

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGANTIAN PARSIAL AGREGAT KASAR
DENGAN LIMBAH BETON DAN SEMEN DENGAN FLY ASH
TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON
(*THE EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE
AGGREGATE WITH CONCRETE WASTE AND CEMENT WITH
FLY ASH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
CONCRETE*)**

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



**Muh Alhadi Firman S
19511217**

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGANTIAN PARSIAL AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH BETON DAN SEMEN DENGAN FLY ASH TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON (THE EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF COARSE AGGREGATE WITH CONCRETE WASTE AND CEMENT WITH FLY ASH ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE)

Disusun Oleh

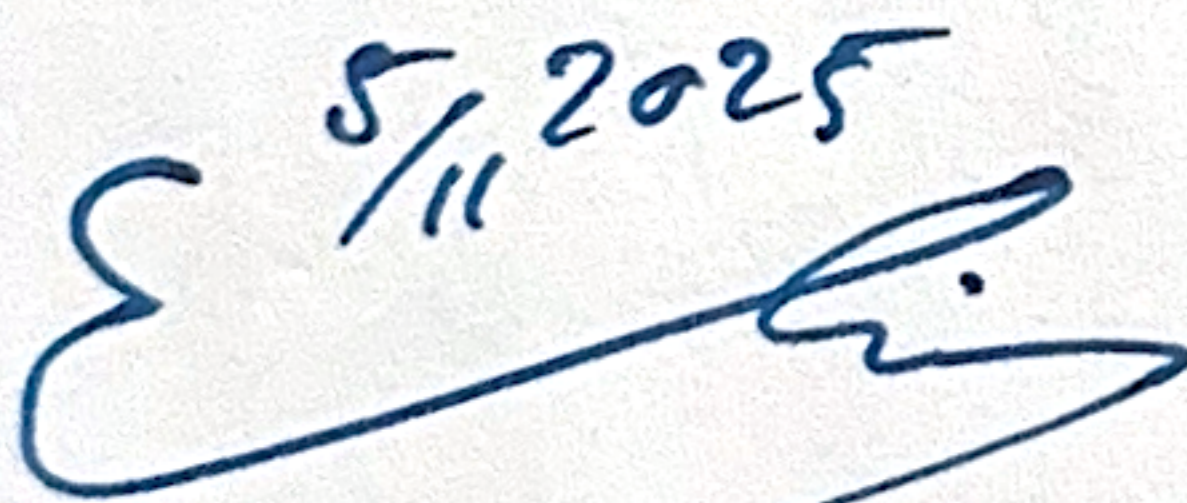
Muh Alhadi Firman Saputra
19511217

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

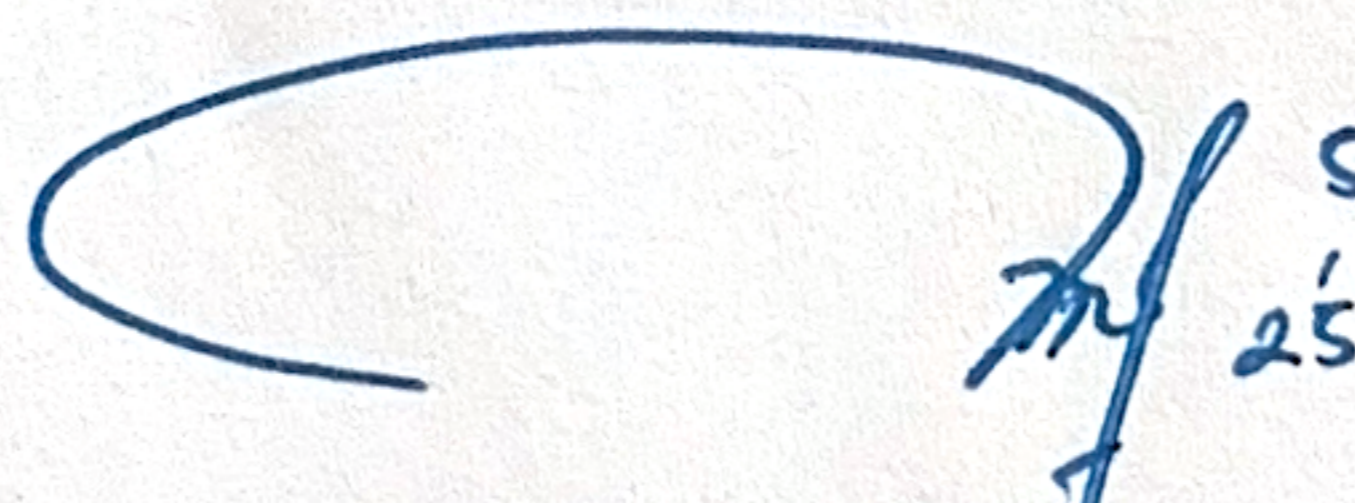
Diuji pada tanggal 28 Oktober 2025

Oleh Dewan Penguji:

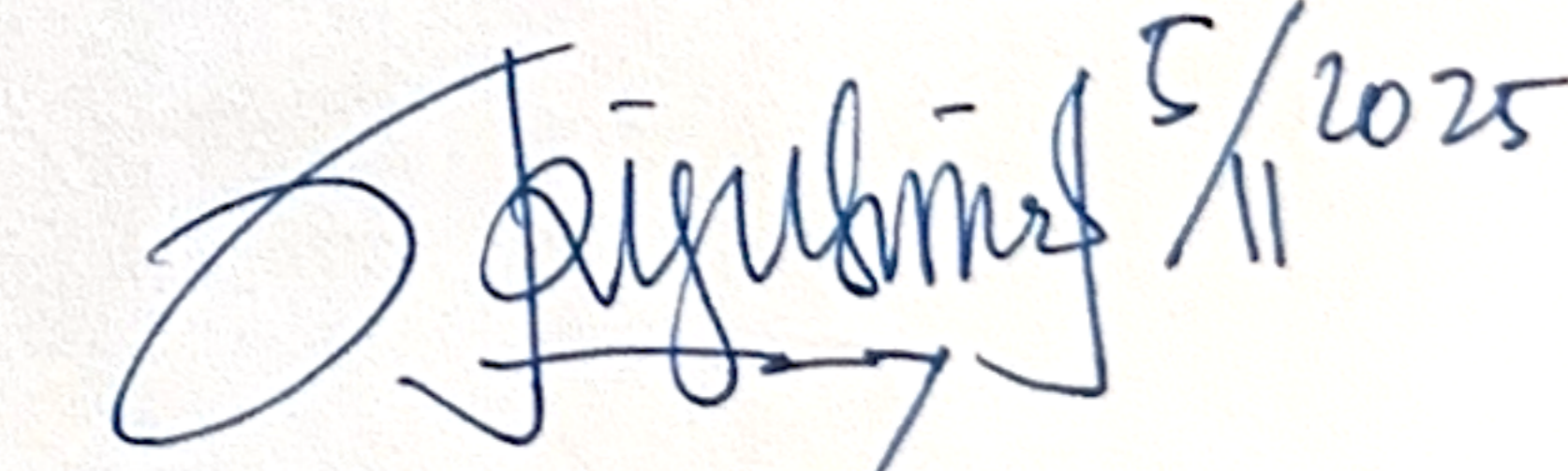
Pembimbing


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

Penguji I


Jafar S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111304

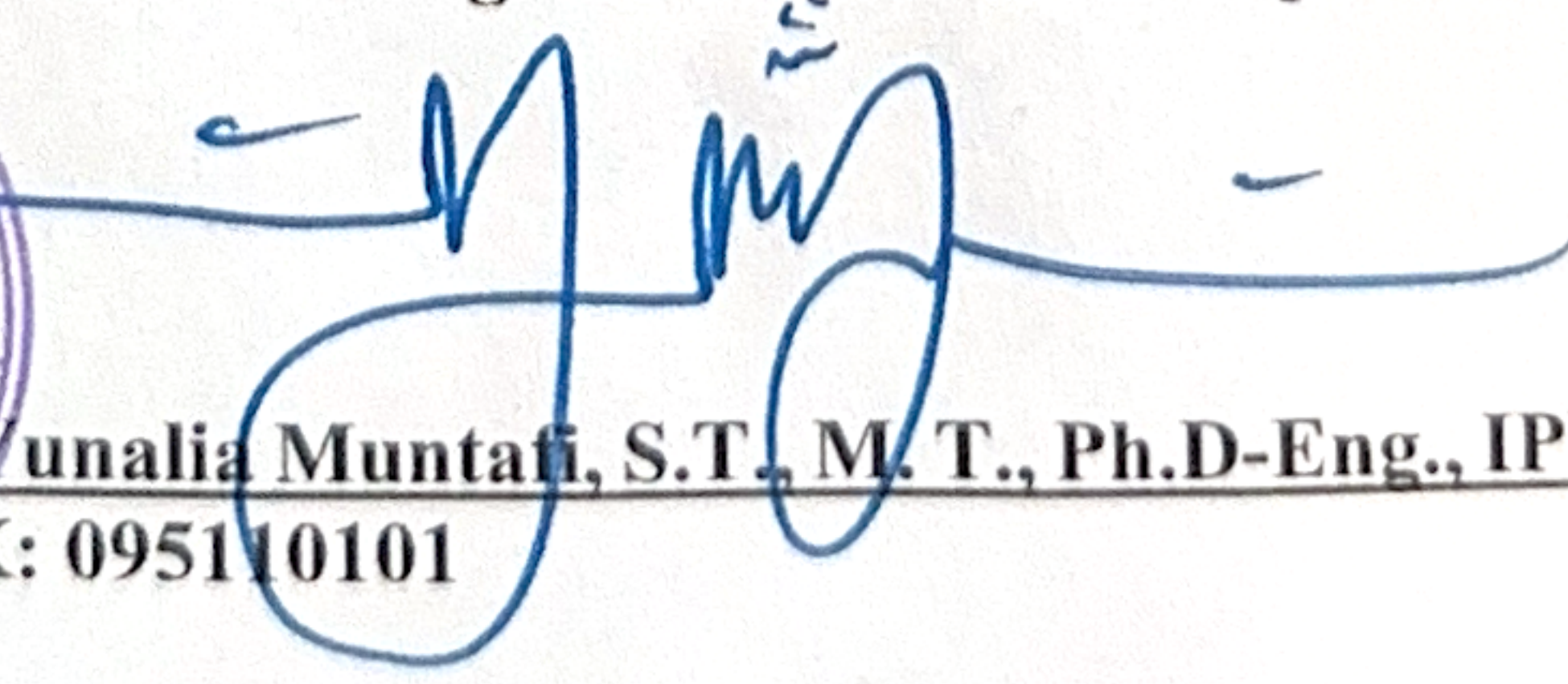
Penguji II


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, 28 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan



Muh Alhadi Firman S

(19511217)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmat, dan karunianya sehingga tugas akhir yang berjudul 'Pengaruh Penggantian Parsial Agregat Kasar Dengan Limabah Beton Dan Semen Dengan Fly Ash Terhadap Sifat Mekanis Beton' dapat diselesaikan. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademis untuk menyelesaikan studi tingkat sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknk Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Meskipun dalam proses penyusunannya penulis menghadapi berbagai kendala, berkat doa, dukungan bimbingan, serta dorongan semangat dari berbagai pihak laporan ini pada akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah, Ibu, Kakak, dan keluarga yang tidak pernah lelah memberikan saya arahan, semangat dan doa. Berkat dukungan mereka, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. 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.
3. Bapak Elvis Saputra, S.T., M. T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan kritik, saran, nasihat, serta motivasi kepada saya selama pengerjaan Proposal Tugas Akhir ini berlangsung.
4. Para dosen dan staf pengajar di Program Tekni Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, atas ilmu, bimbingan dan wawasan yang telah diberikan selama masa perkuliahan

5. Seluruh staf laboratorium Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan Universitas Islam Indonesia, diatas bantuan selama proses pelaksanaan pengujian berlangsung serta penyediaan sarana prasarana penelitian.
6. Saya mengucapkan juga terimakasih kepada sahabat-sahabat saya, Iqro, Nuzul, Adin, Adil, Enggi, Ari, Zahran dan Aqil atas dukungan dan semangat yang telah mereka berikan selama menjalani perkuliahaan, proses penelitian, dan penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terimakasih atas dukungan, doa, serta motivasi yang tak henti hingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari sempurna, sehinggann segala masukan dan saran yang membangun akan sangat penulis hargai. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan dampak yang sasngat bermanfaat dan menjadi sumbangsih bagi iilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 28 Oktober 2025

Penulis,

Muh Alhadi Firman S
(19511217)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR Lampiran	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana	8
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Beton	13
3.2 Bahan Penyusun Beton	13
3.3 Agregat Kasar	13
3.4 Agregat Halus	14
3.5 Semen <i>Portland</i> (PC)	15
3.6 Air	15
3.7 Limbah beton	16
3.8 Fly Ash	16
3.9 Perencanaan Campuran Beton	16
3.10 Pengujian Slump	22
3.11 Perawatan Beton	22
3.12 Pengujian Tekan Beton	23
3.13 Pengujian Tarik Belah	23

3.14	Pengujian Modulus Elastis	24
BAB IV METODE PENELITIAN		26
4.1	Umum	26
4.2	Lokasi	26
4.3	Bahan	26
4.4	Alat	28
4.5	Tahap Penelitian	32
4.5.1	Persiapan Bahan	32
4.5.2	<i>Mix Design</i>	34
4.5.3	Pembuatan Benda Uji	34
4.5.4	Perawatan Benda	35
4.5.5	Pengujian Benda Uji	36
4.6	Pemecahan Limbah	36
4.7	Prosedur Pengujian	36
4.7.1	Uji Slump	37
4.7.2	Uji Kuat Tekan Beton	37
4.7.3	Uji Tarik Belah	38
4.7.4	Uji Modulus Elastis	39
4.8	Diagram Penelitian	39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		41
5.1	Umum	41
5.2	Pengujian Material	41
5.2.1	Pengujian Agregat Kasar	41
5.2.2	Pengujian Agregat Halus	48
5.3	Desain Campuran Beton	56
5.4	Hasil Uji Coba Benda Uji	65
5.5	Pengujian <i>Slump</i>	65
5.6	Pengujian Kuat Tekan Beton	67
5.6.1	Pembahasan	72
5.7	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	74
5.7.1	Pembahasan	79
5.8	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	80

5.8.1	Pembahasan	90
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	91
6.1	Kesimpulan	91
6.2	Saran	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	18
Gambar 3.8 Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 10 mm	20
Gambar 3.9 Grafik Persentase Pasir Terhadap Agregat Total Untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm	20
Gambar 3.10 Grafik Persentase Pasir Terhadap Agregat Total Untuk Ukuran Butir Maksimal 40 mm	21
Gambar 3.11 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah	21
Gambar 3. 12Tipe-tipe Slump	22
Gambar 3. 13 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton	23
Gambar 3. 14 Pengujian Tarik Belah Beton	24
Gambar 3. 15 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton	25
Gambar 4. 1 Semen	27
Gambar 4.2 Agregat Halus	27
Gambar 4.3 Agregat Kasar	27
Gambar 4.4 Air	28
Gambar 4.5 Limbah Beton	28
Gambar 4. 6 <i>Fly Ash</i>	28
Gambar 4.7 Saringan	29
Gambar 4.8 Timbangan	29
Gambar 4.9 Cetakan Slinder	29
Gambar 4.10 Alat Ukur	30
Gambar 4.11 Ember	30
Gambar 4.12 <i>Stone Crusher</i>	30
Gambar 4.13 Ketucut Abrams	31
Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk	31
Gambar 4.15 Oven	31

Gambar 4.16 Mixer	32
Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan	32
Gambar 4.18 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton	38
Gambar 4.19 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton	39
Gambar 4.20 Gambar Alir Penelitian	40
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm	46
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II	53
Gambar 5.3 Hubungan antara kuat tekan dan factor air semen (FAS)	57
Gambar 5.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm	60
Gambar 5. 5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	61
Gambar 5.6 Grafik Antara Nilai <i>Slump</i> dengan Variasi Beton	66
Gambar 5.7 Pengujian <i>Slump</i>	66
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi	72
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi	79
Gambar 5.10 Grafik Kurva Tegangan Regangan	83
Gambar 5.11 Hubungan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Penelitian Rencana	9
Tabel 3.1 Hubungan antara Faktor Air Semen dan Agregat Kasar terhadap Nilai Kuat Tekan	17
Tabel 3.2 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	18
Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	19
Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton	35
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	42
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisi Saringan Agregat Kasar	44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar	45
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Kasar	45
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	47
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	48
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	49
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus	52
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	54
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	55
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	55
Tabel 5.13 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	57
Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	58
Tabel 5.15 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	59
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	63

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton dengan Limbah Beton dan Fly Ash	64
Tabel 5.18 Hasil Uji Coba Beton Normal Umur 3 Hari	65
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Slump</i>	65
Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	68
Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	75
Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1	81
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus	96
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar	102
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Limbah Beton	107
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	112
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	113
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	117
Lampiran 7 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastis	120

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi utama yang banyak digunakan, namun pemanfaatan agregat alami dan semen dalam jumlah besar berdampak pada lingkungan terutama melalui emisi karbon global yang mencapai sekitar 8% dari total emisi dunia. Oleh karena itu, diperlukan alternatif material ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan fly ash sebagai substitusi parsial semen dengan *fly ash*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah beton dan fly ash terhadap sifat mekanis beton, meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas, serta menentukan komposisi optimum yang memberikan mutu terbaik.

Metode penelitian menggunakan *mix design* SNI 2834-2000 dengan mutu rencana $f'c$ 25 MPa. Variabel tetap adalah fly ash sebesar 15% dari berat semen, sedangkan variabel bebas berupa limbah beton sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat kasar. Benda uji berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan jumlah total 70 sampel. Pengujian meliputi uji kuat tekan (SNI 1974-2011), tarik belah (SNI 2491-2002), dan modulus elastisitas (ASTM C-469, SNI 2847-2019) pada umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton normal (BN) menghasilkan kuat tekan 27,74 MPa dan kuat tarik belah 2,63 MPa. Substitusi fly ash dan limbah beton mampu meningkatkan kekuatan beton, dan peningkatan paling signifikan diperoleh pada variasi BV4 (15% *fly ash* dan 15% limbah beton) dengan kuat tekan 35,12 MPa atau naik 26,6% dari beton normal, serta kuat tarik belah 2,97 MPa. Namun, penambahan limbah beton lebih dari 15% menurunkan sifat mekanis beton. Dengan demikian, komposisi optimum terdapat pada campuran BV4 yang dinyatakan layak sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam pembuatan beton.

Kata Kunci: Limbah Beton, *Fly Ash*, kuat tekan, tarik dan modulus elastisitas.

ABSTRACT

Concrete is one of the main construction materials widely used; however, the extensive use of natural aggregates and cement has significant environmental impacts, particularly contributing to global carbon emissions, which account for approximately 8% of total worldwide emissions. Therefore, it is necessary to develop environmentally friendly alternative materials through the utilization of concrete waste as a partial substitute for coarse aggregates and fly ash as a partial substitute for cement.

This study aims to determine the effect of substituting concrete waste and fly ash on the mechanical properties of concrete, including compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity, as well as to identify the optimum composition that provides the best performance. The research employed the mix design method based on SNI 2834-2000 with a target strength of $f'c$ 25 MPa. The constant variable was fly ash at 15% of the cement weight, while the independent variable was concrete waste at 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% of the coarse aggregate weight. The test specimens were cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm, totaling 70 specimens.

The tests conducted included compressive strength (SNI 1974-2011), splitting tensile strength (SNI 2491-2002), and modulus of elasticity (ASTM C-469, SNI 2847-2019) at 28 days of curing. The results showed that normal concrete (BN) achieved a compressive strength of 27.74 MPa and a splitting tensile strength of 2.63 MPa. The substitution of fly ash and concrete waste improved the strength of concrete, with the most significant increase observed in variation BV4 (15% fly ash and 15% concrete waste), which achieved a compressive strength of 35.12 MPa (an increase of 26.6% compared to normal concrete) and a splitting tensile strength of 2.97 MPa. However, the addition of more than 15% concrete waste led to a decline in the mechanical properties of the concrete. Thus, the optimum composition was found in the BV4 mixture, which is considered suitable as an environmentally friendly alternative material for concrete production.

Keyword: Concrete Waste, Fly Ash, compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia. Material ini tersusun dari campuran semen sebagai bahan pengikat, agregat halus, agregat kasar, serta air yang kemudian membentuk massa padat (Zulfikar, 2025). Dalam konteks pembangunan global, beton memainkan peran penting dalam percepatan infrastruktur yang berkelanjutan, namun di saat yang sama menjadi faktor utama pencemaran lingkungan terutama melalui emisi karbon global yang mencapai sekitar 8% dari total emisi dunia (Widodo, 2024). Keunggulan utama beton terletak pada kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan, serta sifat tahan api menjadikan pilihan utama dalam pembangunan berbagai jenis konstruksi dan infrastruktur (Zulkarnain, 2021). Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh komposisi material penyusunnya, termasuk rasio pencampuran, proses pengecoran, serta kondisi lingkungan selama pengeringan dan pengerasan (Maulana, 2020). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang sifat mekanis beton sangat diperlukan untuk memastikan penggunaan material yang efektif dan optimal (Permatasari, 2019).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan konstruksi juga meningkatkan tantangan lingkungan. Produksi material penyusun beton, terutama semen dan agregat alam, memerlukan konsumsi sumber daya alam yang masif dan memberikan dampak yang signifikan terhadap alam. Selain itu, tantangan lingkungan diperparah oleh penanganan limbah beton yang buruk. Limbah ini, hasil dari pembongkaran bangunan, kerap dibuang begitu saja sehingga menimbulkan penumpukan di tempat pembuangan akhir dan berkontribusi signifikan terhadap pencemaran. Untuk mengatasi isu ini, pendekatan konstruksi berkelanjutan menjadi solusi. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan limbah beton sebagai substitusi parsial pada agregat kasar untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya

alam. Pendekatan ini didukung oleh penelitian yang menunjukkan bahwa limbah beton yang dihancurkan dan diproses dengan baik dapat memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang memadai untuk menggantikan sebagian agregat kasar alami. Strategi ini tidak hanya mengurangi volume limbah konstruksi, tetapi juga berpotensi menekan biaya produksi karena mengurangi kebutuhan pembelian agregat kasar (Mulyati, 2014).

Selain pemanfaatan limbah konstruksi, inovasi juga difokuskan pada pengurangan penggunaan semen dalam pembuatan beton. Dalam hal ini, abu terbang (*fly ash*) muncul sebagai material substitusi yang sangat potensial. *Fly ash* merupakan limbah pembakaran batu bara, memiliki partikel butiran yang sangat halus. Karena kehalusannya ini menjadikan material ini berpotensi besar digunakan sebagai material pengganti semen dalam campuran beton, didukung oleh kemiripan sifat-sifatnya, baik dari aspek fisik maupun kimiawi. Secara fisik, *fly ash* memiliki kemiripan yang signifikan dengan semen, terutama dari segi kehalusan butiran, kriteria lolos ayakan No. 325 (45 mikron) 5-27%, dan memiliki berat jenis spesifik (*specific gravity*) sekitar 2,15 hingga 2,16. Dari sisi kimia, *fly ash* kaya akan kandungan *silika* dan *alumina*, yang secara gabungan dapat mencapai persentase 80%. Adanya kesamaan karakteristik, baik secara fisik maupun kimiawi, membuat *fly ash* dapat dijadikan substitusi parsial semen dalam proses produksi beton (Setiawati, 2018).

Penelitian kali ini berfokus pada kedua material limbah alternatif, yaitu limbah beton sebagai substitusi parsial agregat kasar dan *fly ash* sebagai substitusi parsial semen. Berdasarkan penelitian sebelumnya, limbah beton dapat meningkatkan kekuatan beton ketika digunakan sebagai substitusi parsial pada agregat kasar (Patah, 2022). Selain itu, terbukti bahwa substitusi *fly ash* sebesar 15% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton tertinggi dibandingkan variasi lainnya (Zein, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi substitusi limbah beton sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat kasar dan substitusi *fly ash* sebesar 15% dari berat semen untuk setiap variasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan informasi yang telah diuraikan pada latar belakang penelitian, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pengganti parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan *fly ash* 15 % terhadap sifat mekanis beton, yang meliputi pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas?
2. Berapa persentase pengganti parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan 15% *fly ash* yang menghasilkan nilai kuat tekan beton tertinggi (optimal)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini selaras dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan, yaitu:

1. Menguji pengaruh pengganti parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan *fly ash* 15% terhadap sifat mekanis beton, yang meliputi pengujian kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.
2. Menentukan persentase optimal pengganti parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan *fly ash* 15% yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat seperti yang diuraikan di bawah ini.

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan semen dengan *fly ash* 15% terhadap pengujian kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.
2. Untuk mengetahui besar presentase substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan semen dengan *fly ash* 15% terhadap pengujian kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini ditetapkan untuk menjamin bahwa studi yang dilakukan tetap fokus dan selaras dengan tujuan yang telah ditetapkan. Rincian batasan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Metode *Mix Design* yang digunakan mengacu pada standar SNI 2834-2000.
2. Kuat tekan beton rencana adalah $f'c = 25$ MPa.
3. Pengujian tiga sifat mekanik beton: kuat tekan (menggunakan standar SNI 1974-2011), kuat tarik belah (mengacu pada SNI 2491-2002), dan modulus elastisitas (berpedoman pada ASTM C-469 dan SNI 2847-2019).
4. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* spesifikasi tipe I dari merek tiga Roda.
5. Abu terbang (*fly ash*) yang dipakai berasal dari PLTU Paiton.
6. Limbah beton berasal dari limbah pecahan beton yang berasal dari Lab. Bahan Konstruksi Teknik FTSP limbah beton diperoleh dengan cara menghancurkan beton menggunakan *mini crusher* hingga menjadi ukuran seperti batu pecah.
7. Digunakan air dari Lab. Bahan Konstruksi Teknik FTSP, Universitas Islam Indonesia.
8. Pengujian beton dilakukan pada umur 28 hari.
9. Setiap variasi pengujian akan menggunakan 10 benda uji.
10. Variasi fly ash konstan sebesar 15% dari berat semen.
11. variasi kadar limbah beton yang digunakan 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat kasar.
12. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan berbagai penelitian sebelumnya, telah dilakukan studi mengenai pengaruh substitusi limbah beton dan *fly ash*. Dalam penelitian ini, peneliti menjadikan hasil-hasil tersebut sebagai dasar referensi. Untuk memperkuat penelitian ini, peneliti akan merujuk pada sejumlah jurnal terdahulu, termasuk salah satu jurnal yang akan disebutkan berikutnya.

1. Pengaruh Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton (Ishaq, 2021).

Tujuan dari penelitian ini untuk pemanfaatan limbah pecahan beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan beton dari proyek konstruksi, dengan memanfaatkan kembali limbah beton, diharapkan memperpanjang umur material tersebut dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini menggunakan variasi limbah beton sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari total berat agregat kasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada umur 21 hari kuat tekan optimum dicapai pada variasi substitusi limbah beton sebesar 50%, dengan nilai 209,96% kg/cm². namun pada variasi diatas dari 50% nilai kuat tekan mengalami penurunan secara signifikan. Dengan demikian penelitian menyimpulkan bahwa penggunaan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dapat memberikan solusi untuk pengurangan agregat alam.

2. Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Kekuatan Beton (Patah, 2022).

Penelitian dilatarbelakangi oleh permasalahan banyaknya struktur bangunan di Indonesia yang telah mencapai akhir umur rencana ataupun tidak dibangun sesuai spesifikasi, sehingga memerlukan pembongkaran maupun perawatan. Aktivitas tersebut menghasilkan limbah beton dalam jumlah besar yang

berpotensi mencemari lingkungan dan mempersempit lahan TPA. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi limbah beton daur ulang sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton ditinjau dari kuat tekan dan kuat tarik belah. Variasi substitusi agregat kasar dengan limbah beton ditetapkan sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% dari total berat agregat kasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah beton hingga 40% masih mampu menghasilkan beton dengan kuat tekan mendekati beton normal, yaitu berada pada rentang 93,7–98,5%. Substitusi optimum terdapat pada variasi 10%, dengan kuat tekan 40,03 MPa pada umur 28 hari, mengalami peningkatan 16,4% dibandingkan beton normal sebesar 34,39 MPa. Selain itu, kuat tarik belah pada variasi 10% juga mengalami peningkatan hingga 3,93 MPa, meskipun pada persentase di atas 20% terjadi penurunan yang cukup signifikan. Hubungan antara kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur 28 hari menunjukkan rasio optimum sebesar 10,19% pada campuran dengan substitusi limbah beton 10%. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa limbah beton memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai material substitusi agregat kasar pada campuran beton. Substitusi hingga 10% terbukti tidak hanya mempertahankan kualitas beton, tetapi juga meningkatkan kuat tekan sekaligus mendukung upaya pengelolaan limbah konstruksi secara berkelanjutan.

3. Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Mutu $f'c$ 30 MPa (Efendi, 2024).

Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran perbandingan antara beton normal dengan beton yang menggunakan limbah beton, sehingga dapat diketahui persentase optimum penggunaan limbah beton yang masih memenuhi mutu rencana. Selain itu, penelitian ini juga ditujukan untuk memberikan alternatif pemanfaatan limbah konstruksi sebagai material beton ramah lingkungan yang mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Didapatkan hasil dari penelitian bahwa Penggunaan limbah beton sebagai bahan substitusi agregat kasar memiliki pengaruh tertentu terhadap pencapaian kuat tekan $f'c$ 30 MPa. Pengaruh ini perlu dikaji pada berbagai

persentase substitusi tertentu masih mampu mencapai atau mendekati kuat tekan rencana, meskipun cenderung mengalami penurunan dibandingkan dengan beton normal. Semakin besar persentase limbah beton yang digunakan, kuat tekan yang dihasilkan semakin menurun karena kualitas agregat daur ulang tidak sebaik agregat alami. Meskipun demikian, penggunaan limbah beton tetap dapat dijadikan alternatif bahan substitusi agregat kasar, sekaligus menjadi upaya dalam mengurangi timbunan limbah konstruksi dan mendukung penerapan beton ramah lingkungan yang berkelanjutan.

4. Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton (Setiawati, 2018).
Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh substitusi fly ash terhadap kuat tekan beton pada berbagai umur beton, sehingga dapat ditemukan kadar optimum yang menghasilkan hasil kuat tekan yang baik. Variasi persentase fly ash yang digunakan adalah 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20% dari berat semen, dengan benda uji berbentuk kubus sebanyak 96 sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari setelah curing. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton meningkat signifikan dengan penambahan fly ash hingga 12,5%. Pada umur 28 hari, beton dengan 12,5% fly ash menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu 404,73 kg/cm², meningkat sebesar 27,95% dibanding beton normal sebesar 316,33 kg/cm². Bahkan pada umur awal (3 hari), beton dengan 12,5% fly ash mencapai 231,04 kg/cm², meningkat 60,1% dibanding beton normal. Berdasarkan dari hasil penelitian kuat tekan beton normal dan beton dengan fly ash dengan persentase fly ash 5%, sampai 20% maka diperoleh persentase peningkatan kuat tekan beton dengan fly ash terhadap beton normal. Hal ini membuktikan bahwa fly ash berpotensi besar dimanfaatkan sebagai material tambahan ramah lingkungan sekaligus mampu meningkatkan kinerja mekanis beton.
5. Analisa Penggunaan Fly Ash Pltu Ombilin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton (Zakirullah, 2024).

Tujuan dari penelitian ini permasalahan peningkatan penggunaan batubara pada industri yang menghasilkan limbah abu terbang (fly ash) dalam jumlah besar dan berpotensi mencemari lingkungan. Pemanfaatan fly ash sebagai material alternatif dalam campuran beton dianggap mampu mengurangi ketergantungan terhadap semen sekaligus meningkatkan sifat mekanis beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan fly ash PLTU Ombilin sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton. variasi substitusi fly ash terhadap semen sebesar 0%, 14%, 15%, 16%, dan 17%. Pengujian dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 28 hari, mencakup uji slump, uji kuat tekan, dan uji kuat tarik belah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi fly ash 14% menghasilkan performa beton yang paling optimal. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton mencapai 32,05 MPa atau meningkat sebesar 9,7% dibandingkan beton normal (29,21 MPa). Begitu pula pada pengujian kuat tarik belah, substitusi 14% menghasilkan nilai tertinggi sebesar 2,69 MPa, meningkat 14,5% dibanding beton normal (2,35 MPa). Sebaliknya, pada variasi 16% dan 17% terjadi penurunan baik pada kuat tekan maupun kuat tarik belah beton. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan fly ash PLTU Ombilin sebagai substitusi semen dapat meningkatkan sifat mekanis beton, khususnya pada variasi 14%, yang terbukti memberikan nilai optimum pada kuat tekan maupun kuat tarik belah beton

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Terdapat perbedaan antara penelitian sekarang dan penelitian terdahulu. Adapun perbedaan seperti berikut.

1. Penelitian terdahulu hanya meneliti limbah beton saja atau fly ash saja, sedangkan penelitian ini menggabungkan keduanya secara bersamaan dalam satu campuran beton.
2. Penelitian sebelumnya hanya meninjau dua sifat mekanis (kuat tekan dan tarik belah), penelitian ini menambahkan modulus elastisitas.

