.96

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	26,44	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26663,39	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24169,04	MPa

Modulus Elastisitas BN 5

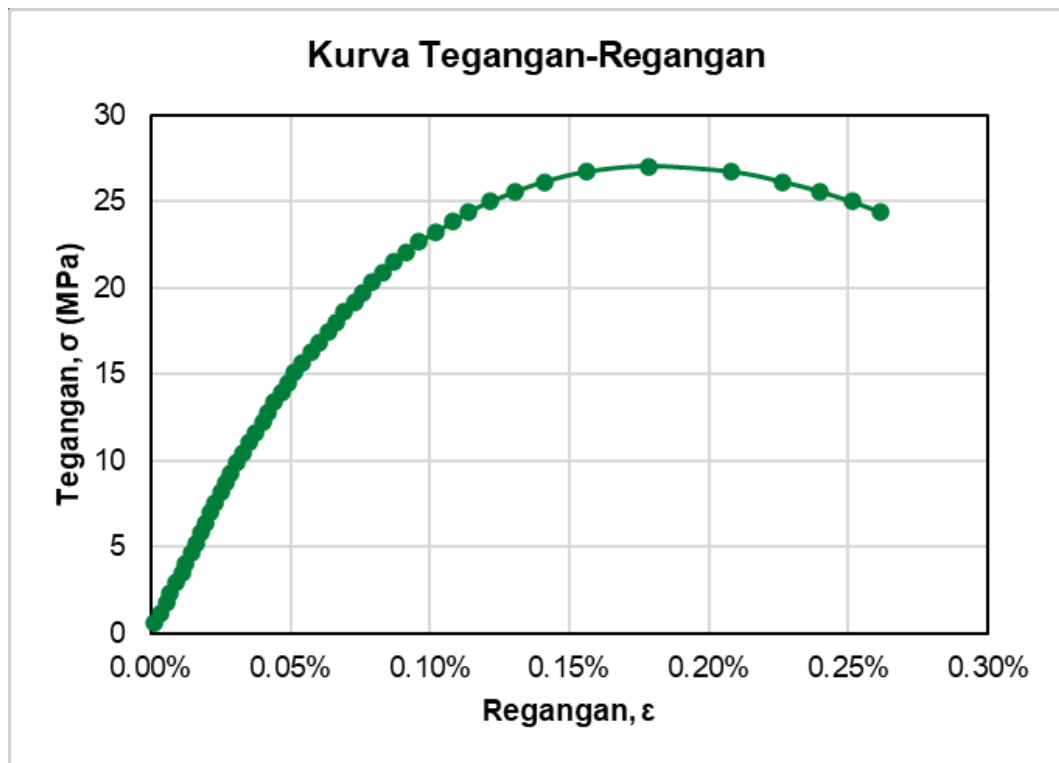
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.58
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.16
30	30000	18	0.009	0.005%	1.74
40	40000	24	0.012	0.006%	2.32
50	50000	33	0.0165	0.008%	2.90
60	60000	40	0.02	0.010%	3.49
70	70000	46	0.023	0.012%	4.07
80	80000	54	0.027	0.014%	4.65
90	90000	60	0.03	0.015%	5.23
100	100000	68	0.034	0.017%	5.81
110	110000	75	0.0375	0.019%	6.39
120	120000	80	0.04	0.020%	6.97
130	130000	88	0.044	0.022%	7.55
140	140000	97	0.0485	0.024%	8.13
150	150000	104	0.052	0.026%	8.71
160	160000	111	0.0555	0.028%	9.29
170	170000	119	0.0595	0.030%	9.88
180	180000	128	0.064	0.032%	10.46
190	190000	137	0.0685	0.034%	11.04

200	200000	145	0.0725	0.036%	11.62
210	210000	156	0.078	0.039%	12.20
220	220000	163	0.0815	0.041%	12.78
230	230000	172	0.086	0.043%	13.36
240	240000	183	0.0915	0.046%	13.94
250	250000	193	0.0965	0.048%	14.52
260	260000	202	0.101	0.051%	15.10
270	270000	213	0.1065	0.053%	15.68
280	280000	225	0.1125	0.056%	16.26
290	290000	236	0.118	0.059%	16.85
300	300000	250	0.125	0.063%	17.43
310	310000	261	0.1305	0.065%	18.01
320	320000	272	0.136	0.068%	18.59
330	330000	288	0.144	0.072%	19.17
340	340000	299	0.1495	0.075%	19.75
350	350000	313	0.1565	0.078%	20.33
360	360000	328	0.164	0.082%	20.91
370	370000	345	0.1725	0.086%	21.49
380	380000	361	0.1805	0.090%	22.07
390	390000	380	0.19	0.095%	22.65
400	400000	405	0.2025	0.101%	23.24
410	410000	428	0.214	0.107%	23.82
420	420000	452	0.226	0.113%	24.40
430	430000	482	0.241	0.121%	24.98
440	440000	518	0.259	0.130%	25.56
450	450000	560	0.28	0.140%	26.14
460	460000	621	0.3105	0.155%	26.72
465.5	465500	709	0.3545	0.177%	27.04
460	460000	828	0.414	0.207%	26.72
450	450000	901	0.4505	0.225%	26.14

440	440000	956	0.478	0.239%	25.56
430	430000	1001	0.5005	0.250%	24.98

Grafik Modulus Elastisitas BN Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	27,04	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31278,65	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24440,18	MPa

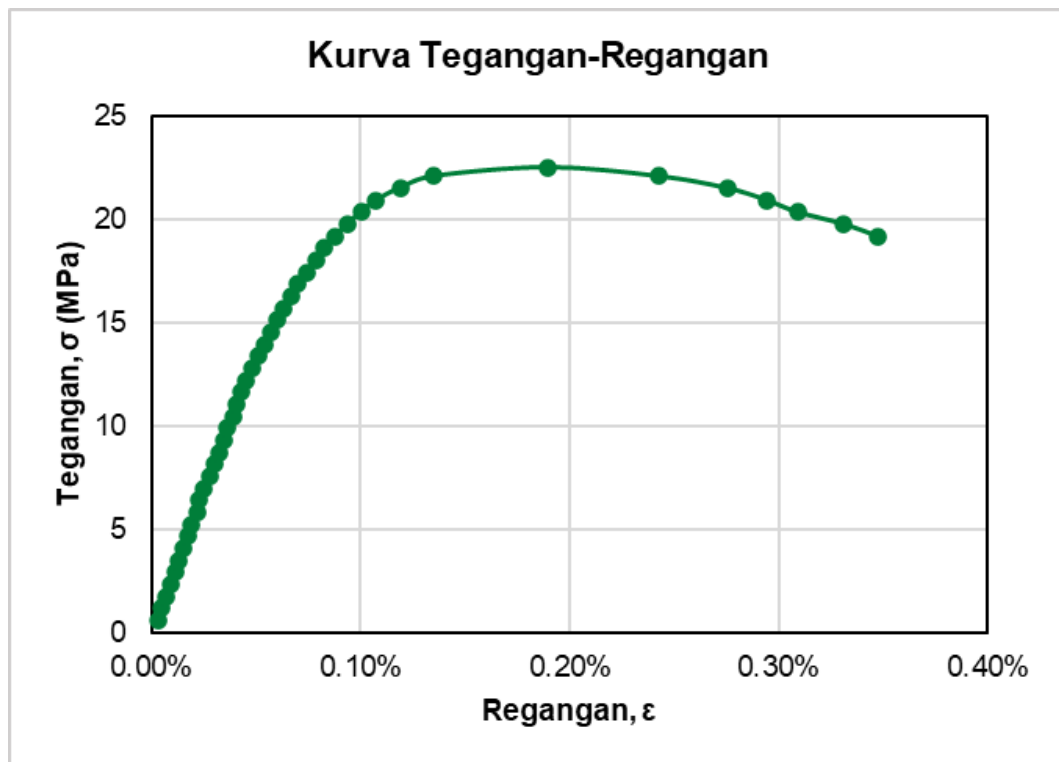
Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	10	0.005	0.003%	1.16
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.74
40	40000	28	0.014	0.007%	2.32
50	50000	37	0.0185	0.009%	2.90
60	60000	42	0.021	0.011%	3.49
70	70000	51	0.0255	0.013%	4.07
80	80000	60	0.03	0.015%	4.65
90	90000	67	0.0335	0.017%	5.23
100	100000	78	0.039	0.020%	5.81
110	110000	81	0.0405	0.020%	6.39
120	120000	90	0.045	0.023%	6.97
130	130000	102	0.051	0.026%	7.55
140	140000	110	0.055	0.028%	8.13
150	150000	120	0.06	0.030%	8.71
160	160000	129	0.0645	0.032%	9.29
170	170000	135	0.0675	0.034%	9.88
180	180000	146	0.073	0.037%	10.46
190	190000	153	0.0765	0.038%	11.04

200	200000	162	0.081	0.041%	11.62
210	210000	172	0.086	0.043%	12.20
220	220000	184	0.092	0.046%	12.78
230	230000	194	0.097	0.049%	13.36
240	240000	207	0.1035	0.052%	13.94
250	250000	218	0.109	0.055%	14.52
260	260000	230	0.115	0.058%	15.10
270	270000	242	0.121	0.061%	15.68
280	280000	258	0.129	0.065%	16.26
290	290000	271	0.1355	0.068%	16.85
300	300000	289	0.1445	0.072%	17.43
310	310000	305	0.1525	0.076%	18.01
320	320000	322	0.161	0.081%	18.59
330	330000	343	0.1715	0.086%	19.17
340	340000	365	0.1825	0.091%	19.75
350	350000	392	0.196	0.098%	20.33
360	360000	421	0.2105	0.105%	20.91
370	370000	466	0.233	0.117%	21.49
380	380000	531	0.2655	0.133%	22.07
387.3	387300	750	0.375	0.188%	22.50
380	380000	960	0.48	0.240%	22.07
370	370000	1092	0.546	0.273%	21.49
360	360000	1168	0.584	0.292%	20.91
350	350000	1227	0.6135	0.307%	20.33
340	340000	1315	0.6575	0.329%	19.75
330	330000	1380	0.69	0.345%	19.17

Grafik Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	22,5	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26939,79	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22292,99	MPa

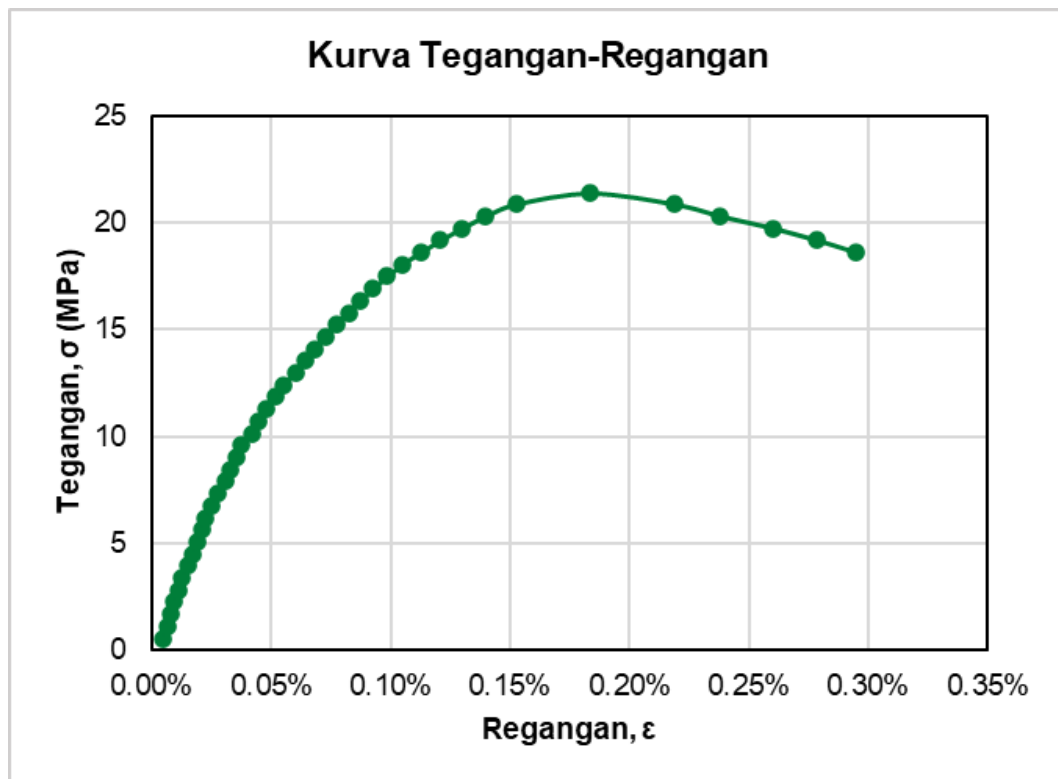
Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.56
20	20000	7	0.0035	0.002%	1.13
30	30000	12	0.006	0.003%	1.69
40	40000	19	0.0095	0.005%	2.26
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.82
60	60000	32	0.016	0.008%	3.38
70	70000	41	0.0205	0.010%	3.95
80	80000	49	0.0245	0.012%	4.51
90	90000	57	0.0285	0.014%	5.08
100	100000	65	0.0325	0.016%	5.64
110	110000	70	0.035	0.018%	6.20
120	120000	82	0.041	0.021%	6.77
130	130000	92	0.046	0.023%	7.33
140	140000	104	0.052	0.026%	7.90
150	150000	112	0.056	0.028%	8.46
160	160000	122	0.061	0.031%	9.02
170	170000	131	0.0655	0.033%	9.59
180	180000	148	0.074	0.037%	10.15
190	190000	160	0.08	0.040%	10.72

200	200000	172	0.086	0.043%	11.28
210	210000	187	0.0935	0.047%	11.84
220	220000	201	0.1005	0.050%	12.41
230	230000	222	0.111	0.056%	12.97
240	240000	238	0.119	0.060%	13.54
250	250000	255	0.1275	0.064%	14.10
260	260000	272	0.136	0.068%	14.66
270	270000	291	0.1455	0.073%	15.23
280	280000	311	0.1555	0.078%	15.79
290	290000	331	0.1655	0.083%	16.36
300	300000	351	0.1755	0.088%	16.92
310	310000	375	0.1875	0.094%	17.48
320	320000	400	0.2	0.100%	18.05
330	330000	431	0.2155	0.108%	18.61
340	340000	464	0.232	0.116%	19.18
350	350000	500	0.25	0.125%	19.74
360	360000	540	0.27	0.135%	20.30
370	370000	591	0.2955	0.148%	20.87
379	379000	715	0.3575	0.179%	21.38
370	370000	855	0.4275	0.214%	20.87
360	360000	933	0.4665	0.233%	20.30
350	350000	1021	0.5105	0.255%	19.74
340	340000	1095	0.5475	0.274%	19.18
330	330000	1160	0.58	0.290%	18.61

Grafik Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	21,38	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25583,63	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21729,92	MPa

