TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI SERBUK BATU BATA MERAH PADA AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN ABSORPSI DAN MODULUS ELASTISITAS BETON

(*EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH RED BRICK POWDER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH WATER ABSORPTION AND MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE*)

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

Mochammad Arkaf D
19 511 197

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI SERBUK BATU BATA MERAH PADA AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN ABSORPSI DAN MODULUS ELASTISITAS BETON

(*EFFECT OF PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE WITH RED BRICK POWDER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH WATER ABSORPTION AND MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE*)

Disusun oleh

Mochammad Arkaf D
19 511 197

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

Diuji pada tanggal 3, Oktober 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
13/10 2025	20/10 2025	19/10 25
Elvis Saputra, S.T., M. T	**Jafar S.T., MURP., M.T**	**Malik Mushtbofa, S.T., M.Eng**
NIK: 205111302	**NIK: 185111305**	**NIK: 185111302**

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

20/10 2025

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 Universitas Islam Indonesia 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 norma, kaidah, dan etika penulisan Karya Ilmiah.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 6 Oktober 2025

Yang membuat pernyataan,



Mochammad Arkaf D

(19511197)

iii

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji bagi Allah Subhanallahu wa Ta'ala karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Substitusi Serbuk Batu Bata Merah Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Absorpsi dan Modulus Elastisitas Beton". Solawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Proposal Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S. T., M. T., Ph.D.(Eng)., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan banyak bimbingan, saran, nasihat, serta memberikan banyak ilmu dan motivasi yang membangun selama penyusunan Tugas Akhir.
3. Jafar S.T., MURP., M.T., sebagai Dosen penguji 1
4. Malik Mushthofa, S.T., M.Eng., sebagai Dosen penguji 2
5. Bapak Bahrudin dan Ibu Nur Khikmah selaku orang tua penulis yang selalu sabar senantiasa memberikan do'a dan semangat kepada saya dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir.
6. Adelia dan Fairus selaku adik saya yang selalu memberikan do'a dan dukungan kepada saya.
7. Muhammad Saiful Rizki, Nuzul Rahmatullah, dan Sultan Bayu Prasetio yang telah membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir.

8. Nabilah Nur Syafiyah yang selalu menyemangati, membantu, serta mendo'akan saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya selama penelitian Tugas Akhir.

Akhir kata tidak ada yang sempurna di dunia, termasuk laporan ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat demi perbaikan. Semoga laporan ini dapat bernanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Yogyakarta, 6 Oktober 2025



Mochammad Arkaf. D

19511197

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
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	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Beton	13
3.2 Material Penyusun Beton	13
3.3 Agregat Halus	13
3.4 Agregat Kasar	14
3.5 Semen *Portland* (*PC*)	15
3.6 Air	17
3.7 Serbuk Batu Bata	17

3.8 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 18
3.9 Pengujian Slump 25
3.10 Perawatan Beton 26
3.11 Pengujian Kuat Tekan Beton 26
3.12 Absorpsi Beton 27
3.13 Modulus Elastisitas 28
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 30
4.1 Umum 30
4.2 Lokasi Penelitian 30
4.3 Bahan 30
4.4 Alat Yang Digunakan 33
4.5 Tahapan Penelitian 40
4.6 Prosedur Pengujian 44
4.7 Olah Data 46
4.8 Analisis Data dan Pembahasan 46
4.9 Kesimpulan dan Saran 46
4.10 Bagan Alir Penelitian 47
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 48
5.1 Pengujian Material 48
5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 75
5.3 Hasil Benda Uji Trial 85
5.4 Pengujian Slump 86
5.5 Pengujian Kuat Tekan Beton 87
5.6 Pengujian Absorpsi Beton 93
5.7 Pengujian Modulus Elastisitas Beton 100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 110
6.1 Kesimpulan 110
6.2 Saran 110
DAFTAR PUSTAKA 112
LAMPIRAN 115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu 10
Tabel 3. 1 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan 19
Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia 20
Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus 21
Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 22
Tabel 3.5 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton 25
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 49
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus 52
Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus 53
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 54
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 55
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 56
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Batu Bata 57
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus (Batu Bata) 60
Tabel 5.9 Gradasi Agregat Halus 61
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Batu Bata 62
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Batu Bata 63
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 64
Tabel 5.13 Komparasi Pengujian Berat jenis Pasir dan Batu Bata 64
Tabel 5.14 Komparasi Pengujian Analisa Saringan Pasir 65
Tabel 5.15 Komparasi Pengujian Analisa Saringan Batu Bata 66