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

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dan Penelitian Rencana

Penelitian Terdahulu						Rencana Penelitian
Penelitian	Ishaq, dkk (2021)	Dahlia patah, dkk (2022)	Yusril Efendi, dkk (2024)	Mira Setiawati (2018)	M. Zakirullah (2024)	Muh Alhadi Firman S (2025)
Judul Penelitian	Pengaruh Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton	Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Mutu $F'c$ 30 MPa	<i>Fly Ash</i> Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton	Analisa Penggunaan <i>Fly Ash</i> Pltu Ombilin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	Pengaruh Substitusi Limbah Beton Dan <i>Fly Ash</i> Terhadap Sifat Mekanis Beton
Tujuan Penelitian	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dan agregat halus terhadap kuat tekan beton normal, serta menentukan proporsi penggunaan limbah beton yang dapat	Tujuan untuk mengetahui kekuatan beton yang dibuat dengan agregat kasar dari limbah beton. Potensi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dalam beton telah diteliti. Limbah beton daur ulang digunakan sebagai agregat beton.	Pemanfaatan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton merupakan salah satu contoh upaya mengembangkan cara pembuatan beton yang ramah lingkungan. Dalam bisnis bangunan, hal	Menganalisis pengaruh pemanfaatan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana penggunaan fly ash dapat meningkatkan atau	Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan fly ash PLTU Ombilin sebagai bahan substitusi semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik beton, serta menentukan persentase penggunaan fly ash	Menguji pengaruh substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan fly ash 15% terhadap sifat mekanis beton, yang meliputi pengujian kuat tekan beton, tarik belah beton, dan modulus elastisitas.

	menghasilkan kuat tekan paling optimal.		ini diyakini akan menghasilkan solusi yang lebih berkelanjutan dan penurunan penggunaan sumber daya alam utama. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui berapa kekuatan beton yang dihasilkan akibat penambahan limbah dan untuk mengetahui presentasi optimum penambahan limbah beton terhadap campuran beton.	menurunkan kuat tekan beton, serta menentukan persentase substitusi yang paling optimal sehingga beton tetap memenuhi standar kekuatan yang dipersyaratkan.	yang mampu memberikan hasil paling optimal dalam meningkatkan sifat mekanis beton.	Menentukan persentase optimal substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan substitusi parsial semen dengan fly ash 15% yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.
Kesimpulan	Penggunaan limbah pecahan beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Substitusi agregat kasar dengan	Penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar berpengaruh terhadap kekuatan beton. Hasil uji ktekan menunjukkan	1. Pemakaian limbah beton dari PT. Statika Mitrasarana sebagai substitusi batu pecah dalam campuran beton mutu 30 Mpa memberikan dampak	fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Substitusi semen dengan fly ash dalam proporsi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan fly ash dalam proporsi tertentu mampu meningkatkan sifat mekanis beton,	Kadar substitusi yang terbukti optimal dan menghasilkan mutu beton tertinggi dalam penelitian ini adalah kombinasi 15% fly ash dan 15% limbah

	<p>limbah beton cenderung menurunkan nilai kuat tekan dibandingkan dengan beton normal, namun pada persentase tertentu limbah beton masih dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif. Hal ini menunjukkan bahwa limbah beton memiliki potensi untuk digunakan kembali dalam campuran beton, meskipun perlu pengaturan proporsi yang tepat agar mutu beton tetap memenuhi standar yang dipersyaratkan.</p>	<p>adanya penurunan nilai kekuatan seiring dengan meningkatnya persentase substitusi limbah beton. Meskipun demikian, limbah beton masih berpotensi digunakan sebagai material alternatif dalam campuran beton dengan proporsi tertentu, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap agregat alam serta mendukung upaya pemanfaatan limbah konstruksi beton normal 34.39 Mpa.</p>	<p>terhadap nilai kuat beton pada umur 28 hari. Hal ini membuktikan dari peningkatan nilai kekuaran beton pada variasi limbah beton 4%,6%, dan 8%. Yakni sebesar 33.46 Mpa, 35.50 Mpa, dan 31.33 Mpa. Peningkatan tersebut menyebabkan beton mencapai mutu yang direncanakan. 2. Ketika 6% Limbah Beton ditambahkan ke Batu Pecah sebagai pengganti batu pecah, campuran yang dihasilkan mencapai kuat tekan optimal sebesar 35,50 Mpa. 3. Terjadinya penurunan kuat tekan</p>	<p>tertentu mampu menghasilkan kuat tekan beton yang mendekati bahkan dapat meningkatkan mutu beton, namun pada persentase yang terlalu tinggi justru menurunkan kekuatan beton. Dengan demikian, fly ash dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif ramah lingkungan dalam campuran beton, asalkan digunakan dengan komposisi yang tepat.</p>	<p>terutama pada umur pengujian tertentu, namun pada kadar yang terlalu tinggi justru menyebabkan penurunan kekuatan. Dengan demikian, fly ash PLTU Ombilin dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen untuk menghasilkan beton yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, asalkan digunakan dalam persentase yang optimal.</p>	<p>beton. Komposisi ideal ini berhasil mencapai nilai kekuatan puncak, mencatat kuat tekan tertinggi sebesar 35,12 MPa dan kuat tarik belah tertinggi sebesar 2,97 MPa, serta menghasilkan nilai modulus elastisitas yang tertinggi. Namun, penelitian ini juga secara tegas menemukan bahwa 15% limbah beton merupakan ambang batas efektif. Hal ini dikarenakan setiap penggunaan limbah beton yang melebihi persentase 15% secara konsisten menyebabkan</p>
--	---	---	--	--	---	--

			<p>beton pada variasi 10% dikarenakan sifat limbah sebagai substitusi agregat kasar bersifat tidak mengikat sehingga karena tidak mengikatnya, agregat limbah beton tersebut menyebabkan sampel tidak menyatu dengan sempurna.</p>			<p>terjadinya penurunan signifikan pada ketiga parameter kekuatan yang diuji (kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas).</p>
--	--	--	--	--	--	--

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air dan terkadang terdapat bahan tambahan (admixture) yang dicampur dalam proporsi tertentu. Keunggulan utama beton terletak pada kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan yang baik terhadap kondisi lingkungan, serta sifat tahan api menjadikan pilihan utama dalam pembangunan berbagai jenis konstruksi dan infrastruktur (Zulkarnain, 2021).

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton adalah material yang terbentuk dari campuran semen portland atau jenis semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, serta air, dengan atau tanpa tambahan bahan aditif, yang setelah mengeras akan membentuk massa padat. Selain itu, beton dapat diartikan sebagai bahan konstruksi yang karakteristiknya dapat dikendalikan melalui perencanaan dan pengawasan yang cermat terhadap pemilihan material penyusunnya, yaitu semen, air, dan agregat.

3.3 Agregat Kasar

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2834-2000, agregat kasar atau kerikil adalah material berbentuk granular yang sebagian besar tertahan pada ayakan dengan ukuran lubang 4,75 mm (No. 4). Material ini biasanya berasal dari kerikil sungai alami atau hasil pemecahan batu (batu pecah) dan berfungsi sebagai bahan pengisi utama dalam campuran beton.

- a. Gradasi Ukuran butiran agregat harus sesuai dengan distribusi yang ditentukan untuk jenis beton yang akan dibuat. Ukuran maksimum agregat kasar ditentukan berdasarkan dimensi elemen beton, yaitu biasanya maksimum 40 mm untuk beton struktural. Gradasi agregat harus memenuhi syarat agar beton memiliki workability yang baik dan mencegah segregasi

- b. Agregat kasar harus bebas dari bahan-bahan seperti lumpur, tanah liat, atau bahan organik lainnya yang dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Kandungan lumpur dalam agregat kasar tidak boleh lebih dari 1% berat total agregat.
- c. Agregat kasar sebaiknya memiliki bentuk yang mendekati kubus atau bulat, tidak terlalu pipih atau lonjong. Tekstur permukaan agregat sebaiknya kasar untuk meningkatkan daya ikat dengan pasta semen, tanpa mengurangi workability.
- d. Agregat harus memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan beton yang direncanakan, agar agregat tidak menjadi titik lemah dalam struktur beton.
- e. Agregat tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat memengaruhi durabilitas dan daya tahan beton.

3.4 Agregat Halus

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 2834-2000, Agregat halus adalah material granular yang lolos dari ayakan berukuran 4,75 mm (No.4) dan sebagian besar tertahan pada ayakan berukuran 0,075 mm (No.200). Agregat halus biasanya berupa pasir alami atau pasir hasil pemecahan batu (pasir buatan) yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton.

- a. Agregat halus harus memiliki gradasi yang sesuai standar untuk menjamin workability dan mencegah segregasi pada beton. Gradasi biasanya diatur dalam zona 1 sampai zona 4 berdasarkan ayakan. Material harus lolos dari ayakan 4,75 mm tetapi tertahan sebagian besar pada ayakan 0,075 mm.
- b. Agregat halus harus bebas dari lumpur, bahan organik, atau zat lain yang dapat memengaruhi kualitas beton. Kandungan lumpur dalam agregat halus tidak boleh melebihi 5% dari berat total.
- c. Agregat halus terhindar dari kandungan untuk mencegah kerusakan pada beton.
- d. Agregat halus adalah bahan material berbentuk butiran yang bervariasi dalam ukurannya. Material ini harus memenuhi standar tertentu saat diayak. Misalnya, berat sisa di atas ayakan 4 mm harus setidaknya 2% berat agregat,

di atas ayakan 1 mm harus setidaknya 10% dari berat agregat, dan di atas ayakan 0,25 mm harus setidaknya 80% hingga 90% dari berat agregat.

- e. Pasir laut tidak boleh digunakan untuk semua mutu beton, kecuali terdapat petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

3.5 Semen *Portland* (PC)

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Semen Portland merupakan bahan ikat penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik. Fungsi dari semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat (Sulianti, 2018). Berdasarkan SNI-15-2049-2004 kegunaan semen portland dibagi menjadi 5 yaitu.

1. Semen *Portland Tipe I* Untuk konstruksi umum tanpa persyaratan khusus, seperti bangunan, jalan, dan jembatan.
2. Semen *Portland Tipe II* Tahan terhadap sulfat sedang dan panas hidrasi sedang, cocok untuk bangunan yang terkena air tanah dengan kandungan sulfat sedang.
3. Semen *Portland Tipe III* Memiliki kekuatan awal yang tinggi (high early strength), digunakan untuk konstruksi yang membutuhkan pengerasan cepat, seperti perbaikan jalan.
4. Semen *Portland Tipe IV* Menghasilkan panas hidrasi rendah, cocok untuk konstruksi beton masif seperti bendungan.
5. Semen *Portland Tipe V* Tahan terhadap sulfat tinggi, digunakan pada lingkungan yang mengandung sulfat tinggi, seperti daerah pantai atau air laut

3.6 Air

Air merupakan komponen penting dari campuran beton yang memegang peranan penting dalam bereaksi dengan semen dan mendukung terbentuknya kekuatan pasta semen. Kualitas air mempengaruhi kekuatan beton, maka kemurnian dan kualitas air untuk campuran beton perlu mendapat perhatian. Secara umum,

untuk campuran beton sendiri diperlukan air yang memenuhi standar air minum. Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia yang terjadi antara semen dan air yang menyebabkan campuran tersebut menjadi keras setelah lewat beberapa waktu tersebut (Naim, 2018).

3.7 Limbah beton

Limbah Beton adalah sisa material konstruksi yang berasal dari pembongkaran atau perbaikan struktur beton yang sudah tidak digunakan. Limbah ini umumnya terdiri dari campuran agregat, semen, dan material lainnya. Dalam konteks keberlanjutan, limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti (substitusi) agregat kasar dalam pembuatan beton baru (Kusumawardhana, 2018).

3.8 Fly Ash

Fly ash adalah material halus seperti debu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. Ini bukan seperti semen, tetapi ketika dihaluskan dan dicampur dengan air, ia bereaksi dengan kalsium hidroksida (zat yang dihasilkan saat semen dicampur dengan air) pada suhu normal, menghasilkan senyawa kalsium aluminat hidrat. Dengan karakteristik ini, fly ash dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan beton sambil mengurangi jumlah semen yang diperlukan, sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penggunaan fly ash membantu pengelolaan limbah batu bara yang lebih berkelanjutan (Setiawati, 2018).

3.9 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton, atau Mix Design, adalah metode yang digunakan untuk menentukan proporsi campuran bahan beton berdasarkan mutu beton yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton dilakukan dengan mengacu pada metode yang diatur dalam SNI 03-2834-2000. Berikut adalah langkah-langkah utama dalam perencanaan campuran beton.

1. Untuk memperoleh nilai standar deviasi (Sd), perlu didasarkan pada mutu pengendalian yang dicapai dalam pembuatan 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.

- Menghitung nilai tambah dengan persamaan table 3.1 dibawah ini.

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

Keterangan:

M = Nilai tambah

1,64 = Ketetapan statistik

S_r = Deviasi standar rencana

- Menentukan nilai kuat tekan beton rata-rata rencana dengan persamaan 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).

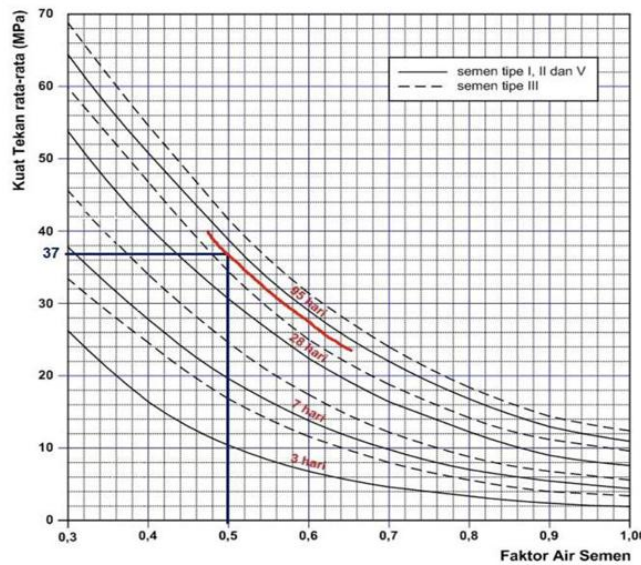
M = Nilai tambah

- Menetapkan jenis semen yang akan dipakai.
- Menetapkan jenis agregat yang akan dipakai sebelum melakukan pengujian agregat.
- Menetapkan nilai faktor air semen (FAS) dengan ketentuan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Hubungan antara Faktor Air Semen dan Agregat Kasar terhadap Nilai Kuat Tekan

Tipe Semen	Agregat Kasar	Nilai Kekuatan tekan (MPa)				Bentuk benda uji
		Pada umur (hari)				
		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	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 3.1 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)
(Sumber: SNI 2834-2000)

7. Menetapkan nilai maksimum Faktor Air Semen (FAS) dan jumlah minimum semen dengan berpedoman pada Tabel 3.2 berikut ini.

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

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m ³ beton (KG)	Nilai FAS Maksimum
Beton didalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m ³ Beton (KG)	Jenis Pembetonan
Beton masuk kedalam tanah a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laur		Tabel 6

Sumber: SNI 2834-2000

8. Menetapkan nilai slump dan menentukan ukuran maksimum butiran untuk agregat.

9. Mencari nilai kadar semen untuk per m³ beton.

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

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

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

Keterangan:

Wh = Perkiraan air agregat halus

Wk = Perkiraan air agregat kasar

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

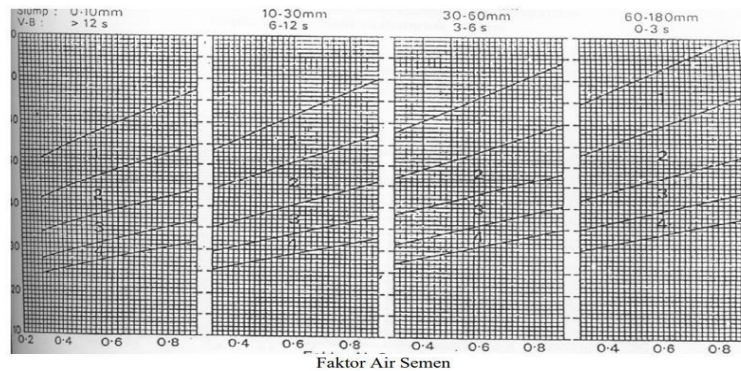
Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Diameter Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Nilai 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

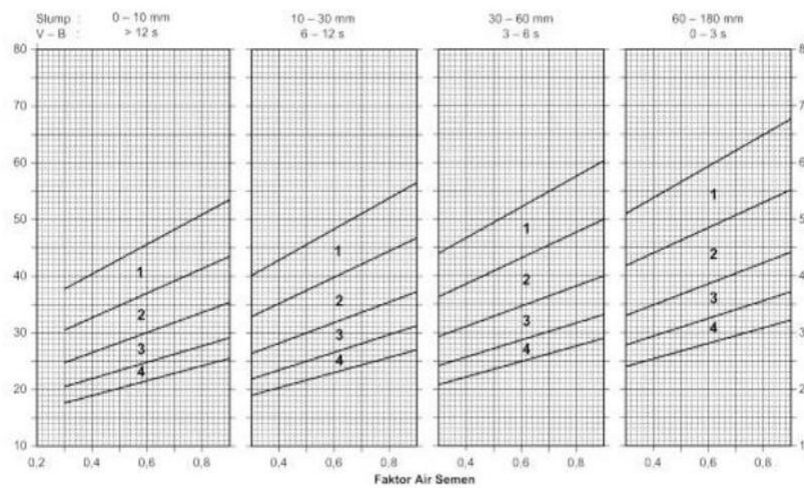
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 2834-2000

11. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dapat dilihat pada gambardibawah.

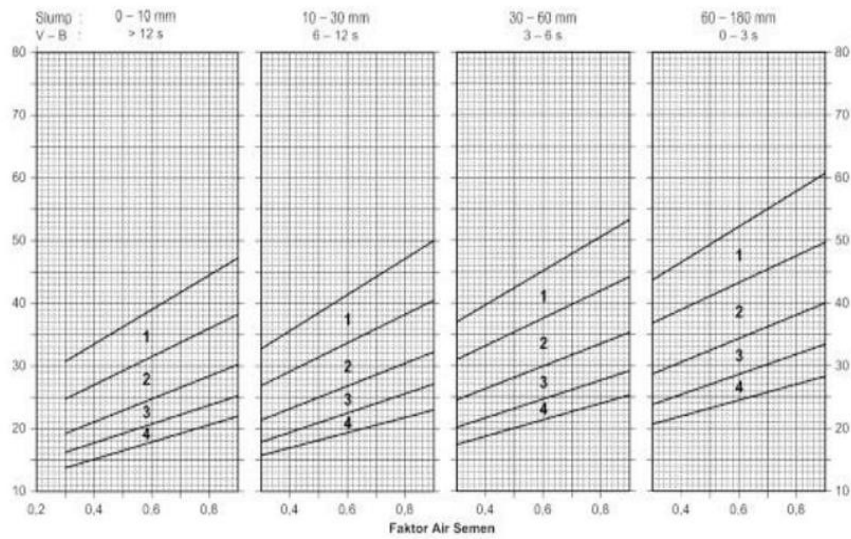


Gambar 3.2 Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimal 10 mm



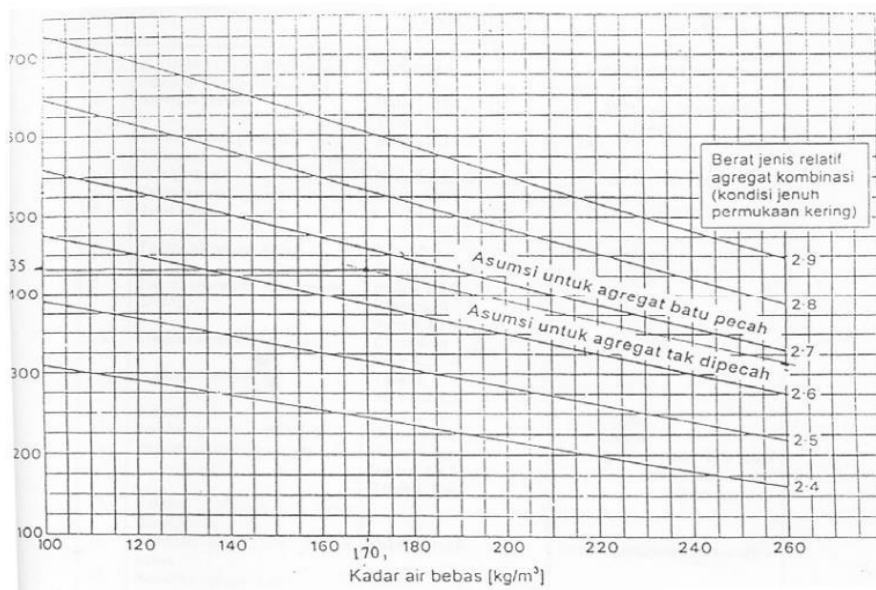
Gambar 3.3 Grafik Persentase Pasir Terhadap Agregat Total Untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm

(Sumber: SNI 2834-2000)



Gambar 3.4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Agregat Total Untuk Ukuran Butir Maksimal 40 mm

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



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI 2834-2000)

14. Menghitung nilai kadar agregat gabungan dilakukan melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan beriku.

$$AG = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \quad (3.5)$$

15. Menghitung kadar agregat kasar dan agregat halus.

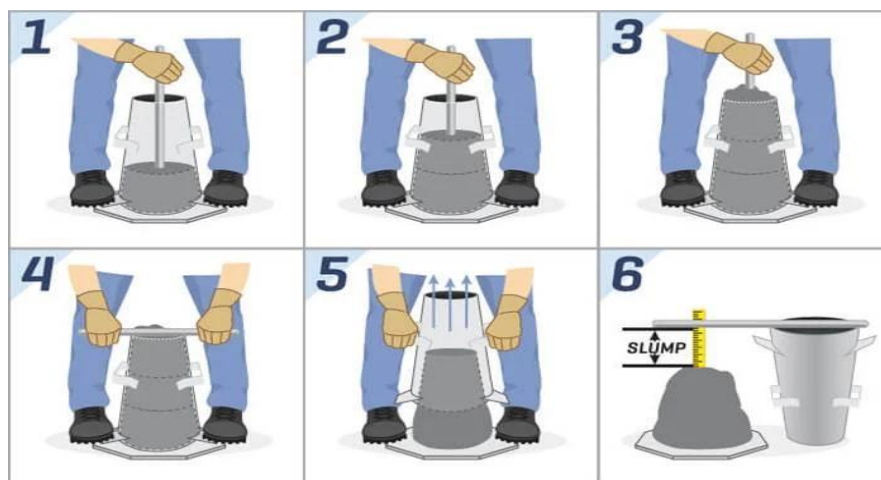
$$\text{Kadar agregat halus} = \% \frac{\text{Agregat halus}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.6)$$

$$\text{Kadar agregat kasar} = \text{Kadar agregat halus} - 100 \quad (3.7)$$

16. Menghitung presentase bahan substitusi.

3.10 Pengujian Slump

Uji slump adalah metode standar (berdasarkan SNI-1972-2008) yang menggunakan kerucut Abrams untuk menentukan tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton. Nilai slump yang dihasilkan mencerminkan kualitas pengerjaan beton, yang sering dikaitkan dengan homogenitas campurannya. Nilai slump yang tinggi menunjukkan campuran beton mudah dikerjakan atau encer, sedangkan nilai yang kecil menandakan beton yang kental dan sulit untuk diproses. Penetapan nilai slump yang ideal bervariasi tergantung pada jenis dan kebutuhan struktur yang sedang dibangun, sebagaimana ditunjukkan pada tabel terkait. Gambar tipe-tipe slump dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 6Tipe-tipe Slump

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

3.11 Perawatan Beton

Perawatan beton (*curing*) adalah langkah pemeliharaan penting yang mengontrol suhu dan kelembaban beton pasca-pengecoran untuk menjamin proses hidrasi semen berjalan sempurna. Keberhasilan hidrasi ini merupakan kunci utama dalam menentukan perkembangan kekuatan dan daya tahan jangka panjang beton.

Kelalaian dalam perawatan dapat menyebabkan masalah serius seperti retak, penyusutan yang ekstrem, dan kegagalan struktural. Sementara itu, dalam pengujian beton di laboratorium, *water curing* adalah metode standar yang diakui dan paling umum digunakan. Perawatan yang disiplin, terutama dengan metode ini, memastikan beton tidak hanya mencapai sifat mekanik yang optimal tetapi juga memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap faktor-faktor lingkungan.

3.12 Pengujian Tekan Beton

Tujuan pengujian kuat tekan adalah menentukan kapasitas beton menanggung beban tekan per satuan luas. Kuat tekan diukur berdasarkan rasio beban keruntuhan terhadap luas penampang benda uji. Perhitungan nilai kuat tekan ini diatur dalam SNI 03-1974-2011 melalui persamaan berikut.

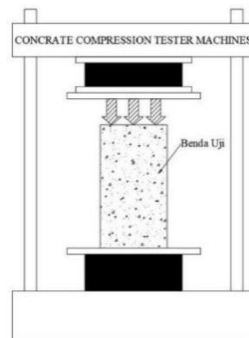
$$\text{Kuat tekan beton } f'c = \frac{p}{A} \quad (3.8)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

p = Beban Maks (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 3. 7 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

3.13 Pengujian Tarik Belah

Uji tarik belah dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton dalam menahan gaya tekan dari samping atau secara lateral. Prosedur pengujian yaitu dengan menempatkan sampel silinder beton secara mendatar dibawah alat uji tarik belah, Mengikuti ketentuan sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam SNI 2491-2002. Setelah proses pengujian selesai, nilai kekuatan tarik belah beton ditentukan melalui

perhitungan yang didasarkan pada luas bidang penampang sampel silinder, yang perhitungannya mengacu pada rumus yang relevan.

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

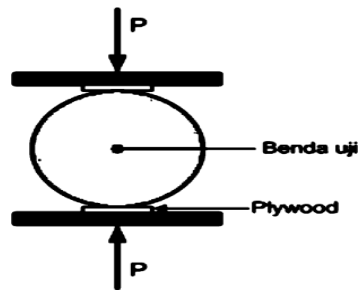
Ket:

T = Kuat tarik beton satuan MPa

P = Beban maks satuan N

L = Panjang benda uji satuan mm

D = Diameter benda uji satuan mm



Gambar 3. 8 Pengujian Tarik Belah Beton

3.14 Pengujian Modulus Elastis

Modulus elastisitas Adalah cara untuk mengetahui seberapa kaku suatu bahan dengan membandingkan tekanan dan perubahan bentuk saar bahan tersebut masih elastis. Nilai ini, yang umumnya diukur dalam satuan MPa, mengindikasikan bahwa material dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi akan mengalami deformasi yang lebih kecil saat dikenai beban, sehingga memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban besar dan dapat meminimalkan risiko retak. Perhitungan modulus elastisitas dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu ASTM C469-94 dan SNI 2847-2019, yang rinciannya dijelaskan di bawah ini.

$$Ec = \frac{S2-S1}{\varepsilon2-0,00005} \quad (3,10)$$

Keterangan:

Ec = Modulus elastisitas beton satuan MPa

$\varepsilon2$ = Regangan pada 40% dari beban maksimum

S2 = Tegangan pada 40% dari beban maksimum

S1 =Tegangan yang terukur saat benda uji mencapai regangan sebesar 0,00005.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.11)$$

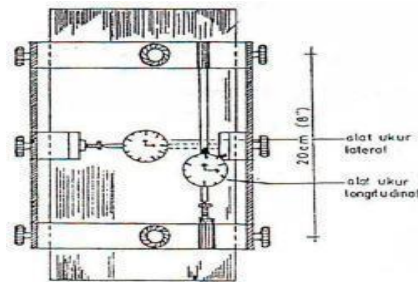
Atau

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.12)$$

Ket:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

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



Gambar 3. 9 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses pengujian berlangsung. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperoleh solusi atas permasalahan yang diteliti. Oleh karena itu, pemilihan metode penelitian harus dilakukan secara tepat dan sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian kali ini digunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan cara menguji sampel beton yang dibuat dengan mencampurkan limbah beton sebagai substitusi parsial agregat kasar serta *fly ash* sebagai substitusi parsial terhadap berat semen. Variasi kadar limbah beton yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% dari berat agregat kasar, sedangkan kadar fly ash ditetapkan sebesar 15% dari berat semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penggunaan limbah abu batu dan fly ash terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, serta modulus elastisitas beton.

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 yang digunakan adalah jenis tipe I merek Tiga Roda



Gambar 4. 1 Semen

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sungai progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 4.2 Agregat Halus

3. Agregat Kasar

Agregat kasar berasal dari daerah Kulon Progo.



Gambar 4.3 Agregat Kasar

4. Air

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



Gambar 4.4 Air

5. Limbah Beton

Limbah beton yang digunakan sebagai agregat kasar merupakan hasil penghancuran sample slinder pengujian yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (LAB BKT), Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.



Gambar 4.5 Limbah Beton

6. *Fly Ash*

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



Gambar 4. 6 *Fly Ash*

4.4 Alat

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Saringan Agregat

Saringan agregat digunakan untuk memisahkan butiran agregat sesuai dengan

ukurannya. Alat ini berguna dalam melakukan uji analisis saringan pada agregat halus maupun agregat kasar.



Gambar 4.7 Saringan

2. Timbangan

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



Gambar 4.8 Timbangan

3. Cetakan Slinder

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



Gambar 4.9 Cetakan Slinder

4. Alat Ukur

Alat digunakan untuk mengukur dimensi benda yang akan di uji.



Gambar 4.10 Alat Ukur

5. Ember

Ember berfungsi sebagai wadah untuk menampung bahan-bahan pembentuk beton seperti air, semen, agregat, dan material lainnya.



Gambar 4.11 Ember

6. *Stone Crusher*

Stone crusher adalah mesin yang digunakan untuk menghancurkan batu menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan, seperti agregat untuk konstruksi, material jalan, atau bahan dasar beton.



Gambar 4.12 *Stone Crusher*

7. Kerucut Abrams

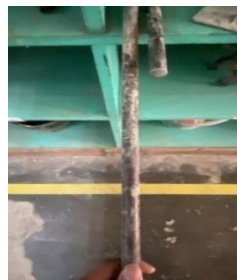
Kerucut Abrams berfungsi untuk mengukur nilai *slump* beton segar yang baru dikeluarkan dari mesin pengaduk.



Gambar 4.13 Kerucut Abrams

8. Tongkat Penumbuk

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



Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk

9. Oven

Oven dipakai untuk mengeringkan agregat halus dan kasar. Alat ini juga berguna saat melakukan pengujian berat jenis serta daya serap air pada agregat.



Gambar 4.15 Oven

10. *Mixer*

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



Gambar 4.16 Mixer

11. Mesin Uji Tekan

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



Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan

4.5 Tahap Penelitian

Untuk memastikan bahwa data penelitian yang dihasilkan ini lebih akurat, diperlukan langkah kerja yang lebih teratur dan dilakukan secara sistematis di setiap tahapannya. Prosedur ini memegang peran penting dalam mencapai tujuan penelitian.

4.5.1 Persiapan Bahan

Sebelum melakukan penelitian tersebut, dibutuhkan persiapan bahan terlebih dahulu agar mutu beton yang direncanakan sesuai dengan yang di rencanakan. Berikut merupakan persiapan yang haru dilakukan.

1. Penyediaan Material

Material seperti air, semen, agregat halus, agregat kasar, dan bahan substitusi lainnya harus dipersiapkan secara optimal untuk memastikan kualitas yang sesuai dengan perencanaan pada penelitian ini bahan substitusi yang dimaksud ialah limbah beton yang didapatkan dari hasil penghancuran beton lalu dihancurkan menggunakan *stone crusher* hingga menjadi agregat kasar dengan ukuran yang sesuai untuk digunakan kembali dalam campuran beton.

2. Pembersihan Material

Agregat halus dan agregat kasar perlu dibersihkan terlebih dahulu untuk memastikan material memenuhi standar yang diperlukan dalam campuran beton. Agregat halus harus bebas dari lumpur, sedangkan agregat kasar harus bebas dari benda asing. Proses pembersihan ini sangat penting karena material yang tidak bersih dapat memengaruhi kualitas beton. Setelah dibersihkan, material tersebut harus disimpan dalam wadah untuk menjaga kebersihannya.

3. Pengujian Material

Uji agregat agregat halus dan kasar dilakukan untuk mengetahui sifat karakteristik agregat yang akan digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian ini digunakan sebagai acuan dalam membuat rancangan campuran beton. Berikut standar pengujian agregat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Pengujian berat jenis (BJ) dan daya serap air pada agregat halus mengacu pada SNI 1970-1990.
- b. Pengujian berat jenis (BJ) dan daya serap air pada agregat kasar mengacu pada SNI 1969-2016.
- c. Pengujian analisa saringan untuk agregat halus mengacu pada SNI 1968-1990.
- d. Pengujian analisa saringan untuk agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990.
- e. Pengujian berat volume padat dan gembur pada agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998.

- f. Pengujian berat volume padat dan gembur pada agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998.
- g. Pengujian material yang lolos saringan No. 200 mengacu pada SNI 4142-1996.

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

4.5.2 *Mix Design*

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

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

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

4.5.3 Pembuatan Benda Uji

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

Tabel 4. 1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Kode Sampel	Presentase Penggunaan Limbah Beton (%)	Persentase penggunaan <i>fly ash</i> (%)	Jumlah Sampel	Total Sampel
Kuat Tekan & Modulus Elastisitas	BN	0	0	5	35
	BV1	0	15	5	
	BV2	5	15	5	
	BV3	10	15	5	
	BV4	15	15	5	
	BV5	20	15	5	
	BV5	25	15	5	
Kuat Tarik belah	BN	0	0	5	35
	BV1	0	15	5	
	BV2	5	15	5	
	BV3	10	15	5	
	BV4	15	15	5	
	BV 5	20	15	5	
	BV 6	25	15	5	

BN : Beton Normal

BV1 : Beton Variasi 0% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

BV2 : Beton Variasi 5% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

BV3 : Beton Variasi 10% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

BV4 : Beton Variasi 15% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

BV5 : Beton Variasi 20% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

BV6 : Beton Variasi 25% Limbah Beton Dan 15%*Fly Ash*

4.5.4 Perawatan Benda Uji

Berdasarkan SNI-2493-2011 tentang tata cara pembuatan dan perawatan benda uji beton, sampel dapat dikeluarkan dari cetakan paling cepat 24 jam setelah beton dituangkan. Setelah itu, sampel direndam selama 28 hari. Untuk memastikan

kondisi beton kering saat pengujian, sampel harus dikeluarkan dari rendaman satu hari sebelum pengujian dilakukan.

4.5.5 Pengujian Benda Uji

Dalam penelitian ini, pengujian kuat tekan beton akan dilakukan ketika umur beton mencapai 28 hari rendaman. Sebelum pengujian dilakukan, dimensi benda uji akan diukur terlebih dahulu untuk keperluan pengumpulan data.

4.6 Pemecahan Limbah

Pemecahan limbah beton merupakan proses mendaur ulang beton bekas dari proyek konstruksi atau pembongkaran bangunan agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai agregat atau bahan bangunan lainnya. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengurangi jumlah limbah konstruksi serta mendukung konsep pembangunan yang lebih berkelanjutan. Berikut tahapan Pemecahan Limbah Beton:

1. Pengumpulan Limbah Beton
 - Limbah beton diperoleh dari sisah pengujian mahasiswa.
2. Penyortiran dan Pembersihan
 - Memisahkan material non-beton seperti kayu, plastik, kaca, dan logam.
 - Beton yang sudah dipisahkan lalu dibersihkan.
3. Penghancuran Beton
 - Menggunakan mesin penghancur *Stone crusher*.
4. Pemisahan Ukuran Agregat
 - Agregat dengan ukuran tertentu digunakan dalam pembuatan beton baru.
5. Pemanfaatan Kembali

4.7 Prosedur Pengujian

Dalam penelitian ini, akan dilakukan berbagai pengujian selama proses penelitian. Proses pengujian akan dijelaskan dengan rinci mengikuti urutan prosedur.

4.7.1 Uji Slump

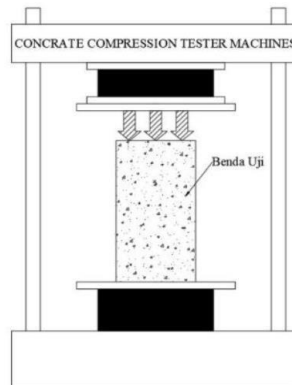
Uji slump adalah salah satu tes yang digunakan untuk mengukur konsistensi beton segar. Uji slump dilakukan sebelum beton segar dimasukkan ke dalam cetakan beton. Berikut ialah langkah-langkah untuk melakukan uji slump.

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 sekiranya selama 30 detik, lalu angkat kecurut abrams secara vertikal.
3. Lakukan pengukuran nilai slump dengan cara membalikan kerucut abrams lalu diletakkan disebelahnya, dan ukur f slump dengan penggaris (Ishaq, 2021).

4.7.2 Uji Kuat Tekan Beton

Pada pengujian ini Sampel beton yang telah mencapai umur yang ditentukan akan diuji kuat tekannya. Pengujian ini mengacu pada standar SNI 1974-2011. Berikut adalah tahapan pelaksanaan uji kuat tekan beton.

1. Benda uji dikeluarkan dari air rendaman dan didiamkan selama 24 jam agar permukaannya kering saat pengujian dilakukan.
2. Dimensi dan berat benda uji diukur untuk keperluan pengumpulan 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 (Mulyati, 2020).

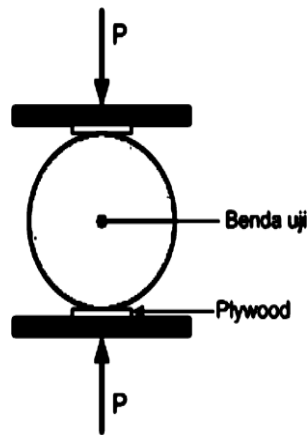


Gambar 4.18 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan Beton

4.7.3 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. Menyiapkan semua alat yang diperlukan untuk penelitian.
2. Mengukur ukuran dan berat benda uji.
3. Menandai benda uji dengan membuat garis diameter menggunakan alat bantu di kedua ujung benda uji, pastikan kedua garis berada pada bidang aksial yang sama.
4. Memasang bantalan pembebanan pada mesin uji.
5. Meletakkan benda uji di atas bantalan kayu sehingga garis tengah yang ditandai membentuk sudut 90 derajat terhadap pusat bantalan beban.
6. Menempatkan dua lapis kayu atau plywood sebagai bantalan di atas benda uji, dengan posisi pusatnya berpotongan tegak lurus dengan garis tengah di ujung silinder.
7. Atur posisi benda uji hingga mencapai kondisi di mana proyeksi dari.
8. Lalu operasikan mesin tarik belah dengan memberikan beban secara terus menerus tanpa berhenti, dengan kecepatan yang tetap antara 0,7 hingga 1,4 MPa per detik hingga benda uji terbelah menjadi dua. Lalu catat nilai beban maks yang didapat dari hasil pengujian.