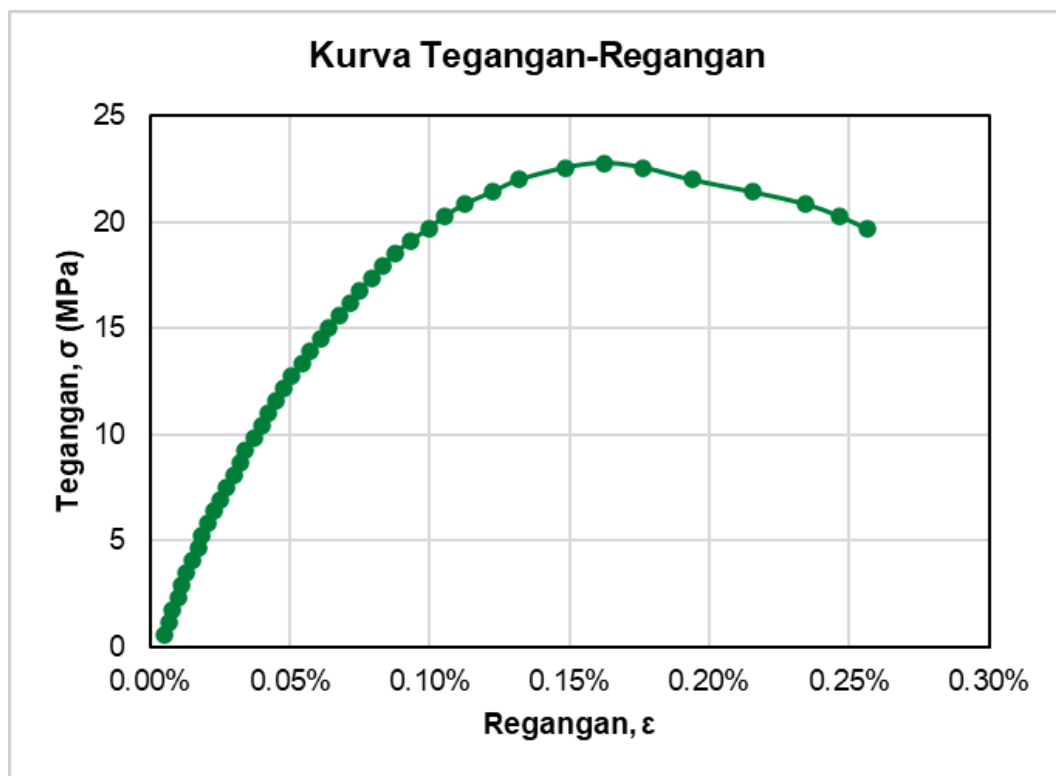
Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.58
20	20000	8	0.004	0.002%	1.16
30	30000	12	0.006	0.003%	1.74
40	40000	20	0.01	0.005%	2.31
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.89
60	60000	31	0.0155	0.008%	3.47
70	70000	40	0.02	0.010%	4.05
80	80000	49	0.0245	0.012%	4.63
90	90000	54	0.027	0.014%	5.21
100	100000	62	0.031	0.016%	5.79
110	110000	71	0.0355	0.018%	6.36
120	120000	80	0.04	0.020%	6.94
130	130000	90	0.045	0.023%	7.52
140	140000	99	0.0495	0.025%	8.10
150	150000	108	0.054	0.027%	8.68
160	160000	116	0.058	0.029%	9.26
170	170000	128	0.064	0.032%	9.84
180	180000	139	0.0695	0.035%	10.41
190	190000	149	0.0745	0.037%	10.99

200	200000	160	0.08	0.040%	11.57
210	210000	171	0.0855	0.043%	12.15
220	220000	183	0.0915	0.046%	12.73
230	230000	198	0.099	0.050%	13.31
240	240000	208	0.104	0.052%	13.89
250	250000	223	0.1115	0.056%	14.46
260	260000	236	0.118	0.059%	15.04
270	270000	250	0.125	0.063%	15.62
280	280000	266	0.133	0.067%	16.20
290	290000	280	0.14	0.070%	16.78
300	300000	298	0.149	0.075%	17.36
310	310000	312	0.156	0.078%	17.93
320	320000	331	0.1655	0.083%	18.51
330	330000	352	0.176	0.088%	19.09
340	340000	378	0.189	0.095%	19.67
350	350000	401	0.2005	0.100%	20.25
360	360000	430	0.215	0.108%	20.83
370	370000	469	0.2345	0.117%	21.41
380	380000	508	0.254	0.127%	21.98
390	390000	575	0.2875	0.144%	22.56
393.7	393700	629	0.3145	0.157%	22.78
390	390000	685	0.3425	0.171%	22.56
380	380000	755	0.3775	0.189%	21.98
370	370000	842	0.421	0.211%	21.41
360	360000	918	0.459	0.230%	20.83
350	350000	967	0.4835	0.242%	20.25
340	340000	1005	0.5025	0.251%	19.67

Grafik Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	22,78	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27225,51	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22430,97	MPa

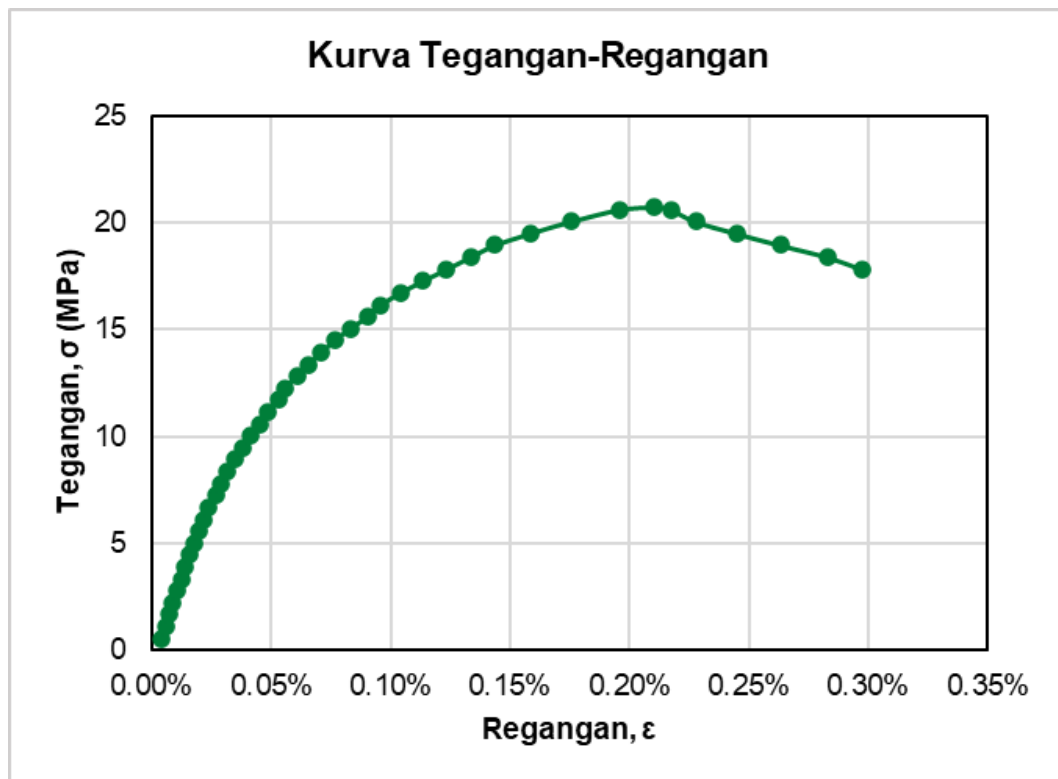
Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.56
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.11
30	30000	14	0.007	0.004%	1.67
40	40000	20	0.01	0.005%	2.23
50	50000	28	0.014	0.007%	2.79
60	60000	35	0.0175	0.009%	3.34
70	70000	41	0.0205	0.010%	3.90
80	80000	49	0.0245	0.012%	4.46
90	90000	57	0.0285	0.014%	5.02
100	100000	65	0.0325	0.016%	5.57
110	110000	72	0.036	0.018%	6.13
120	120000	80	0.04	0.020%	6.69
130	130000	93	0.0465	0.023%	7.24
140	140000	103	0.0515	0.026%	7.80
150	150000	112	0.056	0.028%	8.36
160	160000	125	0.0625	0.031%	8.92
170	170000	138	0.069	0.035%	9.47
180	180000	151	0.0755	0.038%	10.03
190	190000	166	0.083	0.042%	10.59

200	200000	180	0.09	0.045%	11.15
210	210000	198	0.099	0.050%	11.70
220	220000	210	0.105	0.053%	12.26
230	230000	230	0.115	0.058%	12.82
240	240000	249	0.1245	0.062%	13.38
250	250000	270	0.135	0.068%	13.93
260	260000	292	0.146	0.073%	14.49
270	270000	318	0.159	0.080%	15.05
280	280000	347	0.1735	0.087%	15.60
290	290000	370	0.185	0.093%	16.16
300	300000	402	0.201	0.101%	16.72
310	310000	440	0.22	0.110%	17.28
320	320000	480	0.24	0.120%	17.83
330	330000	520	0.26	0.130%	18.39
340	340000	560	0.28	0.140%	18.95
350	350000	620	0.31	0.155%	19.51
360	360000	688	0.344	0.172%	20.06
370	370000	770	0.385	0.193%	20.62
372	372000	828	0.414	0.207%	20.73
370	370000	855	0.4275	0.214%	20.62
360	360000	897	0.4485	0.224%	20.06
350	350000	965	0.4825	0.241%	19.51
340	340000	1040	0.52	0.260%	18.95
330	330000	1118	0.559	0.280%	18.39
320	320000	1175	0.5875	0.294%	17.83

Grafik Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	20,77	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26538,39	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21417,37	MPa

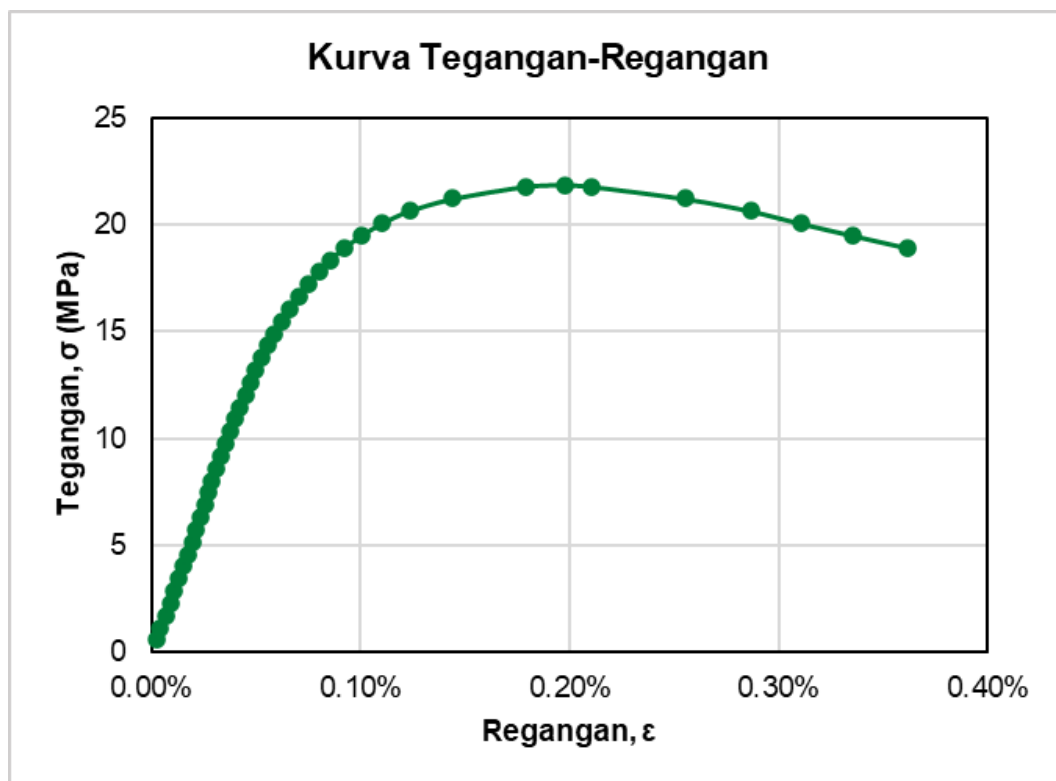
Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 5

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	7	0.0035	0.002%	0.57
20	20000	15	0.0075	0.004%	1.15
30	30000	27	0.0135	0.007%	1.72
40	40000	35	0.0175	0.009%	2.29
50	50000	42	0.021	0.011%	2.87
60	60000	50	0.025	0.013%	3.44
70	70000	60	0.03	0.015%	4.01
80	80000	68	0.034	0.017%	4.59
90	90000	76	0.038	0.019%	5.16
100	100000	82	0.041	0.021%	5.74
110	110000	91	0.0455	0.023%	6.31
120	120000	100	0.05	0.025%	6.88
130	130000	107	0.0535	0.027%	7.46
140	140000	113	0.0565	0.028%	8.03
150	150000	122	0.061	0.031%	8.60
160	160000	130	0.065	0.033%	9.18
170	170000	140	0.07	0.035%	9.75
180	180000	150	0.075	0.038%	10.32
190	190000	159	0.0795	0.040%	10.90

200	200000	167	0.0835	0.042%	11.47
210	210000	178	0.089	0.045%	12.04
220	220000	188	0.094	0.047%	12.62
230	230000	198	0.099	0.050%	13.19
240	240000	210	0.105	0.053%	13.76
250	250000	222	0.111	0.056%	14.34
260	260000	234	0.117	0.059%	14.91
270	270000	248	0.124	0.062%	15.48
280	280000	262	0.131	0.066%	16.06
290	290000	280	0.14	0.070%	16.63
300	300000	298	0.149	0.075%	17.21
310	310000	318	0.159	0.080%	17.78
320	320000	340	0.17	0.085%	18.35
330	330000	368	0.184	0.092%	18.93
340	340000	400	0.2	0.100%	19.50
350	350000	440	0.22	0.110%	20.07
360	360000	492	0.246	0.123%	20.65
370	370000	575	0.2875	0.144%	21.22
380	380000	715	0.3575	0.179%	21.79
381.2	381200	790	0.395	0.198%	21.86
380	380000	840	0.42	0.210%	21.79
370	370000	1020	0.51	0.255%	21.22
360	360000	1145	0.5725	0.286%	20.65
350	350000	1240	0.62	0.310%	20.07
340	340000	1341	0.6705	0.335%	19.50
330	330000	1444	0.722	0.361%	18.93

Grafik Modulus Elastisitas BV-01 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	21,86	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27927,22	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21975,72	MPa

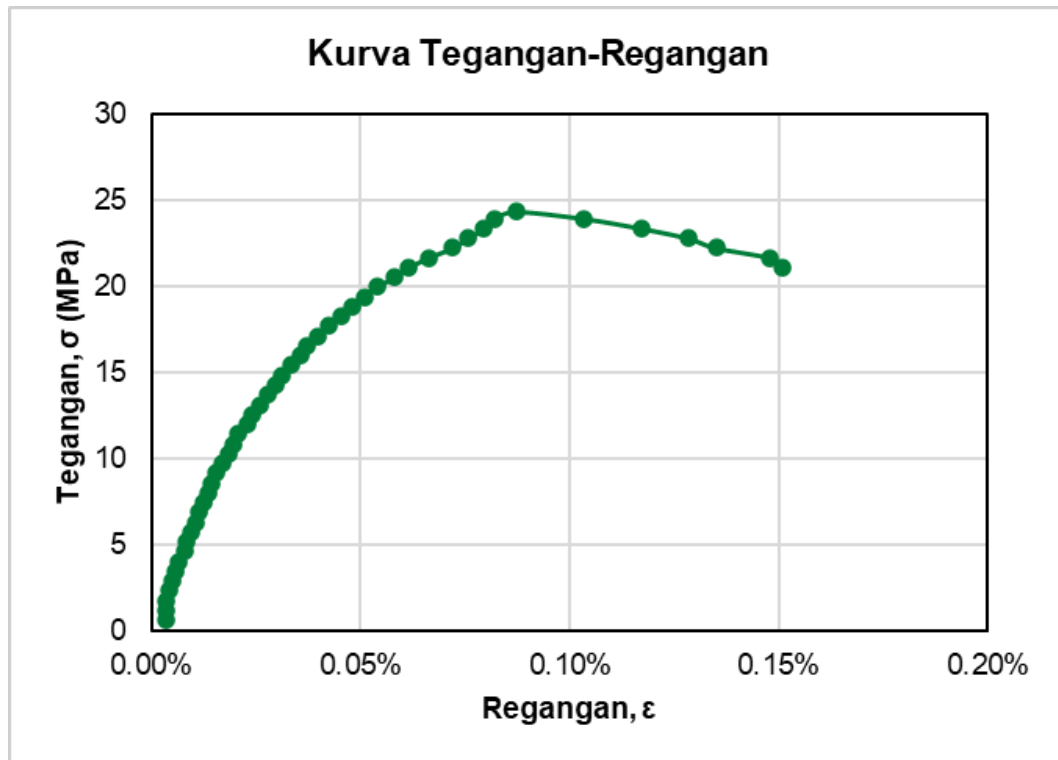
Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	0	0	0.000%	1.14
30	30000	0	0	0.000%	1.71
40	40000	3	0.0015	0.001%	2.28
50	50000	7	0.0035	0.002%	2.85
60	60000	10	0.005	0.003%	3.42
70	70000	13	0.0065	0.003%	3.99
80	80000	18	0.009	0.005%	4.56
90	90000	20	0.01	0.005%	5.13
100	100000	24	0.012	0.006%	5.70
110	110000	29	0.0145	0.007%	6.27
120	120000	32	0.016	0.008%	6.84
130	130000	36	0.018	0.009%	7.41
140	140000	41	0.0205	0.010%	7.98
150	150000	44	0.022	0.011%	8.55
160	160000	49	0.0245	0.012%	9.11
170	170000	54	0.027	0.014%	9.68
180	180000	60	0.03	0.015%	10.25
190	190000	65	0.0325	0.016%	10.82