Tabel 5.16 Komparasi Pengujian Berat Volume Gembur Pasir dan Batu Bata 67
Tabel 5.17 Komparasi Pengujian Berat Volume Padat Pasir dan Batu Bata 68
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 70
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar 72
Tabel 5.20 Gradasi Agregat Kasar 73
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 74
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar 75
Tabel 5.23 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Fas 0,5, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia 76
Tabel 5.24 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 78
Tabel 5.25 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetinan dalam Lingkungan Khusus 79
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton 83
Tabel 5.27 Proporsi Campuran Beton dengan Batu Bata 85
Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial 86
Tabel 5.29 Hasil Pengujian Slump 86
Tabel 5.30 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton 89
Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton 94
Tabel 5.32 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN01 101
Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Agregat Halus 14
Gambar 3.2 Agregat Kasar 15
Gambar 3.3 Semen 16
Gambar 3.4 Air 17
Gambar 3.5 Serbuk Batu Bata 18
Gambar 3.6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS) 20
Gambar 3.7 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm 23
Gambar 3.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 23
Gambar 3.9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm 24
Gambar 3.10 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 24
Gambar 3.11 Ilustrasi Pengujian Slump 26
Gambar 3.12 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan 27
Gambar 3.13 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton 28
Gambar 4.1 Semen Portland 31
Gambar 4.2 Agregat Kasar 31
Gambar 4.3 Agregat Halus 32
Gambar 4.4 Air 32
Gambar 4.5 Serbuk Batu Bata 33
Gambar 4.6 Saringan Agregat 34
Gambar 4.7 Timbangan 34
Gambar 4.8 Piknometer 35
Gambar 4.9 Oven 35
Gambar 4.10 *Concrete Mixer* 36
Gambar 4.11 Sekop 36

Gambar 4.12 Ember 37
Gambar 4.13 Kerucut Abrams 37
Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk 38
Gambar 4.15 Bekisting Beton 38
Gambar 4.16 *Stone Crusher* 39
Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan 39
Gambar 4.18 Bagan Alir Penelitian 47
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II 53
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Batu Bata Daerah II 61
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II 66
Gambar 5.4 Kurva Gradasi Batu Bata Daerah II 67
Gambar 5.5 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm 73
Gambar 5.6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS) 77
Gambar 5.7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat 80
Gambar 5.8 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah selesai Dipadatkan 81
Gambar 5.9 Grafik Pengujian Nilai Slump 87
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi 92
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Absorpsi Beton 97
Gambar 5.12 Beton Variasi 10% 97
Gambar 5.13 Beton Variasi 5% 98
Gambar 5.14 Kurva Tegangan Regangan 103
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Perhitungan Pengujian dan Teoritis 108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus 115
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus Batu Bata 121
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar 127
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton 132
Lampiran 5 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 134
Lampiran 6 Laporan Hasil Pengujian Absorpsi Beton 137
Lampiran 7 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas 140

ABSTRAK

Peningkatan pembangunan di Indonesia mendorong kebutuhan beton dan limbah konstruksi, termasuk bata merah. Serbuk batu bata sebagai substitusi agregat halus berpotensi mengurangi eksploitasi pasir alam dan memperbaiki mikrostruktur melalui pengisian pori. Penelitian ini meneliti dampaknya pada kuat tekan, absorpsi, dan modulus elastisitas beton.

Metode ini berupa pengujian beton pada enam variasi campuran, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% substitusi serbuk batu bata terhadap berat pasir. Serbuk diperoleh dari penghancuran batu bata lalu diayak hingga lolos saringan no. 4. Campuran dirancang untuk mutu rencana *f'c* 21 MPa. Uji yang dilakukan meliputi slump pada beton segar, kuat tekan, absorpsi beton, dan modulus elastisitas dengan silinder 150×300 mm pada waktu perendaman 28 hari, mengikuti standar SNI/ASTM.