Gambar 4.19 Ilustrasi Pengujian Tarik Belah Beton

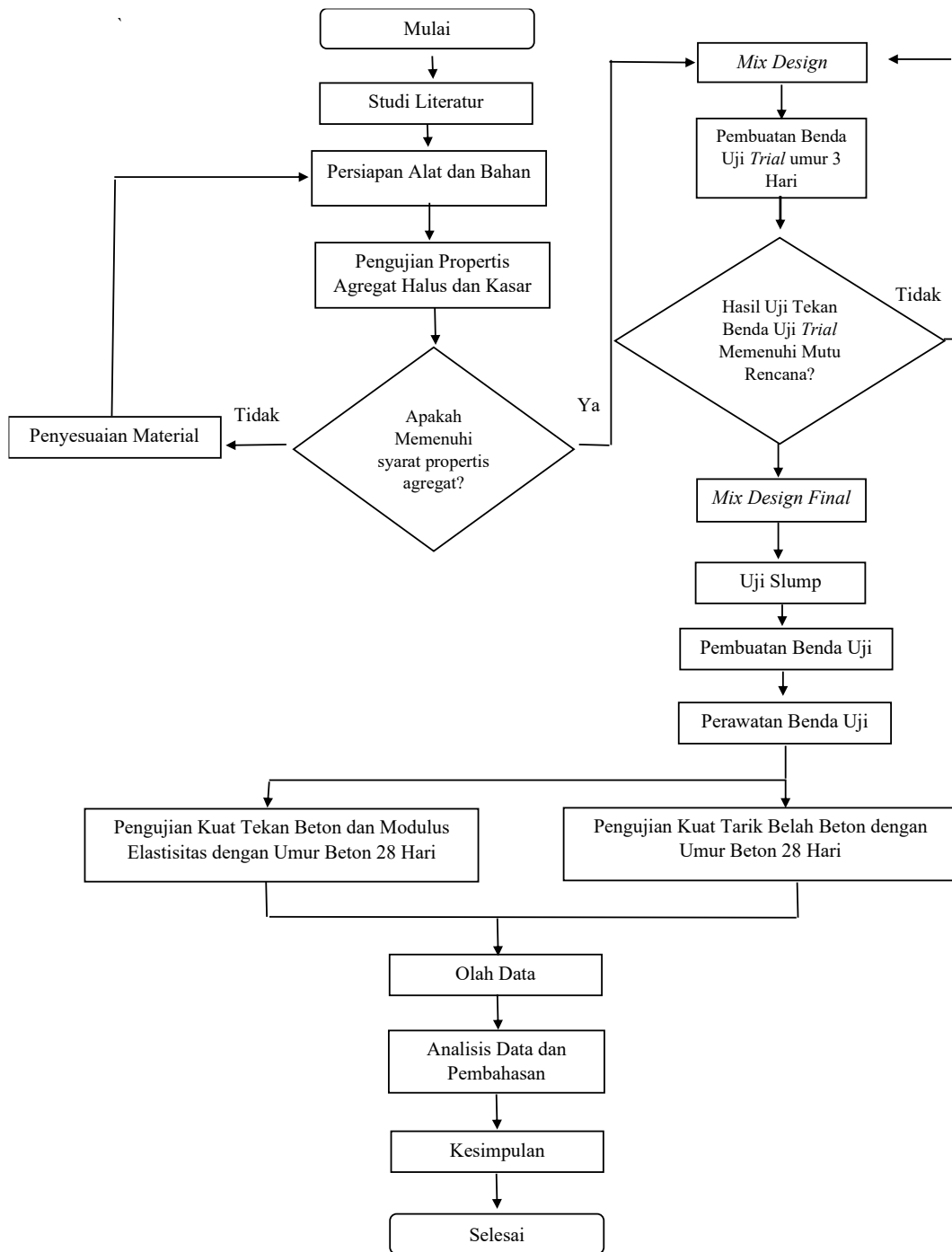
4.7.4 Uji Modulus Elastis

Berdasarkan SNI 4169-1996, modulus elastisitas didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan beton dalam kondisi elastis. Dalam penelitian ini, pengujian modulus elastisitas akan mengacu pada standar ASTM C-469-1994. Proses pengujiannya dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Pengukuran Diameter: Gunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm untuk mengukur diameter benda uji di tiga titik berbeda.
2. Pengukuran Dimensi: Ukur dimensi benda uji yang telah diberi kaping hingga mencapai ketelitian 1 mm.
3. Penimbangan: Benda uji ditimbang menggunakan timbangan dengan tingkat ketelitian 0,3%.
4. Penempatan Benda Uji: Pastikan benda uji ditempatkan secara simetris pada mesin uji tekan setelah alat pengukur deformasi terpasang.

4.8 Diagram Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian:



Gambar 4.20 Gambar Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh selanjutnya analisis dan pembahasan, yang bertujuan untuk memperoleh hasil yang telah direncanakan.

5.2 Pengujian Material

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

5.2.1 Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar diuji untuk mengetahui sifat-sifatnya. Pengujian meliputi berat jenis, analisis saringan, dan berat volume gembur serta padat.

1. Pengujian Berat Jenis

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.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} B_j \text{ curah} &= \frac{B_k}{(B_j - B)} \\ &= \frac{4820}{(5000 - 3090)} \\ &= 2,524 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Kering Muka

$$B_j \text{ jenis kering muka} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)}$$

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

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

c. Berat Jenis Semu

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

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

$$= 2,786 \text{ gram}$$

d. Penyerapan Air

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

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

$$= 3,73 \%$$

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

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4820	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3090	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,524	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,618	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,786	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,73	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,618 gram dan penyerapan air sebesar 3,73%. Nilai tersebut masih sesuai kisaran normal SNI 1970:2008 (2,5–2,8) dan di bawah batas maksimum 5%, sehingga agregat kasar dapat dikategorikan normal.

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

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 20 mm} &= \frac{15}{5000} \times 100\% \\ &= 0,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 10 mm} &= \frac{3617}{5000} \times 100\% \\ &= 72,34\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 4,8 mm} &= \frac{1244}{5000} \times 100\% \\ &= 24,88\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 2,4 mm} &= \frac{63}{5000} \times 100\% \\ &= 1,26\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 1,2 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{61}{5000} \times 100\% \\ &= 1,22\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang Ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,30\% \\ &= 0,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 10 mm} &= 0,30\% + 72,34\% \\ &= 72,64\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 4,80 mm} &= 72,64\% + 24,88\% \\ &= 97,52\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 2,40 mm} &= 97,52\% + 1,26\% \\ &= 98,78\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 1,20 mm} &= 98,78\% + 0\% \\ &= 98,78\% \end{aligned}$$

$$\text{Pan} = 98,78\% + 1,22\%$$

$$= 100\%$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\text{Lubang Ayakan 40 mm} = 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,30\% \\ &= 99,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 10 mm} &= 100\% - 72,64\% \\ &= 27,36\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 4,80 mm} &= 100\% - 97,52\% \\ &= 2,48\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 98,78\% \\ &= 1,22\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 1,20 mm} &= 100\% - 98,78\% \\ &= 1,22\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0 \end{aligned}$$

Ringkasan hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100
20,00	15	0,30	0,30	99,70
10,00	3617	72,34	72,64	27,36
4,80	1244	24,88	97,52	2,48
2,40	63	1,26	98,78	1,22
1,20	0	0,00	98,78	1,22
0,60	0	0,00	98,78	1,22

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,30	0	0,00	98,78	1,22
0,15	0	0,00	98,78	1,22
Sisa	61	1,22	100,00	0,00
Jumlah	5000,00	100,00	664.36	235,64

d. Modulus Halus Butir (MHB)

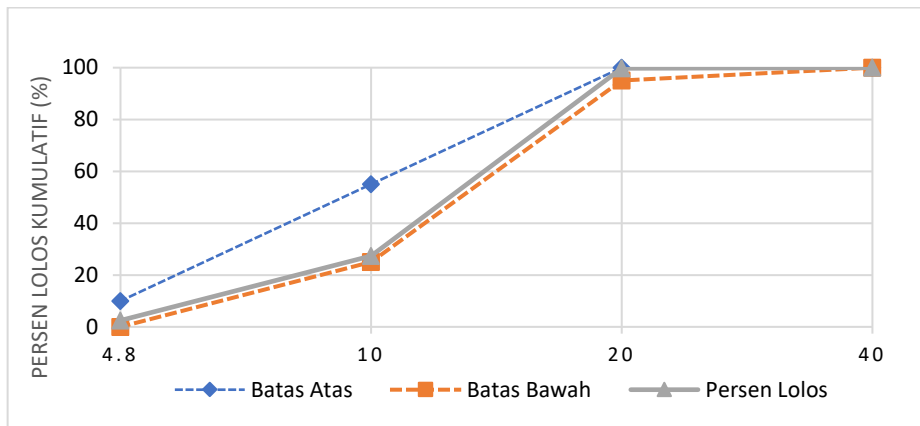
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \times 100\% \\
 &= \frac{664,36}{100} \\
 &= 6,644
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai MHB agregat kasar sebesar 6,644 yang memenuhi standar SNI S-04-1989-F yaitu 5-8. Hasil analisis saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan Tabel 5.3. Dari tabel tersebut dibuat kurva gradasi agregat kasar seperti terlihat pada Gambar 5.1.

Tabel 5.4 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 5.1 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm

Berdasarkan gambar tersebut, agregat kasar yang dipakai dalam penelitian ini memiliki diameter maksimum 20 mm.

3. Pengujian Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat kasar dalam penelitian ini mengacu pada SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 17,612 - 10,684 \\
 &= 6928 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,20^2 \times 30,1 \\
 &= 5446 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{6928}{5446} \\
 &= 1,272 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

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

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,272 gram/cm³. masih berada dalam kisaran umum menurut SNI 4804-1998 (1,2–1,5 g/cm³). Dengan demikian, agregat kasar tersebut dapat dikategorikan wajar.

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.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 18423 - 10684 \\ &= 7739 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 15,03^2 \times 30,4 \\ &= 5394 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{7739}{5394} \\ &= 1,435 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

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

Hasil pengujian menunjukkan berat volume padat agregat kasar adalah 1,435 gram/cm³. Meskipun angka ini sedikit di bawah kisaran umum SNI 4804-1998 (1,5–1,7 gram/cm³), agregat kasar tersebut tetap memenuhi kriteria minimal dan dianggap layak untuk digunakan.

5.2.2 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 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.

a. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}
 B_j \text{ curah} &= \frac{Bk}{(B+500+Bt)} \\
 &= \frac{485}{(648+500+965)} \\
 &= 2,650 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned} \text{BJ Jenuh Kering Muka} &= \frac{Bk}{(B+500+Bt)} \\ &= \frac{500}{(648+500+965)} \\ &= 2,732 \text{ gram} \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{BJ Semu} &= \frac{Bk}{(B+500+Bt)} \\ &= \frac{485}{(648+500+965)} \\ &= 2,887 \text{ gram} \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-485)}{485} \times 100\% \\ &= 2,04 \text{ \%} \end{aligned}$$

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

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	965	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	648	gram
Berat Jenis Curah	2,650	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2,732	gram
Berat Jenis semu	2,887	gram
Penyerapan Air	3,0928	%

Hasil pengujian menunjukkan berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,732 gram, yang masih dalam rentang SNI 1970:2008 (2,5–2,8). Sementara itu,

penyerapan air adalah 3,093% dengan batasan umum yang dipakai yaitu dibawah 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian analisis saringan agregat halus, data yang didapat diolah untuk menghitung nilai Modulus Halus Butir (MHB) dan menentukan zona gradasinya sesuai SNI 1968-1990. Perhitungan analisis saringan dapat dilihat pada penjelasan berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 4,8 mm} &= \frac{91}{2000} \times 100\% \\ &= 4,55\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 2,4 mm} &= \frac{155}{2000} \times 100\% \\ &= 7,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 1,2 mm} &= \frac{286}{2000} \times 100\% \\ &= 14,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 0,3 mm} &= \frac{669}{2000} \times 100\% \\ &= 33,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 0,3 mm} &= \frac{575}{2000} \times 100\% \\ &= 28,75\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 0,15 mm} &= \frac{199}{2000} \times 100\% \\ &= 9,85\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{27}{2000} \times 100\% \\ &= 1,35\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 2,4 mm} &= 4,55\% + 7,75\% \\ &= 12,30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang Ayakan 1,2 mm} &= 12,30\% + 14,30\% \\ &= 26,60\% \end{aligned}$$

Lubang Ayakan 0,6 mm	= 26,60% + 33,45%
	= 60,05%
Lubang Ayakan 0,3 mm	= 60,05% + 28,75%
	= 88,80%
Lubang Ayakan 0,15 mm	= 88,80% + 9,95%
	= 98,65%
Pan	= 98,65% + 1,35%
	= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang Ayakan 4,8 mm	= 100% - 4,55%
	= 95,45%
Lubang Ayakan 2,4 mm	= 100% - 12,30%
	= 87,70%
Lubang Ayakan 1,2 mm	= 100% - 26,60%
	= 73,40%
Lubang Ayakan 0,6 mm	= 100% - 60,05%
	= 39,95%
Lubang Ayakan 0,3 mm	= 100% - 88,80%
	= 11,20%
Lubang Ayakan 0,15 mm	= 100% - 98,65%
	= 1,35%
Pan	= 100% - 100%
	= 0

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan analisis saringan agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	91	4,55	4,55	95,45
2,4	155	7,75	12,30	87,71
1,2	286	14,30	26,60	73,43
0,6	669	33,45	60,05	39,95
0,3	575	28,75	88,80	11,20
0,15	197	9,85	98,65	1,35
Sisa	27	1,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	290,950	309,050

d. Modulus Halus Butir

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Presentase berat tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{290,950}{100} \\
 &= 2,910
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas nilai Modulus Elastisitas Butir MHB sebesar 2,910, 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 5.9 Dari tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus yang ditampilkan pada Gambar 5.2 berikut ini.

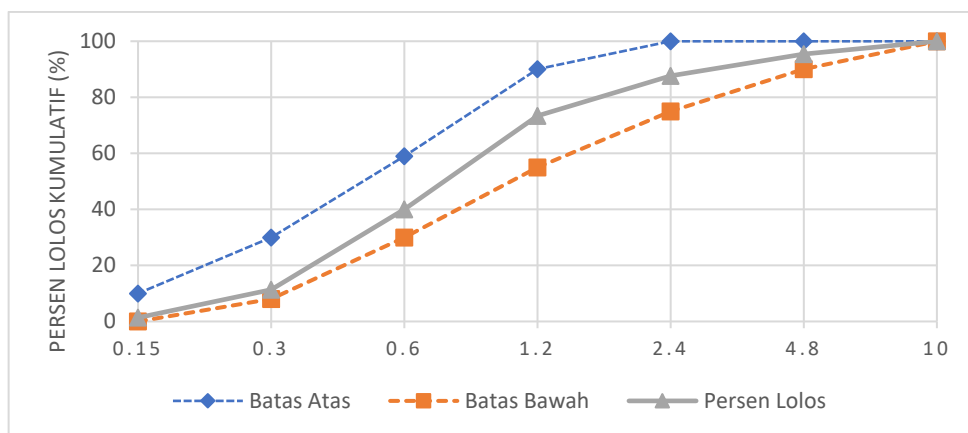
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

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

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II

Berdasarkan gambar tersebut, agregat halus yang dipakai dalam penelitian ini termasuk zona gradasi II (pasir agak halus).

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus dalam penelitian ini mengacu pada SNI 4804-1998. Berikut adalah perhitungan berat volume gembur agregat halus.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19605 - 10982 \\
 &= 8623 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 15,20^2 \times 30,01 \\
 &= 5446 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{8623}{5446}$$

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

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

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

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

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,583 gram/cm³. Nilai ini masih berada dalam rentang standar ASTM C29 (2003), yaitu 1,4–1,9 g/cm³, sehingga dapat dikategorikan memiliki berat volume gembur yang sesuai.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus dalam penelitian ini mengacu pada SNI 4804-1998. Perhitungan berat volume padat agregat halus dapat dilihat berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 20120 - 10787 \\ &= 9333 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 15,01 \times 30,38 \\ &= 5376 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9333}{5376} \\ &= 1,736 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

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

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

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

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,736 gram/cm³. Nilai ini masih berada dalam rentang standar ASTM C29 (2003), yaitu 1,5–1,7 g/cm³, sehingga agregat halus tersebut dapat dikategorikan wajar.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus dalam penelitian ini mengacu pada SNI 4142-1996. Perhitungan lolos saringan no. 200 agregat halus dapat dilihat berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - w_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 481}{500} \times 100\% \\
 &= 3,80 \%
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian lolos saringan no. 200 agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

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

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 3,80 %. masih berada di bawah batas maksimum 5% sesuai SNI 04- 1989-F. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan kadar lumpur.

5.3 Desain Campuran Beton

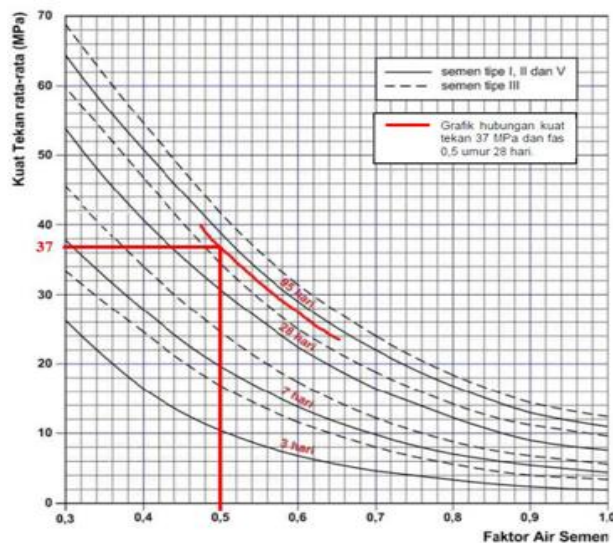
Desain campuran beton mengacu pada standar SNI 2834-2000. Perhitungan rencana campuran betonnya adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan yang direncana ($f'c$) 25 MPa.
2. Benda uji merupakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Menghitung nilai tambah sebagai berikut
$$M = 1,64 \times \text{Standar deviasi (Sr)}$$
$$= 1,64 \times 7$$
$$= 11,48 \approx 12 \text{ MPa}$$
4. Menghitung nilai mutu beton rata-rata yang ditetapkan sebagai berikut.
$$f'_{cr} = f'c + M$$
$$= 25 + 12$$
$$= 37 \text{ MPa}$$
5. Semen yang digunakan semen tipe I jenis PCC merk Tiga Roda.
6. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo dan termasuk kedalam daerah gradasi II berdasarkan pengujian analisa saringan.
7. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Progo dan memiliki ukuran maksimum 20 mm berdasarkan pengujian analisa saringan.
8. Menentukan nilai Faktor Air Semen (FAS) menggunakan Tabel 5.14 dan Gambar 5.3 yang dapat dilihat pada halaman selanjutnya.
 - a. Berdasarkan pada Tabel 5.13, ditetapkan semen portland tipe I, benda uji berupa silinder, maka perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 sebesar 37 MPa.

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)				Bentuk benda uji
		Pada umur (hari)				
		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



Gambar 5.3 Hubungan antara kuat tekan dan factor air semen (FAS)

(Sumber: SNI 2834-2000)

- b. Berdasarkan Gambar 5.3 diatas, didapatkan nilai Faktor Air Semen (FAS) sebesar 0,5.
- 9. Menetapkan nilai slump sebesar 10 ± 2 cm, sehingga termasuk dalam rentang slump 60-180 mm.

10. Diperoleh ukuran maksimum agregat berdasarkan pada hasil pengujian properties agregat, sebagai berikut.
 - a. Tipe agregat halus yang digunakan adalah batu tak dipecahkan, sedangkan untuk agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah.
 - b. Ukuran butir maksimum agregat kasar yang diperoleh sebesar 20 mm berdasarkan hasil uji analisa saringan agregat kasar.
 - c. Agregat halus termasuk ke daerah gradasi II berdasarkan hasil uji analisa saringan agregat halus
11. Nilai kadar air bebas dihitung berdasarkan Tabel 5.14

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

Diperoleh ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm dan didapatkan nilai slump 60-180 mm, sehingga diperoleh nilai untuk batu tidak pecah sebesar 195 kg/cm³ dan batu pecah sebesar 225 kg/cm³. Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut.

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

Keterangan:

W_h = Batuan Alami

Wk = Batu pecah

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

Tabel 5.15 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Jenis Pembedonan	Jumlah Semen Minimum Per-m ³ beton (KG)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk 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		Tabel 6
a. Air tawar		
b. Air laur		

Sumber: SNI 2834-2000

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

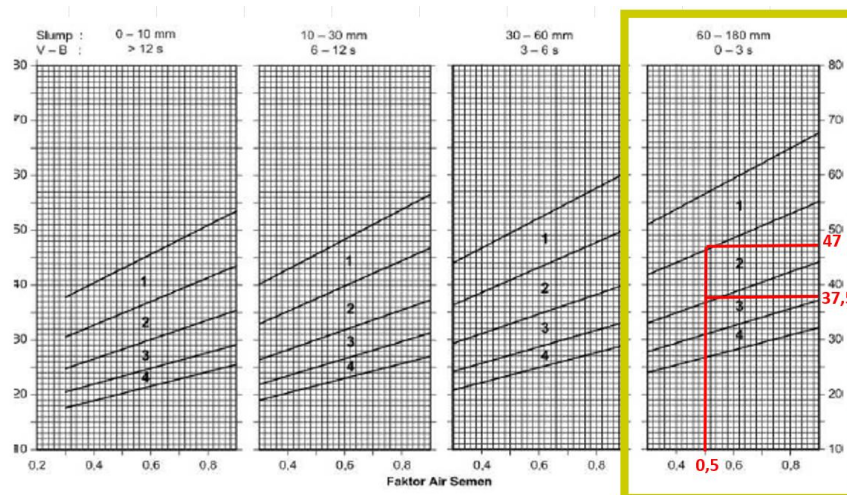
b. Menghitung kadar semen

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

c. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar semen adalah 410 kg/m³, sementara kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 275 kg/m³. Oleh karena itu, kadar semen yang digunakan adalah 410 kg/m³.

14. Menentukan persentase agregat halus terhadap total agregat.

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 II (pasir halus)



Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

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

(Sumber: SNI 2834-2000)

$$\begin{aligned} \text{Presentase agregat halus} &= \frac{(\text{batas atas} + \text{batas bawah})}{2} \\ &= \frac{(47 + 37,5)}{2} \\ &= 42,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Presentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Presentase agregat halus} \\ &= 100\% - 42,25\% \end{aligned}$$

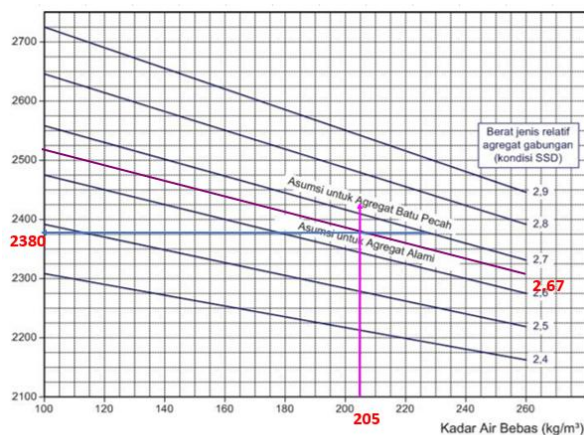
$$= 57,75\%$$

15. Menentukan berat jenis gabungan

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis gabungan} &= \% \text{ agregat halus} \times \text{bj agregat halus} + \% \text{ agregat kasar} \\ &\times \text{bj agregat kasar} \\ &= 42,25 \times 2,732 + 57,75 \times 2,618 \\ &= 2,666 \end{aligned}$$

16. Menentukan berat isi beton

- Buatlah kurva baru dengan berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,666.
- Tarik garis vertikal ke atas dari kadar air 205 kg hingga mencapai kurva yang telah dibuat pada langkah.
- Dari titik perpotongan tersebut, tarik garis horizontal ke kiri sampai didapatkan nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2380 kg/m³.



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai didapatkan

Gambar 5. 5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan
(Sumber: SNI 2834-2000)

17. Menentukan kadar agregat

- Kadar agregat gabungan = Berat isi beton – kadar semen – kadar air

$$= 2380 - 410 - 205$$

$$= 1765 \text{ kg/ m}^3$$
- Kadar agregat halus = Persen agregat halus x Kadar agregat

$$= 42,25\% \times 1765$$

$$= 745,713 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Kadar agregat kasar} &= \text{Kadar agregat} - \text{Kadar agregat halus} \\
 &= 1765 - 745,713 \\
 &= 1019,29 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

18. Proporsi campuran per 1 m³ beton

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

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

$$\text{Agregat Halus} = 745,713 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 1019,29 \text{ kg}$$

19. Proporsi campuran per 1 m³ beton dengan nilai penyusutan 25%

$$\text{Air} = 256,25 \text{ kg}$$

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

$$\text{Agregat Halus} = 929,5 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat Kasar} = 1274,109 \text{ kg}$$

20. Proporsi campuran per 10 benda uji

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= V \text{ silinder} \times B \text{ total air} \times \text{Jumlah benda uji} \\
 &= 0,0053 \times 256,25 \times 10 \\
 &= 13,58 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Semen} &= V \text{ silinder} \times B \text{ total semen} \times \text{Jumlah benda uji} \\
 &= 0,0053 \times 512,5 \times 10 \\
 &= 27,16 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat Halus} &= V \text{ silinder} \times B \text{ total ag.halus} \times \text{Jumlah benda uji} \\
 &= 0,0053 \times 929,5 \times 10 \\
 &= 49,41 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat Kasar} &= V \text{ silinder} \times B \text{ total ag.kasar} \times \text{Jumlah benda uji} \\
 &= 0,0053 \times 1270,5 \times 10 \\
 &= 67,54 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

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	7	Mpa
3	Margin (M)	12	Mpa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Batu Alam	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	Slump	60-180 (mm)	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20 (mm)	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,732	Gram
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,618	Gram
19	Persen Agregat Halus	42,25	%
20	Persen Agregat Kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,67	
22	Berat isi Beton	2380	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1765	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	745,713	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1019,29	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,12	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	931,12	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1274,11	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³

21. Proporsi kebutuhan limbah beton dan *fly ash* yang digunakan per 10 benda uji

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Limbah Beton} &= B \text{ total agregat kasar} \times 5\% \text{ (variasi substitusi)} \\
 &= 67,54 \text{ kg} \times 0,05 \\
 &= 3,377 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Agregat kasar yang digunakan per 10 benda uji yaitu.

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat kasar} &= \text{total agregat kasar} - B \text{ total limbah beton} \\
 &= 67,54 \text{ kg} - 3,377 \text{ kg} \\
 &= 64,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Fly ash 15% per 10 benda uji

$$\begin{aligned}
 \text{Fly ash} &= \text{total semen} \times 15\% \text{ (variasi fly ash)} \\
 &= 27,17 \times 0,15 \\
 &= 4,07 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Semen yang digunakan per 10 benda uji yaitu.

$$\begin{aligned}
 \text{Semen} &= \text{total semen} - \text{fly ash } 15\% \\
 &= 27,17 \text{ kg} - 4,07 \text{ kg} \\
 &= 23,09 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat total semen dan agregat halus yang digunakan dalam setiap 10 buah sampel beton dapat dilihat pada Tabel 5.17 dibawah ini.

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton dengan Limbah Beton dan Fly Ash

Kode Sampel	Jumlah Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Limbah Beton		Fly Ash	
						(kg)	%	(kg)	%
BN	10	27,17	49,2	67,3	13,5	0	0	0	0
BV1	10	23,09	49,2	67,3	13,5	0	0	4,07	15
BV2	10	23,09	49,2	64,16	13,5	3,37	5	4,07	15
BV3	10	23,09	49,2	60,79	13,5	6,75	10	4,07	15
BV4	10	23,09	49,2	57,41	13,5	10,13	15	4,07	15
BV5	10	23,09	49,2	54,03	13,5	13,5	20	4,07	15
BV6	10	23,09	49,2	50,65	13,5	16,88	25	4,07	15

5.4 Hasil Uji Coba Benda Uji

Percobaan paa pada benda uji dilakukan untuk memastikan ketepatan perencanaan campuran beton yang dibuat. Untuk pengujian, sampel yang terdiri dari tiga silinder diuji pada umur beton tiga hari. Hasil uji tekan kuat kemudian dipublikasikan. diubah menjadi umur 28 hari, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.18 di bawah ini, dengan rekapitulasi hasil pengujian tekanan kuat.

Tabel 5.18 Hasil Uji Coba Beton Normal Umur 3 Hari

No.	Kode benda uji	Dimensi Benda uji		Umur Hari	Beban Maksimum kN	Konversi 28 Hari		Kuat Tekan Rerata
		Tinggi (cm)	Diameter (cm)			kN	MPa	
1	BT-1	15,05		3	246,74	34,675		36,992
2	BT-2	15,20		3	270,32	37,243		
3	BT-3	15,40		3	291,01	39		

5.5 Pengujian *Slump*

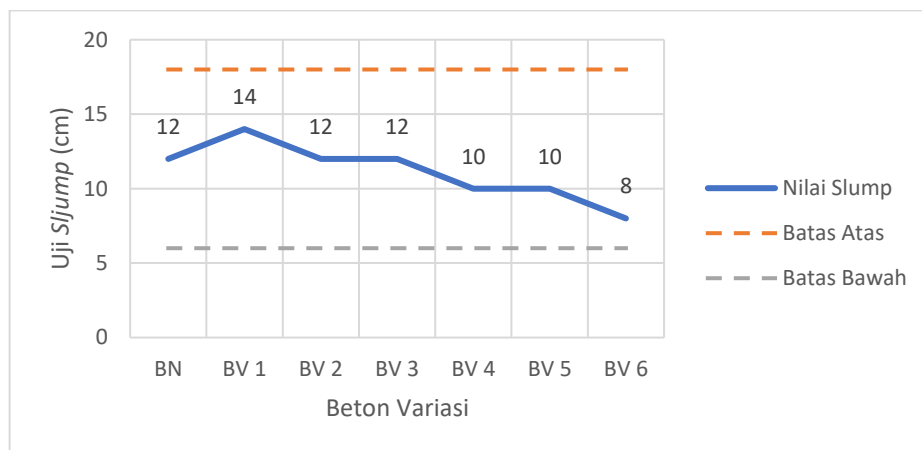
Pengujian nilai *slump* untuk mengukur kemudahan pengerjaan beton segar, nilai *slump* yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran beton lebih mudah untuk ditempatkan dan dihaluskan. Nilai *slump* yang direncanakan berada dalam rentang 60 mm hingga 180 mm. Tabel 5.19 menyajikan ringkasan hasil pengujian *slump* yang telah dilakukan.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slump*

Benda uji	Tinggi <i>Slump</i> (cm)	Ketentuan Syarat <i>Slump</i> (60-180 mm)
BN	12	Memenuhi
BV1	14	Memenuhi
BV2	12	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.20 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Slump*

Benda uji	Tinggi Slump (cm)	Ketentuan Syarat <i>Slump</i> (60-180 mm)
BV3	12	Memenuhi
BV4	10	Memenuhi
BV5	10	Memenuhi
BV6	8	Memenuhi



Gambar 5.6 Grafik Antara Nilai *Slump* dengan Variasi Beton

Berdasarkan Tabel 5.19 dan Gambar 5.6 diatas, hasil uji slump yang diperoleh dari masing-masing variasi telah memenuhi target yaitu 60 180 mm. Adapun contoh pengujian slump yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 dibawah ini



Gambar 5.7 Pengujian *Slump*

5.6 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. Nilai kuat tekan beton ditentukan berdasarkan beban maksimum yang diperoleh pada saat benda uji hancur. Dengan persamaan sebagai berikut.

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

Keterangan:

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

P = Beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = Luas penampang silinder beton $\pi D^2 / 4$ (mm²)

Contoh perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{485,53 \times 10^3}{17600,84} \\ &= 27,59 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Adapun contoh perhitungan dan hasil rekapitulasi dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 5.20 di bawah ini.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BN	149,7	300,25	0	0	485,53	17600,8	27,59	27,74
	149,1	301,7			437,27	17460,0	25,04	
	149,4	303,13			517,56	17530,4	29,52	
	149,6	300,2			479,71	17577,3	27,29	
	149,2	305,7			511,41	17483,5	29,25	
BV-01	150	303	15	0	474	17671,5	26,79	29,31
	151,35	301,2			558,2	17991,0	31,03	
	149,2	304,1			492	17483,5	28,14	
	149,4	301			532,3	17530,4	30,36	
	150	301,3			534	17671,5	30,22	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Lanjutan Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-02	152,1	302,2	15	5	575,4	18169,7	31,67	30,00
	151,2	303,3			563,8	17955,3	31,40	
	152	302,3			514	18145,8	28,23	
	150	303,0			577,8	17671,5	32,70	
	150,45	306,1			498	19223,9	25,91	
BV-03	150,15	301,2	15	10	599	17706,8	33,86	32,29
	149,23	300,3			610,9	17489,3	34,9	
	150	303,3			499	17671,5	28,12	
	150	300,3			575	17671,5	32,57	
	152,2	305			581	18193,6	31,94	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

Lanjutan Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-04	152,2	301,2	15	15	697,7	18194,6	38,48	35,12
	152,2	300,3			646	18194,6	35,52	
	150,15	303,3			616	17707,8	34,79	
	150,05	300,3			599	17683,2	33,86	
	153	305			608	18385,3	33,07	
BV-05	151	303	15	20	470	18145,8	25,90	27,73
	149,15	304,2			385,3	18157,7	21,22	
	146,45	305,2			617,7	18397,4	33,58	
	150	303			521	17683,2	29,46	
	150,35	304,2			518	18169,7	28,51	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

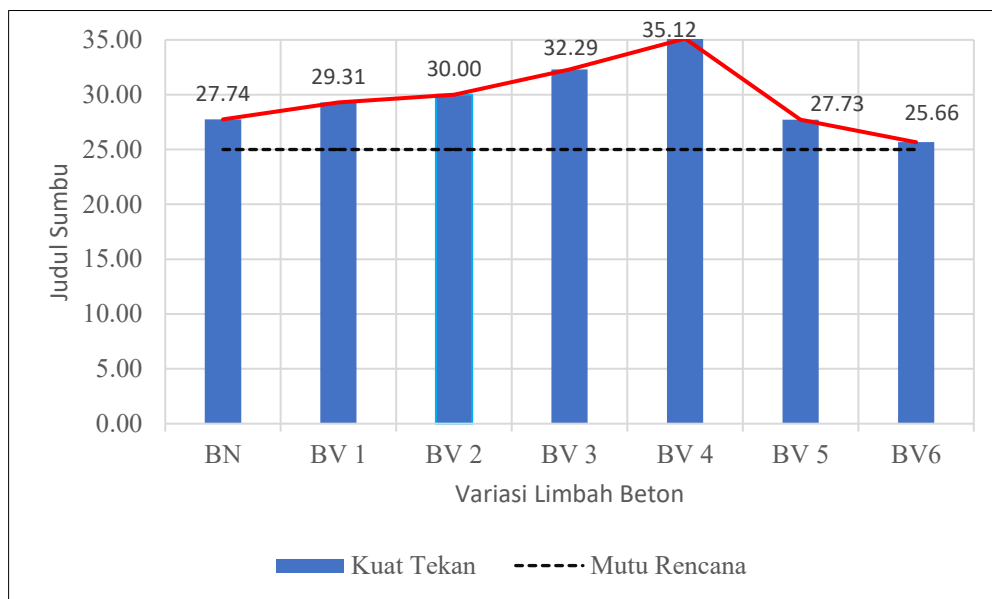
BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

Lanjutan Tabel 5.20 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-06	152	303	15	25	438,2	17471,7	25,08	25,66
	159,35	304			340	17754,0	19,6	
	153,05	305,25			430	18241,5	23,57	
	150,05	303,1			559,1	16983,2	32,92	
	152,1	304,25			475	17215,0	27,59	

Ket:

BV-06 = Beton Variasi Campuran 6



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi

5.6.1 Pembahasan

Berdasarkan hasil dari grafik uji kuat tekan diatas, dijelaskan bahwa grafik menunjukkan dampak yang baik dari substitusi limbah beton sebagai agregat kasar pada berbagai proporsi dan fly ash terhadap semen. Dari hasil kuat tekan beton normal (BN) didapatkan hasil sebesar 27,74 MPa. Pada beton BV1 (15% fly ash, 0% limbah beton) menunjukkan kuat tekan 29,31 MPa, lebih tinggi dari beton normal, hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan fly ash saja sudah memberikan hasil yang positif. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan fly ash hingga 15% mampu meningkatkan kuat tekan beton, namun penambahan yang lebih tinggi justru menurunkannya (erfan, 2020). Selain itu penggunaan limbah beton tanpa *fly ash* juga menunjukkan hasil yang positif berdasarkan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa limbah beton dengan rasio penggantian 10% pada umur 28 hari menunjukkan peningkatan kekuatan tekan yang signifikan yaitu sebesar 16.4% dari beton normal (Patah, 2022).