200	200000	70	0.035	0.018%	11.39
210	210000	78	0.039	0.020%	11.96
220	220000	83	0.0415	0.021%	12.53
230	230000	90	0.045	0.023%	13.10
240	240000	98	0.049	0.025%	13.67
250	250000	105	0.0525	0.026%	14.24
260	260000	111	0.0555	0.028%	14.81
270	270000	120	0.06	0.030%	15.38
280	280000	129	0.0645	0.032%	15.95
290	290000	135	0.0675	0.034%	16.52
300	300000	145	0.0725	0.036%	17.09
310	310000	156	0.078	0.039%	17.66
320	320000	168	0.084	0.042%	18.23
330	330000	179	0.0895	0.045%	18.80
340	340000	190	0.095	0.048%	19.37
350	350000	202	0.101	0.051%	19.94
360	360000	219	0.1095	0.055%	20.51
370	370000	233	0.1165	0.058%	21.08
380	380000	252	0.126	0.063%	21.65
390	390000	275	0.1375	0.069%	22.22
400	400000	290	0.145	0.073%	22.79
410	410000	305	0.1525	0.076%	23.36
420	420000	315	0.1575	0.079%	23.93
427	427000	335	0.1675	0.084%	24.33
420	420000	400	0.2	0.100%	23.93
410	410000	455	0.2275	0.114%	23.36
400	400000	500	0.25	0.125%	22.79
390	390000	527	0.2635	0.132%	22.22
380	380000	578	0.289	0.145%	21.65
370	370000	590	0.295	0.148%	21.08

Grafik Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	24,34	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26448,24	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23188,79	MPa

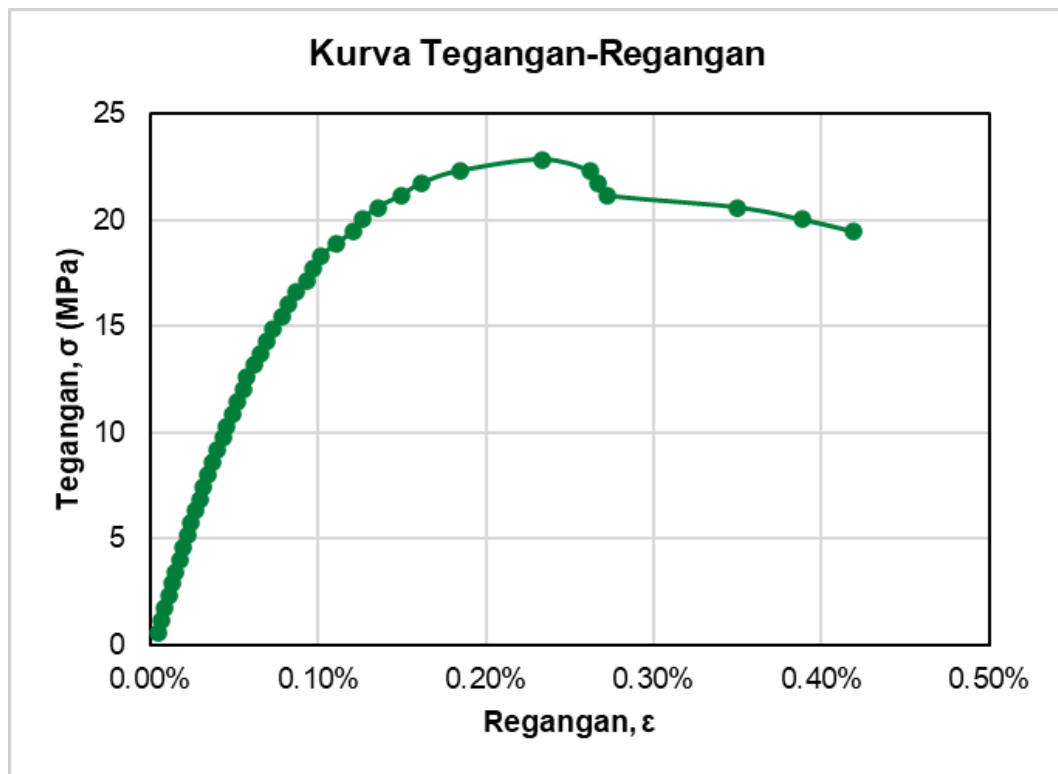
Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.57
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.14
30	30000	17	0.0085	0.004%	1.72
40	40000	27	0.0135	0.007%	2.29
50	50000	34	0.017	0.009%	2.86
60	60000	42	0.021	0.011%	3.43
70	70000	53	0.0265	0.013%	4.00
80	80000	60	0.03	0.015%	4.57
90	90000	70	0.035	0.018%	5.15
100	100000	79	0.0395	0.020%	5.72
110	110000	90	0.045	0.023%	6.29
120	120000	102	0.051	0.026%	6.86
130	130000	108	0.054	0.027%	7.43
140	140000	120	0.06	0.030%	8.00
150	150000	130	0.065	0.033%	8.58
160	160000	142	0.071	0.036%	9.15
170	170000	155	0.0775	0.039%	9.72
180	180000	165	0.0825	0.041%	10.29
190	190000	180	0.09	0.045%	10.86

200	200000	191	0.0955	0.048%	11.44
210	210000	204	0.102	0.051%	12.01
220	220000	212	0.106	0.053%	12.58
230	230000	230	0.115	0.058%	13.15
240	240000	245	0.1225	0.061%	13.72
250	250000	260	0.13	0.065%	14.29
260	260000	275	0.1375	0.069%	14.87
270	270000	295	0.1475	0.074%	15.44
280	280000	310	0.155	0.078%	16.01
290	290000	328	0.164	0.082%	16.58
300	300000	355	0.1775	0.089%	17.15
310	310000	372	0.186	0.093%	17.73
320	320000	390	0.195	0.098%	18.30
330	330000	427	0.2135	0.107%	18.87
340	340000	465	0.2325	0.116%	19.44
350	350000	490	0.245	0.123%	20.01
360	360000	525	0.2625	0.131%	20.58
370	370000	582	0.291	0.146%	21.16
380	380000	630	0.315	0.158%	21.73
390	390000	720	0.36	0.180%	22.30
399.4	399400	915	0.4575	0.229%	22.84
390	390000	1030	0.515	0.258%	22.30
380	380000	1050	0.525	0.263%	21.73
370	370000	1070	0.535	0.268%	21.16
360	360000	1380	0.69	0.345%	20.58
350	350000	1535	0.7675	0.384%	20.01
340	340000	1658	0.829	0.415%	19.44

Grafik Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	22,84	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	22871,09	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22460,29	MPa

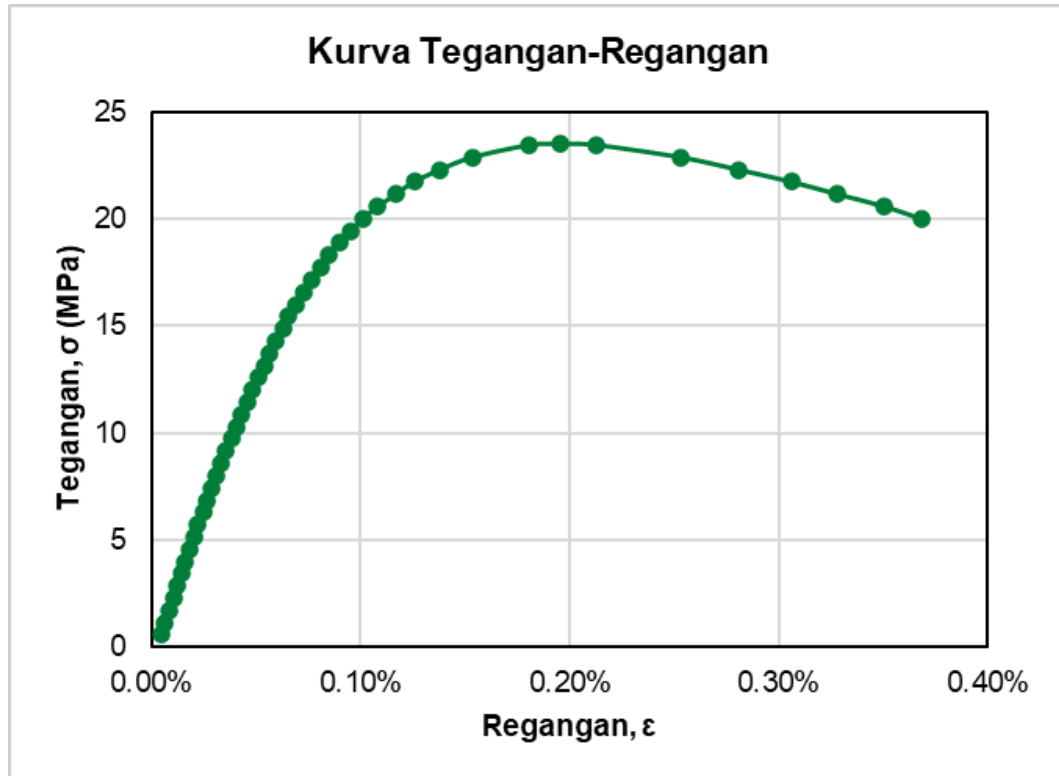
Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0.0025	0.001%	0.57
20	20000	12	0.006	0.003%	1.14
30	30000	20	0.01	0.005%	1.72
40	40000	29	0.0145	0.007%	2.29
50	50000	37	0.0185	0.009%	2.86
60	60000	45	0.0225	0.011%	3.43
70	70000	51	0.0255	0.013%	4.00
80	80000	60	0.03	0.015%	4.58
90	90000	68	0.034	0.017%	5.15
100	100000	76	0.038	0.019%	5.72
110	110000	86	0.043	0.022%	6.29
120	120000	93	0.0465	0.023%	6.86
130	130000	103	0.0515	0.026%	7.44
140	140000	110	0.055	0.028%	8.01
150	150000	121	0.0605	0.030%	8.58
160	160000	130	0.065	0.033%	9.15
170	170000	141	0.0705	0.035%	9.72
180	180000	150	0.075	0.038%	10.30
190	190000	160	0.08	0.040%	10.87

200	200000	171	0.0855	0.043%	11.44
210	210000	181	0.0905	0.045%	12.01
220	220000	192	0.096	0.048%	12.58
230	230000	204	0.102	0.051%	13.16
240	240000	212	0.106	0.053%	13.73
250	250000	224	0.112	0.056%	14.30
260	260000	239	0.1195	0.060%	14.87
270	270000	250	0.125	0.063%	15.44
280	280000	265	0.1325	0.066%	16.02
290	290000	280	0.14	0.070%	16.59
300	300000	295	0.1475	0.074%	17.16
310	310000	312	0.156	0.078%	17.73
320	320000	327	0.1635	0.082%	18.30
330	330000	348	0.174	0.087%	18.87
340	340000	369	0.1845	0.092%	19.45
350	350000	392	0.196	0.098%	20.02
360	360000	421	0.2105	0.105%	20.59
370	370000	455	0.2275	0.114%	21.16
380	380000	490	0.245	0.123%	21.73
390	390000	540	0.27	0.135%	22.31
400	400000	601	0.3005	0.150%	22.88
410	410000	710	0.355	0.178%	23.45
411	411000	770	0.385	0.193%	23.51
410	410000	840	0.42	0.210%	23.45
400	400000	1001	0.5005	0.250%	22.88
390	390000	1110	0.555	0.278%	22.31
380	380000	1212	0.606	0.303%	21.73
370	370000	1300	0.65	0.325%	21.16
360	360000	1389	0.6945	0.347%	20.59
350	350000	1460	0.73	0.365%	20.02

Grafik Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	23,51	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25420,84	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22787,94	MPa

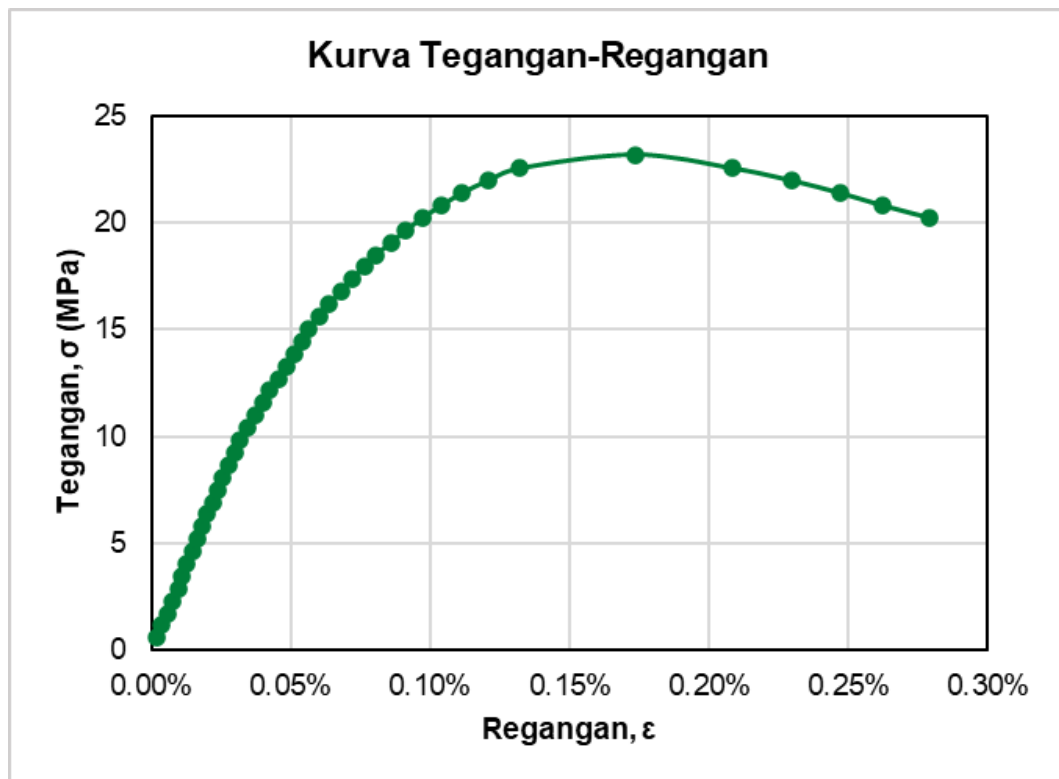
Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0.002	0.001%	0.58
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.16
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.73
40	40000	26	0.013	0.007%	2.31
50	50000	34	0.017	0.009%	2.89
60	60000	40	0.02	0.010%	3.47
70	70000	47	0.0235	0.012%	4.05
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.63
90	90000	61	0.0305	0.015%	5.20
100	100000	68	0.034	0.017%	5.78
110	110000	76	0.038	0.019%	6.36
120	120000	84	0.042	0.021%	6.94
130	130000	91	0.0455	0.023%	7.52
140	140000	98	0.049	0.025%	8.09
150	150000	107	0.0535	0.027%	8.67
160	160000	115	0.0575	0.029%	9.25
170	170000	123	0.0615	0.031%	9.83
180	180000	134	0.067	0.034%	10.41
190	190000	144	0.072	0.036%	10.98