Hasil kuat tekan menunjukkan beton normal (0%) memberikan nilai tertinggi 33,18 MPa. Seluruh campuran dengan substitusi serbuk batu bata mengalami penurunan dibanding beton normal, variasi terbaik terjadi pada 10% dengan kuat tekan 29,14 MPa atau turun 12,2% dari normal, sementara 5%, 15%, 20%, dan 25% menunjukkan penurunan. Tren ini mencerminkan pengaruh serbuk yang lebih berpori. Penurunan tersebut terutama dipicu oleh penyerapan air dan kandungan lumpur serbuk batu bata yang lebih tinggi daripada pasir dan berat jenis batu bata yang lebih rendah daripada pasir mengindikasikan porositas yang lebih tinggi. Kemudian Agregat yang berasal dari batu bata memiliki daya serap air yang tinggi, kepadatan yang rendah, dan kekuatan yang lebih rendah. Dengan mempertimbangkan terhadap beton normal, seluruh variasi (5-25%) batu bata pada penelitian ini menunjukkan penurunan pada kuat tekan beton.

Kata kunci: serbuk batu bata, beton, kuat tekan, absorpsi.

ABSTRACT

Increased development in Indonesia has driven demand for concrete and construction waste, including red bricks. Brick powder as a substitute for fine aggregate has the potential to reduce the exploitation of natural sand and improve microstructure through pore filling. This study examines its impact on concrete compressive strength, absorption, and elastic modulus.

The method involved testing concrete in six mixture variations, 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% brick powder substitution by weight of sand. The powder was obtained from crushing bricks and then sieved to pass through a No. 4 sieve. The mixture was designed for a planned strength of f'c 21 MPa. The tests conducted included slump on fresh concrete, compressive strength, concrete absorption, and elastic modulus with a 150×300 mm cylinder at 28 days of immersion, following the SNI/ASTM standard.

The compressive strength results show that normal concrete (0%) provides the highest value of 33.18 MPa. All mixtures with brick powder substitution experienced a decrease compared to normal concrete, with the best variation occurring at 10% with a compressive strength of 29.14 MPa or a 12.2% decrease from normal, while 5%, 15%, 20%, and 25% showed decreases. This trend reflects the influence of more porous powder. The decrease was mainly triggered by water absorption and the higher clay content of brick powder compared to sand, and the lower specific gravity of bricks compared to sand, indicating higher porosity. Furthermore, aggregates derived from bricks have high water absorption, low density, and lower strength. Compared to normal concrete, all variations (5-25%) of bricks in this study showed a decrease in concrete compressive strength.

Keywords: brick powder, concrete, compressive strength, absorption.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan industri khusunya konstruksi di Indonesia, berkembang cukup pesat. Dari berbagai banyaknya material konstruksi yang sering digunakan salah satunya adalah beton. Beton yang merupakan komponen penting dalam sebuah konstruksi terdiri dari beberapa bahan penyusun yaitu air, agregat kasar berupa batu kerikil, agregat halus berupa pasir, dan semen serta bahan tambah lainnya sesuai dengan penggunaanya. Dengan karakteristik tersebut, beton material konstruksi yang paling banyak digunakan. Dampak dari berkembangnya industri konstruksi di Indonesia adalah semakin meningkatnya kebutuhan beton, Sampai dengan kuartal 2 tahun 2023 pertumbuhan industri terus berkembang (data industri research, 2023). Kemudian seiring berkembang dan semakin majunya industri ini tidak diimbangi dengan pengendalian limbah yang di hasilkan dari berbagai sektor industri.