Peningkatan nilai kuat tekan terus terjadi secara bertahap pada BV2 (15% fly ash, 5% limbah beton) dan BV3 (15% fly ash, 10% limbah beton), dengan nilai kuat tekan 30,00 MPa dan 32,29 MPa hingga mencapai nilai optimumnya pada BV4 (15% fly ash, 15% limbah beton) sebesar 35,12 MPa dimana hasil tersebut lebih

besar 26,6% dari beton normal. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar mampu meningkatkan kuat tekan hingga variasi optimum sekitar 10–15% hingga 40,03 MPa, atau lebih tinggi 16,4% dari beton kontrol (Patah, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi limbah beton dan *fly ash* pada proporsi tertentu mampu meningkatkan kekuatan tekan melebihi beton normal maupun mutu rencana, karena campuran *fly ash* dan limbah beton saling mendukung. *Fly ash* membantu mengikat partikel semen jadi lebih padat, sedangkan limbah beton membuat campuran lebih rapat serta menambah ikatan antar butir.

Setelah mencapai nilai optimum pada BV4, Kuat tekan mengalami penurunan signifikan. Terlihat pada hasil BV5 (15% fly ash dan 20% limbah beton) kuat tekan menurun hingga 27,73 MPa, dan mengalami penurunan lagi pada BV6 (15% fly ash dan 20% limbah beton) sebesar 25,66 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan limbah beton dalam jumlah besar cenderung melemahkan struktur beton. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pengujian kuat tekan beton yang memperhatikan variasi campuran limbah beton dengan 3 variasi yaitu 25%, 50% dan 75% dari sebagian agregat kasar, maka didapatkan hasil pengujian beton pada umur 28 hari pada beton normal dengan rata-rata 22,64 MPa. Untuk variasi 25% limbah beton dengan rata-rata 18,11 MPa dengan penurunan sebesar 4,53 MPa dari beton normal. Untuk variasi 50% limbah beton dengan rata-rata 16,22 MPa dengan penurunan sebesar 6,42 MPa dari beton normal. Untuk variasi 75% limbah beton dengan rata-rata 15,47 MPa dengan penurunan sebesar 7,74 MPa dari beton normal. Maka dapat disimpulkan beton dengan variasi 25% limbah beton mencapai kuat tekan rencana dan layak digunakan. Sedangkan untuk variasi 50% dan 75%, limbah beton tidak mencapai kuat tekan rencana dan tidak layak digunakan (abidullah,2021). Hal ini dikarenakan jumlah limbah beton yang terlalu banyak membuat campuran jadi kurang padat. Limbah beton memiliki pori dan daya serap air yang tinggi, sehingga ikatan antara semen dan agregat jadi lemah.

5.7 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 5.21.

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tarik Belah BN 1} &= \frac{2 \times P \times 1000}{\pi \times d \times h} \\ &= \frac{2 \times 198 \times 1000}{\pi \times 150,45 \times 304} \\ &= 2,76 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BN	150,45	304	0	0	198	2,76	2,63
	150,5	299,1			204	2,89	
	158,4	306			187	2,46	
	151,2	304,3			189	2,62	
	156	307			182	2,42	
BV-01	153	302,4	15	0	189	2,60	2,69
	152	304,15			202	2,78	
	151,05	300,1			186	2,61	
	152,45	300			194	2,70	
	151,4	304,3			199	2,75	

Ket:

BN = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-02	150	301,2	15	5	220	3,09	2,74
	147,4	300,05			190	2,74	
	151	300,1			167	2,35	
	150,45	300			198	2,79	
	150,2	300,45			192	2,71	
BV-03	152,1	299,1	15	10	199	2,78	2,87
	149,45	300,05			209	2,97	
	150,45	300,5			205	2,89	
	150,25	300			214	3,02	
	152	300,35			194	2,71	

Ket:

BV-02 = Beton Variasi Campuran 2

BV-03 = Beton Variasi Campuran 3

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-04	152,1	299,1	15	15	204	2,85	2,97
	152	300,15			222	3,10	
	155,4	303			219	2,96	
	150	302,4			208	2,92	
	149,4	300,3			212	3,01	
BV-05	151,5	300,25	15	20	176	2,46	2,59
	151,1	304			174	2,41	
	150,15	301,45			208	2,93	
	153	302			188	2,59	
	155	304,3			189	2,55	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 2

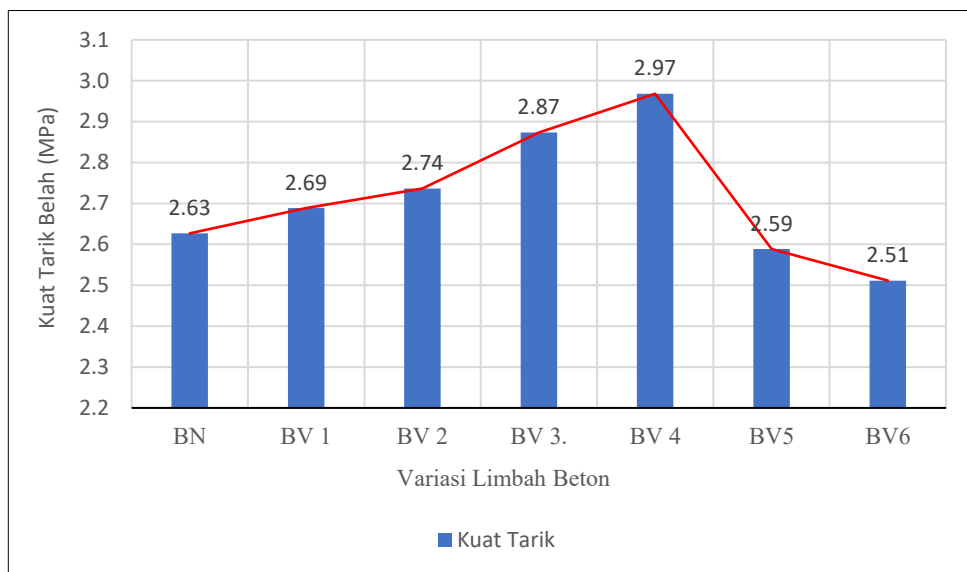
BV-05 = Beton Variasi Campuran 3

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-06	149,45	303,05	15%	25%	189	2,62	2,51
	150,05	301			198	2,79	
	152	304,15			171	2,35	
	150	300,05			177	2,50	
	153	300,4			165	2,29	

Ket:

BV-06 = Beton Variasi Campuran 6



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Variasi

5.7.1 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian dari grafik diatas, terlihat bahwa beton normal (BN) tanpa substitusi fly ash maupun limbah beton menghasilkan kuat tarik belah sebesar 2,63 MPa. Selanjutnya pada beton BV 1 (fly ash 15% dan limbah beton 0%) kuat tarik belah meningkat sedikit menjadi 2,69 MPa nilai ini lebih tinggi dari kuat tarik beton normal, hal ini membuktikan bahwa penggunaan fly ash saja sudah memberikan hasil yang positif. Hasil pengujian ini sejalan dengan temuan jurnal terdahulu yang dimana kuat tarik belah beton dengan variasi kadar fly ash sebesar 15%, 30%, dan 40% secara berurutan menghasilkan nilai 3,87 MPa, 2,34 MPa, dan 2,08 MPa. Secara proporsional, nilai kuat tarik belah tersebut setara dengan 10,16%, 6,89%, dan 6,32% dari kuat tekan beton masing-masing (Kuncoro, 2021).

Peningkatan terus terjadi pada BV2 (fly ash 15% dan limbah beton 5%) dengan nilai 2,74 MPa, dan BV3 (fly ash 15% dan limbah beton 10%) sebesar 2,87 MPa, dengan nilai tertinggi kuat tarik belah diperoleh pada BV4 (fly ash 15% dan 15% limbah beton) yaitu 2,97 MPa. Hasil ini sejalan dengan jurnal, yang dimana substitusi agregat daur ulang yang dikombinasikan dengan penambahan fly ash terbukti mampu meningkatkan kuat tarik belah

beton (Gunasekar & Ramesh, 2023). Namun, setelah itu nilai kuat tarik belah mengalami penurunan dimana BV5 (fly ash 15% dan limbah beton 20%) hanya mencapai 2,59 MPa, dan BV6 (fly ash 15% dan limbah beton 25%) menurun lagi menjadi 2,51 MPa. Hasil ini selaras dengan jurnal yang mengindikasikan bahwa penggunaan agregat daur ulang dalam proporsi yang berlebihan dapat mengurangi nilai kuat tarik belahnya (Qureshi, 2016).

5.8 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

1. Perhitungan modulus elastisitas beton dilakukan berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan teoritis. Pengujian dilakukan dengan menekan silinder beton hingga mengalami deformasi. Prosedur pengujian modulus elastisitas sama dengan uji kuat tekan, yaitu menekan silinder beton menggunakan mesin CTM sampai beban maksimum. Pada silinder dipasang kompressiometer yang terhubung dengan dial gauge digital untuk mengukur penurunan beton selama pembebanan. Pembacaan dial dilakukan setiap penambahan beban 10 kN. Pengujian ini menghasilkan data tegangan dan regangan aksial akibat pembebanan. Berikut adalah perhitungan nilai tegangan dan regangan pada beban 10 kN untuk BN (Beton Normal 1).

2. Perhitungan Nilai Deformasi (ΔL)

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{2}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,001 \text{ mm}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Regangan (ϵ)

$$\begin{aligned}\epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,001}{200} \\ &= 0,0005\%\end{aligned}$$

4. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

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

$$= \frac{10000}{17600,84}$$

$$= 0,57 \text{ MPa}$$

Adapun hasil rekapan dari perhitungan pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.23 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0,001	0,001%	0,57
20	11	0,0055	0,003%	1,14
30	20	0,01	0,005%	1,70
40	29	0,0145	0,007%	2,27
50	38	0,019	0,010%	2,84
60	48	0,024	0,012%	3,41
70	56	0,028	0,014%	3,98
80	63	0,0315	0,016%	4,55
90	71	0,0355	0,018%	5,11
100	80	0,04	0,020%	5,68
110	89	0,0445	0,022%	6,25
120	98	0,049	0,025%	6,82
130	105	0,0525	0,026%	7,39
140	113	0,0565	0,028%	7,95
150	124	0,0615	0,031%	8,52
160	130	0,065	0,033%	9,09
170	140	0,07	0,035%	9,66
180	151	0,0755	0,038%	10,23
190	161	0,0805	0,040%	10,79
200	170	0,085	0,043%	11,36

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN

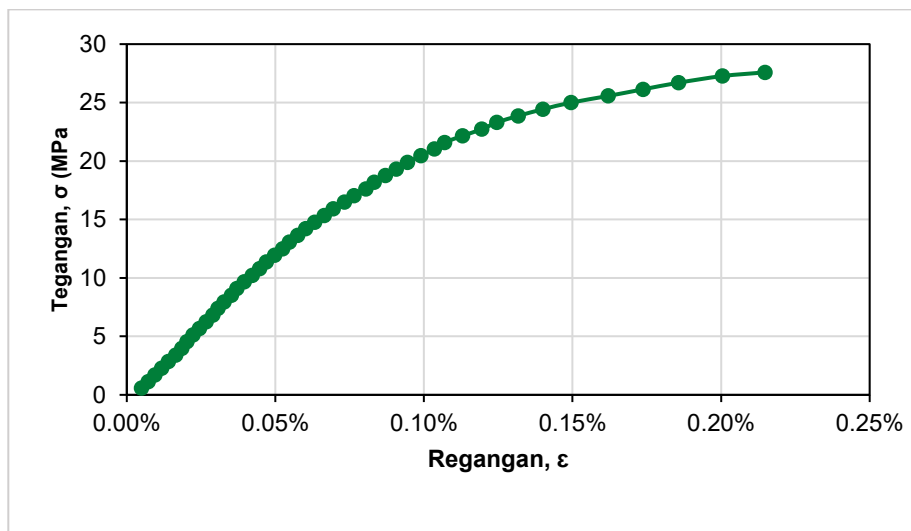
Beban (kN)	Ekstensiometer $\times 10^3$ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
210	181	0,0905	0,045%	11,93
220	192	0,096	0,048%	12,50
230	201	0,1005	0,050%	13,07
240	212	0,106	0,053%	13,64
250	223	0,1115	0,056%	14,20
260	235	0,1175	0,059%	14,77
270	248	0,124	0,062%	15,34
280	260	0,13	0,065%	15,91
290	275	0,1375	0,069%	16,48
300	288	0,144	0,072%	17,04
310	304	0,152	0,076%	17,61
320	315	0,1575	0,079%	18,18
330	330	0,165	0,083%	18,75
340	345	0,1725	0,086%	19,32
350	360	0,18	0,090%	19,89
360	378	0,189	0,095%	20,45
370	396	0,198	0,099%	21,02
380	410	0,205	0,103%	21,59
390	434	0,217	0,109%	22,16
400	460	0,23	0,115%	22,73
410	480	0,24	0,120%	23,29
420	509	0,2545	0,127%	23,86
430	542	0,271	0,136%	24,43
440	580	0,29	0,145%	25,00
450	630	0,315	0,158%	25,57
460	677	0,3385	0,169%	26,14
470	725	0,3625	0,181%	26,70

Lanjutan Tabel 5.22 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN 1

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
480	784	0,392	0,196%	27,27
485.5	841	0,4205	0,210%	27,58

Adapun pemilihan pada dua titik beban yaitu 150 kN dan 200 kN yang didasarkan pada perhitungan yang sesuai definisi modulus elastisitas beton menurut ASTM C-469-94 (modulus pengujian). Dilihat pada titik 200 kN dipilih karena nilainya yang paling mendekati 40% dari beban maksimum (485,5 kN). Sedangkan untuk titik 150 kN karena sebagai titik terdekat dan terjelas untuk menarik garis lurus yang dimulai dari regangan awal 0,0005 dan berakhir di regangan ϵ_2 (0,043). Ketika diplot, ia merupakan titik paling akurat yang berkorespondensi dengan regangan awal setelah di interpolasi atau dikoreksi melalui autocad.

Didapatkan juga grafik hubungan antara regangan dan tegangan berdasarkan tabel 5.22. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5.10 Grafik Kurva Tegangan Regangan

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada gambar 5.10 dan data yang tertera tabel 5.22 di atas, dilakukan perhitungan modulus elastisitas dengan metode ASTM C469-94 di bawah ini.

$$E_{uji} = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

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

Standar ASTM C469-94 menetapkan regangan 0,00005 sebagai acuan awal dalam penentuan modulus elastisitas beton, karena pada kondisi tersebut beton masih berada dalam zona perilaku linier. Nilai regangan awal ini pada prinsipnya tidak bersifat mutlak, melainkan dapat disesuaikan selama tetap berada dalam batas elastis linier material. Hal ini sejalan dengan karakteristik beton yang umumnya memperlihatkan hubungan linier antara tegangan dan regangan pada regangan rendah.

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{150000}{17600.84} \\ &= 8,52 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{200000}{17600,84} \\ &= 11.36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,062}{200} \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,085}{200} \\
&= 0,0425 \\
E_{uji} &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\
&= \frac{11,36 - 8,52}{0,0425 - 0,031} \\
&= 24702,37 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
E_{teori} &= 4700 \sqrt{f_c} \\
&= 4700 \sqrt{27,59} \\
&= 24685,34 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Berdasarkan gambar 5.10 di atas, nilai modulus elastisitas untuk beton BN (Beton Normal) dengan umur 28 hari pada sampel 1 adalah sebesar 24702,37 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 BN dengan umur 28 hari pada sampel 1, diperoleh modulus elastisitas teoretis sebesar 24685,34 MPa. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk semua varian sampel dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.24 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	27,59	24702,37	24685,34	26399,48	24743,35
		2	25,04	25454,95	23520,69		
		3	29,52	27244,83	25537,75		
		4	27,29	25285,08	24553,35		
		5	29,25	28096,72	25419,60		
BV-01	28 Hari	1	26,79	26407,93	24328,85	27391,01	25435,28
		2	31,03	27411,00	26179,74		
		3	28,14	27163,74	24932,55		
		4	30,36	27163,74	25898,85		
		5	30,22	28808,65	25836,42		

Ket:

BN . = Beton Normal

BV-01 = Beton Variasi Campuran 1

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-02	28 Hari	1	31,67	30820,50	26448,96	28183,63	25693,19
		2	31,09	28494,48	26205,72		
		3	28,33	27214,35	25014,45		
		4	32,70	27906,62	26875,12		
		5	25,91	26482,22	23921,70		
BV-03	28 Hari	1	33,83	28961,75	27336,38	29263,75	26691,85
		2	34,93	29647,71	27777,71		
		3	28,24	29102,62	24975,37		
		4	32,54	28896,22	26809,92		
		5	31,93	29710,44	26559,89		

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	38,35	32478,91	29105,34	31498,68	27843,14
		2	35,51	32331,95	28006,22		
		3	34,79	31626,23	27721,58		
		4	33,87	31047,45	27354,60		
		5	33,07	30008,84	27027,96		
BV-05	28 Hari	1	25,90	26073,10	23919,84	26491,73	24682,12
		2	21,22	25916,62	21650,40		
		3	33,58	27560,53	27233,81		
		4	29,46	25390,12	25511,49		
		5	28,51	27518,31	25095,08		

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

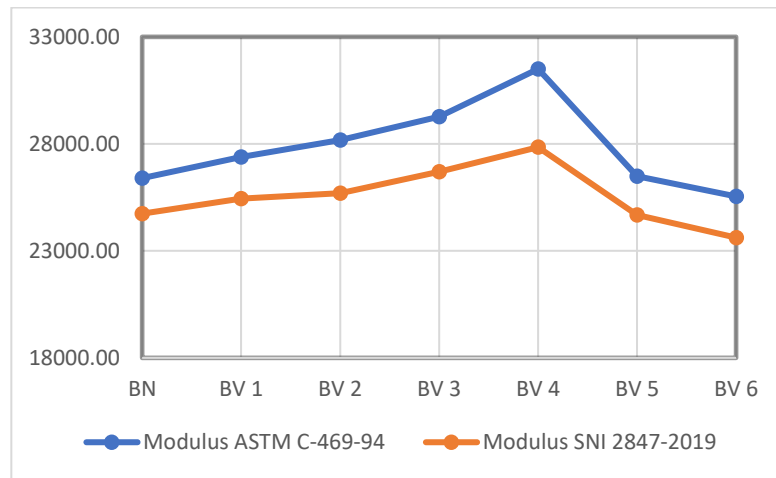
BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

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-06	28 Hari	1	25,08	26709,78	23537,80	25544,42	24134,31
		2	24,61	25917,85	23316,53		
		3	23,57	23647,91	22819,29		
		4	32,92	28672,81	26967,00		
		5	26,14	22773,77	24030,93		

Ket:

BV-06 = Beton Variasi Campuran 6



Gambar 5.11 Hubungan Modulus Elastisitas Beton dengan Variasi

5.8.1 Pembahasan

Berdasarkan gambar 5.11 diatas, dapat diketahui bahwa nilai modulus elastisitas dari hasil pengujian selalu lebih tinggi dibandingkan dengan hasil nilai modulus elastisitas dari hasil teoritis untuk setiap variasi, Berdasarkan hasil dari pengujian terlihat bahwa modulus elastisitas tertinggi terjadi pada BV4. Namun, saat persentase limbah beton meningkat pada BV5, terjadi penurunan yang cukup signifikan, dan penurunan berlanjut pada BV6. Sebaliknya, pada BV1, sampai BV3 nilai modulus elastisitasnya menunjukkan tren peningkatan secara bertahap. Hal ini yang sama juga terlihat pada modulus elastisitas teoritis, dimana nilai tertinggi terdapat pada BV4, kemudian menurun pada BV5 dan BV6. Metode pengujian dan teoritis memiliki selisih dengan rata-rata sebesar 8%. Hal ini di karenakan metode SNI 2847-2019 bersifat teoritis sehingga memberikan estimasi yang selalu tidak sesuai dengan kondisi aktual beton di lapangan, sehingga cenderung lebih rendah dibandingkan dengan hasil pengukuran langsung. Sementara metode ASTM C-469-94 yang digunakan dalam pengujian laboratorium mengukur deformasi beton secara aktual sehingga hasilnya lebih spesifik dan akurat. Selain itu juga dapat terjadi dikarenakan faktor sifat material, umur beton serta perawatan, dan juga sifat dari material substitusi fly ash dan limbah beton itu sendiri.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagaia berikut.

1. Penggunaan substitusi parsial agregat kasar dengan limbah beton dan semen dengan *fly ash* sebesar 15% terbukti berpengaruh positif terhadap sifat mekanis beton (kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas). Hal ini dapat terjadi karena campuran *fly ash* dan limbah beton membuat beton jadi lebih padat dan kuat. *Fly ash* yang halus dapat mengisi rongga-rongga sehingga beton tidak mudah retak dan limbah beton dengan permukaan yang kasar dapat meningkatkan ikatan antar butiran agregat.
2. Kadar variasi optimal diperoleh pada campuran dengan substitusi parsial 15% fly ash dan 15% limbah beton (BV4). Pada variasi ini, kuat tekan beton meningkat sekitar 26,6% dibanding beton normal, yaitu dari 27,74 MPa menjadi 35,12 MPa. Sementara itu, kuat tarik belahnya juga mengalami kenaikan sebesar 13% yaitu 2,63 MPa menjadi 2,97 MPa dan modulus elastisitas tertinggi berdasarkan ASTM C469-94.

6.2 Saran

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

1. Subtitus fly ash tetap 15% dengan penambahan limbah beton bertahap. Penelitian kedepannya disarankan untuk mengeksplorasi variasi persentase fly ash yang berbeda sehingga dapat diperoleh komposisi paling optimal antara fly ash dan limbah beton.

2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan perlakuan awal, pada limbah beton guna meningkatkan kualitas limbah beton agar lebih lebih baik hasilnya.
3. Melakukan penelitian lebih lanjut terkait sumber limbah beton yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidullah, (2021) Pengaruh Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kuat Beton.
- Efendi, Y. A. R. (2024). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton Mutu $f_c'30$ Mpa*.
- Gunasekar, S., & Ramesh, N. (2023). Effect of Fly Ash on the Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 43, 544–550. <https://doi.org/10.3233/ATDE230762>
- American Standard Testing and Material. (1994). *ASTM C-469-1994 Modulus of Elasticity* (pp. 1–4).
- ASTM C 29. (2003). ASTM C 29/C 29M – 97. Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. *ASTM International*, 97(Reapproved), 4. <http://www.c-s-h.ir/wp-content/uploads/2014/12/C-29.pdf>
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Sni 2847-2019*, 8, 720.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1989). SNI 04-1989-F. *齐鲁学刊*, 06, 49–54.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1990a). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1990b). Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Bandung: Badan Standardisasnisi Indonesia*, 1–17.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1996). *Standar Nasional Indonesia (SNI 03-4142-1996) Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregate yang Lolos Saringan nomor 200 (0,0075 mm)*. 200, 1–4.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. *Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*, 1–6.

- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Sni*, 3, 2834.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2008). *Cara Uji Slump Beton SNI-1972. (2008). Cara Uji Slump Beton.*
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011a). *Badan Standarisasi Nasional Cara Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.*
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2011b). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 23. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 1969:2016 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20. <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-1969-2016-metode-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar/KB19B>
- Ishaq, M. N. R. Y. T. A. (2021). *Pengaruh Limbah Pecahan Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton.* 6(2). <https://doi.org/10.35134/jcivil.v3i2.001-006>
- Kuncoro, F. B. (2021). Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal. *Matriks Teknik Sipil*, 9(3), 170. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i3.54494>
- Kusumawardhana, I. (2018). Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Normal. In *Jurnal Publikasi*.
- Maulana, T. I. K. (2020). Pengaruh Penggunaan Beton Recycle Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dan Penambahan Fly Ash Terhadap Beton Normal.
- Mulyati. (2014). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Momentum*, 16(2).
- Mulyati, Z. A. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7.
- Naim, A. J., Fuad, I. S., & Asmawi, B. (2018). Pengaruh Penambahan Serat Buah Pinang Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 6(2).

- Patah, D. (2022). Pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada kekuatan beton. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2). <https://doi.org/10.32487/jtt.v10i2.1580>
- Permatasari. (2019). *Pengaruh bahan tambah batu bata merah terhadap kuat tekan beton fc'21 menggunakan agregat kasar pt. Amr dan agregat halus desa sunggup kota baru* (Vol. 8, Issue 2).
- Qureshi, L. A., Munir, M. J., Mubeen, T., & Tasaddiq, R. M. (n.d.). *Effect of Using Recycled Concrete as Coarse Aggregate on Tensile and Flexural Strength of Concrete*.
- Roostrianawaty, N. (n.d.). Optimasi penggunaan “fly ash” dengan kadar semen minimum pada beton mutu tinggi.
- Setiawati. (2018). Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2018*.
- Sulianti, I., & Shaputra, R. (2018). Analisis Pengaruh Besar Butiran Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Normal: Ika Sulianti, Amiruddin, Rio Shaputra, Daryoko. *Forum Mekanika*, 7(1).
- Widodo, Prof. Dr. Ir. (2024, October 12). *Pengembangan Material Beton Dalam Pembangunan Infrastruktur Berkelanjutan*. Universitas Negeri Yogyakarta (UNY).
- Zakirullah, M. (2024). *Analisa Penggunaan Fly Ash Pltu Ombilin Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton*. 9(1). <https://doi.org/10.35134/jcivil.v9i1.68>
- Zein. (2018). Substitusi Fly Ash pada Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *SNTT-VI (Seminar Nasional Teknologi Terapan)*.
- Zulkarnain, F. (2021). *TEKNOLOGI BETON*. <http://umsupress.umsu.ac.id>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt)	965	gram
Berat piknometer berisi air, (B)	648	gram
Berat Jenis Curah	2,650	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD)	2,732	gram
Berat Jenis semu	2,887	gram
Penyerapan Air	3,0928%	%

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) ANALISIS
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	91	4,55	4,55	95,45
2,4	155	7,75	12,30	87,71
1,2	286	14,30	26,60	73,43
0,6	669	33,45	60,05	39,95
0,3	575	28,75	88,80	11,20
0,15	197	9,85	98,65	1,35
Sisa	27	1,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	290,950	309,050

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{309,241}{100} \\
 &= 2,90 \text{ (Memenuhi syarat yaitu: 1,5 – 3,8)}
 \end{aligned}$$

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

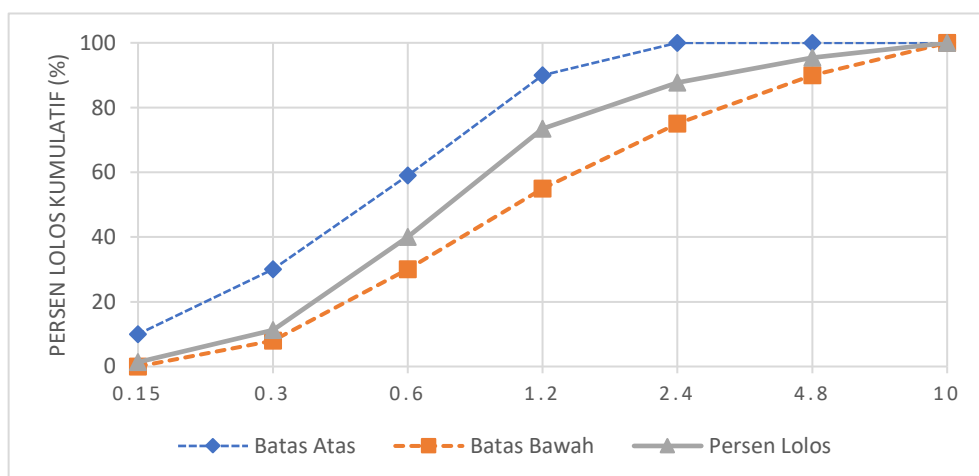
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah II (Pasir Agak Halus)

Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10982	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19605	gram
Berat Agregat (W3)	8623	gram
Diameter Tabung (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung (t)	30,01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm ³
Berat Volume Gembur	1.583	gram/cm ³

$$\begin{aligned}\text{Berat volume gembur} &= \frac{8623}{5446} \\ &= 1,583 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

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

$$\begin{aligned}\text{Berat volume padat} &= \frac{9333}{5376} \\ &= 1,736 \text{ gram/cm}^3\end{aligned}$$

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)	481	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3.80	%

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar
PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT
KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4820	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3090	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,524	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,618	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,786	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,73%	%

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

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

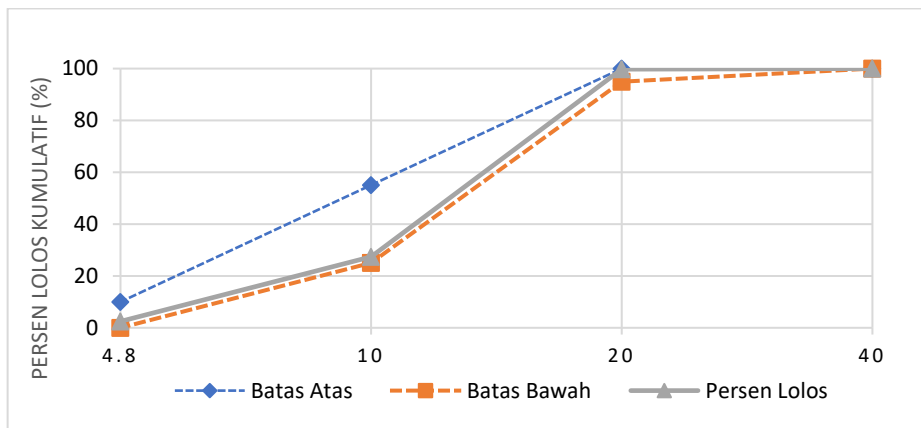
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100
20,00	15	0,30	0,30	99,70
10,00	3617	72,34	72,64	27,36
4,80	1244	24,88	97,52	2,48
2,40	63	1,26	98,78	1,22
1,20	0	0,00	98,78	1,22
0,60	0	0,00	98,78	1,22
0,30	0	0,00	98,78	1,22
0,15	0	0,00	98,78	1,22
Sisa	61	1,22	100,00	0,00
Jumlah	5000,00	100,00	664.36	235,64

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{664,37}{100} \\ &= 6,643 \text{ (Memenuhi syarat yaitu: (5-8))} \end{aligned}$$

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 Maks 20 mm



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

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

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

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

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Limbah Beton
PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN LIMBAH BETON

Asal Limbah	LAB UNIVERSITA ISLAM INDONESIA
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4820	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3026	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.442	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.533	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.687	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3.73%	%

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISIS
SARINGAN LIMBAH BETON**

Asal Limbah	LAB UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Keperluan	Tugas Akhir

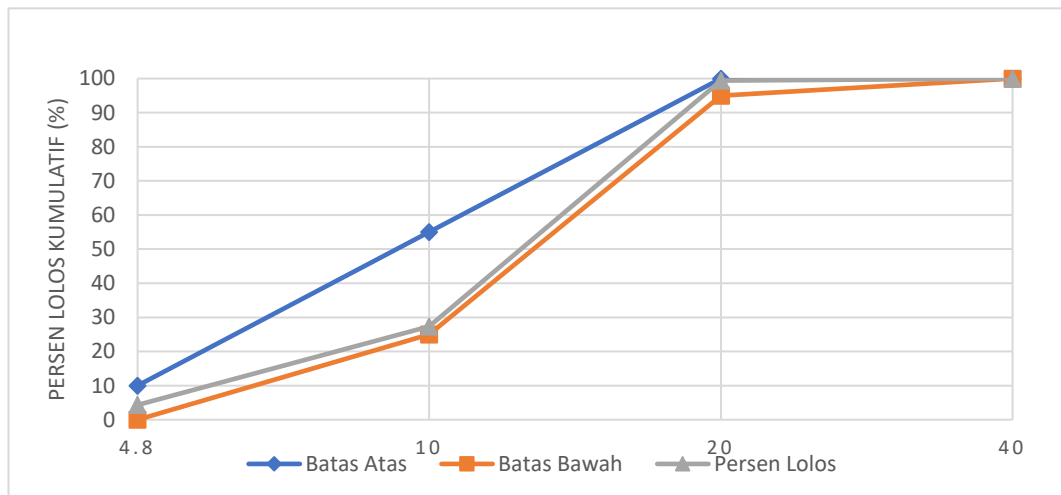
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0.00	0.00	100.00
20,00	29	0.58	0.58	99.42
10,00	3600	72.07	72.65	27.35
4,80	1150	23.02	95.68	4.32
2,40	155	3.10	98.78	1.22
1,20	61	1.22	100.00	0.00
0,60	0	0.00	100.00	0.00
0,30	0	0.00	100.00	0.00
0,15	0	0.00	100.00	0.00
Sisa	0	0.00	100.00	0.00
Jumlah	4995	100	667.69	232.31

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{667,69}{100} \\ &= 6,68 \text{ (Memenuhi syarat yaitu: 5-8)} \end{aligned}$$

GRADASI LIMBAH BETON

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 Limbah Beton Maks 20 mm



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR LIMBAH BETON

Asal Limbah	LAB UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	11245	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17599	gram
Berat Agregat (W3)	6354	gram
Diameter Tabung (d)	15.20	cm
Tinggi Tabung (t)	30.01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm ³
Berat Volume Gembur	1.167	gram/cm ³

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT LIMBAH BETON

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	11245	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18984	gram
Berat Agregat (W3)	7739	gram
Diameter Tabung (d)	15.03	cm
Tinggi Tabung (t)	30.4	cm
Volume Tabung (V)	5394	cm ³
Berat Volume Gembur	1.435	gram/cm ³

Lampiran 4 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 1	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus	Batu Alam	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	Slump	60-180 (mm)	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20 (mm)	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum		kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
16	Fas disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,7322	Gram
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,618	Gram
19	Persen Agregat Halus	42,25	%
20	Persen Agregat Kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,67	
22	Berat isi Beton	2380	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1765	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	745,713	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1019,29	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,5	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	931,12	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1274,11	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³

Lampiran 5 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	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BN	149,7	300,25	0	0	485,53	17600,8	27,59	27,74
	149,1	301,7			437,27	17460,0	25,04	
	149,4	303,13			517,56	17530,4	29,52	
	149,6	300,2			479,71	17577,3	27,29	
	149,2	305,7			511,41	17483,5	29,25	
BV-01	150	303	15	0	474	17671,5	26,79	29,31
	151,35	301,2			558,2	17991,0	31,03	
	149,2	304,1			492	17483,5	28,14	
	149,4	301			532,3	17530,4	30,36	
	150	301,3			534	17671,5	30,22	

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	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-02	152,1	302,2	15	5	575,4	18169,7	31,67	30,00
	151,2	303,3			563,8	17955,3	31,40	
	152	302,3			514	18145,8	28,23	
	150	303,0			577,8	17671,5	32,70	
	150,45	306,1			498	19223,9	25,91	
BV-03	150,15	301,2	15	10	599	17706,8	33,86	32,48
	149,23	300,3			610,9	17489,3	34,9	
	150	303,3			499	17671,5	28,12	
	150	300,3			575	17671,5	32,57	
	152,2	305			581	18193,6	31,94	

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	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-04	152,2	301,2	15	15	697,7	18194,6	38,48	35,12
	152,2	300,3			646	18194,6	35,52	
	150,15	303,3			616	17707,8	34,79	
	150,05	300,3			599	17683,2	33,86	
	153	305			608	18385,3	33,07	
BV-05	151	303	15	20	470	18145,8	25,90	27,73
	149,15	304,2			385,3	18157,7	21,22	
	146,45	305,2			617,7	18397,4	33,58	
	150	303			521	17683,2	29,46	
	150,35	304,2			518	18169,7	28,51	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 4

BV-05 = Beton Variasi Campuran 5

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Luas (mm ²)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton			Unit	Rata-Rata
BV-06	152	303	15	25	438,2	17471,7	25,08	25,66
	159,35	304			340	17754,0	19,6	
	153,05	305,25			430	18241,5	23,57	
	150,05	303,1			559,1	16983,2	32,92	
	152,1	304,25			475	17215,0	27,59	