200	200000	155	0.0775	0.039%	11.56
210	210000	165	0.0825	0.041%	12.14
220	220000	178	0.089	0.045%	12.72
230	230000	189	0.0945	0.047%	13.30
240	240000	200	0.1	0.050%	13.88
250	250000	211	0.1055	0.053%	14.45
260	260000	221	0.1105	0.055%	15.03
270	270000	236	0.118	0.059%	15.61
280	280000	251	0.1255	0.063%	16.19
290	290000	268	0.134	0.067%	16.77
300	300000	284	0.142	0.071%	17.34
310	310000	301	0.1505	0.075%	17.92
320	320000	318	0.159	0.080%	18.50
330	330000	340	0.17	0.085%	19.08
340	340000	361	0.1805	0.090%	19.66
350	350000	385	0.1925	0.096%	20.24
360	360000	412	0.206	0.103%	20.81
370	370000	442	0.221	0.111%	21.39
380	380000	479	0.2395	0.120%	21.97
390	390000	525	0.2625	0.131%	22.55
401	401000	690	0.345	0.173%	23.18
390	390000	830	0.415	0.208%	22.55
380	380000	915	0.4575	0.229%	21.97
370	370000	984	0.492	0.246%	21.39
360	360000	1045	0.5225	0.261%	20.81
350	350000	1112	0.556	0.278%	20.24

Grafik Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	23.22	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30993,74	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22650,09	MPa

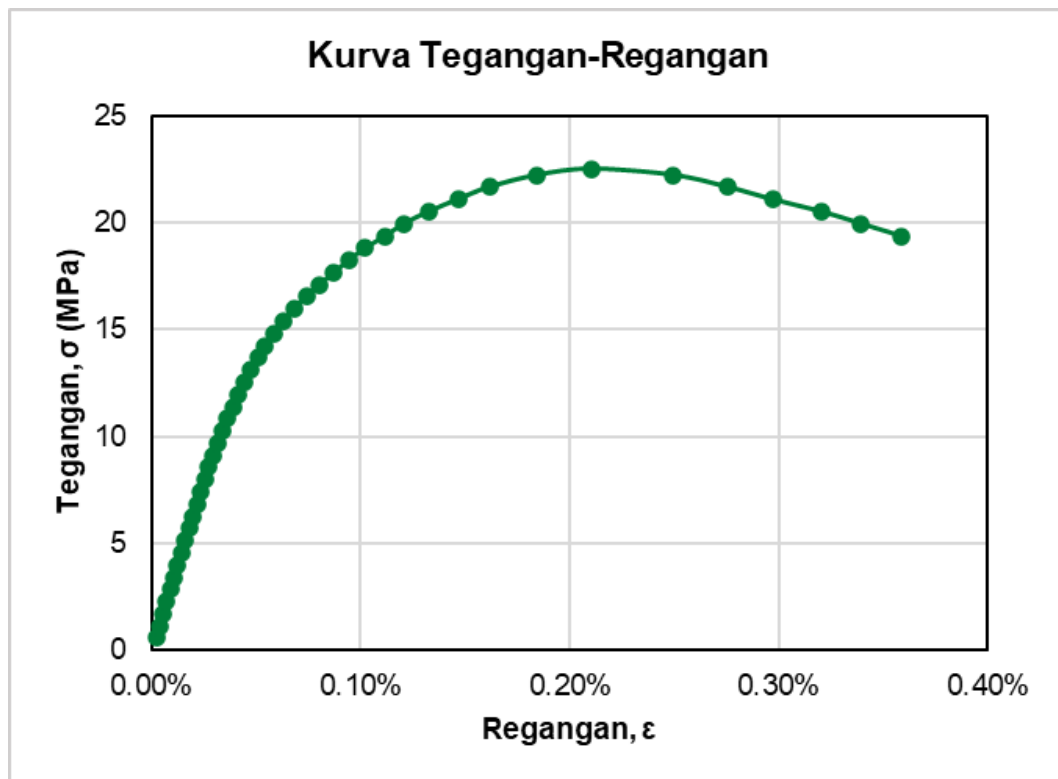
Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 5

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.57
20	20000	8	0.004	0.002%	1.14
30	30000	15	0.0075	0.004%	1.71
40	40000	21	0.0105	0.005%	2.28
50	50000	29	0.0145	0.007%	2.85
60	60000	35	0.0175	0.009%	3.42
70	70000	42	0.021	0.011%	3.99
80	80000	50	0.025	0.013%	4.56
90	90000	57	0.0285	0.014%	5.13
100	100000	65	0.0325	0.016%	5.70
110	110000	71	0.0355	0.018%	6.27
120	120000	79	0.0395	0.020%	6.84
130	130000	85	0.0425	0.021%	7.41
140	140000	94	0.047	0.024%	7.98
150	150000	101	0.0505	0.025%	8.55
160	160000	110	0.055	0.028%	9.12
170	170000	118	0.059	0.030%	9.69
180	180000	127	0.0635	0.032%	10.26
190	190000	135	0.0675	0.034%	10.83

200	200000	147	0.0735	0.037%	11.40
210	210000	157	0.0785	0.039%	11.97
220	220000	170	0.085	0.043%	12.54
230	230000	181	0.0905	0.045%	13.11
240	240000	195	0.0975	0.049%	13.68
250	250000	209	0.1045	0.052%	14.25
260	260000	225	0.1125	0.056%	14.82
270	270000	245	0.1225	0.061%	15.39
280	280000	265	0.1325	0.066%	15.96
290	290000	288	0.144	0.072%	16.53
300	300000	314	0.157	0.079%	17.10
310	310000	341	0.1705	0.085%	17.67
320	320000	370	0.185	0.093%	18.24
330	330000	401	0.2005	0.100%	18.81
340	340000	440	0.22	0.110%	19.38
350	350000	475	0.2375	0.119%	19.95
360	360000	523	0.2615	0.131%	20.52
370	370000	578	0.289	0.145%	21.09
380	380000	638	0.319	0.160%	21.66
390	390000	730	0.365	0.183%	22.23
395	395000	834	0.417	0.209%	22.52
390	390000	990	0.495	0.248%	22.23
380	380000	1095	0.5475	0.274%	21.66
370	370000	1180	0.59	0.295%	21.09
360	360000	1273	0.6365	0.318%	20.52
350	350000	1350	0.675	0.338%	19.95
340	340000	1425	0.7125	0.356%	19.38

Grafik Modulus Elastisitas BV-02 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	22,54	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30966,06	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22313,89	MPa

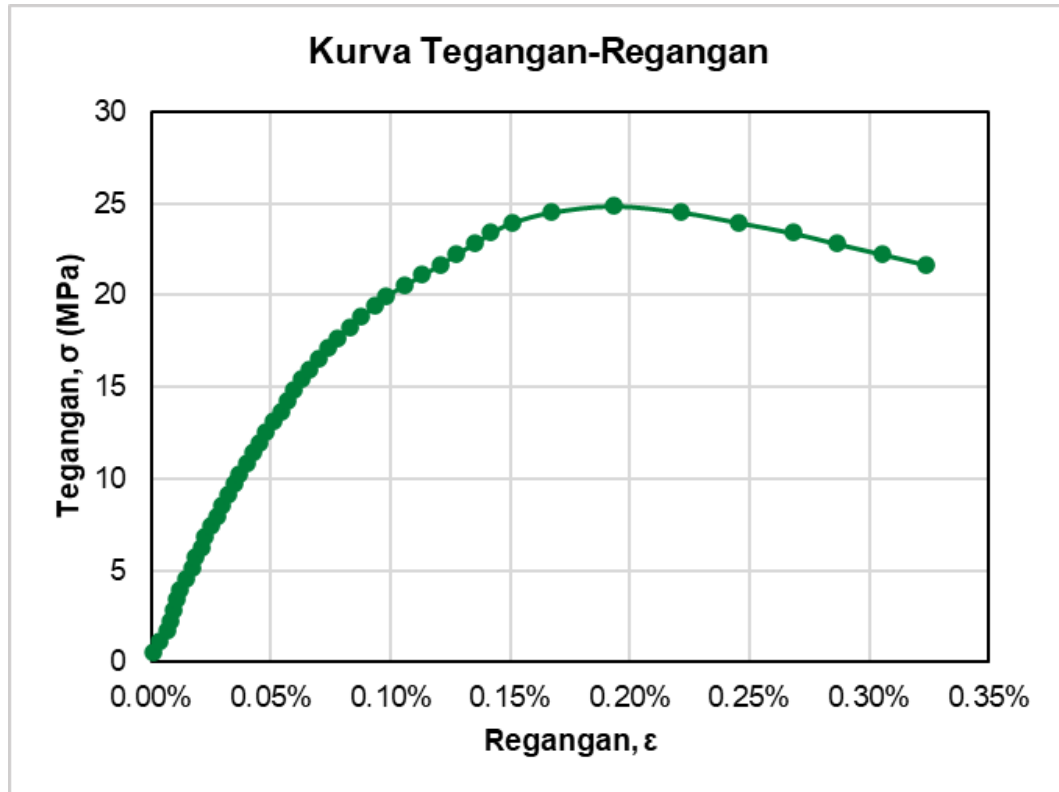
Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0.003	0.002%	0.57
20	20000	16	0.008	0.004%	1.14
30	30000	29	0.0145	0.007%	1.71
40	40000	35	0.0175	0.009%	2.28
50	50000	39	0.0195	0.010%	2.85
60	60000	45	0.0225	0.011%	3.42
70	70000	50	0.025	0.013%	4.00
80	80000	60	0.03	0.015%	4.57
90	90000	71	0.0355	0.018%	5.14
100	100000	76	0.038	0.019%	5.71
110	110000	85	0.0425	0.021%	6.28
120	120000	92	0.046	0.023%	6.85
130	130000	102	0.051	0.026%	7.42
140	140000	113	0.0565	0.028%	7.99
150	150000	120	0.06	0.030%	8.56
160	160000	130	0.065	0.033%	9.13
170	170000	140	0.07	0.035%	9.70
180	180000	150	0.075	0.038%	10.27
190	190000	163	0.0815	0.041%	10.85

200	200000	173	0.0865	0.043%	11.42
210	210000	183	0.0915	0.046%	11.99
220	220000	193	0.0965	0.048%	12.56
230	230000	207	0.1035	0.052%	13.13
240	240000	219	0.1095	0.055%	13.70
250	250000	229	0.1145	0.057%	14.27
260	260000	241	0.1205	0.060%	14.84
270	270000	254	0.127	0.064%	15.41
280	280000	267	0.1335	0.067%	15.98
290	290000	282	0.141	0.071%	16.55
300	300000	298	0.149	0.075%	17.12
310	310000	314	0.157	0.079%	17.70
320	320000	333	0.1665	0.083%	18.27
330	330000	352	0.176	0.088%	18.84
340	340000	375	0.1875	0.094%	19.41
350	350000	395	0.1975	0.099%	19.98
360	360000	425	0.2125	0.106%	20.55
370	370000	455	0.2275	0.114%	21.12
380	380000	485	0.2425	0.121%	21.69
390	390000	512	0.256	0.128%	22.26
400	400000	542	0.271	0.136%	22.83
410	410000	570	0.285	0.143%	23.40
420	420000	605	0.3025	0.151%	23.97
430	430000	671	0.3355	0.168%	24.55
436	436000	774	0.387	0.194%	24.89
430	430000	888	0.444	0.222%	24.55
420	420000	985	0.4925	0.246%	23.97
410	410000	1075	0.5375	0.269%	23.40
400	400000	1148	0.574	0.287%	22.83
390	390000	1223	0.6115	0.306%	22.26

Grafik Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	24,93	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27796,48	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23466,01	MPa

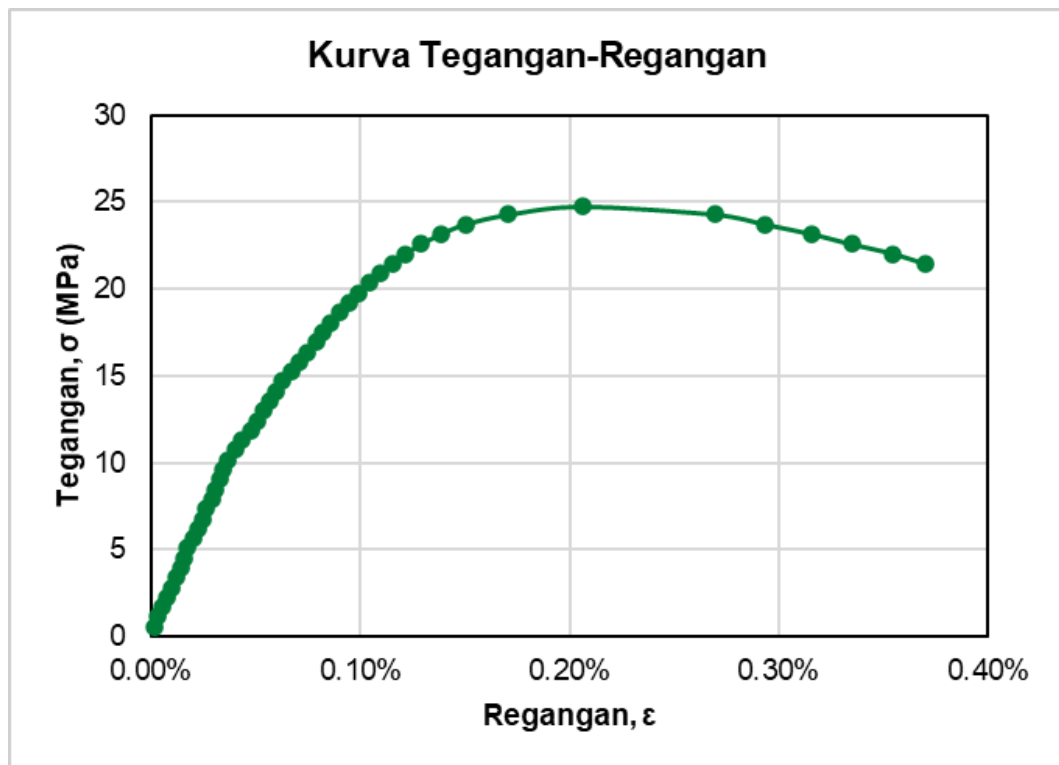
Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0.002	0.001%	0.56
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.13
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.69
40	40000	28	0.014	0.007%	2.26
50	50000	37	0.0185	0.009%	2.82
60	60000	46	0.023	0.012%	3.39
70	70000	53	0.0265	0.013%	3.95
80	80000	58	0.029	0.015%	4.52
90	90000	65	0.0325	0.016%	5.08
100	100000	78	0.039	0.020%	5.65
110	110000	86	0.043	0.022%	6.21
120	120000	95	0.0475	0.024%	6.78
130	130000	101	0.0505	0.025%	7.34
140	140000	113	0.0565	0.028%	7.91
150	150000	120	0.06	0.030%	8.47
160	160000	128	0.064	0.032%	9.04
170	170000	134	0.067	0.034%	9.60
180	180000	142	0.071	0.036%	10.17
190	190000	158	0.079	0.040%	10.73

200	200000	170	0.085	0.043%	11.30
210	210000	187	0.0935	0.047%	11.86
220	220000	198	0.099	0.050%	12.42
230	230000	211	0.1055	0.053%	12.99
240	240000	224	0.112	0.056%	13.55
250	250000	236	0.118	0.059%	14.12
260	260000	248	0.124	0.062%	14.68
270	270000	265	0.1325	0.066%	15.25
280	280000	280	0.14	0.070%	15.81
290	290000	294	0.147	0.074%	16.38
300	300000	312	0.156	0.078%	16.94
310	310000	325	0.1625	0.081%	17.51
320	320000	340	0.17	0.085%	18.07
330	330000	358	0.179	0.090%	18.64
340	340000	375	0.1875	0.094%	19.20
350	350000	392	0.196	0.098%	19.77
360	360000	415	0.2075	0.104%	20.33
370	370000	435	0.2175	0.109%	20.90
380	380000	458	0.229	0.115%	21.46
390	390000	482	0.241	0.121%	22.03
400	400000	513	0.2565	0.128%	22.59
410	410000	550	0.275	0.138%	23.15
420	420000	597	0.2985	0.149%	23.72
430	430000	680	0.34	0.170%	24.28
438	438000	820	0.41	0.205%	24.74
430	430000	1075	0.5375	0.269%	24.28
420	420000	1170	0.585	0.293%	23.72
410	410000	1260	0.63	0.315%	23.15
400	400000	1335	0.6675	0.334%	22.59
390	390000	1415	0.7075	0.354%	22.03