Pengelolaan limbah konstruksi menjadi salah satu tantangan utama dalam pembangunan. Salah satu limbah konstruksi yang cukup melimpah adalah limbah batu bata merah, yang dihasilkan dari proses pembongkaran bangunan atau produksi yang tidak memenuhi standar kualitas. Pada tempat pabrikasi batu bata terdapat banyak yang pecah ataupun retak mengakibatkan harga jual yang rendah, dalam hal ini akan membuat batu bata dibuang dan menjadi limbah, limbah ini dapat digunakan kembali dalam produksi beton (Alfiqry, 2019). Pecahan digunakan sebagai pengganti agregat halus pada material beton.

Batu bata mengandung kandungan senyawa silika oksida, yang berfungsi sebagai bahan tahan api dan pelindung panas suhu tinggi dikarenakan kandungan batu bata terkandung senyawa silika berkisar 55-65% (Yulian et al., 2023). Agregat halus dalam campuran beton harus memiliki keawetan (*durability*) yang tinggi, yakni tidak mudah hancur akibat pengaruh suhu ataupun cuaca di dalam batu bata terdapat kandungan silika di mana kandungan ini dapat sebagai bahan tahan api dan

sebagai pelindung termal suhu tinggi.

Batu bata pada umumnya mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang berasal dari proses pembakaran tanah liat, ketika dihancurkan halus menjadi serbuk batu bata, material ini menunjukkan aktivitas sehingga memperbaiki mikrostruktur dan sifat mekanik beton (Hu et al., 2024). Pemanfaatan serbuk batu bata merah sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan. Agregat batu bata dapat menurunkan konduktivitas termal beton dan menurunkan densitas yang bermanfaat dalam efisiensi energi bangunan (Y. Wang et al., 2023). Batu bata merah memiliki sifat fisik dan kimia yang dapat mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga beton dapat menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih baik. Selain itu, upaya ini dapat memberikan manfaat ganda, yakni mengurangi limbah konstruksi dan mengurangi dampak lingkungan dari eksploitasi pasir.

Untuk mendapatkan hasil batu bata menjadi agregat halus diperlukam proses penghalusan atau penghancuran dari pecahan batu bata menjadi butiran yang lebih kecil dan lebih halus menggunakan mesin penghancur batu (*stone crusher*). Material serbuk batu bata yang bisa digunakan menjadi agregat halus yaitu ukuran butiran kurang dari 4,75 mm supaya masuk kategori agregat halus. Dengan memanfaatkan serbuk batu bata pada pembuatan beton, maka diharapkan dapat menghasilkan konstruksi yang lebih ramah lingkungan dengan kualitas yang tidak jauh berbeda (Sofia et al., 2019).

Pemanfaatan serbuk batu bata sebagai substitusi agregat halus dapat mengurangi eksploitasi agregat alam dan mengalihkan aliran limbah dari TPA dengan mengubahnya menjadi bahan baku beton, sekaligus menekan kebutuhan penambangan pasir alam (Islam et al., 2024). Berlandaskan penjelasan di atas, penelitian ini bisa menjadi bahan pengetahuan dan inovasi tentang limbah batu bata merah sebagai substitusi pada agregat halus, dan dapat menanggulangi permasalahan mengenai limbah industri yang belum ditangani dengan baik dan benar. Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis ingin mengetahui sejauh mana kuat tekan beton, absorpsi beton, dan modulus elastisitas dengan bahan campur