Ket:

BV-06 = Beton Variasi Campuran 6

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-02	150	301,2	15	5	220	3,09	2,74
	147,4	300,05			190	2,74	
	151	300,1			167	2,35	
	150,45	300			198	2,79	
	150,2	300,45			192	2,71	
BV-03	152,1	299,1	15	10	199	2,78	2,87
	149,45	300,05			209	2,97	
	150,45	300,5			205	2,89	
	150,25	300			214	3,02	
	152	300,35			194	2,71	

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 Tarik (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-04	152,1	299,1	15	15	204	2,85	2,97
	152	300,15			222	3,10	
	155,4	303			219	2,96	
	150	302,4			208	2,92	
	149,4	300,3			212	3,01	
BV-05	151,5	300,25	15	20	176	2,46	2,59
	151,1	304			174	2,41	
	150,15	301,45			208	2,93	
	153	302			188	2,59	
	155	304,3			189	2,55	

Ket:

BV-04 = Beton Variasi Campuran 2

BV-05 = Beton Variasi Campuran 3

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)		Beban Maks (kN)	Kuat Desak (MPa)	
			Fly Ash	Limbah Beton		Unit	Rata-Rata
BV-06	149,45	303,05	15%	25%	189	2,62	25,51
	150,05	301			198	2,79	
	152	304,15			171	2,35	
	150	300,05			177	2,50	
	153	300,4			165	2,29	

Ket:

BV-06 = Beton Variasi Campuran 6

Lampiran 7 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastis

Modulus Elastisitas BN 1

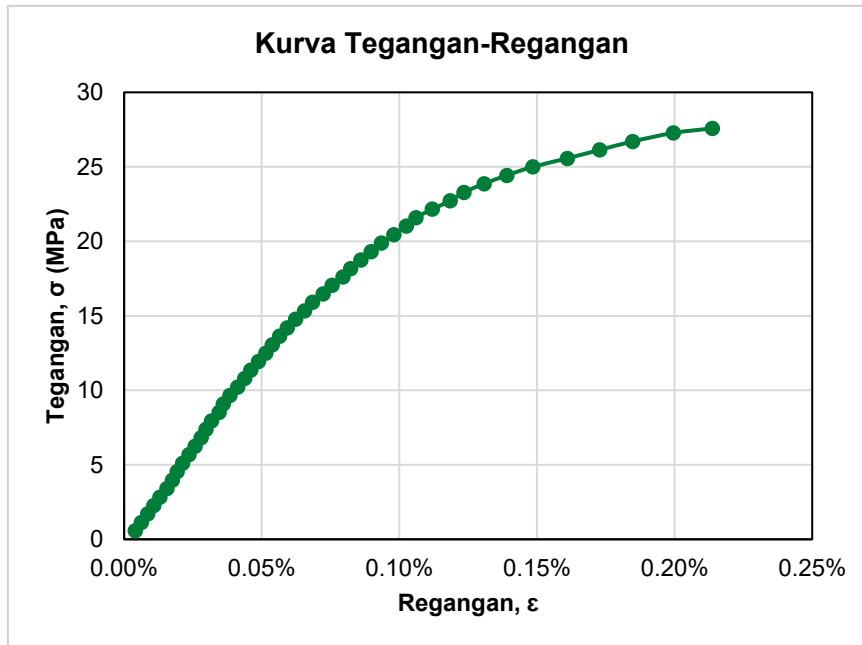
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer $\times 10^3$ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
10	2	0,001	0.001%	0.57
20	11	0,0055	0.003%	1.14
30	20	0,01	0.005%	1.70
40	29	0,0145	0.007%	2.27
50	38	0,019	0.010%	2.84
60	48	0,024	0.012%	3.41
70	56	0,028	0.014%	3.98
80	63	0,0315	0.016%	4.55
90	71	0,0355	0.018%	5.11
100	80	0,04	0.020%	5.68
110	89	0,0445	0.022%	6.25
120	98	0,049	0.025%	6.82
130	105	0,0525	0.026%	7.39
140	113	0,0565	0.028%	7.95
150	124	0,0615	0.031%	8.52
160	130	0,065	0.033%	9.09
170	140	0,07	0.035%	9.66
180	151	0,0755	0.038%	10.23

190	161	0,0805	0.040%	10.79
200	170	0,085	0.043%	11.36
210	181	0,0905	0.045%	11.93
220	192	0,096	0.048%	12.50
230	201	0,1005	0.050%	13.07
240	212	0,106	0.053%	13.64
250	223	0,1115	0.056%	14.20
260	235	0,1175	0.059%	14.77
270	248	0,124	0.062%	15.34
280	260	0,13	0.065%	15.91
290	275	0,1375	0.069%	16.48
300	288	0,144	0.072%	17.04
310	304	0,152	0.076%	17.61
320	315	0,1575	0.079%	18.18
330	330	0,165	0.083%	18.75
340	345	0,1725	0.086%	19.32
350	360	0,18	0.090%	19.89
360	378	0,189	0.095%	20.45
370	396	0,198	0.099%	21.02
380	410	0,205	0.103%	21.59
390	434	0,217	0.109%	22.16
400	460	0,23	0.115%	22.73
410	480	0,24	0.120%	23.29
420	509	0,2545	0.127%	23.86
430	542	0,271	0.136%	24.43
440	580	0,29	0.145%	25.00
450	630	0,315	0.158%	25.57
460	677	0,3385	0.169%	26.14
470	725	0,3625	0.181%	26.70
480	784	0,13	0.196%	27.27

485.5	841	0,1375	0.210%	27.58
-------	-----	--------	--------	-------

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	27.59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24702.37	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24685.34	MPa

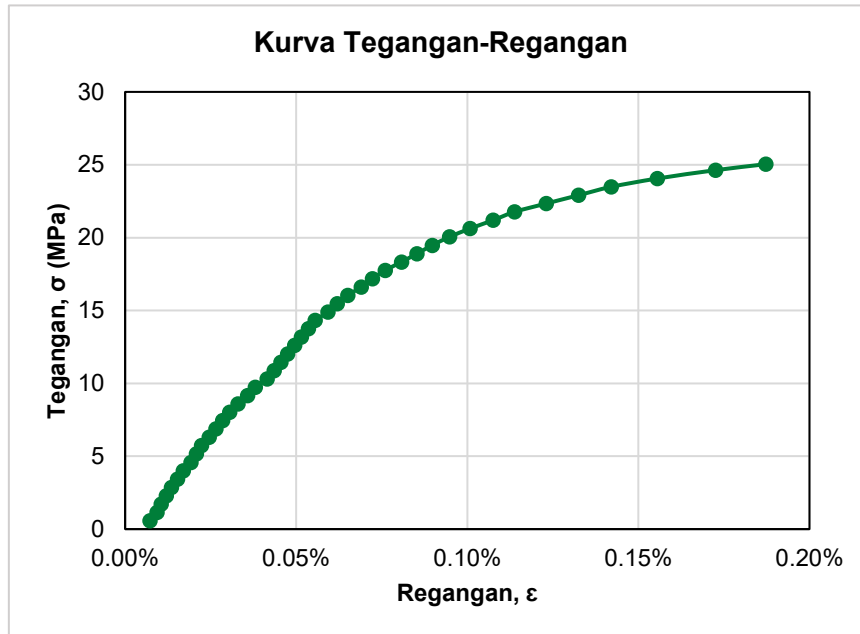
Modulus Elastisitas BN 2

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.15
30	14	0.007	0.004%	1.72
40	20	0.01	0.005%	2.29
50	26	0.013	0.007%	2.86
60	33	0.0165	0.008%	3.44
70	40	0.02	0.010%	4.01
80	49	0.0245	0.012%	4.58
90	55	0.0275	0.014%	5.15
100	61	0.0305	0.015%	5.73
110	70	0.035	0.018%	6.30
120	78	0.039	0.020%	6.87
130	86	0.043	0.022%	7.45
140	94	0.047	0.024%	8.02
150	104	0.052	0.026%	8.59
160	115	0.0575	0.029%	9.16
170	124	0.062	0.031%	9.74
180	138	0.069	0.035%	10.31
190	146	0.073	0.037%	10.88
200	154	0.077	0.039%	11.45

210	162	0.081	0.041%	12.03
220	170	0.085	0.043%	12.60
230	178	0.089	0.045%	13.17
240	186	0.093	0.047%	13.75
250	194	0.097	0.049%	14.32
260	209	0.1045	0.052%	14.89
270	220	0.11	0.055%	15.46
280	232	0.116	0.058%	16.04
290	248	0.124	0.062%	16.61
300	261	0.1305	0.065%	17.18
310	276	0.138	0.069%	17.75
320	295	0.1475	0.074%	18.33
330	313	0.1565	0.078%	18.90
340	331	0.1655	0.083%	19.47
350	351	0.1755	0.088%	20.05
360	375	0.1875	0.094%	20.62
370	402	0.201	0.101%	21.19
380	427	0.2135	0.107%	21.76
390	464	0.232	0.116%	22.34
400	502	0.251	0.126%	22.91
410	540	0.27	0.135%	23.48
420	594	0.297	0.149%	24.05
430	662	0.331	0.166%	24.63
437.2	721	0.3605	0.180%	25.04

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	25.04	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	24841.58	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23520.69	MPa

Modulus Elastisitas BN 3

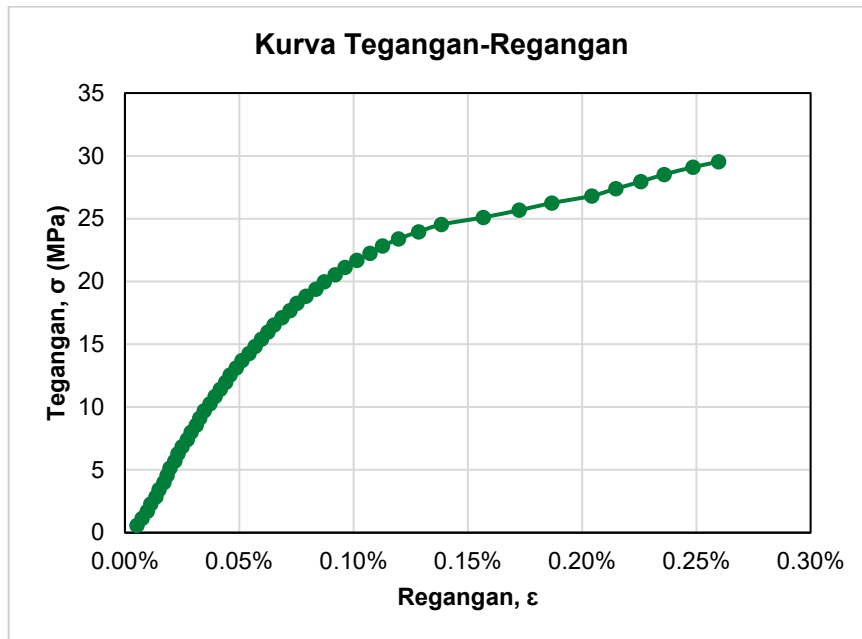
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.57
20	11	0.0055	0.003%	1.14
30	20	0.01	0.005%	1.71
40	26	0.013	0.007%	2.28
50	35	0.0175	0.009%	2.85
60	41	0.0205	0.010%	3.42
70	49	0.0245	0.012%	3.99
80	55	0.0275	0.014%	4.56
90	60	0.03	0.015%	5.13
100	68	0.034	0.017%	5.70
110	74	0.037	0.019%	6.27
120	81	0.0405	0.020%	6.85
130	90	0.045	0.023%	7.42
140	97	0.0485	0.024%	7.99
150	106	0.053	0.027%	8.56
160	112	0.056	0.028%	9.13
170	120	0.06	0.030%	9.70
180	130	0.065	0.033%	10.27
190	139	0.0695	0.035%	10.84
200	148	0.074	0.037%	11.41

210	157	0.0785	0.039%	11.98
220	165	0.0825	0.041%	12.55
230	176	0.088	0.044%	13.12
240	186	0.093	0.047%	13.69
250	198	0.099	0.050%	14.26
260	209	0.1045	0.052%	14.83
270	220	0.11	0.055%	15.40
280	231	0.1155	0.058%	15.97
290	242	0.121	0.061%	16.54
300	256	0.128	0.064%	17.11
310	270	0.135	0.068%	17.68
320	282	0.141	0.071%	18.25
330	298	0.149	0.075%	18.82
340	315	0.1575	0.079%	19.39
350	330	0.165	0.083%	19.97
360	349	0.1745	0.087%	20.54
370	366	0.183	0.092%	21.11
380	387	0.1935	0.097%	21.68
390	410	0.205	0.103%	22.25
400	432	0.216	0.108%	22.82
410	460	0.23	0.115%	23.39
420	495	0.2475	0.124%	23.96
430	535	0.2675	0.134%	24.53
440	608	0.304	0.152%	25.10
450	671	0.3355	0.168%	25.67
460	728	0.364	0.182%	26.24
470	798	0.399	0.200%	26.81
480	840	0.42	0.210%	27.38
490	884	0.442	0.221%	27.95
500	925	0.4625	0.231%	28.52

510	975	0.4875	0.244%	29.09
517.6	1020	0.51	0.255%	29.53

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	29.52	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27244.83	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25537.75	MPa

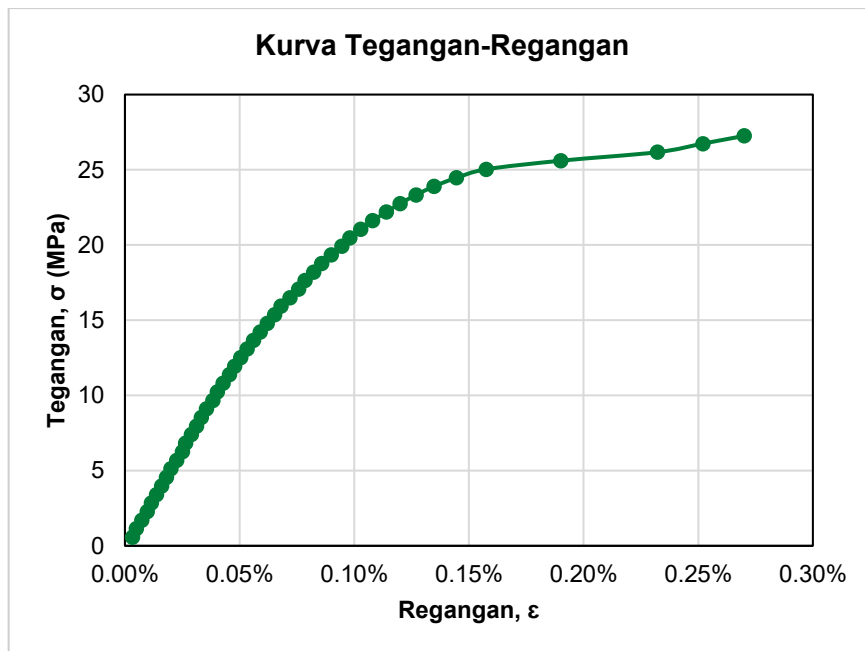
Modulus Elastisitas BN 4

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.57
20	10	0.005	0.003%	1.14
30	19	0.0095	0.005%	1.71
40	29	0.0145	0.007%	2.28
50	36	0.018	0.009%	2.84
60	45	0.0225	0.011%	3.41
70	54	0.027	0.014%	3.98
80	62	0.031	0.016%	4.55
90	70	0.035	0.018%	5.12
100	80	0.04	0.020%	5.69
110	90	0.045	0.023%	6.26
120	96	0.048	0.024%	6.83
130	106	0.053	0.027%	7.40
140	115	0.0575	0.029%	7.96
150	123	0.0615	0.031%	8.53
160	132	0.066	0.033%	9.10
170	143	0.0715	0.036%	9.67
180	151	0.0755	0.038%	10.24
190	161	0.0805	0.040%	10.81
200	172	0.086	0.043%	11.38

210	157	0.0785	0.039%	11.98
220	165	0.0825	0.041%	12.55
230	176	0.088	0.044%	13.12
240	186	0.093	0.047%	13.69
250	198	0.099	0.050%	14.26
260	209	0.1045	0.052%	14.83
270	220	0.11	0.055%	15.40
280	231	0.1155	0.058%	15.97
290	242	0.121	0.061%	16.54
300	256	0.128	0.064%	17.11
310	270	0.135	0.068%	17.68
320	282	0.141	0.071%	18.25
330	298	0.149	0.075%	18.82
340	315	0.1575	0.079%	19.39
350	330	0.165	0.083%	19.97
360	349	0.1745	0.087%	20.54
370	366	0.183	0.092%	21.11
380	387	0.1935	0.097%	21.68
390	410	0.205	0.103%	22.25
400	432	0.216	0.108%	22.82
410	460	0.23	0.115%	23.39
420	495	0.2475	0.124%	23.96
430	535	0.2675	0.134%	24.53
440	608	0.304	0.152%	25.10
450	671	0.3355	0.168%	25.67
460	728	0.364	0.182%	26.24
470	798	0.399	0.200%	26.81
479	840	0.42	0.210%	27.38

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	27.29	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25285.08	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24553.35	MPa

Modulus Elastisitas BN 5

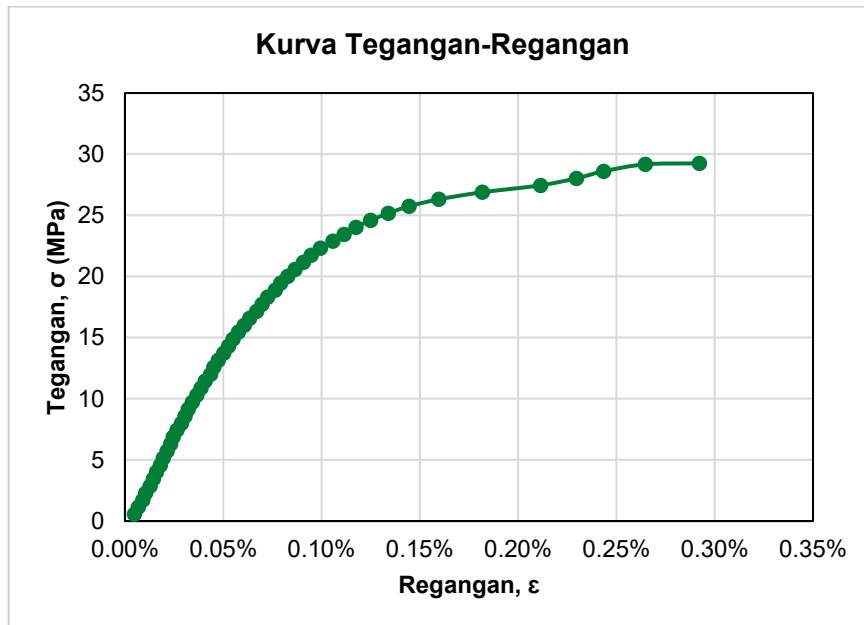
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.14
30	18	0.009	0.005%	1.72
40	24	0.012	0.006%	2.29
50	33	0.0165	0.008%	2.86
60	40	0.02	0.010%	3.43
70	46	0.023	0.012%	4.00
80	54	0.027	0.014%	4.58
90	60	0.03	0.015%	5.15
100	68	0.034	0.017%	5.72
110	75	0.0375	0.019%	6.29
120	80	0.04	0.020%	6.86
130	88	0.044	0.022%	7.44
140	97	0.0485	0.024%	8.01
150	104	0.052	0.026%	8.58
160	111	0.0555	0.028%	9.15
170	119	0.0595	0.030%	9.72
180	128	0.064	0.032%	10.30
190	137	0.0685	0.034%	10.87
200	145	0.0725	0.036%	11.44

210	156	0.078	0.039%	12.01
220	163	0.0815	0.041%	12.58
230	172	0.086	0.043%	13.16
240	183	0.0915	0.046%	13.73
250	193	0.0965	0.048%	14.30
260	202	0.101	0.051%	14.87
270	213	0.1065	0.053%	15.44
280	225	0.1125	0.056%	16.02
290	236	0.118	0.059%	16.59
300	250	0.125	0.063%	17.16
310	261	0.1305	0.065%	17.73
320	272	0.136	0.068%	18.30
330	288	0.144	0.072%	18.87
340	299	0.1495	0.075%	19.45
350	313	0.1565	0.078%	20.02
360	328	0.164	0.082%	20.59
370	345	0.1725	0.086%	21.16
380	361	0.1805	0.090%	21.73
390	380	0.19	0.095%	22.31
400	405	0.2025	0.101%	22.88
410	428	0.214	0.107%	23.45
420	452	0.226	0.113%	24.02
430	482	0.241	0.121%	24.59
440	518	0.259	0.130%	25.17
450	560	0.28	0.140%	25.74
460	621	0.3105	0.155%	26.31
470	709	0.3545	0.177%	26.88
480	828	0.414	0.207%	27.45
490	901	0.4505	0.225%	28.03
500	956	0.478	0.239%	28.60

510	1041	0.5205	0.260%	29.17
511.4	1151	0.5755	0.288%	29.25

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	29.25	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28096.72	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25419.60	MPa

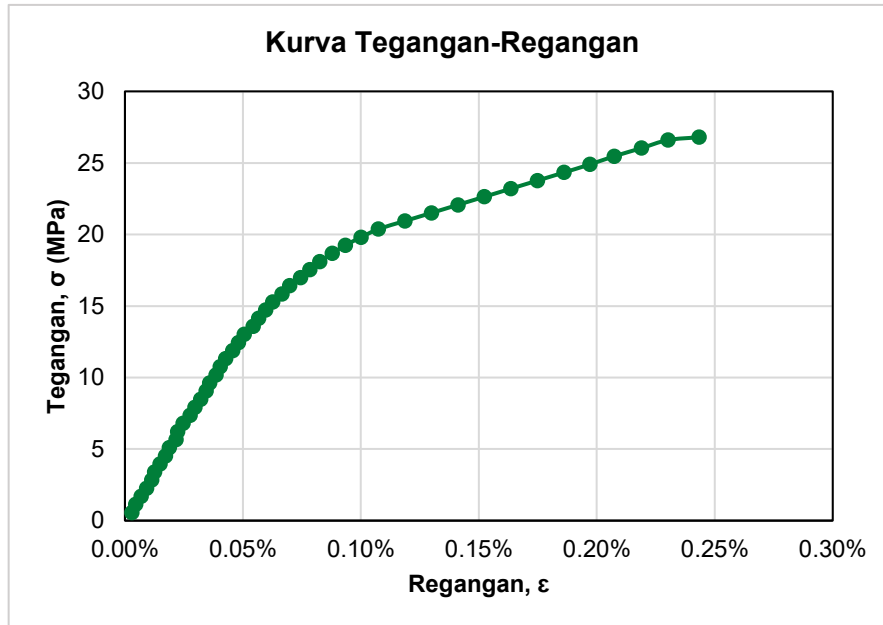
Modulus Elastisitas **BV 1 Sampel (1)**

Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.57
20	10	0.005	0.003%	1.13
30	19	0.0095	0.005%	1.70
40	28	0.014	0.007%	2.26
50	37	0.0185	0.009%	2.83
60	42	0.021	0.011%	3.40
70	51	0.0255	0.013%	3.96
80	60	0.03	0.015%	4.53
90	67	0.0335	0.017%	5.09
100	78	0.039	0.020%	5.66
110	81	0.0405	0.020%	6.22
120	90	0.045	0.023%	6.79
130	102	0.051	0.026%	7.36
140	110	0.055	0.028%	7.92
150	120	0.06	0.030%	8.49
160	129	0.0645	0.032%	9.05
170	135	0.0675	0.034%	9.62
180	146	0.073	0.037%	10.19
190	153	0.0765	0.038%	10.75
200	162	0.081	0.041%	11.32

210	174	0.087	0.044%	11.88
220	184	0.092	0.046%	12.45
230	194	0.097	0.049%	13.02
240	209	0.1045	0.052%	13.58
250	218	0.109	0.055%	14.15
260	230	0.115	0.058%	14.71
270	242	0.121	0.061%	15.28
280	258	0.129	0.065%	15.84
290	271	0.1355	0.068%	16.41
300	289	0.1445	0.072%	16.98
310	305	0.1525	0.076%	17.54
320	322	0.161	0.081%	18.11
330	343	0.1715	0.086%	18.67
340	365	0.1825	0.091%	19.24
350	392	0.196	0.098%	19.81
360	421	0.2105	0.105%	20.37
370	466	0.233	0.117%	20.94
380	511	0.2555	0.128%	21.50
390	556	0.278	0.139%	22.07
400	601	0.3005	0.150%	22.64
410	646	0.323	0.162%	23.20
420	691	0.3455	0.173%	23.77
430	736	0.368	0.184%	24.33
440	780	0.39	0.195%	24.90
450	821	0.4105	0.205%	25.46
460	867	0.4335	0.217%	26.03
470	912	0.456	0.228%	26.60
473.5	965	0.4825	0.241%	26.79

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	26.79	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26407.93	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24328.85	MPa

Modulus Elastisitas **BV 1 Sampel (2)**

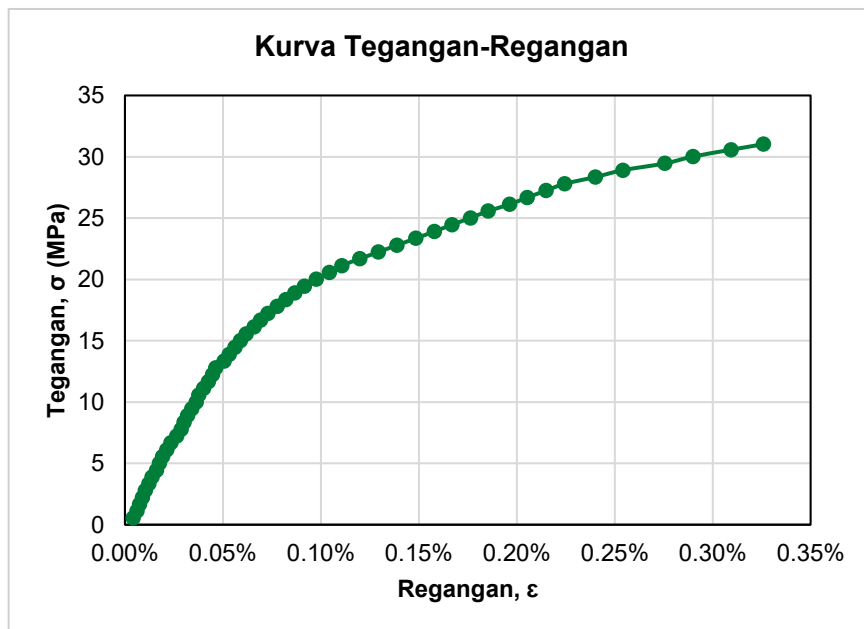
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.56
20	9	0.0045	0.002%	1.11
30	14	0.007	0.004%	1.67
40	20	0.01	0.005%	2.22
50	26	0.013	0.007%	2.78
60	33	0.0165	0.008%	3.34
70	40	0.02	0.010%	3.89
80	49	0.0245	0.012%	4.45
90	55	0.0275	0.014%	5.00
100	61	0.0305	0.015%	5.56
110	70	0.035	0.018%	6.11
120	78	0.039	0.020%	6.67
130	90	0.045	0.023%	7.23
140	99	0.0495	0.025%	7.78
150	105	0.0525	0.026%	8.34
160	112	0.056	0.028%	8.89
170	121	0.0605	0.030%	9.45
180	130	0.065	0.033%	10.01
190	135	0.0675	0.034%	10.56
200	145	0.0725	0.036%	11.12

210	155	0.0775	0.039%	11.67
220	163	0.0815	0.041%	12.23
230	170	0.085	0.043%	12.78
240	187	0.0935	0.047%	13.34
250	197	0.0985	0.049%	13.90
260	209	0.1045	0.052%	14.45
270	220	0.11	0.055%	15.01
280	232	0.116	0.058%	15.56
290	248	0.124	0.062%	16.12
300	261	0.1305	0.065%	16.68
310	276	0.138	0.069%	17.23
320	295	0.1475	0.074%	17.79
330	313	0.1565	0.078%	18.34
340	331	0.1655	0.083%	18.90
350	351	0.1755	0.088%	19.45
360	375	0.1875	0.094%	20.01
370	402	0.201	0.101%	20.57
380	427	0.2135	0.107%	21.12
390	464	0.232	0.116%	21.68
400	502	0.251	0.126%	22.23
410	540	0.27	0.135%	22.79
420	578	0.289	0.145%	23.35
430	616	0.308	0.154%	23.90
440	652	0.326	0.163%	24.46
450	690	0.345	0.173%	25.01
460	726	0.363	0.182%	25.57
470	770	0.385	0.193%	26.12
480	806	0.403	0.202%	26.68
490	844	0.422	0.211%	27.24
500	882	0.441	0.221%	27.79

510	945	0.4725	0.236%	28.35
520	1001	0.5005	0.250%	28.90
530	1087	0.5435	0.272%	29.46
540	1144	0.572	0.286%	30.02
550	1222	0.611	0.306%	30.57
558,2	1288	0.644	0.322%	31.03

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	31.03	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27411.00	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26179.74	MPa

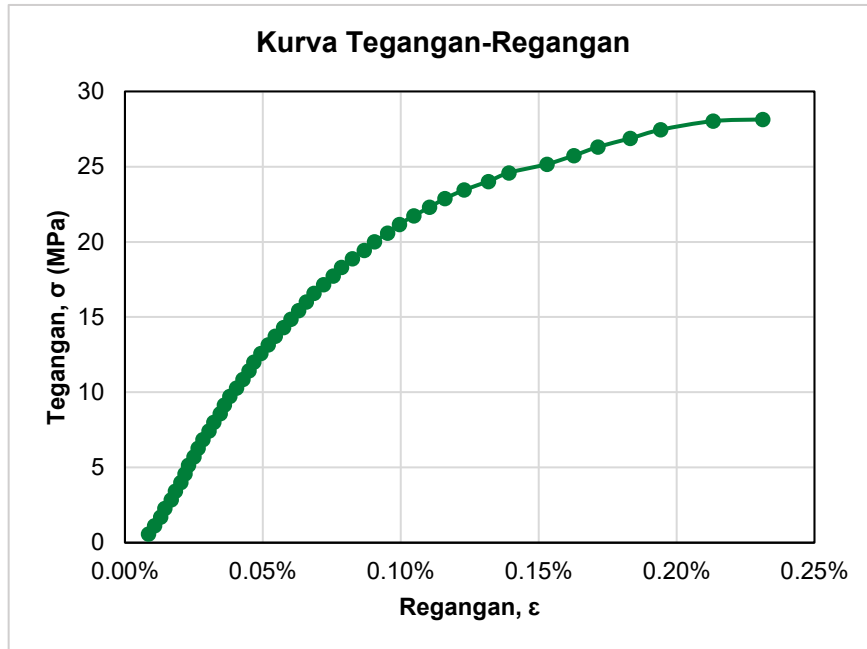
Modulus Elastisitas **BV 1 Sampel (3)**

Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.57
20	11	0.0055	0.003%	1.14
30	20	0.01	0.005%	1.72
40	26	0.013	0.007%	2.29
50	35	0.0175	0.009%	2.86
60	41	0.0205	0.010%	3.43
70	49	0.0245	0.012%	4.00
80	55	0.0275	0.014%	4.58
90	60	0.03	0.015%	5.15
100	68	0.034	0.017%	5.72
110	74	0.037	0.019%	6.29
120	81	0.0405	0.020%	6.86
130	90	0.045	0.023%	7.44
140	97	0.0485	0.024%	8.01
150	106	0.053	0.027%	8.58
160	112	0.056	0.028%	9.15
170	120	0.06	0.030%	9.72
180	130	0.065	0.033%	10.30
190	139	0.0695	0.035%	10.87
200	148	0.074	0.037%	11.44

210	155	0.0775	0.039%	12.01
220	165	0.0825	0.041%	12.58
230	176	0.088	0.044%	13.16
240	186	0.093	0.047%	13.73
250	198	0.099	0.050%	14.30
260	209	0.1045	0.052%	14.87
270	220	0.11	0.055%	15.44
280	231	0.1155	0.058%	16.02
290	242	0.121	0.061%	16.59
300	256	0.128	0.064%	17.16
310	270	0.135	0.068%	17.73
320	282	0.141	0.071%	18.30
330	298	0.149	0.075%	18.87
340	315	0.1575	0.079%	19.45
350	330	0.165	0.083%	20.02
360	349	0.1745	0.087%	20.59
370	366	0.183	0.092%	21.16
380	387	0.1935	0.097%	21.73
390	410	0.205	0.103%	22.31
400	432	0.216	0.108%	22.88
410	460	0.23	0.115%	23.45
420	495	0.2475	0.124%	24.02
430	525	0.2625	0.131%	24.59
440	580	0.29	0.145%	25.17
450	619	0.3095	0.155%	25.74
460	654	0.327	0.164%	26.31
470	701	0.3505	0.175%	26.88
480	745	0.3725	0.186%	27.45
490	821	0.4105	0.205%	28.03
492	893	0.4465	0.223%	28.14

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	28.14	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25420.84	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24932.55	MPa

Modulus Elastisitas **BV 1 Sampel (4)**

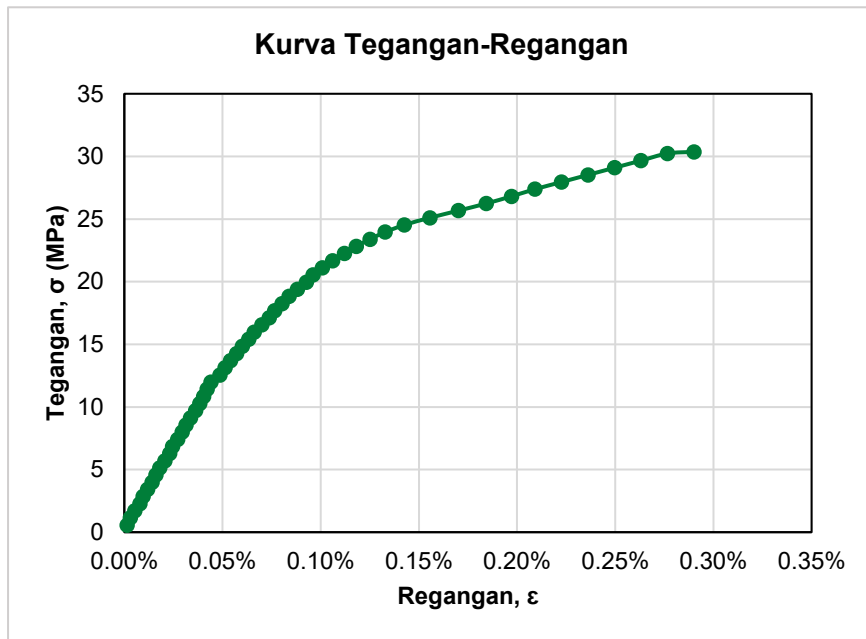
Data Sampel

Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.57
20	10	0.005	0.003%	1.14
30	19	0.0095	0.005%	1.71
40	29	0.0145	0.007%	2.28
50	36	0.018	0.009%	2.85
60	45	0.0225	0.011%	3.42
70	54	0.027	0.014%	3.99
80	62	0.031	0.016%	4.56
90	70	0.035	0.018%	5.13
100	80	0.04	0.020%	5.70
110	90	0.045	0.023%	6.27
120	96	0.048	0.024%	6.85
130	106	0.053	0.027%	7.42
140	115	0.0575	0.029%	7.99
150	123	0.0615	0.031%	8.56
160	132	0.066	0.033%	9.13
170	143	0.0715	0.036%	9.70
180	151	0.0755	0.038%	10.27
190	159	0.0795	0.040%	10.84
200	166	0.083	0.042%	11.41
210	174	0.087	0.044%	11.98
220	192	0.096	0.048%	12.55

230	203	0.1015	0.051%	13.12
240	214	0.107	0.054%	13.69
250	226	0.113	0.057%	14.26
260	238	0.119	0.060%	14.83
270	251	0.1255	0.063%	15.40
280	262	0.131	0.066%	15.97
290	278	0.139	0.070%	16.54
300	293	0.1465	0.073%	17.11
310	304	0.152	0.076%	17.68
320	319	0.1595	0.080%	18.25
330	333	0.1665	0.083%	18.82
340	350	0.175	0.088%	19.39
350	368	0.184	0.092%	19.97
360	382	0.191	0.096%	20.54
370	401	0.2005	0.100%	21.11
380	422	0.211	0.106%	21.68
390	446	0.223	0.112%	22.25
400	470	0.235	0.118%	22.82
410	498	0.249	0.125%	23.39
420	529	0.2645	0.132%	23.96
430	568	0.284	0.142%	24.53
440	620	0.31	0.155%	25.10
450	678	0.339	0.170%	25.67
460	735	0.3675	0.184%	26.24
470	786	0.393	0.197%	26.81
480	834	0.417	0.209%	27.38
490	888	0.444	0.222%	27.95
500	942	0.471	0.236%	28.52
510	1104	0.552	0.276%	30.23
520	1158	0.579	0.290%	30.36