Grafik Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	24,79	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28237,71	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23399,70	MPa

Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 3

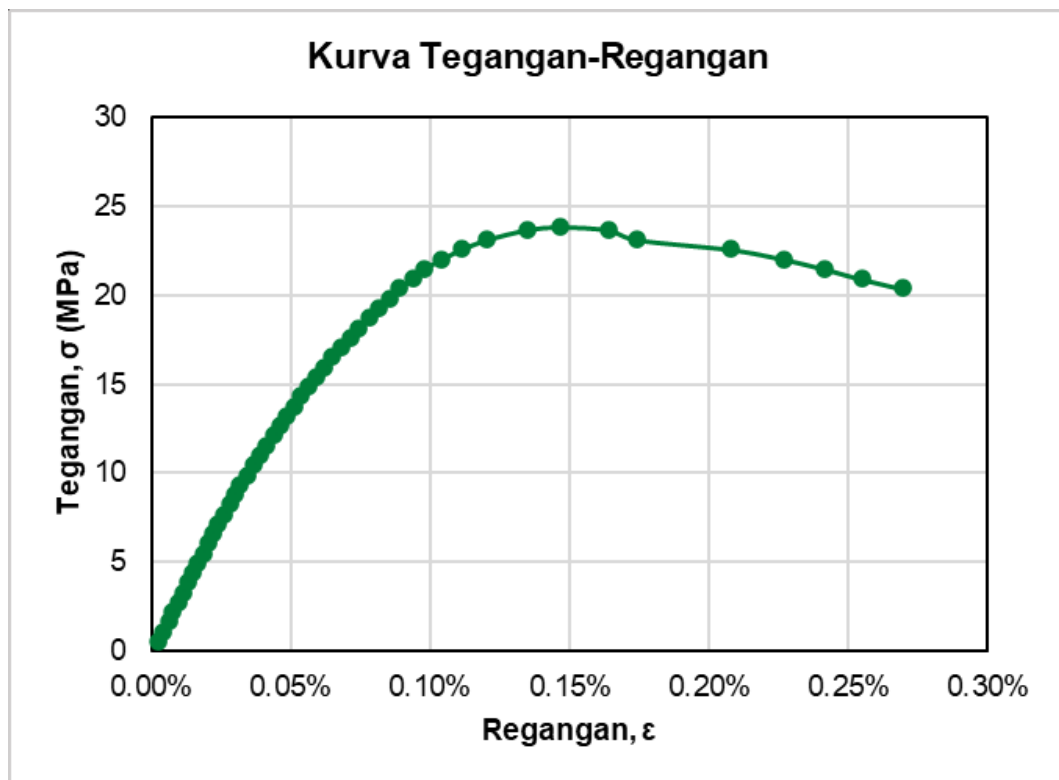
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0.002	0.001%	0.55
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.10
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.65
40	40000	28	0.014	0.007%	2.20
50	50000	37	0.0185	0.009%	2.75
60	60000	46	0.023	0.012%	3.30
70	70000	53	0.0265	0.013%	3.85
80	80000	58	0.029	0.015%	4.40
90	90000	65	0.0325	0.016%	4.95
100	100000	78	0.039	0.020%	5.50
110	110000	86	0.043	0.022%	6.05
120	120000	95	0.0475	0.024%	6.60
130	130000	101	0.0505	0.025%	7.15
140	140000	113	0.0565	0.028%	7.71
150	150000	120	0.06	0.030%	8.26
160	160000	128	0.064	0.032%	8.81
170	170000	134	0.067	0.034%	9.36
180	180000	142	0.071	0.036%	9.91
190	190000	158	0.079	0.040%	10.46

200	200000	170	0.085	0.043%	11.01
210	210000	187	0.0935	0.047%	11.56
220	220000	198	0.099	0.050%	12.11
230	230000	211	0.1055	0.053%	12.66
240	240000	224	0.112	0.056%	13.21
250	250000	236	0.118	0.059%	13.76
260	260000	248	0.124	0.062%	14.31
270	270000	265	0.1325	0.066%	14.86
280	280000	280	0.14	0.070%	15.41
290	290000	294	0.147	0.074%	15.96
300	300000	312	0.156	0.078%	16.51
310	310000	325	0.1625	0.081%	17.06
320	320000	340	0.17	0.085%	17.61
330	330000	358	0.179	0.090%	18.16
340	340000	375	0.1875	0.094%	18.71
350	350000	392	0.196	0.098%	19.26
360	360000	415	0.2075	0.104%	19.81
370	370000	435	0.2175	0.109%	20.36
380	380000	458	0.229	0.115%	20.91
390	390000	482	0.241	0.121%	21.46
400	400000	513	0.2565	0.128%	22.01
410	410000	550	0.275	0.138%	22.57
420	420000	597	0.2985	0.149%	23.12
430	430000	680	0.34	0.170%	23.67
438	438000	820	0.41	0.205%	23.83
430	430000	1075	0.5375	0.269%	23.67
420	420000	1170	0.585	0.293%	23.12
410	410000	1260	0.63	0.315%	22.57
400	400000	1335	0.6675	0.334%	22.01
390	390000	1415	0.7075	0.354%	21.46

380	380000	1012	0.506	0.253%	20.91
370	370000	1071	0.5355	0.268%	20.36

Grafik Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	23,84	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29030,30	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22949,22	MPa

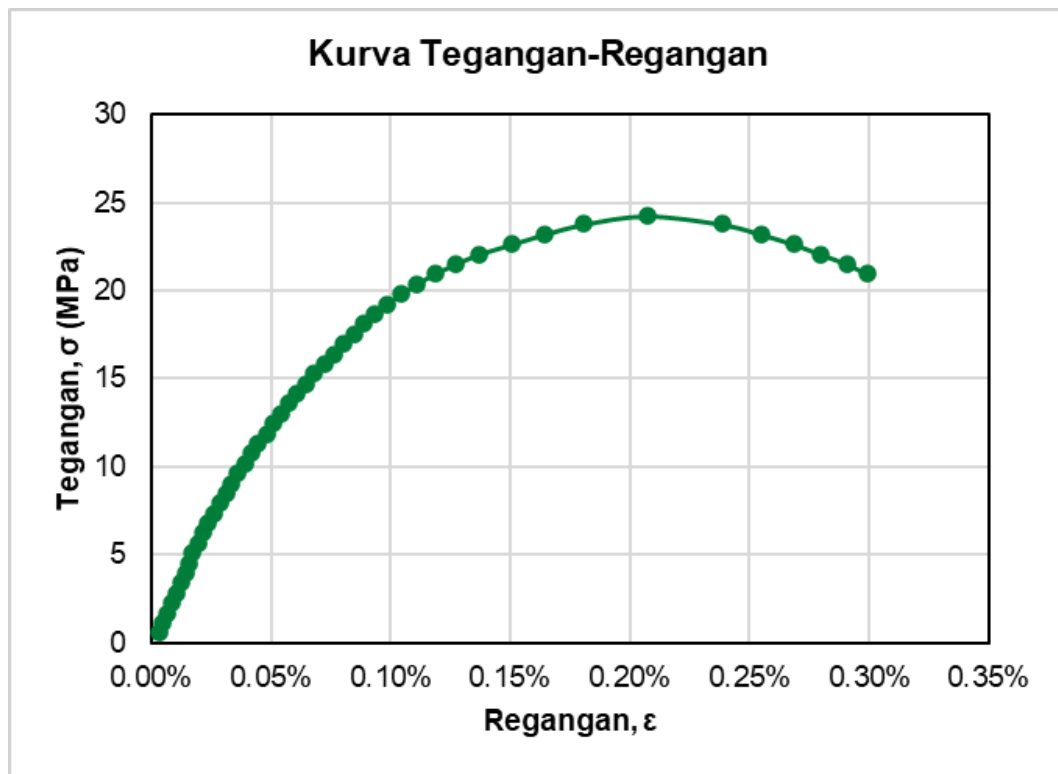
Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	9	0.0045	0.002%	0.57
20	20000	15	0.0075	0.004%	1.13
30	30000	22	0.011	0.006%	1.70
40	40000	31	0.0155	0.008%	2.26
50	50000	39	0.0195	0.010%	2.83
60	60000	47	0.0235	0.012%	3.40
70	70000	53	0.0265	0.013%	3.96
80	80000	59	0.0295	0.015%	4.53
90	90000	65	0.0325	0.016%	5.09
100	100000	74	0.037	0.019%	5.66
110	110000	82	0.041	0.021%	6.22
120	120000	92	0.046	0.023%	6.79
130	130000	101	0.0505	0.025%	7.36
140	140000	111	0.0555	0.028%	7.92
150	150000	122	0.061	0.031%	8.49
160	160000	130	0.065	0.033%	9.05
170	170000	141	0.0705	0.035%	9.62
180	180000	152	0.076	0.038%	10.19
190	190000	163	0.0815	0.041%	10.75

200	200000	175	0.0875	0.044%	11.32
210	210000	189	0.0945	0.047%	11.88
220	220000	201	0.1005	0.050%	12.45
230	230000	213	0.1065	0.053%	13.02
240	240000	225	0.1125	0.056%	13.58
250	250000	240	0.12	0.060%	14.15
260	260000	256	0.128	0.064%	14.71
270	270000	268	0.134	0.067%	15.28
280	280000	285	0.1425	0.071%	15.84
290	290000	302	0.151	0.076%	16.41
300	300000	318	0.159	0.080%	16.98
310	310000	335	0.1675	0.084%	17.54
320	320000	351	0.1755	0.088%	18.11
330	330000	370	0.185	0.093%	18.67
340	340000	390	0.195	0.098%	19.24
350	350000	415	0.2075	0.104%	19.81
360	360000	440	0.22	0.110%	20.37
370	370000	470	0.235	0.118%	20.94
380	380000	505	0.2525	0.126%	21.50
390	390000	545	0.2725	0.136%	22.07
400	400000	600	0.3	0.150%	22.64
410	410000	655	0.3275	0.164%	23.20
420	420000	720	0.36	0.180%	23.77
428.4	428400	825	0.4125	0.206%	24.24
420	420000	950	0.475	0.238%	23.77
410	410000	1015	0.5075	0.254%	23.20
400	400000	1070	0.535	0.268%	22.64
390	390000	1115	0.5575	0.279%	22.07
380	380000	1160	0.58	0.290%	21.50
370	370000	1192	0.596	0.298%	20.94

Grafik Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	24,24	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26189,68	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23141,23	MPa

Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 5

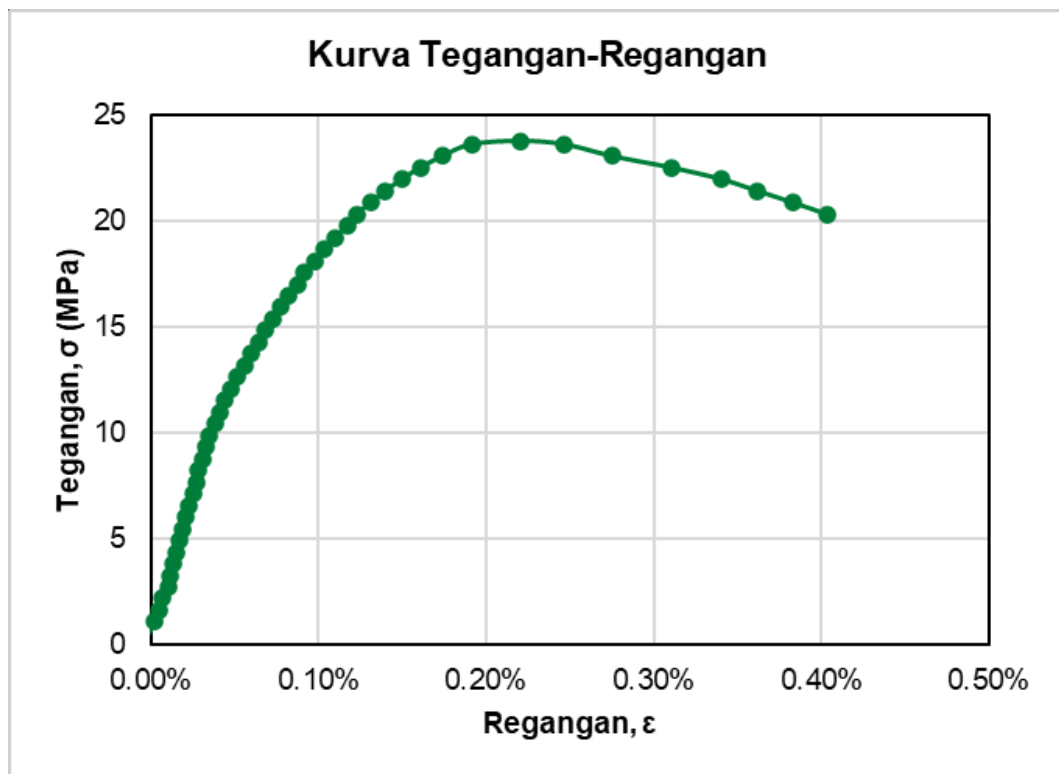
Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	7	0.0035	0.002%	0.55
20	20000	20	0.01	0.005%	1.10
30	30000	31	0.0155	0.008%	1.65
40	40000	38	0.019	0.010%	2.20
50	50000	51	0.0255	0.013%	2.75
60	60000	57	0.0285	0.014%	3.30
70	70000	63	0.0315	0.016%	3.85
80	80000	71	0.0355	0.018%	4.40
90	90000	78	0.039	0.020%	4.95
100	100000	86	0.043	0.022%	5.50
110	110000	94	0.047	0.024%	6.05
120	120000	102	0.051	0.026%	6.60
130	130000	110	0.055	0.028%	7.15
140	140000	118	0.059	0.030%	7.70
150	150000	124	0.062	0.031%	8.24
160	160000	133	0.0665	0.033%	8.79
170	170000	142	0.071	0.036%	9.34
180	180000	150	0.075	0.038%	9.89
190	190000	162	0.081	0.041%	10.44

200	200000	173	0.0865	0.043%	10.99
210	210000	187	0.0935	0.047%	11.54
220	220000	202	0.101	0.051%	12.09
230	230000	217	0.1085	0.054%	12.64
240	240000	233	0.1165	0.058%	13.19
250	250000	250	0.125	0.063%	13.74
260	260000	267	0.1335	0.067%	14.29
270	270000	283	0.1415	0.071%	14.84
280	280000	301	0.1505	0.075%	15.39
290	290000	319	0.1595	0.080%	15.94
300	300000	340	0.17	0.085%	16.49
310	310000	360	0.18	0.090%	17.04
320	320000	377	0.1885	0.094%	17.59
330	330000	401	0.2005	0.100%	18.14
340	340000	424	0.212	0.106%	18.69
350	350000	450	0.225	0.113%	19.24
360	360000	480	0.24	0.120%	19.79
370	370000	502	0.251	0.126%	20.34
380	380000	537	0.2685	0.134%	20.89
390	390000	570	0.285	0.143%	21.44
400	400000	610	0.305	0.153%	21.99
410	410000	654	0.327	0.164%	22.54
420	420000	707	0.3535	0.177%	23.09
430	430000	776	0.388	0.194%	23.63
432.9	432900	891	0.4455	0.223%	23.79
430	430000	997	0.4985	0.249%	23.63
420	420000	1110	0.555	0.278%	23.09
410	410000	1252	0.626	0.313%	22.54
400	400000	1372	0.686	0.343%	21.99
390	390000	1457	0.7285	0.364%	21.44