serbuk batu bata dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% sebagai substitusi agregat halus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh serbuk batu bata merah sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton, absorpsi beton, dan modulus elastisitas?
2. Berapa jumlah kadar variasi substitusi serbuk batu bata merah pada agregat halus yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasar rumusan masalah di atas, maka tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh substitusi serbuk batu bata merah pada agregat halus terhadap kuat tekan beton, absorpsi beton, dan modulus elastisitas
2. Mengetahui jumlah kadar variasi substitusi serbuk batu bata pada agregat halus yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Memberikan penjelasan mengenai pengaruh substitusi serbuk batu bata merah pada agregat halus terhadap kuat tekan, absorpsi beton, dan modulus elastisitas.
2. Untuk mengetahui besar persentase substitusi serbuk batu bata merah pada agregat halus terhadap kuat tekan beton, absorpsi beton, dan modulus elastisitas.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini adalah untuk memastikan bahwa penelitian tidak keluar dari tujuan awalnya. Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian terbatas pada uji kuat tekan beton dengan acuan SNI 1974-2011, pengujian absorpsi beton dengan acuan SNI 6433-2016, dan modulus elastisitas dengan acuan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019.
2. Mutu beton rencana (*f'c*) senilai 21 MPa.
3. Perencanaan campuran beton berdasar SNI 2834-2000.
4. Semen menggunakan semen tipe PCC merek Tiga Roda
5. Agregat kasar dari Clereng dengan ukuran maksimum 20 mm.
6. Agregat halus dari kali Progo.
7. Batu bata dari toko bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman.
8. Air yang dipakai dari Laboraturium Bahan dan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
9. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
10. Pengujian dilaksanakan pada beton keras berumur 28 hari.
11. Berbagai pengujian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut.
    a. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
    b. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
    c. Uji analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990
    d. Uji analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990
    e. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998
    f. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998
    g. Uji butiran lolos ayakan No. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996
    h. Uji slump beton berdasarkan SNI 1972-2008

i. Uji kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011
j. Uji absorpsi beton menggunakan SNI 6433-2016
k. Uji modulus elastisitas menggunakan SNI 2847-2019

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian ini dilakukan. Peneliti mendapatkan beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan acuan untuk melakukan penelitian yang akan dilaksanakan. Berikut di bawah ini adalah penelian terdahulu yang dapat dijadikan sebagai referensi.

1. Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton *FC'* 21 Menggunakan Agregat Kasar PT. AMR dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru (Sylvina Permatasari, 2019)

   Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran beton dengan menambahkan limbah batu bata merah sebagai substitusi agregat halus. Komposisi penambahan batu bata merah yang digunakan dengan variasi persentase 0%, 15%, 20%, dan 25%. Komposisi campuran beton yang digunakan mengacu pada *mix design* berdasarkan SNI T15-1990-2003 + ACI & STM tahun 2016. Pada proses pengujian yang dilakukan kuat tekan beton mengalami peningkatan pada campuran 15% didapatkan 21,57 MPa, sedangkan pada variasi campuran 21,02 MPa dan 20,44 MPa. Kuat beton yang direncanakan di awal adalah 21 MPa. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dengan menambahkan batu bata merah sebesar 15% beton mengalami peningkatan sedangkan dengan menambahkan batu bata merah sebesar 20% beton mengalami penurunan namun masih tetap masuk dalam kuat tekan rencana dan pada campuran 25% kuat tekan mengalami penurunan yang tidak masuk dalam kuat tekan rencana. Penelitian ini mengacu pada AHSP Bidang Cipta Karya Kementerian PU tahun 2013 untuk mutu *f'c* 21 MPa dengan menggunakan material lokal.

2. Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap

Mutu Kuat Tekan Beton (Dewi Ayu Sofia, Putri Anabela Shafira, Haadi Kusumah, 2022)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana menganalisis pengaruh limbah batu bata yang dimanfaatkan sebagai agregat halus pengganti pada proses pembuatan beton. Penelitian merancang *mix design* dengan menggunakan acuan pada SNI 03-2834-2004. Sample beton menggunakan cetakan kubus yang dibuat sebanyak 30 buah. Proses penggantian pasir sebagian besar menggunakan limbah batu bata dengan 5 variasi, dengan persentase 0%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Benda uji dilakukan proses perendaman dengan menggunakan air selama 14 hari dan 28 hari. Hasil yang didapat dengan hasil baik yaitu pada umur 14 hari maupun 28 hari, pengujian menunjukkan terdapat kenaikan nilai kuat tekan beton pada rata-rata BB 12%. Hasil yang didapat pada pengujian dengan nilai persentase maksimum limbah batu bata pada persentase 9%.

3. Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton (Hanifah Yulian, Nasfryzal Carlo, Indra Khaidir, 2023)

   Pada penelitian ini menggunakan beton mutu *f'c* 20 MPa dengan substitusi limbah batu bata sebesar 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17%. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa substitusi limbah batu bata dengan komposisi 13%, 15%, dan 15% memberikan peningkatan kekuatan tekan beton dibandingkan beton normal. Pada umur 28 hari, beton normal mencapai kuat tekan sebesar 20,24 MPa, sementara beton dengan substitusi limbah batu bata sebesar 13%, 14%, dan 15% menghasilkan kuat tekan masing-masing sebesar 22,22 MPa, 22,79 MPa, dan 20,24 MPa. Namun, substitusi limbah batu bata sebesar 16% dan 17% menunjukkan penurunan kuat tekan, yaitu 18,54% MPa dan 17,13 MPa. Komposisi optimum didapatkan pada substitusi sebesar 14%, dengan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 22,79 MPa pada umur 28 hari.

4. Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal (Bima Hendra, 2024)

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah batu bata merah sebagai substitusi agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi sebagian semen pada beton normal dengan mutu rencana 25 MPa, variasi substitusi limbah batu bata merah adalah 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat pasir, sedangkan susbtitusi abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap kuat tekan, modulus elastis, dan kuat tarik belah beton setelah masa perawatan selama 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi limbah batu bata merah hingga 12% dan abu sekam padi sebesar 10% dengan nilai kuat tekan 31,23 MPa. Dengan persentase kenaikan sebesar 25% terhadap beton normal.

5. Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Batu Bata Merah Sebagai Campuran Agregat Halus (Dewi Bussaina Ghassani & Riski Pratama, 2024). Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penggunaan batu bata merah sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton mutu *f'c* 25 MPa. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10% dan 15% dari total berat agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa susbtitusi batu bata merah pada persentase tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal. Pada pengujian kuat tekan, beton normal memiliki rata-rata kuat tekan sebesar 20,99 MPa. Beton dengan campuran batu bata merah sebesar 10% mendapatkan peningkatan kuat tekan menjadi 22,79 MPa, yang merupakan nilai tertinggi dalam penelitian ini. Peningkatan ini setara dengan rasio 1,086 dibandingkan beton normal. Namun, substitusi sebesar 15% mengahasilkan penurunan kuat tekan menjadi 20,49 MPa, dengan rasio 0,976 dibandingkan beton normal. Penelitian ini menyimpulkan komposisis optimum berada pada kadar 10%.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, terdapat perbedaan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sekarang, dengan menggunakan serbuk batu bata merah dengan presentase 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Dengan mutu beton yang ditetapkan adalah 21 MPa dan sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi

30 cm. Pengujian yang dilaksanakan adalah kuat tekan beton, absorpsi beton, serta modulus elastisitas yang akan dilakukan saat beton berumur 28 hari. Pada penelitian sebelumnya menggunakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dan beberapa dari sampel tersebut ada yang menggunakan kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm dengan mutu beton rencana 20-25 MPa serta diuji pada umur beton 7, 14, 28 hari. Adapun pengujian yang dilakukan juga terbatas pada kuat tekan beton. Dengan mempertimbangkan uraian di atas, keaslian dalan penelitian ini dapat dipertanggung jawabkan.

2.2 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Rencana

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	(Sylvina Permatasari, 2019)	(Dewi Ayu Sofia, Putri Anabela Shafira, Haadi Kusumah, 2022)	(Hanifah Yulian, Nasfryzal Carlo, Indra Khaidir, 2023)	(Bima Hendra, 2024)	(Dewi Bussaina Ghassani & Riski Pratama, 2024)	**(Penelitian Ini, 2025)**
Judul Penelitian	Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton F'C 21 Menggunakan Agregat Kasar PT. AMR dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru	Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton	Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal	Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Batu Bata Merah Sebagai Campuran Agregat Halus	Pengaruh Subtitusi Serbuk Batu Bata Merah Pada Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Absorpsi dan Modulus Elastisitas Beton.