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	30.36	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27163.74	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25898.85	MPa

Modulus Elastisitas **BV 1 Sampel (5)**

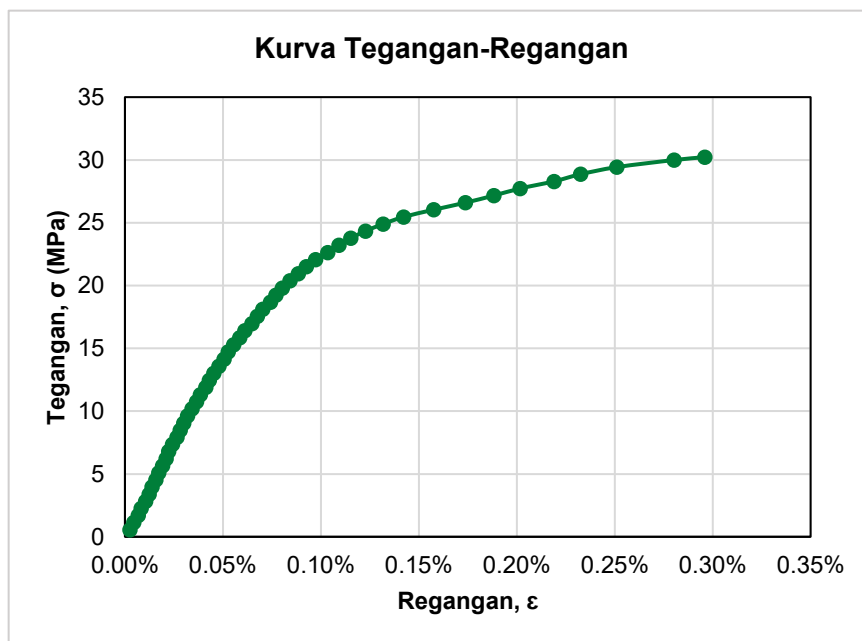
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	0%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.13
30	18	0.009	0.005%	1.70
40	24	0.012	0.006%	2.26
50	33	0.0165	0.008%	2.83
60	40	0.02	0.010%	3.40
70	46	0.023	0.012%	3.96
80	54	0.027	0.014%	4.53
90	60	0.03	0.015%	5.09
100	68	0.034	0.017%	5.66
110	75	0.0375	0.019%	6.22
120	80	0.04	0.020%	6.79
130	88	0.044	0.022%	7.36
140	97	0.0485	0.024%	7.92
150	104	0.052	0.026%	8.49
160	111	0.0555	0.028%	9.05
170	119	0.0595	0.030%	9.62
180	128	0.064	0.032%	10.19
190	137	0.0685	0.034%	10.75
200	145	0.0725	0.036%	11.32
210	156	0.078	0.039%	11.88

220	163	0.0815	0.041%	12.45
230	172	0.086	0.043%	13.02
240	183	0.0915	0.046%	13.58
250	193	0.0965	0.048%	14.15
260	202	0.101	0.051%	14.71
270	213	0.1065	0.053%	15.28
280	225	0.1125	0.056%	15.84
290	236	0.118	0.059%	16.41
300	250	0.125	0.063%	16.98
310	261	0.1305	0.065%	17.54
320	272	0.136	0.068%	18.11
330	288	0.144	0.072%	18.67
340	299	0.1495	0.075%	19.24
350	312	0.156	0.078%	19.81
360	328	0.164	0.082%	20.37
370	345	0.1725	0.086%	20.94
380	361	0.1805	0.090%	21.50
390	380	0.19	0.095%	22.07
400	405	0.2025	0.101%	22.64
410	428	0.214	0.107%	23.20
420	452	0.226	0.113%	23.77
430	482	0.241	0.121%	24.33
440	518	0.259	0.130%	24.90
450	560	0.28	0.140%	25.46
460	621	0.3105	0.155%	26.03
470	686	0.343	0.172%	26.60
480	744	0.372	0.186%	27.16
490	798	0.399	0.200%	27.73
500	867	0.4335	0.217%	28.29
510	921	0.4605	0.230%	28.86

520	995	0.4975	0.249%	29.43
530	1112	0.556	0.278%	29.99
534	1175	0.5875	0.294%	30.22

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	30.22	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28808.65	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25836.42	MPa

Modulus Elastisitas **BV 2 Sampel (1)**

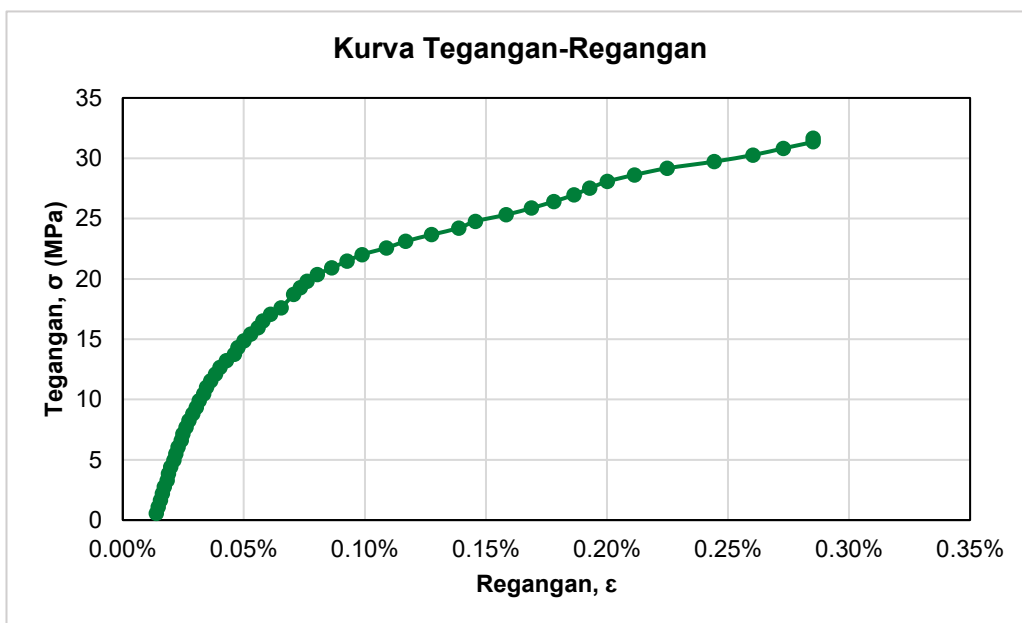
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	0	0	0.000%	0.55
20	3	0.0015	0.001%	1.10
30	7	0	0.002%	1.65
40	10	0.005	0.003%	2.20
50	13	0.0065	0.003%	2.75
60	18	0.009	0.005%	3.30
70	20	0.01	0.005%	3.85
80	24	0.012	0.006%	4.40
90	29	0.0145	0.007%	4.95
100	32	0.016	0.008%	5.50
110	36	0.018	0.009%	6.05
120	41	0.0205	0.010%	6.60
130	44	0.022	0.011%	7.15
140	49	0.0245	0.012%	7.71
150	54	0.027	0.014%	8.26
160	60	0.03	0.015%	8.81
170	66	0.033	0.017%	9.36
180	71	0.0355	0.018%	9.91
190	78	0.039	0.020%	10.46
200	83	0.0415	0.021%	11.01
210	90	0.045	0.023%	11.56

220	98	0.049	0.025%	12.11
230	105	0.0525	0.026%	12.66
240	116	0.058	0.029%	13.21
250	129	0.0645	0.032%	13.76
260	135	0.0675	0.034%	14.31
270	145	0.0725	0.036%	14.86
280	156	0.078	0.039%	15.41
290	168	0.084	0.042%	15.96
300	176	0.088	0.044%	16.51
310	189	0.0945	0.047%	17.06
320	206	0.103	0.052%	17.61
330	227	0.1135	0.057%	18.71
340	238	0.119	0.060%	19.26
350	249	0.1245	0.062%	19.81
360	266	0.133	0.067%	20.36
370	290	0.145	0.073%	20.91
380	315	0.1575	0.079%	21.46
390	340	0.17	0.085%	22.01
400	380	0.19	0.095%	22.57
410	412	0.206	0.103%	23.12
420	455	0.2275	0.114%	23.67
430	500	0.25	0.125%	24.22
440	527	0.2635	0.132%	24.77
450	578	0.289	0.145%	25.32
460	620	0.31	0.155%	25.87
470	657	0.3285	0.164%	26.42
480	690	0.345	0.173%	26.97
490	716	0.358	0.179%	27.52
500	745	0.3725	0.186%	28.07
510	790	0.395	0.198%	28.62

520	844	0.422	0.211%	29.17
530	922	0.461	0.231%	29.72
540	986	0.493	0.247%	30.27
550	1036	0.518	0.259%	30.82
560	1085	0.5425	0.271%	31.37
575.4	1174	0.5425	0.271%	31.67

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	31.67	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30820.50	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26448.96	MPa

Modulus Elastisitas **BV 2 Sampel (2)**

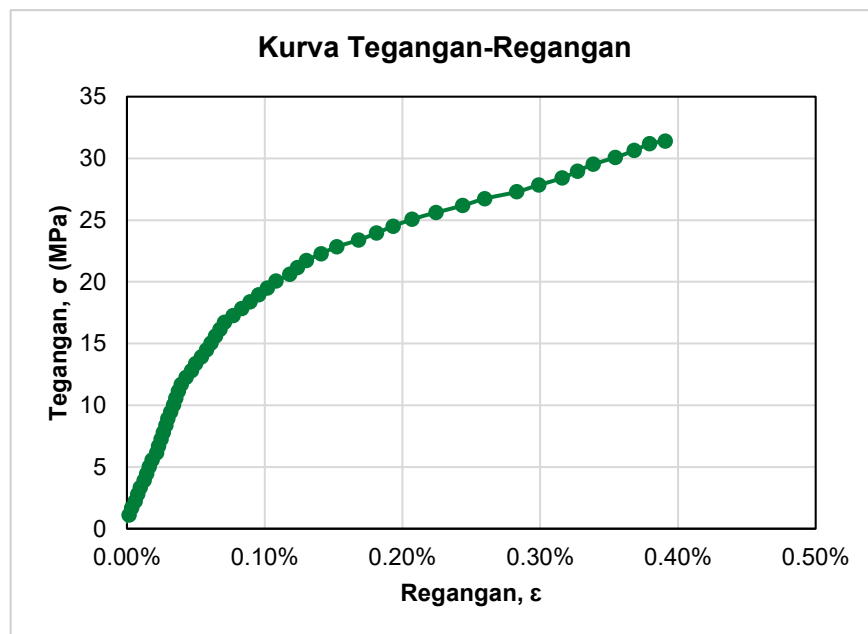
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.56
20	9	0.0045	0.002%	1.11
30	17	0.0085	0.004%	1.67
40	27	0.0135	0.007%	2.23
50	34	0.017	0.009%	2.78
60	42	0.021	0.011%	3.34
70	53	0.0265	0.013%	3.90
80	60	0.03	0.015%	4.46
90	68	0.034	0.017%	5.01
100	76	0.038	0.019%	5.57
110	89	0.0445	0.022%	6.13
120	95	0.0475	0.024%	6.68
130	102	0.051	0.026%	7.24
140	109	0.0545	0.027%	7.80
150	116	0.058	0.029%	8.35
160	122	0.061	0.031%	8.91
170	130	0.065	0.033%	9.47
180	138	0.069	0.035%	10.02
190	145	0.0725	0.036%	10.58
200	152	0.076	0.038%	11.14
210	161	0.0805	0.040%	11.70

220	175	0.0875	0.044%	12.25
230	190	0.095	0.048%	12.81
240	203	0.1015	0.051%	13.37
250	219	0.1095	0.055%	13.92
260	234	0.117	0.059%	14.48
270	247	0.1235	0.062%	15.04
280	260	0.13	0.065%	15.59
290	273	0.1365	0.068%	16.15
300	286	0.143	0.072%	16.71
310	311	0.1555	0.078%	17.27
320	336	0.168	0.084%	17.82
330	361	0.1805	0.090%	18.38
340	386	0.193	0.097%	18.94
350	411	0.2055	0.103%	19.49
360	436	0.218	0.109%	20.05
370	476	0.238	0.119%	20.61
380	498	0.249	0.125%	21.16
390	524	0.262	0.131%	21.72
400	567	0.2835	0.142%	22.28
410	612	0.306	0.153%	22.83
420	676	0.338	0.169%	23.39
430	728	0.364	0.182%	23.95
440	776	0.388	0.194%	24.51
450	831	0.4155	0.208%	25.06
460	901	0.4505	0.225%	25.62
470	978	0.489	0.245%	26.18
480	1042	0.521	0.261%	26.73
490	1135	0.5675	0.284%	27.29
500	1199	0.5995	0.300%	27.85
510	1267	0.6335	0.317%	28.40

520	1311	0.6555	0.328%	28.96
530	1357	0.6785	0.339%	29.52
540	1421	0.7105	0.355%	30.07
550	1476	0.738	0.369%	30.63
560	1521	0.7605	0.380%	31.19
563.8	1566	0.783	0.392%	31.40

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	31.09	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28494.48	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26205.72	MPa

Modulus Elastisitas **BV 2 Sampel (3)**

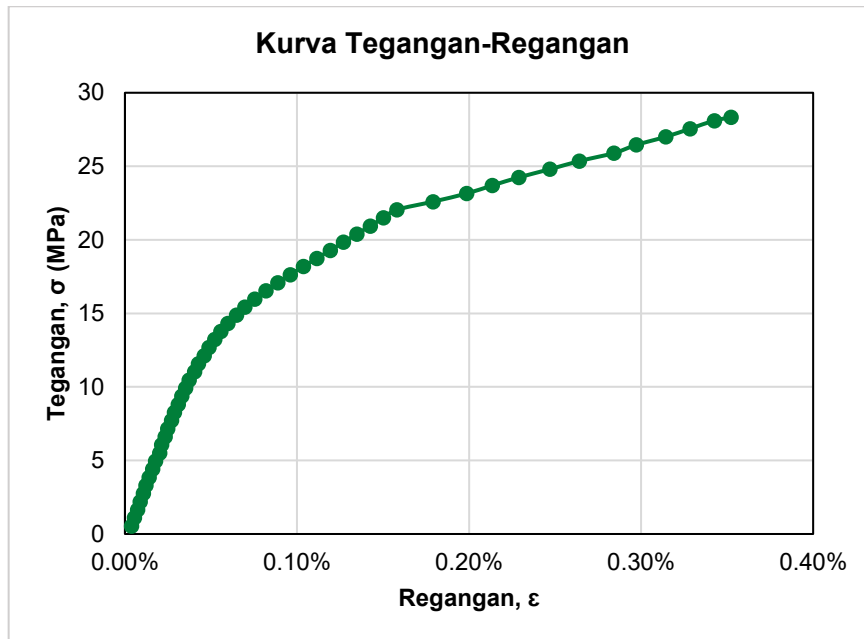
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.55
20	8	0.004	0.002%	1.10
30	15	0.0075	0.004%	1.65
40	21	0.0105	0.005%	2.20
50	29	0.0145	0.007%	2.76
60	35	0.0175	0.009%	3.31
70	42	0.021	0.011%	3.86
80	50	0.025	0.013%	4.41
90	57	0.0285	0.014%	4.96
100	67	0.0335	0.017%	5.51
110	71	0.0355	0.018%	6.06
120	79	0.0395	0.020%	6.61
130	85	0.0425	0.021%	7.16
140	94	0.047	0.024%	7.72
150	101	0.0505	0.025%	8.27
160	110	0.055	0.028%	8.82
170	118	0.059	0.030%	9.37
180	127	0.0635	0.032%	9.92
190	135	0.0675	0.034%	10.47
200	148	0.074	0.037%	11.02
210	157	0.0785	0.039%	11.57

220	170	0.085	0.043%	12.12
230	181	0.0905	0.045%	12.68
240	195	0.0975	0.049%	13.23
250	209	0.1045	0.052%	13.78
260	225	0.1125	0.056%	14.33
270	245	0.1225	0.061%	14.88
280	265	0.1325	0.066%	15.43
290	288	0.144	0.072%	15.98
300	314	0.157	0.079%	16.53
310	341	0.1705	0.085%	17.08
320	370	0.185	0.093%	17.63
330	401	0.2005	0.100%	18.19
340	432	0.216	0.108%	18.74
350	463	0.2315	0.116%	19.29
360	494	0.247	0.124%	19.84
370	525	0.2625	0.131%	20.39
380	556	0.278	0.139%	20.94
390	587	0.2935	0.147%	21.49
400	618	0.309	0.155%	22.04
410	702	0.351	0.176%	22.59
420	780	0.39	0.195%	23.15
430	840	0.42	0.210%	23.70
440	902	0.451	0.226%	24.25
450	974	0.487	0.244%	24.80
460	1042	0.521	0.261%	25.35
470	1123	0.5615	0.281%	25.90
480	1175	0.5875	0.294%	26.45
490	1243	0.6215	0.311%	27.00
500	1300	0.65	0.325%	27.55
510	1356	0.678	0.339%	28.11

514	1395	0.6975	0.349%	28.33
-----	------	--------	--------	-------

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	28.33	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27214.35	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25014.45	MPa

Modulus Elastisitas **BV 2 Sampel (4)**

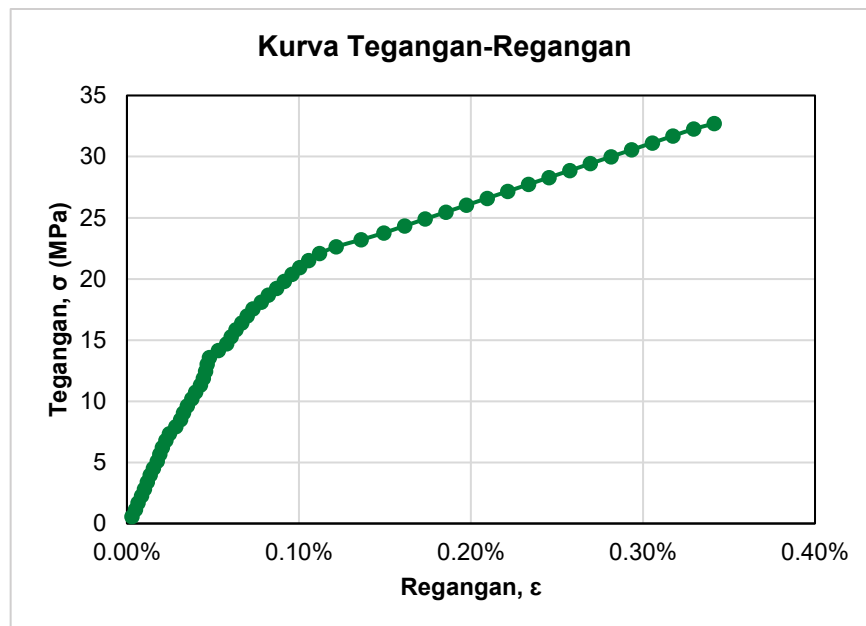
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	5%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	10	0.005	0.003%	0.57
20	18	0.009	0.005%	1.13
30	24	0.012	0.006%	1.70
40	32	0.016	0.008%	2.26
50	39	0.0195	0.010%	2.83
60	46	0.023	0.012%	3.40
70	52	0.026	0.013%	3.96
80	60	0.03	0.015%	4.53
90	69	0.0345	0.017%	5.09
100	75	0.0375	0.019%	5.66
110	81	0.0405	0.020%	6.22
120	89	0.0445	0.022%	6.79
130	97	0.0485	0.024%	7.36
140	112	0.056	0.028%	7.92
150	123	0.0615	0.031%	8.49
160	130	0.065	0.033%	9.05
170	139	0.0695	0.035%	9.62
180	149	0.0745	0.037%	10.19
190	158	0.079	0.040%	10.75
200	169	0.0845	0.042%	11.32
210	176	0.088	0.044%	11.88

220	181	0.0905	0.045%	12.45
230	185	0.0925	0.046%	13.02
240	190	0.095	0.048%	13.58
250	211	0.1055	0.053%	14.15
260	230	0.115	0.058%	14.71
270	241	0.1205	0.060%	15.28
280	252	0.126	0.063%	15.84
290	265	0.1325	0.066%	16.41
300	278	0.139	0.070%	16.98
310	291	0.1455	0.073%	17.54
320	311	0.1555	0.078%	18.11
330	327	0.1635	0.082%	18.67
340	346	0.173	0.087%	19.24
350	364	0.182	0.091%	19.81
360	382	0.191	0.096%	20.37
370	400	0.2	0.100%	20.94
380	421	0.2105	0.105%	21.50
390	446	0.223	0.112%	22.07
400	485	0.2425	0.121%	22.64
410	543	0.2715	0.136%	23.20
420	596	0.298	0.149%	23.77
430	644	0.322	0.161%	24.33
440	692	0.346	0.173%	24.90
450	740	0.37	0.185%	25.46
460	788	0.394	0.197%	26.03
470	836	0.418	0.209%	26.60
480	884	0.442	0.221%	27.16
490	932	0.466	0.233%	27.73
500	980	0.49	0.245%	28.29
510	980	0.49	0.245%	28.29

520	1028	0.514	0.257%	28.86
530	1076	0.538	0.269%	29.43
540	1124	0.562	0.281%	29.99
550	1172	0.586	0.293%	30.56
560	1220	0.61	0.305%	31.12
570	1268	0.634	0.317%	31.69
577.8	1316	0.658	0.329%	32.26

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	32.70	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27906.62	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26875.12	MPa

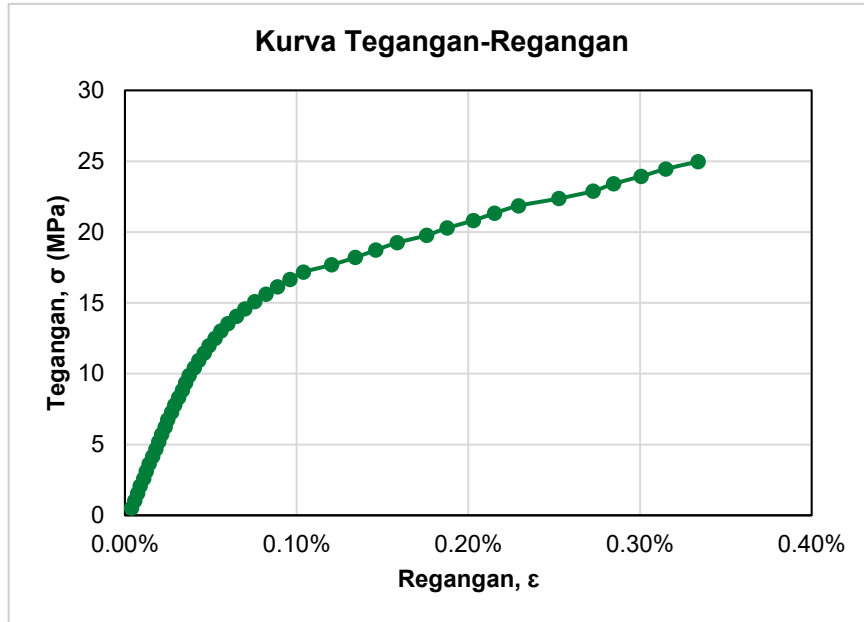
Modulus Elastisitas **BV 2 Sampel (5)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.52
20	8	0.004	0.002%	1.04
30	15	0.0075	0.004%	1.56
40	21	0.0105	0.005%	2.08
50	29	0.0145	0.007%	2.60
60	35	0.0175	0.009%	3.12
70	42	0.021	0.011%	3.64
80	50	0.025	0.013%	4.16
90	57	0.0285	0.014%	4.68
100	64	0.032	0.016%	5.20
110	71	0.0355	0.018%	5.72
120	79	0.0395	0.020%	6.24
130	85	0.0425	0.021%	6.76
140	94	0.047	0.024%	7.28
150	101	0.0505	0.025%	7.80
160	110	0.055	0.028%	8.32
170	119	0.0595	0.030%	8.84
180	127	0.0635	0.032%	9.36
190	135	0.0675	0.034%	9.88
200	147	0.0735	0.037%	10.40
210	157	0.0785	0.039%	10.92

220	170	0.085	0.043%	11.44
230	181	0.0905	0.045%	11.96
240	195	0.0975	0.049%	12.48
250	209	0.1045	0.052%	13.00
260	225	0.1125	0.056%	13.52
270	245	0.1225	0.061%	14.05
280	265	0.1325	0.066%	14.57
290	288	0.144	0.072%	15.09
300	314	0.157	0.079%	15.61
310	341	0.1705	0.085%	16.13
320	370	0.185	0.093%	16.65
330	401	0.2005	0.100%	17.17
340	467	0.2335	0.117%	17.69
350	522	0.261	0.131%	18.21
360	570	0.285	0.143%	18.73
370	620	0.31	0.155%	19.25
380	688	0.344	0.172%	19.77
390	736	0.368	0.184%	20.29
400	797	0.3985	0.199%	20.81
410	846	0.423	0.212%	21.33
420	902	0.451	0.226%	21.85
430	996	0.498	0.249%	22.37
440	1076	0.538	0.269%	22.89
450	1124	0.562	0.281%	23.41
460	1188	0.594	0.297%	23.93
470	1245	0.6225	0.311%	24.45
480	1321	0.6605	0.330%	24.97
490	1355	0.6775	0.339%	25.49
498	1390	0.695	0.348%	25.91

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	25.91	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26482.22	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23921.70	MPa

Modulus Elastisitas **BV 3 Sampel (1)**

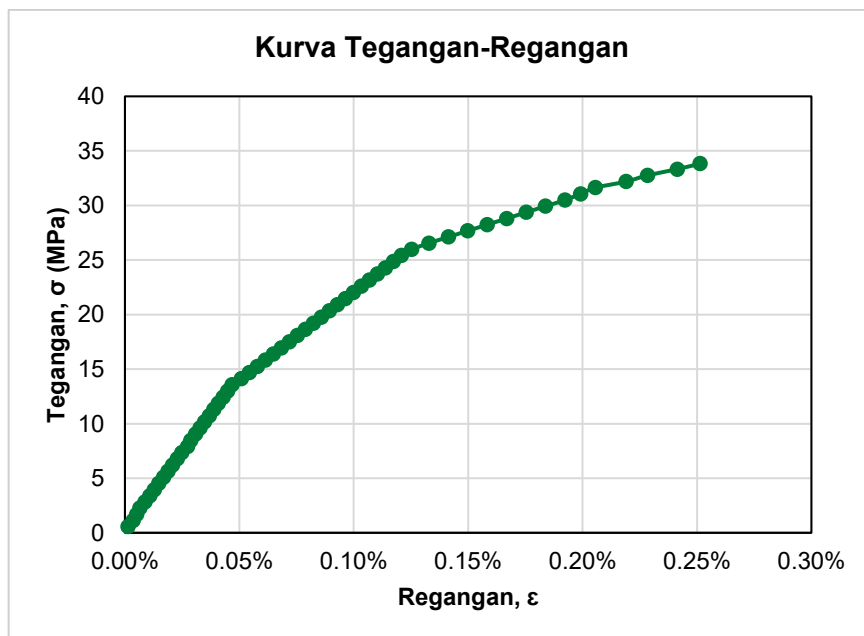
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	4	0.002	0.001%	0.56
20	13	0.0065	0.003%	1.13
30	19	0.0095	0.005%	1.69
40	25	0.0125	0.006%	2.26
50	34	0.017	0.009%	2.82
60	42	0.021	0.011%	3.39
70	50	0.025	0.013%	3.95
80	58	0.029	0.015%	4.52
90	66	0.033	0.017%	5.08
100	74	0.037	0.019%	5.65
110	82	0.041	0.021%	6.21
120	90	0.045	0.023%	6.78
130	98	0.049	0.025%	7.34
140	108	0.054	0.027%	7.91
150	114	0.057	0.029%	8.47
160	122	0.061	0.031%	9.04
170	130	0.065	0.033%	9.60
180	138	0.069	0.035%	10.17
190	146	0.073	0.037%	10.73
200	154	0.077	0.039%	11.30

210	162	0.081	0.041%	11.86
220	170	0.085	0.043%	12.42
230	178	0.089	0.045%	12.99
240	186	0.093	0.047%	13.55
250	202	0.101	0.051%	14.12
260	216	0.108	0.054%	14.68
270	230	0.115	0.058%	15.25
280	244	0.122	0.061%	15.81
290	258	0.129	0.065%	16.38
300	272	0.136	0.068%	16.94
310	286	0.143	0.072%	17.51
320	300	0.15	0.075%	18.07
330	314	0.157	0.079%	18.64
340	328	0.164	0.082%	19.20
350	342	0.171	0.086%	19.77
360	356	0.178	0.089%	20.33
370	370	0.185	0.093%	20.90
380	384	0.192	0.096%	21.46
390	398	0.199	0.100%	22.03
400	412	0.206	0.103%	22.59
410	426	0.213	0.107%	23.15
420	440	0.22	0.110%	23.72
430	454	0.227	0.114%	24.28
440	468	0.234	0.117%	24.85
450	482	0.241	0.121%	25.41
460	500	0.25	0.125%	25.98
470	530	0.265	0.133%	26.54
480	564	0.282	0.141%	27.11
490	598	0.299	0.150%	27.67
500	632	0.316	0.158%	28.24

510	666	0.333	0.167%	28.80
520	700	0.35	0.175%	29.37
530	734	0.367	0.184%	29.93
540	768	0.384	0.192%	30.50
550	795	0.3975	0.199%	31.06
560	821	0.4105	0.205%	31.63
570	875	0.4375	0.219%	32.19
580	912	0.456	0.228%	32.76
590	964	0.482	0.241%	33.32
599	1004	0.502	0.251%	33.83

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	33.83	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28961.75	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27336.38	MPa

Modulus Elastisitas **BV 3 Sampel (2)**

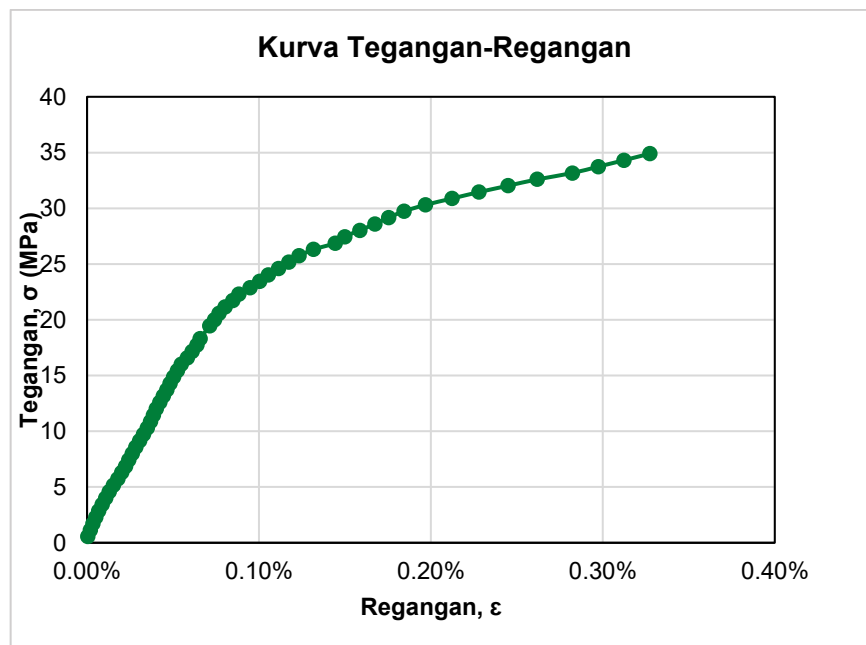
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.57
20	8	0.004	0.002%	1.14
30	14	0.007	0.004%	1.72
40	21	0.0105	0.005%	2.29
50	28	0.014	0.007%	2.86
60	36	0.018	0.009%	3.43
70	44	0.022	0.011%	4.00
80	52	0.026	0.013%	4.57
90	62	0.031	0.016%	5.15
100	72	0.036	0.018%	5.72
110	81	0.0405	0.020%	6.29
120	90	0.045	0.023%	6.86
130	98	0.049	0.025%	7.43
140	106	0.053	0.027%	8.00
150	114	0.057	0.029%	8.58
160	123	0.0615	0.031%	9.15
170	132	0.066	0.033%	9.72
180	141	0.0705	0.035%	10.29
190	148	0.074	0.037%	10.86
200	155	0.0775	0.039%	11.44

210	162	0.081	0.041%	12.01
220	170	0.085	0.043%	12.58
230	178	0.089	0.045%	13.15
240	186	0.093	0.047%	13.72
250	194	0.097	0.049%	14.29
260	202	0.101	0.051%	14.87
270	211	0.1055	0.053%	15.44
280	220	0.11	0.055%	16.01
290	234	0.117	0.059%	16.58
300	245	0.1225	0.061%	17.15
310	256	0.128	0.064%	17.73
320	264	0.132	0.066%	18.30
330	286	0.143	0.072%	19.44
340	297	0.1485	0.074%	20.01
350	308	0.154	0.077%	20.58
360	322	0.161	0.081%	21.16
370	340	0.17	0.085%	21.73
380	354	0.177	0.089%	22.30
390	380	0.19	0.095%	22.87
400	402	0.201	0.101%	23.44
410	422	0.211	0.106%	24.01
420	446	0.223	0.112%	24.59
430	470	0.235	0.118%	25.16
440	494	0.247	0.124%	25.73
450	527	0.2635	0.132%	26.30
460	578	0.289	0.145%	26.87
470	600	0.3	0.150%	27.45
480	635	0.3175	0.159%	28.02
490	670	0.335	0.168%	28.59
500	702	0.351	0.176%	29.16

510	738	0.369	0.185%	29.73
520	788	0.394	0.197%	30.30
530	850	0.425	0.213%	30.88
540	912	0.456	0.228%	31.45
550	980	0.49	0.245%	32.02
560	1048	0.524	0.262%	32.59
570	1130	0.565	0.283%	33.16
580	1190	0.595	0.298%	33.73
590	1250	0.625	0.313%	34.31
600	1310	0.655	0.328%	34.90

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	34.93	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29647.71	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27777.71	MPa

Modulus Elastisitas **BV 3 Sampel (3)**

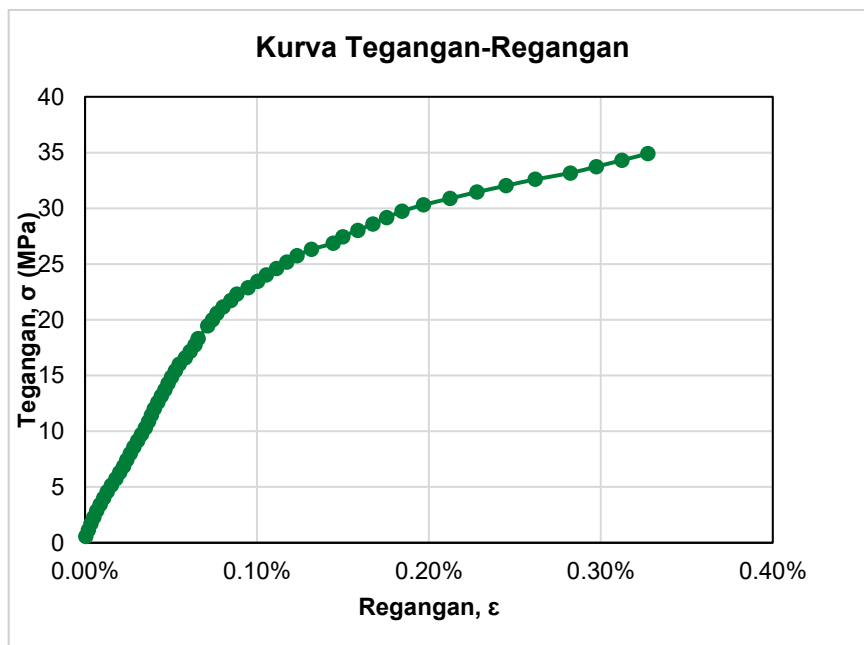
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.57
20	8	0.004	0.002%	1.14
30	14	0.007	0.004%	1.72
40	21	0.0105	0.005%	2.29
50	28	0.014	0.007%	2.86
60	36	0.018	0.009%	3.43
70	44	0.022	0.011%	4.00
80	52	0.026	0.013%	4.57
90	62	0.031	0.016%	5.15
100	72	0.036	0.018%	5.72
110	81	0.0405	0.020%	6.29
120	90	0.045	0.023%	6.86
130	98	0.049	0.025%	7.43
140	106	0.053	0.027%	8.00
150	114	0.057	0.029%	8.58
160	123	0.0615	0.031%	9.15
170	132	0.066	0.033%	9.72
180	141	0.0705	0.035%	10.29
190	148	0.074	0.037%	10.86
200	155	0.0775	0.039%	11.44