380	380000	1542	0.771	0.386%	20.89
370	370000	1623	0.8115	0.406%	20.34

Grafik Modulus Elastisitas BV-03 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	23,79	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28870,14	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22926,20	MPa

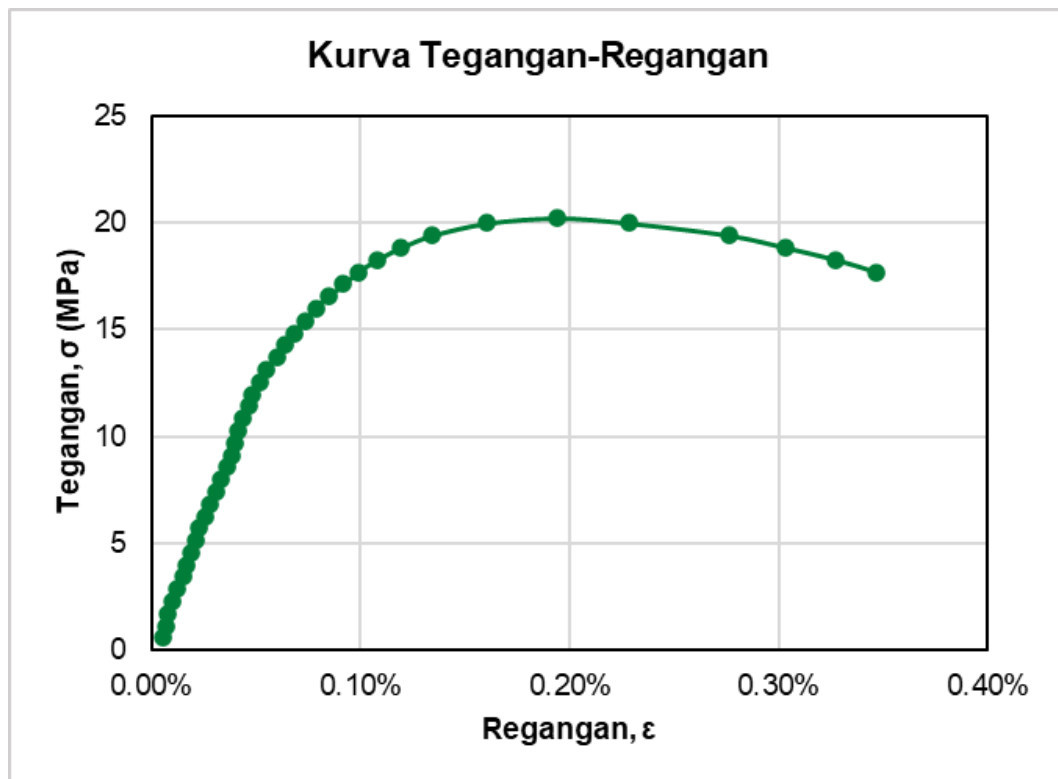
Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.57
20	20000	8	0.004	0.002%	1.14
30	30000	12	0.006	0.003%	1.71
40	40000	19	0.0095	0.005%	2.28
50	50000	30	0.015	0.008%	2.85
60	60000	40	0.02	0.010%	3.42
70	70000	48	0.024	0.012%	4.00
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.57
90	90000	64	0.032	0.016%	5.14
100	100000	70	0.035	0.018%	5.71
110	110000	82	0.041	0.021%	6.28
120	120000	92	0.046	0.023%	6.85
130	130000	104	0.052	0.026%	7.42
140	140000	114	0.057	0.029%	7.99
150	150000	124	0.062	0.031%	8.56
160	160000	133	0.0665	0.033%	9.13
170	170000	140	0.07	0.035%	9.70
180	180000	147	0.0735	0.037%	10.27
190	190000	156	0.078	0.039%	10.85

200	200000	167	0.0835	0.042%	11.42
210	210000	174	0.087	0.044%	11.99
220	220000	188	0.094	0.047%	12.56
230	230000	201	0.1005	0.050%	13.13
240	240000	220	0.11	0.055%	13.70
250	250000	235	0.1175	0.059%	14.27
260	260000	254	0.127	0.064%	14.84
270	270000	274	0.137	0.069%	15.41
280	280000	295	0.1475	0.074%	15.98
290	290000	319	0.1595	0.080%	16.55
300	300000	348	0.174	0.087%	17.12
310	310000	375	0.1875	0.094%	17.70
320	320000	412	0.206	0.103%	18.27
330	330000	458	0.229	0.115%	18.84
340	340000	518	0.259	0.130%	19.41
350	350000	623	0.3115	0.156%	19.98
354.1	354100	758	0.379	0.190%	20.21
350	350000	895	0.4475	0.224%	19.98
340	340000	1085	0.5425	0.271%	19.41
330	330000	1194	0.597	0.299%	18.84
320	320000	1290	0.645	0.323%	18.27
310	310000	1368	0.684	0.342%	17.70

Grafik Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	20,21	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23920,10	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21130,54	MPa

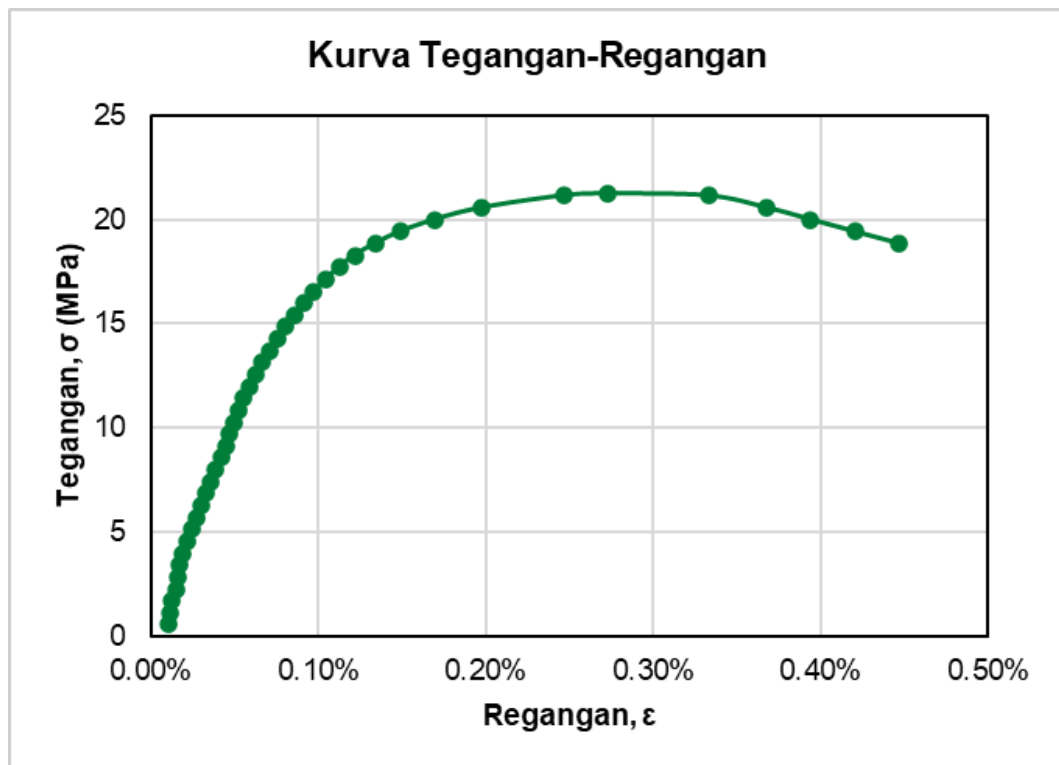
Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	3	0.0015	0.001%	1.14
30	30000	9	0.0045	0.002%	1.71
40	40000	17	0.0085	0.004%	2.28
50	50000	21	0.0105	0.005%	2.86
60	60000	26	0.013	0.007%	3.43
70	70000	35	0.0175	0.009%	4.00
80	80000	46	0.023	0.012%	4.57
90	90000	55	0.0275	0.014%	5.14
100	100000	67	0.0335	0.017%	5.71
110	110000	77	0.0385	0.019%	6.28
120	120000	89	0.0445	0.022%	6.85
130	130000	100	0.05	0.025%	7.43
140	140000	113	0.0565	0.028%	8.00
150	150000	127	0.0635	0.032%	8.57
160	160000	137	0.0685	0.034%	9.14
170	170000	144	0.072	0.036%	9.71
180	180000	155	0.0775	0.039%	10.28
190	190000	166	0.083	0.042%	10.85

200	200000	180	0.09	0.045%	11.42
210	210000	194	0.097	0.049%	12.00
220	220000	209	0.1045	0.052%	12.57
230	230000	224	0.112	0.056%	13.14
240	240000	242	0.121	0.061%	13.71
250	250000	260	0.13	0.065%	14.28
260	260000	280	0.14	0.070%	14.85
270	270000	301	0.1505	0.075%	15.42
280	280000	325	0.1625	0.081%	15.99
290	290000	348	0.174	0.087%	16.56
300	300000	376	0.188	0.094%	17.14
310	310000	408	0.204	0.102%	17.71
320	320000	445	0.2225	0.111%	18.28
330	330000	495	0.2475	0.124%	18.85
340	340000	555	0.2775	0.139%	19.42
350	350000	638	0.319	0.160%	19.99
360	360000	750	0.375	0.188%	20.56
370	370000	944	0.472	0.236%	21.13
371.7	371700	1050	0.525	0.263%	21.23
370	370000	1290	0.645	0.323%	21.13
360	360000	1430	0.715	0.358%	20.56
350	350000	1535	0.7675	0.384%	19.99
340	340000	1640	0.82	0.410%	19.42
330	330000	1745	0.8725	0.436%	18.85

Grafik Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	21,23	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	20359,71	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21656,56	MPa

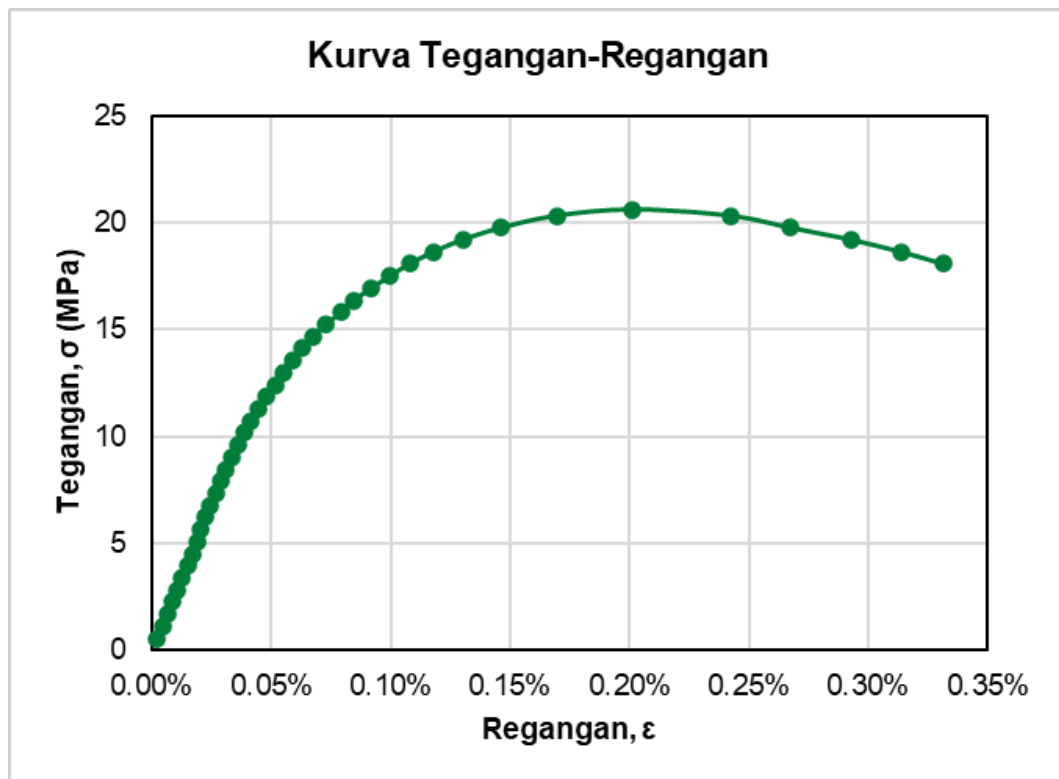
Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.56
20	20000	8	0.004	0.002%	1.13
30	30000	17	0.0085	0.004%	1.69
40	40000	26	0.013	0.007%	2.26
50	50000	32	0.016	0.008%	2.82
60	60000	41	0.0205	0.010%	3.39
70	70000	50	0.025	0.013%	3.95
80	80000	58	0.029	0.015%	4.52
90	90000	66	0.033	0.017%	5.08
100	100000	72	0.036	0.018%	5.65
110	110000	80	0.04	0.020%	6.21
120	120000	89	0.0445	0.022%	6.78
130	130000	98	0.049	0.025%	7.34
140	140000	106	0.053	0.027%	7.91
150	150000	115	0.0575	0.029%	8.47
160	160000	124	0.062	0.031%	9.04
170	170000	135	0.0675	0.034%	9.60
180	180000	146	0.073	0.037%	10.17
190	190000	157	0.0785	0.039%	10.73

200	200000	170	0.085	0.043%	11.30
210	210000	181	0.0905	0.045%	11.86
220	220000	197	0.0985	0.049%	12.42
230	230000	211	0.1055	0.053%	12.99
240	240000	226	0.113	0.057%	13.55
250	250000	243	0.1215	0.061%	14.12
260	260000	262	0.131	0.066%	14.68
270	270000	282	0.141	0.071%	15.25
280	280000	308	0.154	0.077%	15.81
290	290000	330	0.165	0.083%	16.38
300	300000	358	0.179	0.090%	16.94
310	310000	389	0.1945	0.097%	17.51
320	320000	422	0.211	0.106%	18.07
330	330000	462	0.231	0.116%	18.64
340	340000	511	0.2555	0.128%	19.20
350	350000	575	0.2875	0.144%	19.77
360	360000	668	0.334	0.167%	20.33
365.2	365200	796	0.398	0.199%	20.62
360	360000	959	0.4795	0.240%	20.33
350	350000	1060	0.53	0.265%	19.77
340	340000	1161	0.5805	0.290%	19.20
330	330000	1245	0.6225	0.311%	18.64
320	320000	1315	0.6575	0.329%	18.07

Grafik Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	20,62	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27217,07	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21344,84	MPa