Peneliti	(Sylvina Permatasari, 2019)	(Dewi Ayu Sofia, Putri Anabela Shafira, Haadi Kusumah, 2022)	(Hanifah Yulian, Nasfryzal Carlo, Indra Khaidir, 2023)	(Bima Hendra, 2024)	(Dewi Bussaina Ghassani & Riski Pratama, 2024)	**(Penelitian Ini, 2025)**
Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh komposisi batu bata merah sebagai bahan pengganti agregat halus campuran beton untuk *f'c* 21 dan untuk mengetahui hasil pengujian kuat tekan beton dengan komposisi batu bata merah sebagai pengganti agregat halus untuk mutu beton *f'c* 21	Menganalisis pengaruh limbah batu bata sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton	Mengetahui bagaimana pengaruh penambahan batu bata dengan variasi 13%, 14%, 15%, 16%, dan 17% terhadap kuat tekan beton.	Mengetahui pengaruh substitusi limbah batu bata merah sebagai agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari.	Mengatahuai bagaimana pengaruh penambahan batu bata merah pada campuran beton terhadap kuat tekan dan untuk mengetahui perbandingan kuat tekan beton normal dan beton yang sudah dicampur dengan menambahkan batu bata merah	1. Mengetahui pengaruh subtitusi serbuk batu bata merah pada agregat halus terhadap kuat tekan, absorpsi, dan modulus elastisitas beton. 2. Mengetahui jumlah kadar variasi substitusi serbuk batu bata pada agregat halus yang menghasilkan nilai mutu beton tertinggi

Peneliti	(Sylvina Permatasari, 2019)	(Dewi Ayu Sofia, Putri Anabela Shafira, Haadi Kusumah, 2022)	(Hanifah Yulian, Nasfryzal Carlo, Indra Khaidir, 2023)	(Bima Hendra, 2024)	(Dewi Bussaina Ghassani & Riski Pratama, 2024)	**(Penelitian Ini, 2025)**
Kesimpulan	Pada penambahan bata merah sebesar 15% beton mengalami peningkatan, sedanghkan pada penambahan 20% mengalami penurunan tetapi tetap mencapai dari kuat tekan rencana, dan 25% bata merah terhadap campuran beton tidak menambah kuat tekan, melainkan menurunkan kuat tekan rencana.	Terdapat kenaikan nilai kuat tekan beton rata-rata pada BB 9% baik pada umur 14 hari maupun 28 hari. Dengan demikian, nilai persentase maksimal limbah batu bata yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir yaitu 9%.	Nilai kuat tekan beton dengan tambahan limbah batu bata lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Kuat tekan beton dengan tambahan limbah batu bata pada umur 28 hari dengan variasi persentase 13%, 14%, dan 15% berturut-turut sebesar 22,22 MPa, 22,79 MPa, dan 20,24 MPa. Sedangkan pada beton normal 28 hari sebesar 20,24 MPa.	Nilai kuat tekan optimum dengan variasi nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi limbah batu bata 12% dan abu sekam pada 10% sebesar 31,23 MPa. Dengan persentase kenaikan sebesar 23,411% dari beton normal.	Kuat tekan tertinggi dicapai oleh beton dengan bahan tambah batu bata merah sebesar 10%, dengan nilai kuat 22,79 MPa atau terjadi peningkatan sebesar 1,086 dibandingkan dengan beton normal.	Substitusi serbuk batu bata merah sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat pasir dapat memengaruhi kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan absorpsi beton. Tidak terjadi peningkatan mutu beton, terjadi penurunan dari beton normal hingga pada variasi 25%, mesikpun terjadi peningkatan pada variasi 10% dari 5%, akan tetapi mutu beton pada 10% masih di bawah beton normal.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

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

3.2 Material Penyusun Beton

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

3.3 Agregat Halus

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

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

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



Gambar 3.1 Agregat Halus

3.4 Agregat Kasar

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

a. Unsur yang terkandung pada agregat kasar berupa butiran-butiran keras dan tidak berpori. Agregat kasar dengan butiran-butiran pipih boleh digunakan apabila jumlah butiran pipih tidak melebihi 20% dari berat total agregat. Butiran-butiran agregat kasar juga tidak boleh pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.

b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton.

d. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan mesin Los Angeles dengan tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

e. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang beragam ukurannya dengan syarat sebagai berikut.
   1) Sisa di atas ayakan 31,5 mm, harus 0% berat agregat.
   2) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus berkisar antara 90%-985 berat agregat.
   3) Selisih anatara sisa-sisa kumulatif di atas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat agregat.