210	162	0.081	0.041%	12.01
220	170	0.085	0.043%	12.58
230	178	0.089	0.045%	13.15
240	186	0.093	0.047%	13.72
250	194	0.097	0.049%	14.29
260	202	0.101	0.051%	14.87
270	211	0.1055	0.053%	15.44
280	220	0.11	0.055%	16.01
290	234	0.117	0.059%	16.58
300	245	0.1225	0.061%	17.15
310	256	0.128	0.064%	17.73
320	264	0.132	0.066%	18.30
330	286	0.143	0.072%	19.44
340	297	0.1485	0.074%	20.01
350	308	0.154	0.077%	20.58
360	322	0.161	0.081%	21.16
370	340	0.17	0.085%	21.73
380	354	0.177	0.089%	22.30
390	380	0.19	0.095%	22.87
400	402	0.201	0.101%	23.44
410	422	0.211	0.106%	24.01
420	446	0.223	0.112%	24.59
430	470	0.235	0.118%	25.16
440	494	0.247	0.124%	25.73
450	527	0.2635	0.132%	26.30
460	578	0.289	0.145%	26.87
470	600	0.3	0.150%	27.45
480	635	0.3175	0.159%	28.02
490	670	0.335	0.168%	28.59
500	702	0.351	0.176%	29.16

510	738	0.369	0.185%	29.73
520	788	0.394	0.197%	30.30
530	850	0.425	0.213%	30.88
540	912	0.456	0.228%	31.45
550	980	0.49	0.245%	32.02
560	1048	0.524	0.262%	32.59
570	1130	0.565	0.283%	33.16
580	1190	0.595	0.298%	33.73
590	1250	0.625	0.313%	34.31
600	1310	0.655	0.328%	34.90

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	34.93	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29647.71	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27777.71	MPa

Modulus Elastisitas **BV 3 Sampel (4)**

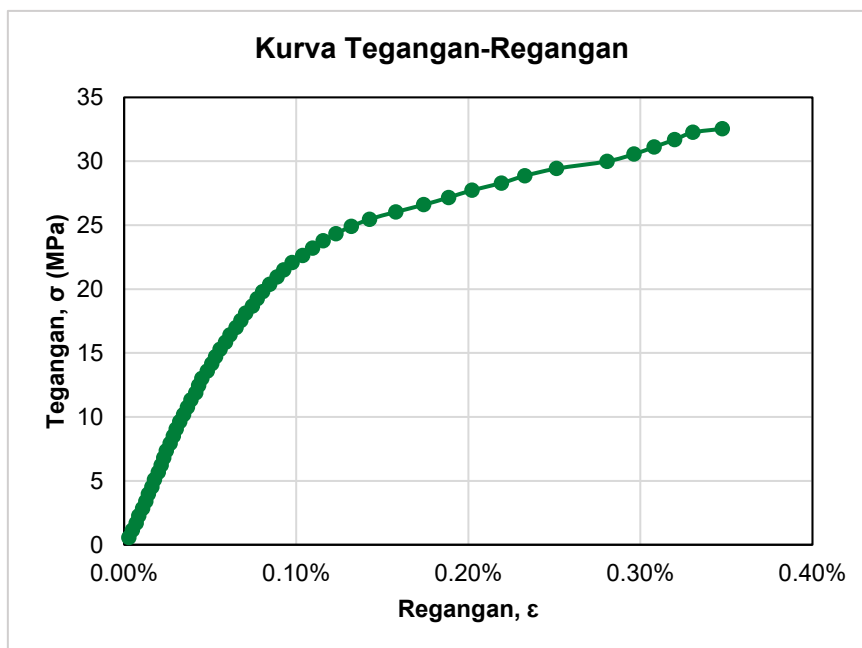
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.13
30	18	0.009	0.005%	1.70
40	24	0.012	0.006%	2.26
50	33	0.0165	0.008%	2.83
60	40	0.02	0.010%	3.40
70	46	0.023	0.012%	3.96
80	54	0.027	0.014%	4.53
90	60	0.03	0.015%	5.09
100	69	0.0345	0.017%	5.66
110	76	0.038	0.019%	6.22
120	82	0.041	0.021%	6.79
130	88	0.044	0.022%	7.36
140	97	0.0485	0.024%	7.92
150	104	0.052	0.026%	8.49
160	111	0.0555	0.028%	9.05
170	119	0.0595	0.030%	9.62
180	128	0.064	0.032%	10.19
190	137	0.0685	0.034%	10.75
200	145	0.0725	0.036%	11.32

210	156	0.078	0.039%	11.88
220	163	0.0815	0.041%	12.45
230	170	0.085	0.043%	13.02
240	183	0.0915	0.046%	13.58
250	193	0.0965	0.048%	14.15
260	202	0.101	0.051%	14.71
270	213	0.1065	0.053%	15.28
280	225	0.1125	0.056%	15.84
290	236	0.118	0.059%	16.41
300	250	0.125	0.063%	16.98
310	261	0.1305	0.065%	17.54
320	272	0.136	0.068%	18.11
330	288	0.144	0.072%	18.67
340	299	0.1495	0.075%	19.24
350	312	0.156	0.078%	19.81
360	328	0.164	0.082%	20.37
370	345	0.1725	0.086%	20.94
380	361	0.1805	0.090%	21.50
390	380	0.19	0.095%	22.07
400	405	0.2025	0.101%	22.64
410	428	0.214	0.107%	23.20
420	452	0.226	0.113%	23.77
430	482	0.241	0.121%	24.33
440	518	0.259	0.130%	24.90
450	560	0.28	0.140%	25.46
460	621	0.3105	0.155%	26.03
470	686	0.343	0.172%	26.60
480	744	0.372	0.186%	27.16
490	798	0.399	0.200%	27.73
500	867	0.4335	0.217%	28.29

510	921	0.4605	0.230%	28.86
520	995	0.4975	0.249%	29.43
530	1112	0.556	0.278%	29.99
540	1175	0.5875	0.294%	30.56
550	1222	0.611	0.306%	31.12
560	1269	0.6345	0.317%	31.69
570	1312	0.656	0.328%	32.26
575	1380	0.69	0.345%	32.54

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	32.54	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28896.22	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26809.92	MPa

Modulus Elastisitas **BV 3 Sampel (5)**

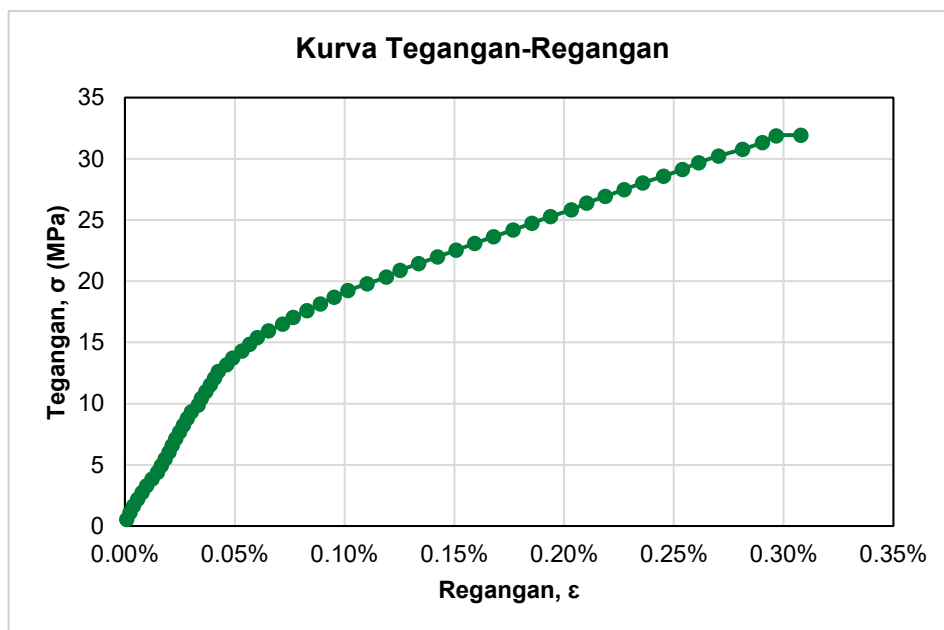
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	10%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.55
20	8	0.004	0.002%	1.10
30	14	0.007	0.004%	1.65
40	22	0.011	0.006%	2.20
50	30	0.015	0.008%	2.75
60	38	0.019	0.010%	3.30
70	48	0.024	0.012%	3.85
80	58	0.029	0.015%	4.40
90	65	0.0325	0.016%	4.95
100	72	0.036	0.018%	5.50
110	79	0.0395	0.020%	6.05
120	85	0.0425	0.021%	6.60
130	91	0.0455	0.023%	7.15
140	98	0.049	0.025%	7.70
150	105	0.0525	0.026%	8.24
160	112	0.056	0.028%	8.79
170	120	0.06	0.030%	9.34
180	132	0.066	0.033%	9.89
190	138	0.069	0.035%	10.44
200	146	0.073	0.037%	10.99

210	154	0.077	0.039%	11.54
220	162	0.081	0.041%	12.09
230	169	0.0845	0.042%	12.64
240	184	0.092	0.046%	13.19
250	195	0.0975	0.049%	13.74
260	212	0.106	0.053%	14.29
270	226	0.113	0.057%	14.84
280	240	0.12	0.060%	15.39
290	260	0.13	0.065%	15.94
300	286	0.143	0.072%	16.49
310	305	0.1525	0.076%	17.04
320	330	0.165	0.083%	17.59
330	355	0.1775	0.089%	18.14
340	380	0.19	0.095%	18.69
350	405	0.2025	0.101%	19.24
360	440	0.22	0.110%	19.79
370	475	0.2375	0.119%	20.34
380	500	0.25	0.125%	20.89
390	534	0.267	0.134%	21.44
400	568	0.284	0.142%	21.99
410	602	0.301	0.151%	22.54
420	636	0.318	0.159%	23.09
430	670	0.335	0.168%	23.63
440	706	0.353	0.177%	24.18
450	740	0.37	0.185%	24.73
460	774	0.387	0.194%	25.28
470	812	0.406	0.203%	25.83
480	840	0.42	0.210%	26.38
490	874	0.437	0.219%	26.93
500	908	0.454	0.227%	27.48

510	942	0.471	0.236%	28.03
520	980	0.49	0.245%	28.58
530	1014	0.507	0.254%	29.13
540	1044	0.522	0.261%	29.68
550	1080	0.54	0.270%	30.23
560	1124	0.562	0.281%	30.78
570	1160	0.58	0.290%	31.33
581	1230	0.615	0.308%	31.93

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	31.93	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	29710.44	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26559.89	MPa

Modulus Elastisitas **BV 4 Sampel (1)**

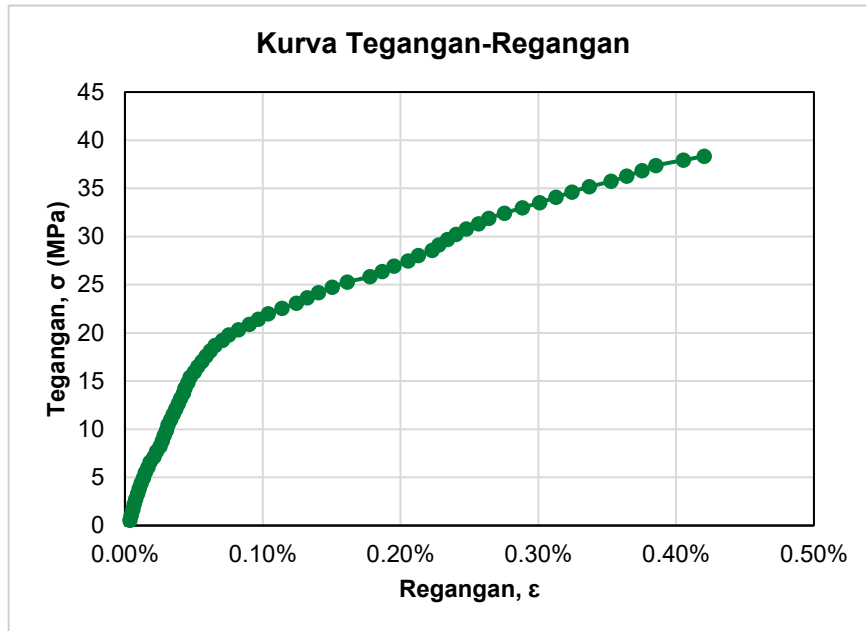
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.55
20	7	0.0035	0.002%	1.10
30	11	0.0055	0.003%	1.65
40	15	0.0075	0.004%	2.20
50	20	0.01	0.005%	2.75
60	25	0.0125	0.006%	3.30
70	30	0.015	0.008%	3.85
80	36	0.018	0.009%	4.40
90	42	0.021	0.011%	4.95
100	48	0.024	0.012%	5.50
110	55	0.0275	0.014%	6.05
120	62	0.031	0.016%	6.60
130	73	0.0365	0.018%	7.15
140	80	0.04	0.020%	7.70
150	90	0.045	0.023%	8.24
160	97	0.0485	0.024%	8.79
170	102	0.051	0.026%	9.34
180	109	0.0545	0.027%	9.89
190	114	0.057	0.029%	10.44
200	121	0.0605	0.030%	10.99

210	128	0.064	0.032%	11.54
220	136	0.068	0.034%	12.09
230	143	0.0715	0.036%	12.64
240	150	0.075	0.038%	13.19
250	158	0.079	0.040%	13.74
260	163	0.0815	0.041%	14.29
270	171	0.0855	0.043%	14.84
280	178	0.089	0.045%	15.39
290	190	0.095	0.048%	15.94
300	200	0.1	0.050%	16.49
310	212	0.106	0.053%	17.04
320	224	0.112	0.056%	17.59
330	236	0.118	0.059%	18.14
340	250	0.125	0.063%	18.69
350	272	0.136	0.068%	19.24
360	290	0.145	0.073%	19.79
370	318	0.159	0.080%	20.34
380	350	0.175	0.088%	20.89
390	376	0.188	0.094%	21.44
400	404	0.202	0.101%	21.99
410	444	0.222	0.111%	22.54
420	486	0.243	0.122%	23.09
430	518	0.259	0.130%	23.63
440	550	0.275	0.138%	24.18
450	590	0.295	0.148%	24.73
460	634	0.317	0.159%	25.28
470	700	0.35	0.175%	25.83
480	735	0.3675	0.184%	26.38
490	770	0.385	0.193%	26.93
500	810	0.405	0.203%	27.48

510	840	0.42	0.210%	28.03
520	880	0.44	0.220%	28.58
530	900	0.45	0.225%	29.13
540	925	0.4625	0.231%	29.68
550	950	0.475	0.238%	30.23
560	980	0.49	0.245%	30.78
570	1015	0.5075	0.254%	31.33
580	1045	0.5225	0.261%	31.88
590	1090	0.545	0.273%	32.43
600	1142	0.571	0.286%	32.98
610	1192	0.596	0.298%	33.53
620	1240	0.62	0.310%	34.08
630	1286	0.643	0.322%	34.63
640	1336	0.668	0.334%	35.18
650	1400	0.7	0.350%	35.73
660	1445	0.7225	0.361%	36.28
670	1490	0.745	0.373%	36.83
680	1530	0.765	0.383%	37.38
690	1610	0.805	0.403%	37.93
697.7	1670	0.835	0.418%	38.35

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	38.35	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	32478.91	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	29105.34	MPa

Modulus Elastisitas **BV 4 Sampel (2)**

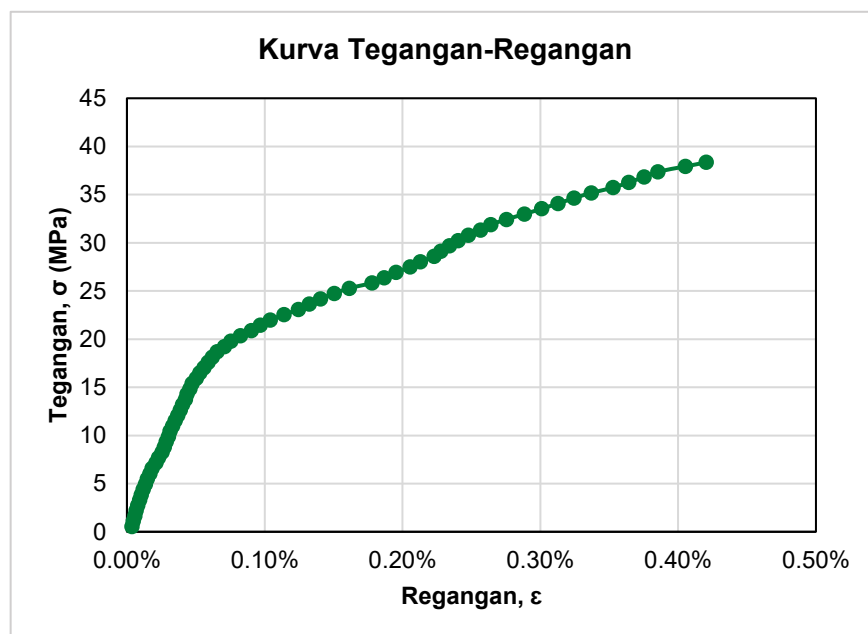
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.55
20	8	0.004	0.002%	1.10
30	14	0.007	0.004%	1.65
40	21	0.0105	0.005%	2.20
50	28	0.014	0.007%	2.75
60	36	0.018	0.009%	3.30
70	44	0.022	0.011%	3.85
80	52	0.026	0.013%	4.40
90	62	0.031	0.016%	4.95
100	72	0.036	0.018%	5.50
110	81	0.0405	0.020%	6.05
120	90	0.045	0.023%	6.60
130	98	0.049	0.025%	7.15
140	106	0.053	0.027%	7.70
150	114	0.057	0.029%	8.24
160	123	0.0615	0.031%	8.79
170	132	0.066	0.033%	9.34
180	141	0.0705	0.035%	9.89
190	148	0.074	0.037%	10.44
200	155	0.0775	0.039%	10.99

210	164	0.082	0.041%	11.54
220	170	0.085	0.043%	12.09
230	178	0.089	0.045%	12.64
240	186	0.093	0.047%	13.19
250	192	0.096	0.048%	13.74
260	198	0.099	0.050%	14.29
270	209	0.1045	0.052%	14.84
280	220	0.11	0.055%	15.39
290	229	0.1145	0.057%	15.94
300	237	0.1185	0.059%	16.49
310	245	0.1225	0.061%	17.04
320	253	0.1265	0.063%	17.59
330	260	0.13	0.065%	18.14
340	267	0.1335	0.067%	18.69
350	274	0.137	0.069%	19.24
360	282	0.141	0.071%	19.79
370	290	0.145	0.073%	20.34
380	298	0.149	0.075%	20.89
390	306	0.153	0.077%	21.44
400	315	0.1575	0.079%	21.99
410	324	0.162	0.081%	22.54
420	333	0.1665	0.083%	23.09
430	339	0.1695	0.085%	23.63
440	345	0.1725	0.086%	24.18
450	351	0.1755	0.088%	24.73
460	359	0.1795	0.090%	25.28
470	367	0.1835	0.092%	25.83
480	375	0.1875	0.094%	26.38
490	386	0.193	0.097%	26.93
500	396	0.198	0.099%	27.48

510	408	0.204	0.102%	28.03
520	413	0.2065	0.103%	28.58
530	425	0.2125	0.106%	29.13
540	440	0.22	0.110%	29.68
550	460	0.23	0.115%	30.23
560	486	0.243	0.122%	30.78
570	518	0.259	0.130%	31.33
580	556	0.278	0.139%	31.88
590	622	0.311	0.156%	32.43
600	724	0.362	0.181%	32.98
610	790	0.395	0.198%	33.53
620	848	0.424	0.212%	34.08
630	933	0.4665	0.233%	34.63
640	1056	0.528	0.264%	35.18
650	1124	0.562	0.281%	35.51

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	35.51	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	32331.95	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	28006.22	MPa

Modulus Elastisitas **BV 4 Sampel (3)**

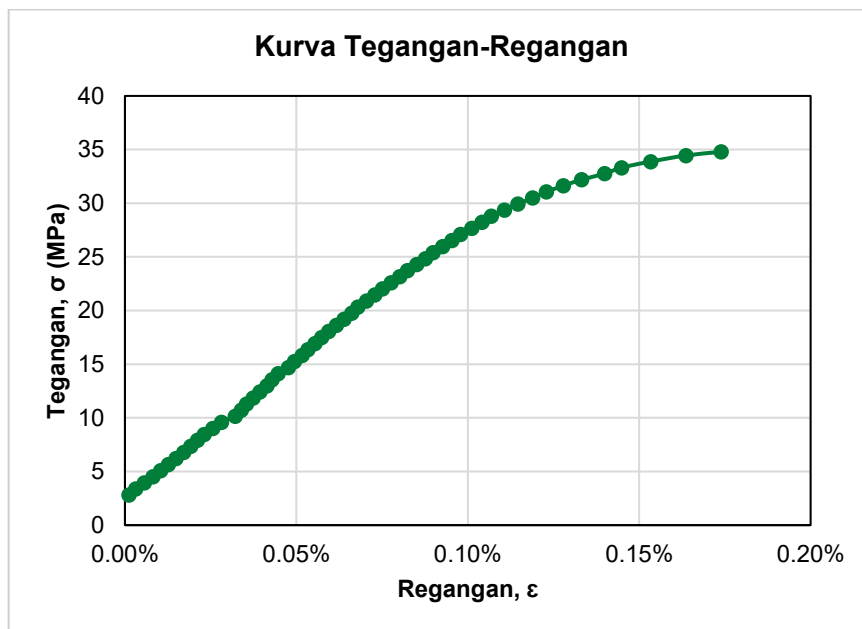
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.56
20	10	0.005	0.003%	1.13
30	17	0.0085	0.004%	1.69
40	25	0.0125	0.006%	2.26
50	33	0.0165	0.008%	2.82
60	41	0.0205	0.010%	3.39
70	51	0.0255	0.013%	3.95
80	61	0.0305	0.015%	4.52
90	70	0.035	0.018%	5.08
100	79	0.0395	0.020%	5.65
110	88	0.044	0.022%	6.21
120	97	0.0485	0.024%	6.78
130	105	0.0525	0.026%	7.34
140	113	0.0565	0.028%	7.91
150	121	0.0605	0.030%	8.47
160	131	0.0655	0.033%	9.04
170	141	0.0705	0.035%	9.60
180	157	0.0785	0.039%	10.17
190	164	0.082	0.041%	10.73
200	170	0.085	0.043%	11.30

210	178	0.089	0.045%	11.86
220	186	0.093	0.047%	12.42
230	194	0.097	0.049%	12.99
240	200	0.1	0.050%	13.55
250	207	0.1035	0.052%	14.12
260	219	0.1095	0.055%	14.68
270	226	0.113	0.057%	15.25
280	235	0.1175	0.059%	15.81
290	242	0.121	0.061%	16.38
300	250	0.125	0.063%	16.94
310	258	0.129	0.065%	17.51
320	266	0.133	0.067%	18.07
330	275	0.1375	0.069%	18.64
340	284	0.142	0.071%	19.20
350	293	0.1465	0.073%	19.77
360	300	0.15	0.075%	20.33
370	310	0.155	0.078%	20.90
380	320	0.16	0.080%	21.46
390	329	0.1645	0.082%	22.03
400	339	0.1695	0.085%	22.59
410	349	0.1745	0.087%	23.15
420	358	0.179	0.090%	23.72
430	369	0.1845	0.092%	24.28
440	379	0.1895	0.095%	24.85
450	388	0.194	0.097%	25.41
460	399	0.1995	0.100%	25.98
470	410	0.205	0.103%	26.54
480	420	0.21	0.105%	27.11
490	433	0.2165	0.108%	27.67
500	445	0.2225	0.111%	28.24

510	456	0.228	0.114%	28.80
520	471	0.2355	0.118%	29.37
530	487	0.2435	0.122%	29.93
540	504	0.252	0.126%	30.50
550	520	0.26	0.130%	31.06
560	540	0.27	0.135%	31.63
570	561	0.2805	0.140%	32.19
580	588	0.294	0.147%	32.76
590	608	0.304	0.152%	33.32
600	642	0.321	0.161%	33.89
610	683	0.3415	0.171%	34.45
614	724	0.362	0.181%	34.79

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	34.79	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31626.23	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27721.58	MPa

Modulus Elastisitas **BV 4 Sampel (4)**

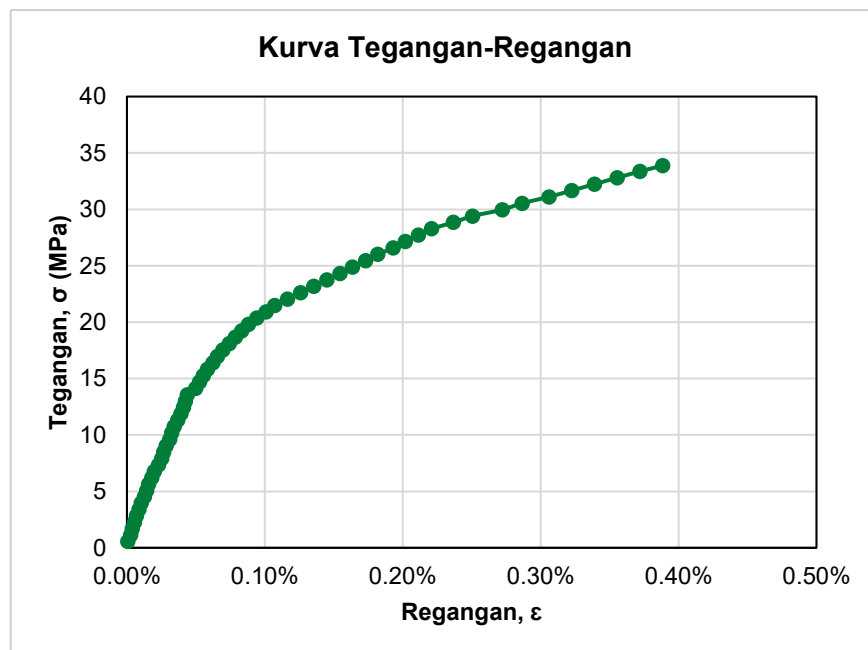
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.56
20	10	0.005	0.003%	1.13
30	17	0.0085	0.004%	1.69
40	25	0.0125	0.006%	2.26
50	33	0.0165	0.008%	2.82
60	41	0.0205	0.010%	3.39
70	51	0.0255	0.013%	3.95
80	61	0.0305	0.015%	4.52
90	70	0.035	0.018%	5.08
100	79	0.0395	0.020%	5.65
110	88	0.044	0.022%	6.21
120	97	0.0485	0.024%	6.78
130	105	0.0525	0.026%	7.34
140	113	0.0565	0.028%	7.91
150	121	0.0605	0.030%	8.47
160	131	0.0655	0.033%	9.04
170	141	0.0705	0.035%	9.60
180	157	0.0785	0.039%	10.17
190	164	0.082	0.041%	10.73
200	170	0.085	0.043%	11.30

210	155	0.0775	0.039%	11.88
220	162	0.081	0.041%	12.44
230	168	0.084	0.042%	13.01
240	173	0.0865	0.043%	13.57
250	197	0.0985	0.049%	14.14
260	209	0.1045	0.052%	14.70
270	220	0.11	0.055%	15.27
280	232	0.116	0.058%	15.83
290	248	0.124	0.062%	16.40
300	261	0.1305	0.065%	16.97
310	276	0.138	0.069%	17.53
320	295	0.1475	0.074%	18.10
330	313	0.1565	0.078%	18.66
340	331	0.1655	0.083%	19.23
350	351	0.1755	0.088%	19.79
360	375	0.1875	0.094%	20.36
370	402	0.201	0.101%	20.92
380	427	0.2135	0.107%	21.49
390	464	0.232	0.116%	22.05
400	502	0.251	0.126%	22.62
410	540	0.27	0.135%	23.19
420	578	0.289	0.145%	23.75
430	616	0.308	0.154%	24.32
440	652	0.326	0.163%	24.88
450	690	0.345	0.173%	25.45
460	726	0.363	0.182%	26.01
470	770	0.385	0.193%	26.58
480	806	0.403	0.202%	27.14
490	844	0.422	0.211%	27.71
500	882	0.441	0.221%	28.28

510	945	0.4725	0.236%	28.84
520	1001	0.5005	0.250%	29.41
530	1087	0.5435	0.272%	29.97
540	1144	0.572	0.286%	30.54
550	1222	0.611	0.306%	31.10
560	1288	0.644	0.322%	31.67
570	1354	0.677	0.339%	32.23
580	1420	0.71	0.355%	32.80
590	1486	0.743	0.372%	33.36
599	1552	0.776	0.388%	33.87

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	33.87	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31047.45	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27354.60	MPa

Modulus Elastisitas **BV 4 Sampel (5)**

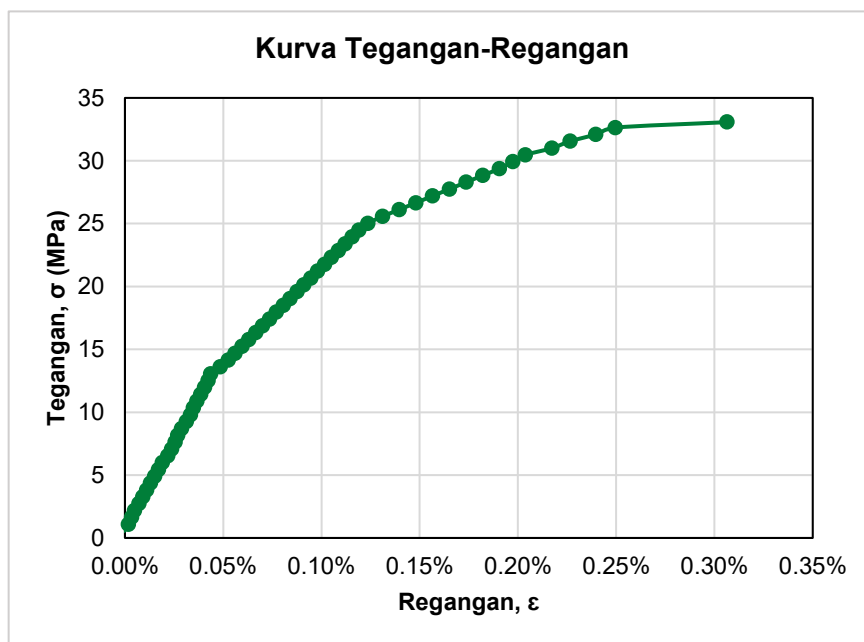
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	15%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	4	0.002	0.001%	0.54
20	13	0.0065	0.003%	1.09
30	19	0.0095	0.005%	1.63
40	25	0.0125	0.006%	2.18
50	34	0.017	0.009%	2.72
60	42	0.021	0.011%	3.26
70	50	0.025	0.013%	3.81
80	58	0.029	0.015%	4.35
90	66	0.033	0.017%	4.90
100	74	0.037	0.019%	5.44
110	82	0.041	0.021%	5.98
120	93	0.0465	0.023%	6.53
130	101	0.0505	0.025%	7.07
140	108	0.054	0.027%	7.61
150	113	0.0565	0.028%	8.16
160	121	0.0605	0.030%	8.70
170	131	0.0655	0.033%	9.25
180	139	0.0695	0.035%	9.79
190	145	0.0725	0.036%	10.33
200	152	0.076	0.038%	10.88

210	160	0.08	0.040%	11.42
220	168	0.084	0.042%	11.97
230	175	0.0875	0.044%	12.51
240	180	0.09	0.045%	13.05
250	200	0.1	0.050%	13.60
260	216	0.108	0.054%	14.14
270	230	0.115	0.058%	14.69
280	244	0.122	0.061%	15.23
290	258	0.129	0.065%	15.77
300	272	0.136	0.068%	16.32
310	286	0.143	0.072%	16.86
320	300	0.15	0.075%	17.41
330	314	0.157	0.079%	17.95
340	328	0.164	0.082%	18.49
350	342	0.171	0.086%	19.04
360	356	0.178	0.089%	19.58
370	370	0.185	0.093%	20.12
380	384	0.192	0.096%	20.67
390	398	0.199	0.100%	21.21
400	412	0.206	0.103%	21.76
410	426	0.213	0.107%	22.30
420	440	0.22	0.110%	22.84
430	454	0.227	0.114%	23.39
440	468	0.234	0.117%	23.93
450	482	0.241	0.121%	24.48
460	500	0.25	0.125%	25.02
470	530	0.265	0.133%	25.56
480	564	0.282	0.141%	26.11
490	598	0.299	0.150%	26.65
500	632	0.316	0.158%	27.20

510	666	0.333	0.167%	27.74
520	700	0.35	0.175%	28.28
530	734	0.367	0.184%	28.83
540	768	0.384	0.192%	29.37
550	795	0.3975	0.199%	29.92
560	821	0.4105	0.205%	30.46
570	875	0.4375	0.219%	31.00
580	912	0.456	0.228%	31.55
590	964	0.482	0.241%	32.09
600	1004	0.502	0.251%	32.63
608	1231	0.6155	0.308%	33.07

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	33.07	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30008.84	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27027.96	MPa

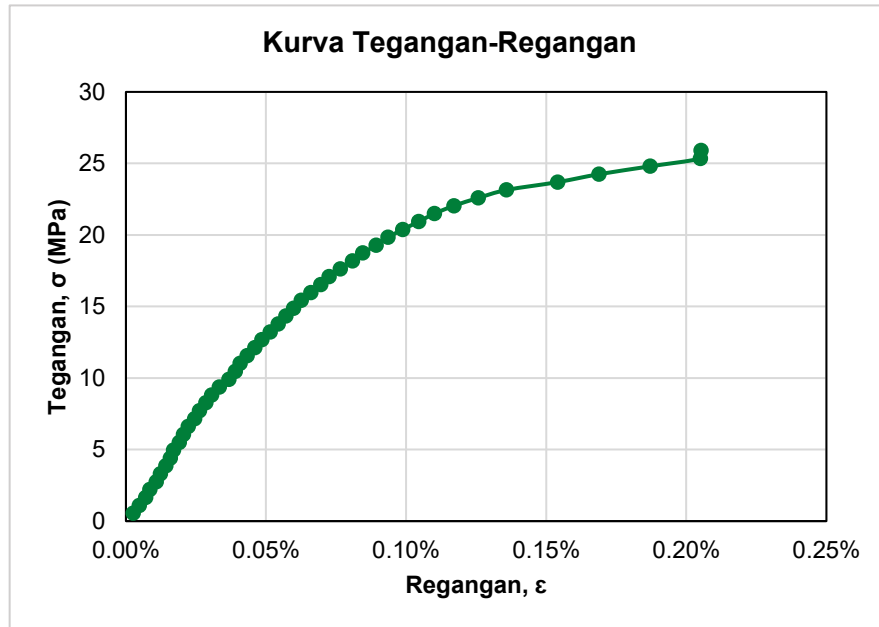
Modulus Elastisitas **BV 5 Sampel (1)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.55
20	11	0.0055	0.003%	1.10
30	20	0.01	0.005%	1.65
40	26	0.013	0.007%	2.20
50	35	0.0175	0.009%	2.76
60	41	0.0205	0.010%	3.31
70	49	0.0245	0.012%	3.86
80	55	0.0275	0.014%	4.41
90	60	0.03	0.015%	4.96
100	68	0.034	0.017%	5.51
110	74	0.037	0.019%	6.06
120	81	0.0405	0.020%	6.61
130	90	0.045	0.023%	7.16
140	97	0.0485	0.024%	7.72
150	106	0.053	0.027%	8.27
160	114	0.057	0.029%	8.82
170	125	0.0625	0.031%	9.37
180	139	0.0695	0.035%	9.92
190	148	0.074	0.037%	10.47
200	155	0.0775	0.039%	11.02