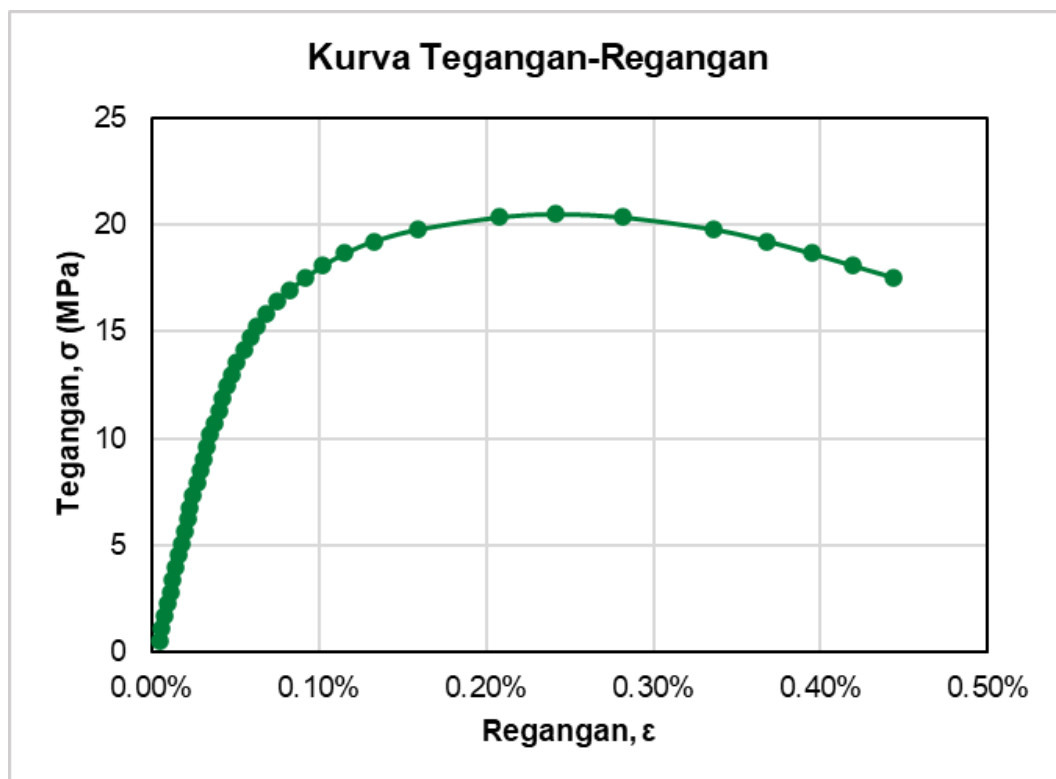
Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0.0005	0.000%	0.57
20	20000	4	0.002	0.001%	1.13
30	30000	10	0.005	0.003%	1.70
40	40000	18	0.009	0.005%	2.26
50	50000	24	0.012	0.006%	2.83
60	60000	29	0.0145	0.007%	3.39
70	70000	35	0.0175	0.009%	3.96
80	80000	43	0.0215	0.011%	4.52
90	90000	51	0.0255	0.013%	5.09
100	100000	58	0.029	0.015%	5.66
110	110000	65	0.0325	0.016%	6.22
120	120000	71	0.0355	0.018%	6.79
130	130000	79	0.0395	0.020%	7.35
140	140000	88	0.044	0.022%	7.92
150	150000	98	0.049	0.025%	8.48
160	160000	104	0.052	0.026%	9.05
170	170000	111	0.0555	0.028%	9.61
180	180000	120	0.06	0.030%	10.18
190	190000	130	0.065	0.033%	10.74

200	200000	140	0.07	0.035%	11.31
210	210000	150	0.075	0.038%	11.88
220	220000	161	0.0805	0.040%	12.44
230	230000	172	0.086	0.043%	13.01
240	240000	184	0.092	0.046%	13.57
250	250000	200	0.1	0.050%	14.14
260	260000	216	0.108	0.054%	14.70
270	270000	233	0.1165	0.058%	15.27
280	280000	254	0.127	0.064%	15.83
290	290000	280	0.14	0.070%	16.40
300	300000	310	0.155	0.078%	16.97
310	310000	348	0.174	0.087%	17.53
320	320000	389	0.1945	0.097%	18.10
330	330000	441	0.2205	0.110%	18.66
340	340000	510	0.255	0.128%	19.23
350	350000	618	0.309	0.155%	19.79
360	360000	810	0.405	0.203%	20.36
362.5	362500	944	0.472	0.236%	20.50
360	360000	1105	0.5525	0.276%	20.36
350	350000	1322	0.661	0.331%	19.79
340	340000	1452	0.726	0.363%	19.23
330	330000	1558	0.779	0.390%	18.66
320	320000	1655	0.8275	0.414%	18.10
310	310000	1754	0.877	0.439%	17.53

Grafik Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	20,50	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28724,17	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21279,97	MPa

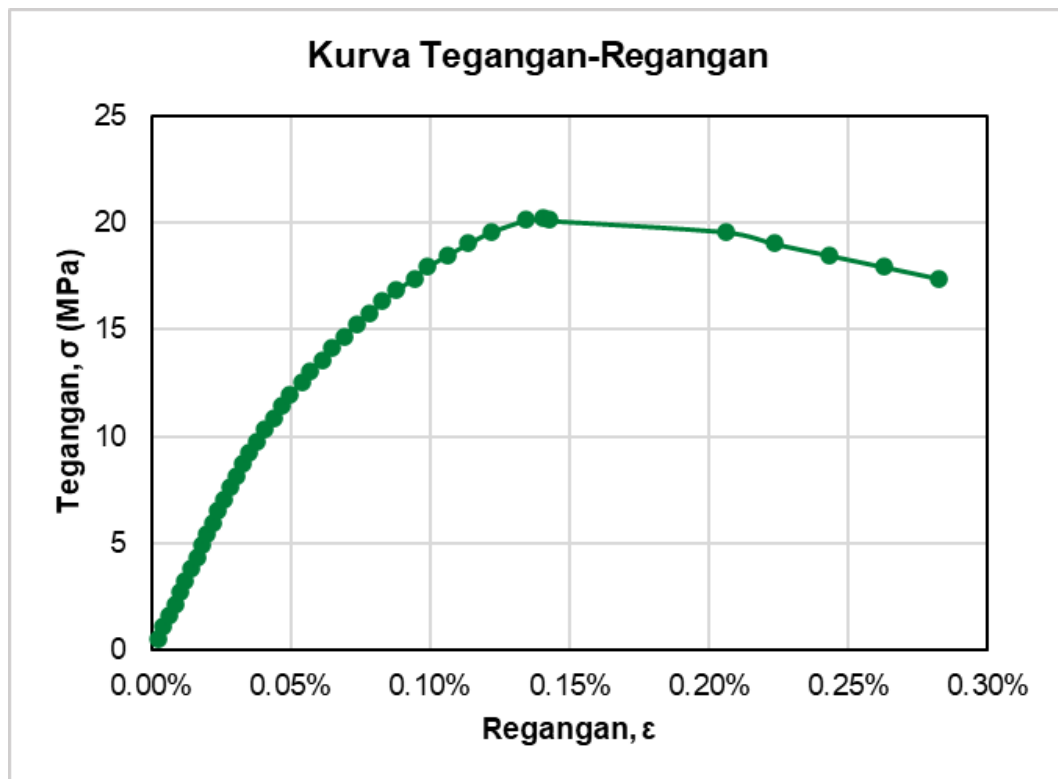
Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 5

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.54
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.09
30	30000	19	0.0095	0.005%	1.63
40	40000	28	0.014	0.007%	2.18
50	50000	34	0.017	0.009%	2.72
60	60000	42	0.021	0.011%	3.26
70	70000	50	0.025	0.013%	3.81
80	80000	58	0.029	0.015%	4.35
90	90000	65	0.0325	0.016%	4.90
100	100000	72	0.036	0.018%	5.44
110	110000	81	0.0405	0.020%	5.98
120	120000	89	0.0445	0.022%	6.53
130	130000	98	0.049	0.025%	7.07
140	140000	107	0.0535	0.027%	7.61
150	150000	115	0.0575	0.029%	8.16
160	160000	123	0.0615	0.031%	8.70
170	170000	134	0.067	0.034%	9.25
180	180000	145	0.0725	0.036%	9.79
190	190000	156	0.078	0.039%	10.33

200	200000	168	0.084	0.042%	10.88
210	210000	180	0.09	0.045%	11.42
220	220000	192	0.096	0.048%	11.97
230	230000	209	0.1045	0.052%	12.51
240	240000	220	0.11	0.055%	13.05
250	250000	238	0.119	0.060%	13.60
260	260000	252	0.126	0.063%	14.14
270	270000	270	0.135	0.068%	14.69
280	280000	287	0.1435	0.072%	15.23
290	290000	307	0.1535	0.077%	15.77
300	300000	324	0.162	0.081%	16.32
310	310000	345	0.1725	0.086%	16.86
320	320000	370	0.185	0.093%	17.41
330	330000	390	0.195	0.098%	17.95
340	340000	418	0.209	0.105%	18.49
350	350000	448	0.224	0.112%	19.04
360	360000	481	0.2405	0.120%	19.58
370	370000	530	0.265	0.133%	20.12
371.4	371400	555	0.2775	0.139%	20.20
370	370000	564	0.282	0.141%	20.12
360	360000	818	0.409	0.205%	19.58
350	350000	887	0.4435	0.222%	19.04
340	340000	965	0.4825	0.241%	18.49
330	330000	1044	0.522	0.261%	17.95
320	320000	1122	0.561	0.281%	17.41

Grafik Modulus Elastisitas BV-04 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	20,20	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26859,77	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21124,31	MPa

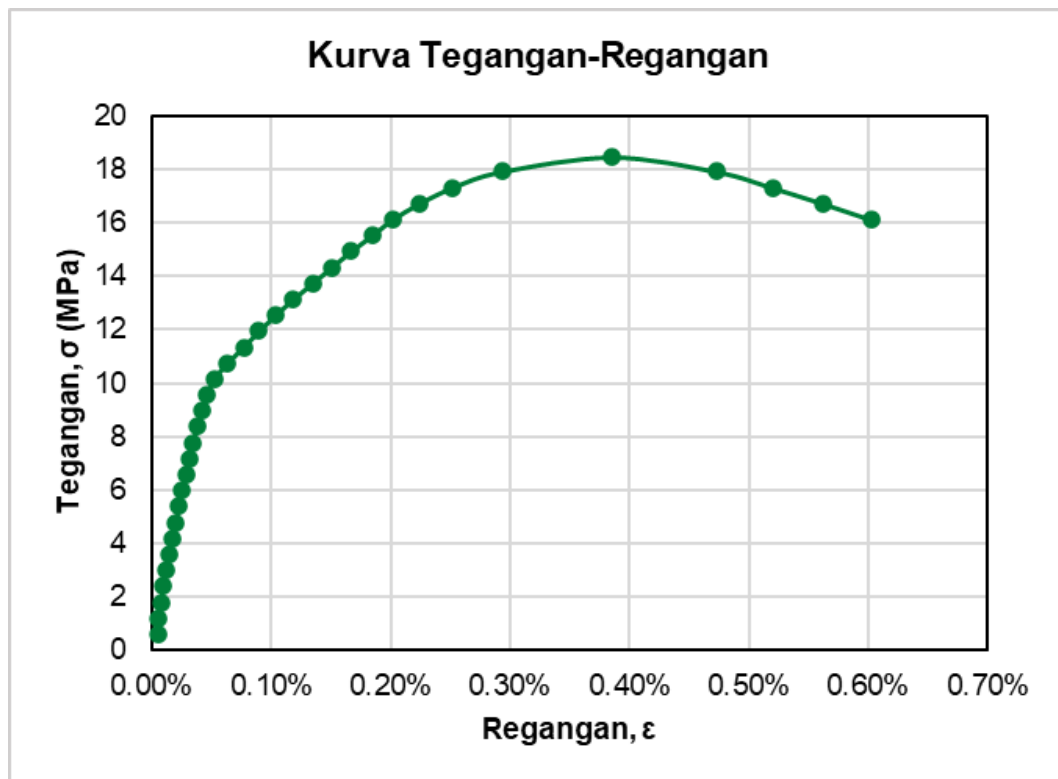
Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.60
20	20000	6	0.003	0.002%	1.19
30	30000	14	0.007	0.004%	1.79
40	40000	21	0.0105	0.005%	2.39
50	50000	32	0.016	0.008%	2.99
60	60000	41	0.0205	0.010%	3.58
70	70000	51	0.0255	0.013%	4.18
80	80000	62	0.031	0.016%	4.78
90	90000	74	0.037	0.019%	5.38
100	100000	84	0.042	0.021%	5.97
110	110000	96	0.048	0.024%	6.57
120	120000	107	0.0535	0.027%	7.17
130	130000	120	0.06	0.030%	7.77
140	140000	135	0.0675	0.034%	8.36
150	150000	149	0.0745	0.037%	8.96
160	160000	168	0.084	0.042%	9.56
170	170000	191	0.0955	0.048%	10.15
180	180000	236	0.118	0.059%	10.75
190	190000	290	0.145	0.073%	11.35

200	200000	341	0.1705	0.085%	11.95
210	210000	397	0.1985	0.099%	12.54
220	220000	456	0.228	0.114%	13.14
230	230000	521	0.2605	0.130%	13.74
240	240000	585	0.2925	0.146%	14.34
250	250000	650	0.325	0.163%	14.93
260	260000	721	0.3605	0.180%	15.53
270	270000	789	0.3945	0.197%	16.13
280	280000	879	0.4395	0.220%	16.72
290	290000	990	0.495	0.248%	17.32
300	300000	1154	0.577	0.289%	17.92
309.1	309100	1525	0.7625	0.381%	18.46
300	300000	1875	0.9375	0.469%	17.92
290	290000	2060	1.03	0.515%	17.32
280	280000	2230	1.115	0.558%	16.72
270	270000	2390	1.195	0.598%	16.13

Grafik Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	18,46	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	22540,24	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20195,27	MPa

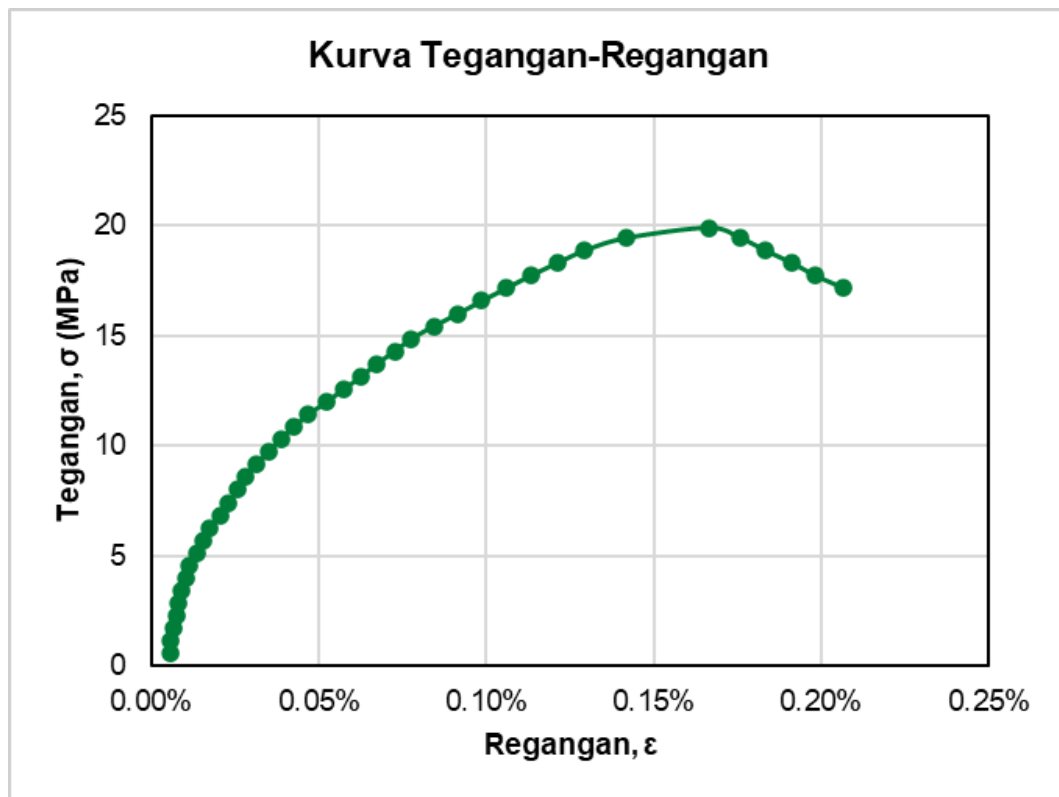
Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	0	0	0.000%	1.14
30	30000	3	0.0015	0.001%	1.72
40	40000	7	0.0035	0.002%	2.29
50	50000	9	0.0045	0.002%	2.86
60	60000	13	0.0065	0.003%	3.43
70	70000	18	0.009	0.005%	4.01
80	80000	23	0.0115	0.006%	4.58
90	90000	32	0.016	0.008%	5.15
100	100000	40	0.02	0.010%	5.72
110	110000	47	0.0235	0.012%	6.30
120	120000	59	0.0295	0.015%	6.87
130	130000	69	0.0345	0.017%	7.44
140	140000	81	0.0405	0.020%	8.01
150	150000	90	0.045	0.023%	8.59
160	160000	103	0.0515	0.026%	9.16
170	170000	118	0.059	0.030%	9.73
180	180000	132	0.066	0.033%	10.30
190	190000	148	0.074	0.037%	10.87