210	186	0.093	0.047%	12.68
220	198	0.099	0.050%	13.23
230	209	0.1045	0.052%	13.78
240	220	0.11	0.055%	14.33
250	231	0.1155	0.058%	14.88
260	242	0.121	0.061%	15.43
270	256	0.128	0.064%	15.98
280	270	0.135	0.068%	16.53
290	282	0.141	0.071%	17.08
300	298	0.149	0.075%	17.63
310	315	0.1575	0.079%	18.19
320	330	0.165	0.083%	18.74
330	349	0.1745	0.087%	19.29
340	366	0.183	0.092%	19.84
350	387	0.1935	0.097%	20.39
360	410	0.205	0.103%	20.94
370	432	0.216	0.108%	21.49
380	460	0.23	0.115%	22.04
390	495	0.2475	0.124%	22.59
400	535	0.2675	0.134%	23.15
410	608	0.304	0.152%	23.70
420	667	0.3335	0.167%	24.25
430	740	0.37	0.185%	24.80
440	812	0.406	0.203%	25.35
450	813	0.4065	0.203%	25.90

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	25.90	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26073.10	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23919.84	MPa

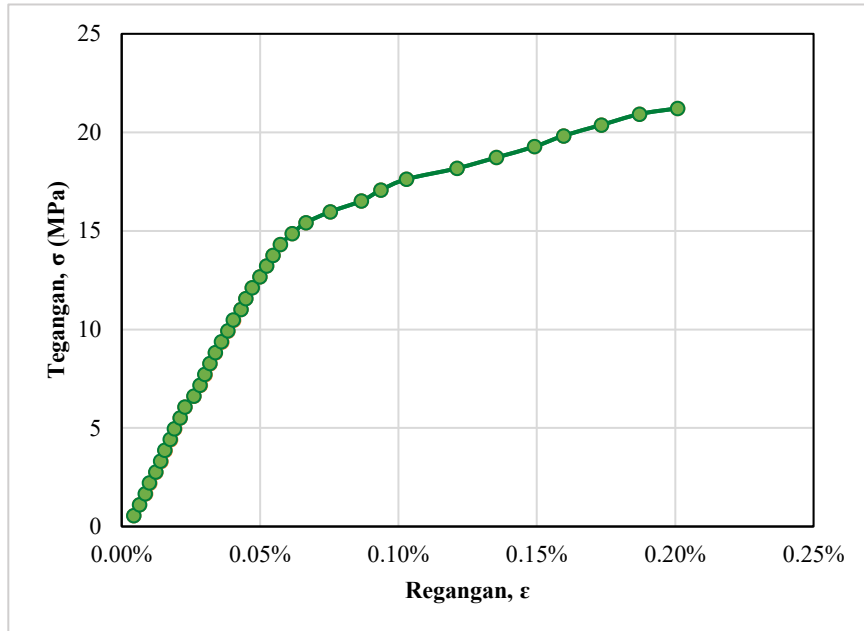
Modulus Elastisitas **BV 5 Sampel (2)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	2	0.001	0.001%	0.55
20	11	0.0055	0.003%	1.10
30	20	0.01	0.005%	1.65
40	26	0.013	0.007%	2.20
50	35	0.0175	0.009%	2.76
60	41	0.0205	0.010%	3.31
70	49	0.0245	0.012%	3.86
80	55	0.0275	0.014%	4.41
90	60	0.03	0.015%	4.96
100	68	0.034	0.017%	5.51
110	74	0.037	0.019%	6.06
120	81	0.0405	0.020%	6.61
130	90	0.045	0.023%	7.16
140	97	0.0485	0.024%	7.72
150	106	0.053	0.027%	8.27
160	114	0.057	0.029%	8.82
170	125	0.0625	0.031%	9.37
180	139	0.0695	0.035%	9.92
190	148	0.074	0.037%	10.47
200	155	0.0775	0.039%	11.02

210	163	0.0815	0.0004075	11.57
220	172	0.086	0.00043	12.12
230	183	0.0915	0.0004575	12.67
240	193	0.0965	0.0004825	13.22
250	202	0.101	0.000505	13.77
260	213	0.1065	0.0005325	14.32
270	230	0.115	0.000575	14.87
280	250	0.125	0.000625	15.42
290	285	0.1425	0.0007125	15.97
300	330	0.165	0.000825	16.52
310	358	0.179	0.000895	17.07
320	395	0.1975	0.0009875	17.62
330	468	0.234	0.00117	18.17
340	525	0.2625	0.0013125	18.72
350	580	0.29	0.00145	19.28
360	622	0.311	0.001555	19.83
370	677	0.3385	0.0016925	20.38
380	732	0.366	0.00183	20.93
385.3	787	0.3935	0.0019675	21.22

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	21.22	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25916.62	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	21650.40	MPa

Modulus Elastisitas **BV 5 Sampel (3)**

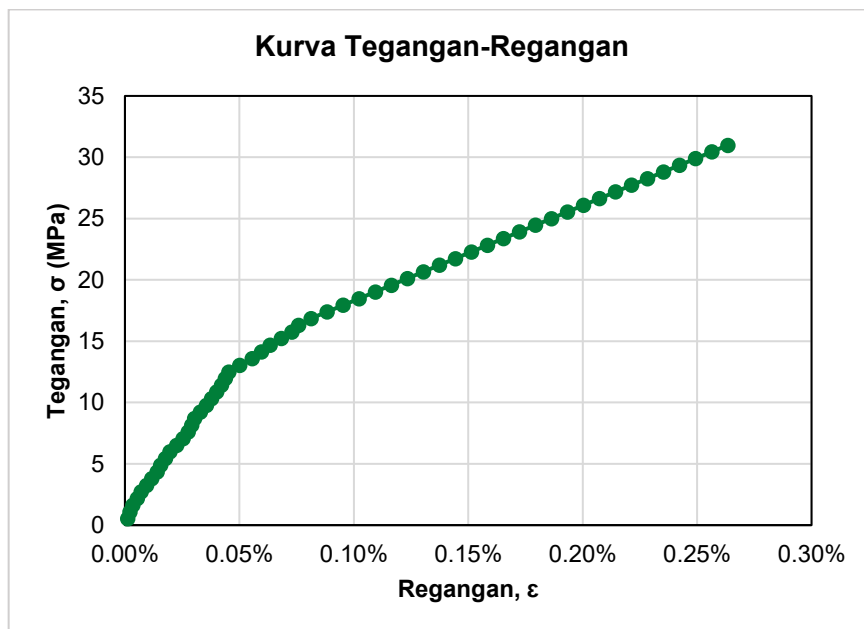
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	3	0.0015	0.001%	0.54
20	7	0.0035	0.002%	1.09
30	12	0.006	0.003%	1.63
40	20	0.01	0.005%	2.17
50	27	0.0135	0.007%	2.72
60	36	0.018	0.009%	3.26
70	45	0.0225	0.011%	3.80
80	55	0.0275	0.014%	4.35
90	61	0.0305	0.015%	4.89
100	69	0.0345	0.017%	5.44
110	77	0.0385	0.019%	5.98
120	89	0.0445	0.022%	6.52
130	100	0.05	0.025%	7.07
140	109	0.0545	0.027%	7.61
150	115	0.0575	0.029%	8.15
160	120	0.06	0.030%	8.70
170	130	0.065	0.033%	9.24
180	141	0.0705	0.035%	9.78
190	150	0.075	0.038%	10.33
200	159	0.0795	0.040%	10.87

210	167	0.0835	0.042%	11.41
220	174	0.087	0.044%	11.96
230	180	0.09	0.045%	12.50
240	199	0.0995	0.050%	13.05
250	221	0.1105	0.055%	13.59
260	237	0.1185	0.059%	14.13
270	252	0.126	0.063%	14.68
280	272	0.136	0.068%	15.22
290	290	0.145	0.073%	15.76
300	302	0.151	0.076%	16.31
310	324	0.162	0.081%	16.85
320	352	0.176	0.088%	17.39
330	380	0.19	0.095%	17.94
340	408	0.204	0.102%	18.48
350	436	0.218	0.109%	19.02
360	464	0.232	0.116%	19.57
370	492	0.246	0.123%	20.11
380	520	0.26	0.130%	20.66
390	548	0.274	0.137%	21.20
400	576	0.288	0.144%	21.74
410	604	0.302	0.151%	22.29
420	632	0.316	0.158%	22.83
430	660	0.33	0.165%	23.37
440	688	0.344	0.172%	23.92
450	716	0.358	0.179%	24.46
460	744	0.372	0.186%	25.00
470	772	0.386	0.193%	25.55
480	800	0.4	0.200%	26.09
490	828	0.414	0.207%	26.63
500	856	0.428	0.214%	27.18

510	884	0.442	0.221%	27.72
520	912	0.456	0.228%	28.26
530	940	0.47	0.235%	28.81
540	968	0.484	0.242%	29.35
550	996	0.498	0.249%	29.90
560	1024	0.512	0.256%	30.44
570	1052	0.526	0.263%	30.98
580	1080	0.54	0.270%	31.53
590	1108	0.554	0.277%	32.07
600	1136	0.568	0.284%	32.61
610	1164	0.582	0.291%	33.16
617.7	1192	0.596	0.298%	33.58

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	33.58	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27560.53	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	27233.81	MPa

Modulus Elastisitas **BV 5 Sampel (4)**

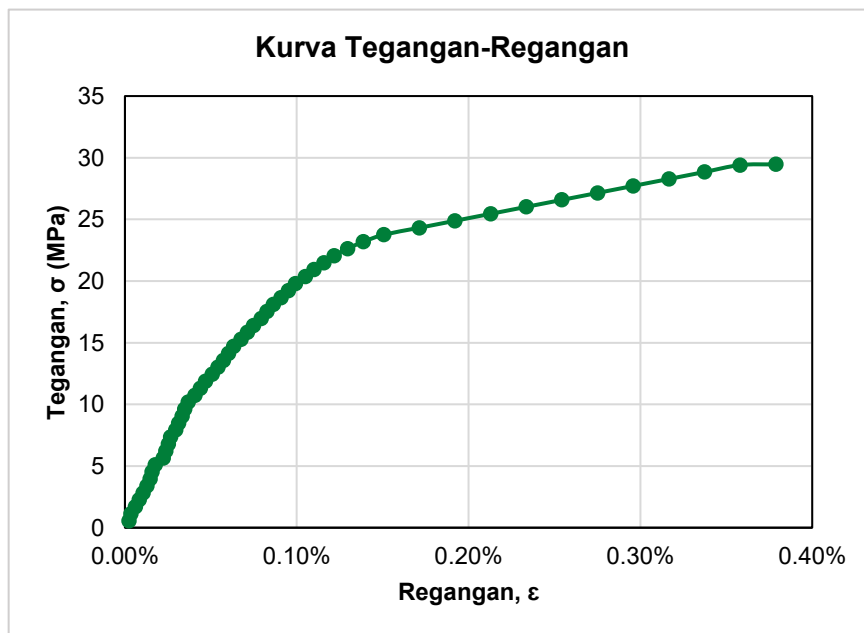
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	4	0.002	0.001%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.13
30	19	0.0095	0.005%	1.70
40	28	0.014	0.007%	2.26
50	37	0.0185	0.009%	2.83
60	46	0.023	0.012%	3.39
70	53	0.0265	0.013%	3.96
80	58	0.029	0.015%	4.52
90	65	0.0325	0.016%	5.09
100	84	0.042	0.021%	5.66
110	90	0.045	0.023%	6.22
120	96	0.048	0.024%	6.79
130	101	0.0505	0.025%	7.35
140	113	0.0565	0.028%	7.92
150	120	0.06	0.030%	8.48
160	128	0.064	0.032%	9.05
170	134	0.067	0.034%	9.61
180	142	0.071	0.036%	10.18
190	158	0.079	0.040%	10.74
200	170	0.085	0.043%	11.31

210	182	0.091	0.046%	11.88
220	198	0.099	0.050%	12.44
230	211	0.1055	0.053%	13.01
240	224	0.112	0.056%	13.57
250	236	0.118	0.059%	14.14
260	248	0.124	0.062%	14.70
270	265	0.1325	0.066%	15.27
280	280	0.14	0.070%	15.83
290	294	0.147	0.074%	16.40
300	312	0.156	0.078%	16.97
310	325	0.1625	0.081%	17.53
320	340	0.17	0.085%	18.10
330	358	0.179	0.090%	18.66
340	375	0.1875	0.094%	19.23
350	392	0.196	0.098%	19.79
360	415	0.2075	0.104%	20.36
370	435	0.2175	0.109%	20.92
380	458	0.229	0.115%	21.49
390	482	0.241	0.121%	22.05
400	513	0.2565	0.128%	22.62
410	550	0.275	0.138%	23.19
420	597	0.2985	0.149%	23.75
430	680	0.34	0.170%	24.32
440	763	0.3815	0.191%	24.88
450	846	0.423	0.212%	25.45
460	929	0.4645	0.232%	26.01
470	1012	0.506	0.253%	26.58
480	1095	0.5475	0.274%	27.14
490	1178	0.589	0.295%	27.71
500	1261	0.6305	0.315%	28.28

510	1344	0.672	0.336%	28.84
520	1427	0.7135	0.357%	29.41
521	1510	0.755	0.378%	29.46

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	29.46	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25390.12	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25511.49	MPa

Modulus Elastisitas **BV 5 Sampel (5)**

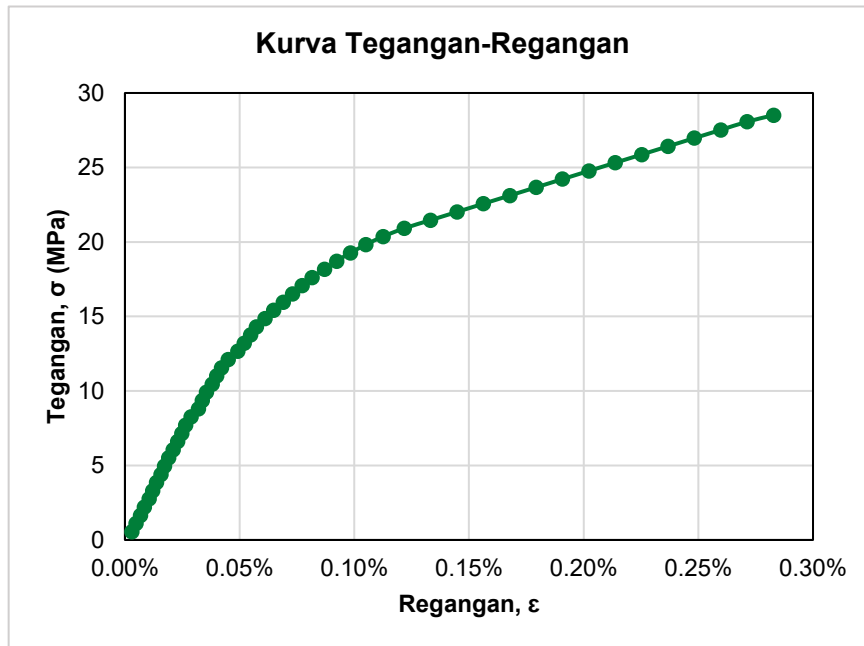
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	20%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	4	0.002	0.001%	0.55
20	11	0.0055	0.003%	1.10
30	19	0.0095	0.005%	1.65
40	26	0.013	0.007%	2.20
50	34	0.017	0.009%	2.75
60	40	0.02	0.010%	3.30
70	47	0.0235	0.012%	3.85
80	55	0.0275	0.014%	4.40
90	61	0.0305	0.015%	4.95
100	68	0.034	0.017%	5.50
110	76	0.038	0.019%	6.05
120	84	0.042	0.021%	6.60
130	91	0.0455	0.023%	7.15
140	98	0.049	0.025%	7.71
150	107	0.0535	0.027%	8.26
160	120	0.06	0.030%	8.81
170	127	0.0635	0.032%	9.36
180	134	0.067	0.034%	9.91
190	144	0.072	0.036%	10.46
200	152	0.076	0.038%	11.01

210	160	0.08	0.040%	11.56
220	172	0.086	0.043%	12.11
230	189	0.0945	0.047%	12.66
240	200	0.1	0.050%	13.21
250	211	0.1055	0.053%	13.76
260	221	0.1105	0.055%	14.31
270	236	0.118	0.059%	14.86
280	251	0.1255	0.063%	15.41
290	268	0.134	0.067%	15.96
300	284	0.142	0.071%	16.51
310	301	0.1505	0.075%	17.06
320	318	0.159	0.080%	17.61
330	340	0.17	0.085%	18.16
340	361	0.1805	0.090%	18.71
350	385	0.1925	0.096%	19.26
360	412	0.206	0.103%	19.81
370	442	0.221	0.111%	20.36
380	479	0.2395	0.120%	20.91
390	525	0.2625	0.131%	21.46
400	571	0.2855	0.143%	22.01
410	617	0.3085	0.154%	22.57
420	663	0.3315	0.166%	23.12
430	709	0.3545	0.177%	23.67
440	755	0.3775	0.189%	24.22
450	801	0.4005	0.200%	24.77
460	847	0.4235	0.212%	25.32
470	893	0.4465	0.223%	25.87
480	939	0.4695	0.235%	26.42
490	985	0.4925	0.246%	26.97
500	1031	0.5155	0.258%	27.52

510	1077	0.5385	0.269%	28.07
518	1123	0.5615	0.281%	28.51

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	28.51	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27518.31	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	25095.08	MPa

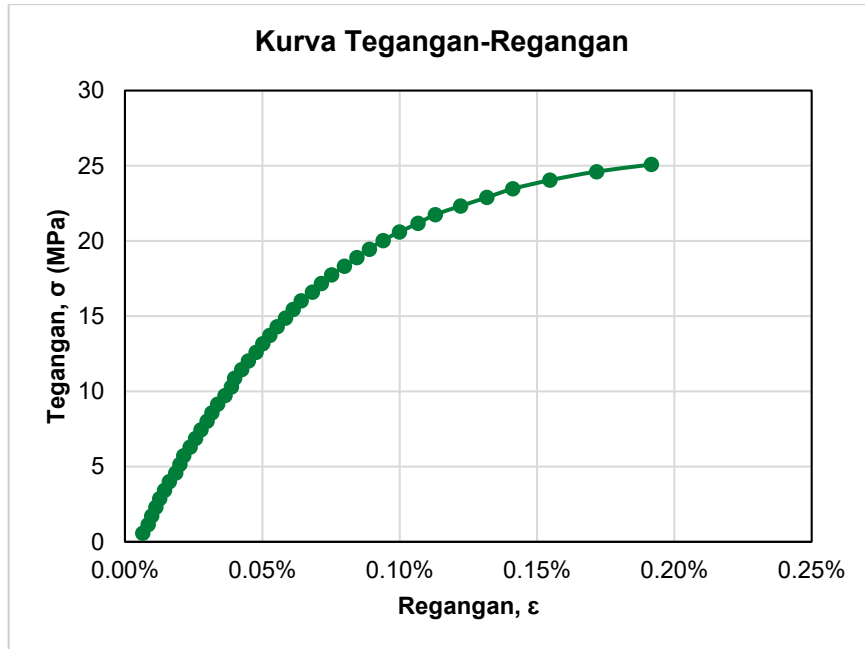
Modulus Elastisitas **BV 6 Sampel (1)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.14
30	14	0.007	0.004%	1.72
40	20	0.01	0.005%	2.29
50	26	0.013	0.007%	2.86
60	33	0.0165	0.008%	3.43
70	40	0.02	0.010%	4.01
80	49	0.0245	0.012%	4.58
90	55	0.0275	0.014%	5.15
100	61	0.0305	0.015%	5.72
110	70	0.035	0.018%	6.30
120	78	0.039	0.020%	6.87
130	86	0.043	0.022%	7.44
140	95	0.0475	0.024%	8.01
150	102	0.051	0.026%	8.59
160	110	0.055	0.028%	9.16
170	121	0.0605	0.030%	9.73
180	130	0.065	0.033%	10.30
190	135	0.0675	0.034%	10.87
200	145	0.0725	0.036%	11.45

210	155	0.0775	0.039%	12.02
220	166	0.083	0.042%	12.59
230	176	0.088	0.044%	13.16
240	186	0.093	0.047%	13.74
250	197	0.0985	0.049%	14.31
260	209	0.1045	0.052%	14.88
270	220	0.11	0.055%	15.45
280	232	0.116	0.058%	16.03
290	248	0.124	0.062%	16.60
300	261	0.1305	0.065%	17.17
310	276	0.138	0.069%	17.74
320	295	0.1475	0.074%	18.32
330	313	0.1565	0.078%	18.89
340	331	0.1655	0.083%	19.46
350	351	0.1755	0.088%	20.03
360	375	0.1875	0.094%	20.60
370	402	0.201	0.101%	21.18
380	427	0.2135	0.107%	21.75
390	464	0.232	0.116%	22.32
400	502	0.251	0.126%	22.89
410	540	0.27	0.135%	23.47
420	594	0.297	0.149%	24.04
430	662	0.331	0.166%	24.61
438.2	742	0.371	0.186%	25.08

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	25.08	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	26709.78	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	23537.80	MPa

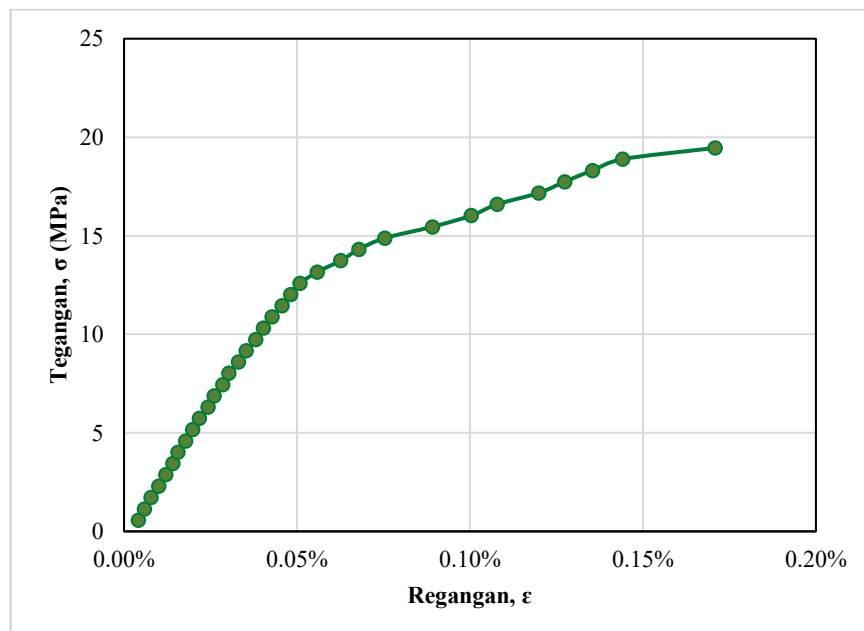
Modulus Elastisitas **BV 6 Sampel (2)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.57
20	9	0.0045	0.002%	1.14
30	14	0.007	0.004%	1.72
40	20	0.01	0.005%	2.29
50	26	0.013	0.007%	2.86
60	33	0.0165	0.008%	3.43
70	40	0.02	0.010%	4.01
80	49	0.0245	0.012%	4.58
90	55	0.0275	0.014%	5.15
100	61	0.0305	0.015%	5.72
110	70	0.035	0.018%	6.30
120	78	0.039	0.020%	6.87
130	86	0.043	0.022%	7.44
140	95	0.0475	0.024%	8.01
150	102	0.051	0.026%	8.59
160	110	0.055	0.028%	9.16
170	121	0.0605	0.030%	9.73
180	130	0.065	0.033%	10.30
190	135	0.0675	0.034%	10.87
200	145	0.0725	0.036%	11.45

210	181	0.0905	0.0004525	12.02
220	192	0.096	0.00048	12.59
230	212	0.106	0.00053	13.16
240	239	0.1195	0.0005975	13.74
250	260	0.13	0.00065	14.31
260	290	0.145	0.000725	14.88
270	345	0.1725	0.0008625	15.45
280	390	0.195	0.000975	16.03
290	420	0.21	0.00105	16.60
300	468	0.234	0.00117	17.17
310	498	0.249	0.001245	17.74
320	530	0.265	0.001325	18.32
330	565	0.2825	0.0014125	18.89
340	672	0.336	0.00168	19.46

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	19.46	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25917.85	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	20733.33	MPa

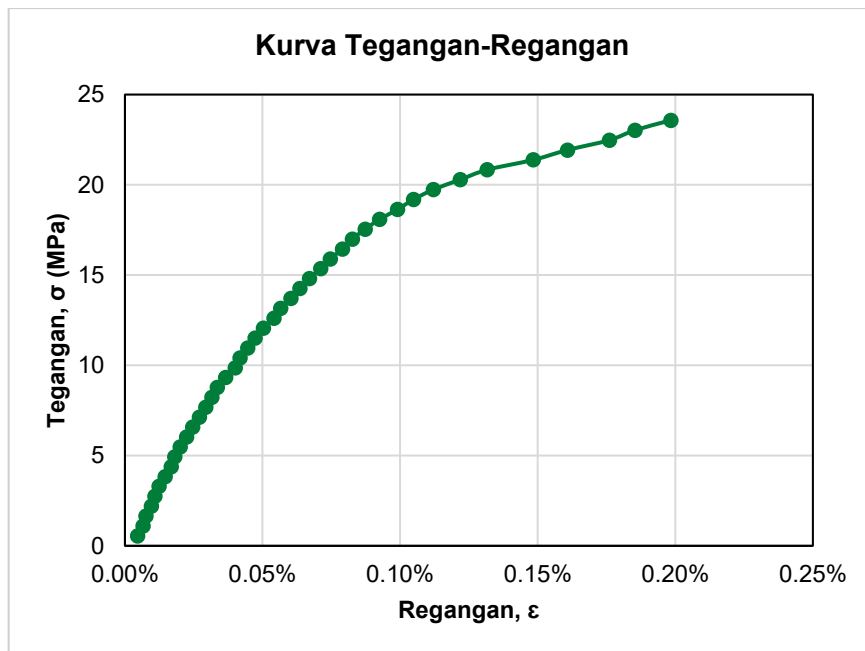
Modulus Elastisitas **BV 6 Sampel (3)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	12	0	0.000%	0.55
20	8	0.004	0.002%	1.10
30	12	0.006	0.003%	1.64
40	20	0.01	0.005%	2.19
50	25	0.0125	0.006%	2.74
60	31	0.0155	0.008%	3.29
70	40	0.02	0.010%	3.84
80	49	0.0245	0.012%	4.39
90	54	0.027	0.014%	4.93
100	62	0.031	0.016%	5.48
110	71	0.0355	0.018%	6.03
120	80	0.04	0.020%	6.58
130	90	0.045	0.023%	7.13
140	99	0.0495	0.025%	7.67
150	108	0.054	0.027%	8.22
160	116	0.058	0.029%	8.77
170	128	0.064	0.032%	9.32
180	142	0.071	0.036%	9.87
190	149	0.0745	0.037%	10.42
200	160	0.08	0.040%	10.96

210	171	0.0855	0.043%	11.51
220	183	0.0915	0.046%	12.06
230	198	0.099	0.050%	12.61
240	208	0.104	0.052%	13.16
250	223	0.1115	0.056%	13.71
260	236	0.118	0.059%	14.25
270	250	0.125	0.063%	14.80
280	266	0.133	0.067%	15.35
290	280	0.14	0.070%	15.90
300	298	0.149	0.075%	16.45
310	312	0.156	0.078%	16.99
320	331	0.1655	0.083%	17.54
330	352	0.176	0.088%	18.09
340	378	0.189	0.095%	18.64
350	401	0.2005	0.100%	19.19
360	430	0.215	0.108%	19.74
370	469	0.2345	0.117%	20.28
380	508	0.254	0.127%	20.83
390	575	0.2875	0.144%	21.38
400	625	0.3125	0.156%	21.93
410	686	0.343	0.172%	22.48
420	723	0.3615	0.181%	23.02
430	775	0.3875	0.194%	23.57

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	23.57	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23647.91	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	22819.29	MPa

Modulus Elastisitas **BV 6 Sampel (4)**

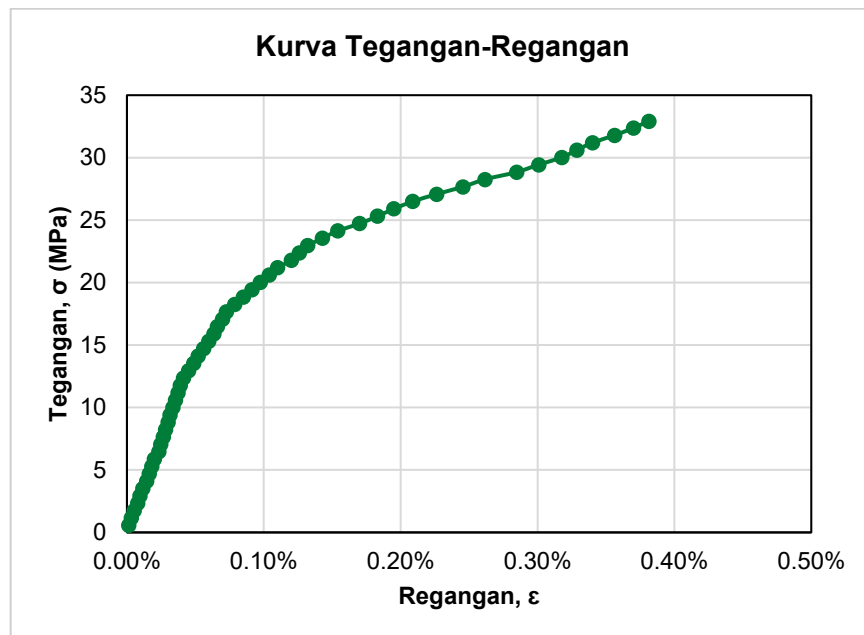
Data Sampel	
Kadar Limbah Beton	25%
Kadar <i>Fly Ash</i>	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	25 MPa

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	1	0.0005	0.000%	0.59
20	9	0.0045	0.002%	1.18
30	17	0.0085	0.004%	1.77
40	27	0.0135	0.007%	2.36
50	34	0.017	0.009%	2.94
60	42	0.021	0.011%	3.53
70	53	0.0265	0.013%	4.12
80	61	0.0305	0.015%	4.71
90	68	0.034	0.017%	5.30
100	76	0.038	0.019%	5.89
110	89	0.0445	0.022%	6.48
120	95	0.0475	0.024%	7.07
130	102	0.051	0.026%	7.65
140	109	0.0545	0.027%	8.24
150	116	0.058	0.029%	8.83
160	122	0.061	0.031%	9.42
170	130	0.065	0.033%	10.01
180	138	0.069	0.035%	10.60
190	145	0.0725	0.036%	11.19
200	152	0.076	0.038%	11.78

210	161	0.0805	0.040%	12.37
220	176	0.088	0.044%	12.95
230	191	0.0955	0.048%	13.54
240	204	0.102	0.051%	14.13
250	220	0.11	0.055%	14.72
260	235	0.1175	0.059%	15.31
270	250	0.125	0.063%	15.90
280	260	0.13	0.065%	16.49
290	275	0.1375	0.069%	17.08
300	286	0.143	0.072%	17.66
310	311	0.1555	0.078%	18.25
320	336	0.168	0.084%	18.84
330	361	0.1805	0.090%	19.43
340	386	0.193	0.097%	20.02
350	412	0.206	0.103%	20.61
360	436	0.218	0.109%	21.20
370	476	0.238	0.119%	21.79
380	500	0.25	0.125%	22.38
390	524	0.262	0.131%	22.96
400	567	0.2835	0.142%	23.55
410	612	0.306	0.153%	24.14
420	676	0.338	0.169%	24.73
430	728	0.364	0.182%	25.32
440	776	0.388	0.194%	25.91
450	831	0.4155	0.208%	26.50
460	901	0.4505	0.225%	27.09
470	978	0.489	0.245%	27.67
480	1042	0.521	0.261%	28.26
490	1135	0.5675	0.284%	28.85
500	1199	0.5995	0.300%	29.44

510	1267	0.6335	0.317%	30.03
520	1311	0.6555	0.328%	30.62
530	1357	0.6785	0.339%	31.21
540	1421	0.7105	0.355%	31.80
550	1476	0.738	0.369%	32.38
559,1	1521	0.7605	0.380%	32.92

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f'_c	32.92	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28672.81	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	26967.00	MPa

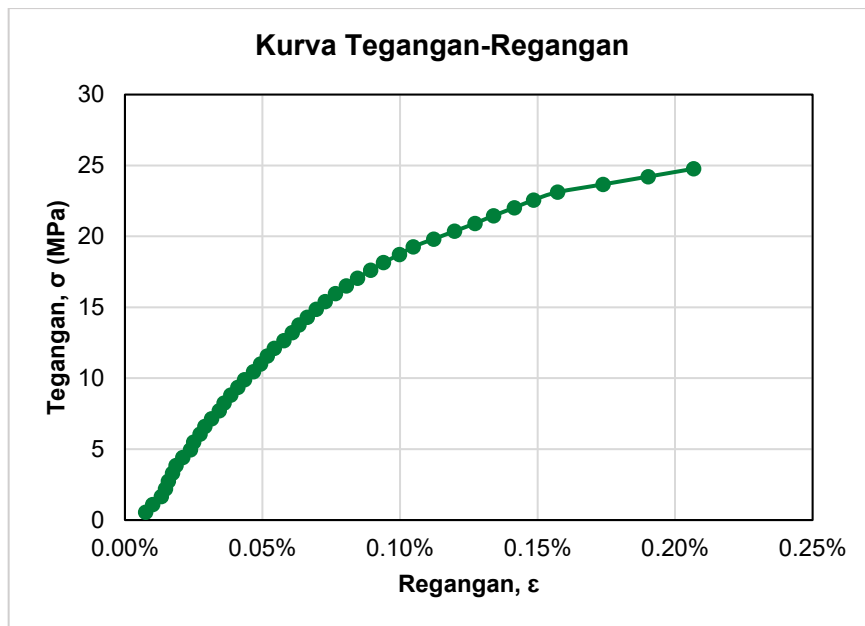
Modulus Elastisitas **BV 6 Sampel (5)**

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

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10³ mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	6	0.003	0.002%	0.55
20	16	0.008	0.004%	1.10
30	29	0.0145	0.007%	1.65
40	35	0.0175	0.009%	2.20
50	39	0.0195	0.010%	2.75
60	45	0.0225	0.011%	3.30
70	50	0.025	0.013%	3.85
80	60	0.03	0.015%	4.40
90	71	0.0355	0.018%	4.95
100	76	0.038	0.019%	5.50
110	85	0.0425	0.021%	6.05
120	92	0.046	0.023%	6.60
130	102	0.051	0.026%	7.15
140	113	0.0565	0.028%	7.71
150	120	0.06	0.030%	8.26
160	130	0.065	0.033%	8.81
170	140	0.07	0.035%	9.36
180	150	0.075	0.038%	9.91
190	163	0.0815	0.041%	10.46
200	173	0.0865	0.043%	11.01

210	183	0.0915	0.046%	11.56
220	193	0.0965	0.048%	12.11
230	207	0.1035	0.052%	12.66
240	219	0.1095	0.055%	13.21
250	229	0.1145	0.057%	13.76
260	241	0.1205	0.060%	14.31
270	254	0.127	0.064%	14.86
280	267	0.1335	0.067%	15.41
290	282	0.141	0.071%	15.96
300	298	0.149	0.075%	16.51
310	314	0.157	0.079%	17.06
320	333	0.1665	0.083%	17.61
330	352	0.176	0.088%	18.16
340	375	0.1875	0.094%	18.71
350	395	0.1975	0.099%	19.26
360	425	0.2125	0.106%	19.81
370	455	0.2275	0.114%	20.36
380	485	0.2425	0.121%	20.91
390	512	0.256	0.128%	21.46
400	542	0.271	0.136%	22.01
410	570	0.285	0.143%	22.57
420	605	0.3025	0.151%	23.12
430	671	0.3355	0.168%	23.67
440	737	0.3685	0.184%	24.22
450	803	0.4015	0.201%	24.77
460	869	0.4345	0.217%	25.32
475	935	0.4675	0.234%	26.14

Grafik Kurva Tegangan Regangan



Kuat Desak, f_c	26.14	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	22773.77	MPa
Modulus Elastisitas Teoretis, E_{Teo}	24030.93	MPa