200	200000	165	0.0825	0.041%	11.45
210	210000	187	0.0935	0.047%	12.02
220	220000	207	0.1035	0.052%	12.59
230	230000	228	0.114	0.057%	13.16
240	240000	246	0.123	0.062%	13.74
250	250000	268	0.134	0.067%	14.31
260	260000	288	0.144	0.072%	14.88
270	270000	315	0.1575	0.079%	15.45
280	280000	344	0.172	0.086%	16.03
290	290000	372	0.186	0.093%	16.60
300	300000	401	0.2005	0.100%	17.17
310	310000	430	0.215	0.108%	17.74
320	320000	462	0.231	0.116%	18.32
330	330000	495	0.2475	0.124%	18.89
340	340000	545	0.2725	0.136%	19.46
348.1	348100	644	0.322	0.161%	19.92
340	340000	680	0.34	0.170%	19.46
330	330000	710	0.355	0.178%	18.89
320	320000	742	0.371	0.186%	18.32
310	310000	770	0.385	0.193%	17.74
300	300000	804	0.402	0.201%	17.17

Grafik Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	19,92	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26934,24	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20978,85	MPa

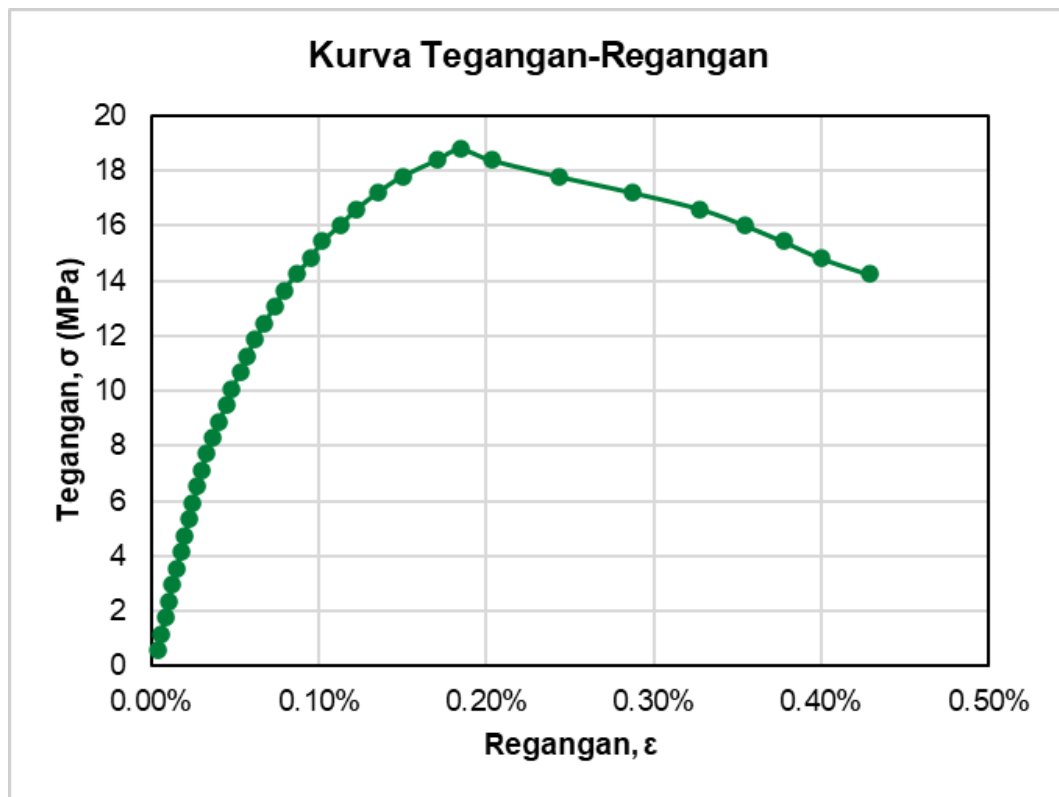
Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.59
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.19
30	30000	20	0.01	0.005%	1.78
40	40000	29	0.0145	0.007%	2.37
50	50000	38	0.019	0.010%	2.97
60	60000	46	0.023	0.012%	3.56
70	70000	59	0.0295	0.015%	4.16
80	80000	68	0.034	0.017%	4.75
90	90000	77	0.0385	0.019%	5.34
100	100000	86	0.043	0.022%	5.94
110	110000	98	0.049	0.025%	6.53
120	120000	106	0.053	0.027%	7.12
130	130000	119	0.0595	0.030%	7.72
140	140000	132	0.066	0.033%	8.31
150	150000	148	0.074	0.037%	8.90
160	160000	167	0.0835	0.042%	9.50
170	170000	180	0.09	0.045%	10.09
180	180000	200	0.1	0.050%	10.69
190	190000	216	0.108	0.054%	11.28

200	200000	235	0.1175	0.059%	11.87
210	210000	257	0.1285	0.064%	12.47
220	220000	281	0.1405	0.070%	13.06
230	230000	304	0.152	0.076%	13.65
240	240000	333	0.1665	0.083%	14.25
250	250000	368	0.184	0.092%	14.84
260	260000	395	0.1975	0.099%	15.43
270	270000	438	0.219	0.110%	16.03
280	280000	478	0.239	0.120%	16.62
290	290000	527	0.2635	0.132%	17.22
300	300000	587	0.2935	0.147%	17.81
310	310000	669	0.3345	0.167%	18.40
316.6	316600	725	0.3625	0.181%	18.79
310	310000	800	0.4	0.200%	18.40
300	300000	960	0.48	0.240%	17.81
290	290000	1138	0.569	0.285%	17.22
280	280000	1298	0.649	0.325%	16.62
270	270000	1405	0.7025	0.351%	16.03
260	260000	1498	0.749	0.375%	15.43
250	250000	1586	0.793	0.397%	14.84
240	240000	1702	0.851	0.426%	14.25

Grafik Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	18,79	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23452,89	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20376,00	MPa

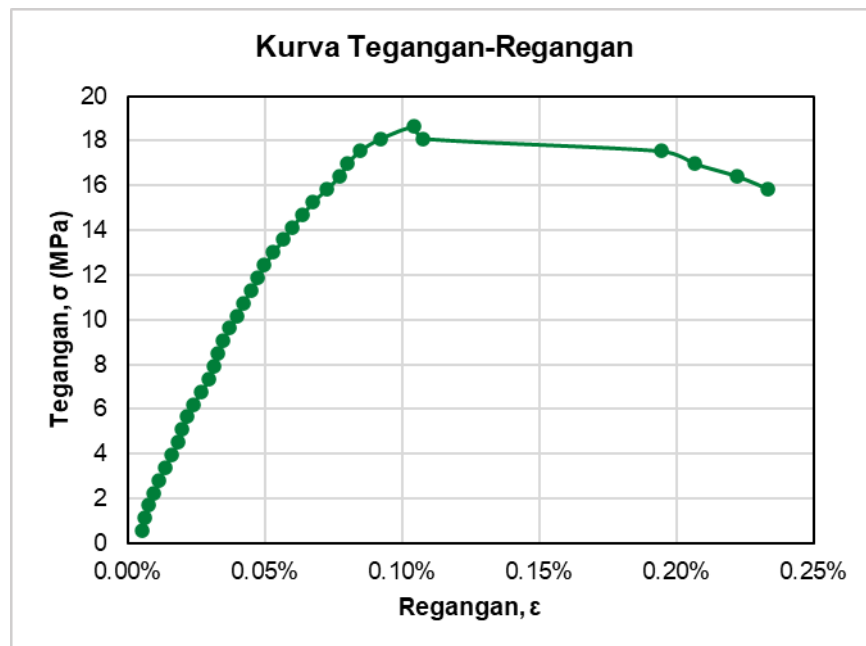
Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 4

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.57
20	20000	7	0.0035	0.002%	1.13
30	30000	12	0.006	0.003%	1.70
40	40000	20	0.01	0.005%	2.26
50	50000	27	0.0135	0.007%	2.83
60	60000	36	0.018	0.009%	3.40
70	70000	45	0.0225	0.011%	3.96
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.53
90	90000	61	0.0305	0.015%	5.09
100	100000	69	0.0345	0.017%	5.66
110	110000	77	0.0385	0.019%	6.22
120	120000	89	0.0445	0.022%	6.79
130	130000	100	0.05	0.025%	7.36
140	140000	108	0.054	0.027%	7.92
150	150000	114	0.057	0.029%	8.49
160	160000	120	0.06	0.030%	9.05
170	170000	130	0.065	0.033%	9.62
180	180000	141	0.0705	0.035%	10.19
190	190000	150	0.075	0.038%	10.75

200	200000	161	0.0805	0.040%	11.32
210	210000	172	0.086	0.043%	11.88
220	220000	181	0.0905	0.045%	12.45
230	230000	194	0.097	0.049%	13.02
240	240000	208	0.104	0.052%	13.58
250	250000	221	0.1105	0.055%	14.15
260	260000	237	0.1185	0.059%	14.71
270	270000	252	0.126	0.063%	15.28
280	280000	272	0.136	0.068%	15.84
290	290000	290	0.145	0.073%	16.41
300	300000	302	0.151	0.076%	16.98
310	310000	320	0.16	0.080%	17.54
320	320000	351	0.1755	0.088%	18.11
329.3	329300	400	0.2	0.100%	18.63
320	320000	412	0.206	0.103%	18.11
310	310000	760	0.38	0.190%	17.54
300	300000	809	0.4045	0.202%	16.98
290	290000	871	0.4355	0.218%	16.41
280	280000	916	0.458	0.229%	15.84

Grafik Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	18,63	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25150,41	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20288,85	MPa

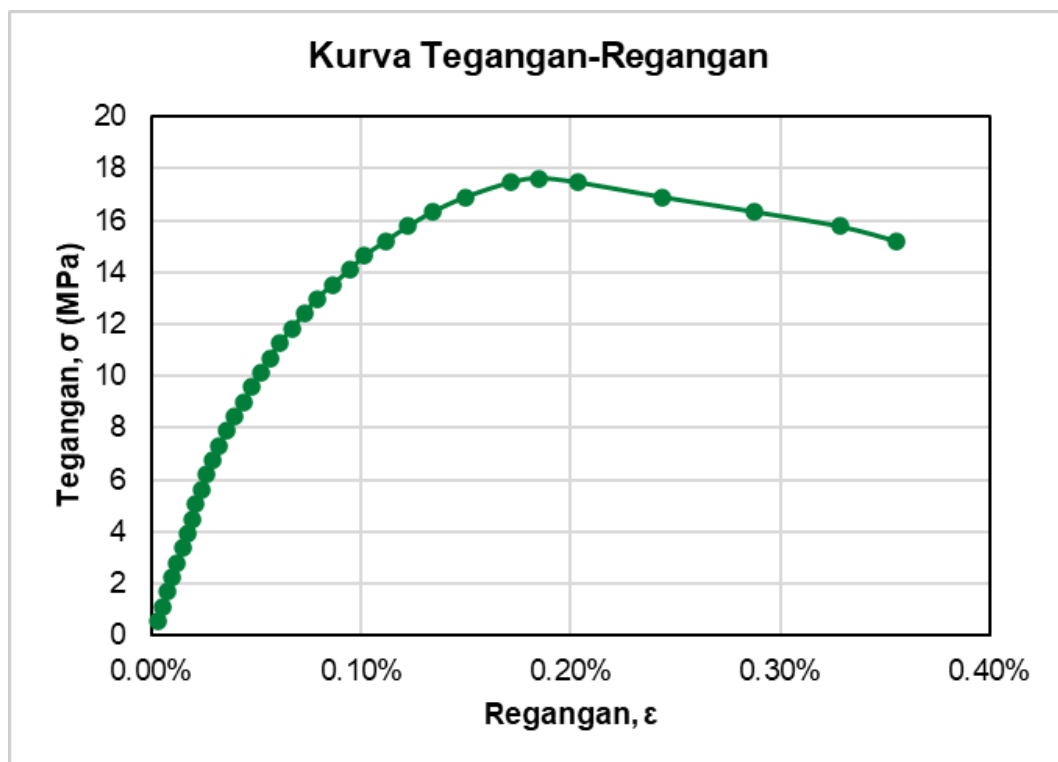
Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 5

Data Sampel	
Kadar Serbuk Kaca	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.56
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.13
30	30000	20	0.01	0.005%	1.69
40	40000	30	0.015	0.008%	2.25
50	50000	39	0.0195	0.010%	2.82
60	60000	50	0.025	0.013%	3.38
70	70000	59	0.0295	0.015%	3.94
80	80000	67	0.0335	0.017%	4.51
90	90000	75	0.0375	0.019%	5.07
100	100000	86	0.043	0.022%	5.63
110	110000	95	0.0475	0.024%	6.20
120	120000	106	0.053	0.027%	6.76
130	130000	120	0.06	0.030%	7.32
140	140000	134	0.067	0.034%	7.89
150	150000	148	0.074	0.037%	8.45
160	160000	167	0.0835	0.042%	9.01
170	170000	180	0.09	0.045%	9.58
180	180000	199	0.0995	0.050%	10.14
190	190000	216	0.108	0.054%	10.70

200	200000	235	0.1175	0.059%	11.27
210	210000	258	0.129	0.065%	11.83
220	220000	281	0.1405	0.070%	12.39
230	230000	305	0.1525	0.076%	12.95
240	240000	335	0.1675	0.084%	13.52
250	250000	368	0.184	0.092%	14.08
260	260000	397	0.1985	0.099%	14.64
270	270000	438	0.219	0.110%	15.21
280	280000	480	0.24	0.120%	15.77
290	290000	528	0.264	0.132%	16.33
300	300000	590	0.295	0.148%	16.90
310	310000	675	0.3375	0.169%	17.46
312.9	312900	730	0.365	0.183%	17.62
310	310000	804	0.402	0.201%	17.46
300	300000	965	0.4825	0.241%	16.90
290	290000	1140	0.57	0.285%	16.33
280	280000	1303	0.6515	0.326%	15.77
270	270000	1410	0.705	0.353%	15.21

Grafik Modulus Elastisitas BV-05 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, f'_c	17,62	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	22530,11	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	19731,14	MPa

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis	Pengujian	Teoretis
BN	28 Hari	1	27.0333	26599,66	24436.96	29108,24	24150,4
		2	25.9018	29572.54	23920.11		
		3	25.6121	31426.98	23785.93		
		4	26.4438	26663.39	24169.04		
		5	27.0404	31278.65	24440.18		
BV-01	28 Hari	1	22.4978	26939.79	22292.99	26842,91	21969,394
		2	21.3757	25583.63	21729.92		
		3	22.7772	27225.51	22430.97		
		4	20.7652	26538.39	21417.37		
		5	21.862	27927.22	21975.72		

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis	Pengujian	Teoretis
BV-02	28 Hari	1	24.3422	26448.24	23188.79	27339,99	22680,2
		2	22.8368	22871.09	22460.29		
		3	23.5079	25420.84	22787.94		
		4	23.2244	30993.74	22650.09		
		5	22.5401	30966.06	22313.89		
BV-03	28 Hari	1	24.9277	27796.48	23466.01	28024,86	23176,472
		2	24.7871	28237.71	23399.70		
		3	23.8419	29030.30	22949.22		
		4	24.2425	26189.68	23141.23		
		5	23.7941	28870.14	22926.20		

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus elastisitas rata-rata, E (MPa)	
				Pengujian	Teoretis	Pengujian	Teoretis
BV-04	28 Hari	1	20.2128	23920.10	21130.54	25429,22	21307,244
		2	21.2316	20359.71	21656.56		
		3	20.6248	27217.07	21344.84		
		4	20.4996	28789.46	21279.97		
		5	20.2008	26859.77	21124.31		
BV-05	28 Hari	1	18.463	22540.24	20195.27	24121,58	20314,022
		2	19.9236	26934.24	20978.85		
		3	18.795	23452.89	20376.00		
		4	18.6346	25150.41	20288.85		
		5	17.6242	22530.11	19731.14		

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