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



Gambar 3.2 Agregat Kasar

3.5 Semen *Portland* (*PC*)

Pemadatan semen adalah bahan pengikat hidrolis yang merekat dan mengeras apabila dicampur dengan air, dihasilkan dengan cara menggiling halus klinker yang

terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (Tjokrodimuljo, 2007). Semen portland dapat diklasifikasikan sebagai semen hidraulis karena kapasitasnya untuk bereaksi dan dapat memadat di dalam air. Semen portland merupakan salah satu ragam semen hidraulis yang sering dipakai pada pekerjaan campuran beton karena beton yang dihasilkan dari semen ini merupakan salah satu bahan konstruksi paling serbaguna.

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

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



Gambar 3.3 Semen

3.6 Air

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

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



Gambar 3.4 Air

3.7 Serbuk Batu Bata

Menurut SNI-15-2094-2000, batu bata salah satu bahan yang biasa digunakan untuk membangun, batu bata terbuat dari tanah liat atau tanah lempung tanpa adanya campuran dari bahan-bahan lain. Batu bata sebagian besar mengandung senyawa kimia silika oksida (SiO_2) sebagai bahan tahan api dan dapat digunakan pelindung termal suhu tinggi, tahan api, dan juga bisa mengurangi pelepasan kapur yang membentuk zat perekat jika ditambahkan pada reaksi semen dan air, batu bata

juga mengandung alumina oksida (Al_2O_3) berfungsi sebagai perekat (Elianora, 2010).

Serbuk batu bata merah merupakan material halus yang diperoleh dari penghancuran batu bata merah. Serbuk tersebut dibuat dengan menghancurkan batu bata menggunakan mesin penghancur batu (*Stone Crusher*) menjadi butiran halus, kemudian diayak hingga lolos saringan No. 4.



Gambar 3.5 Serbuk Batu Bata

3.8 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

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

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

Tabel 3. 1 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

3. Menghitung nilai tambah dengan persamaan 3.1 berikut.

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

Keterangan:

M = Nilai tambah

1,64 = ketetapan statistik

S_r = Deviasi standar rencana

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

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

Keterangan:

f'cr = Kuat tekan beton yang ditargetkan (MPa)

f'c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

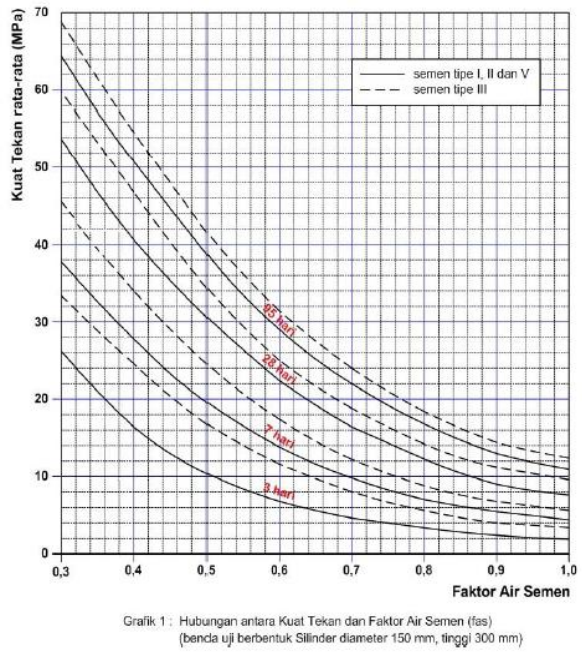
5. Menentukan tipe semen yang akan digunakan
6. Menentukan jenis agregat yang akan digunakan untuk pengujian agregat.

7. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) dengan ketentuan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen 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-03-2834-2000



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 3.6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

8. Menentukan nilai minimun jumlah semen dan nilai maksimum FAS berdasarkan Tabel 3.3 berikut ini.

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

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

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

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

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

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

Keterangan:

Wh = Perkiraan air agregat halus

Wk = Perkiraan air agregat kasar

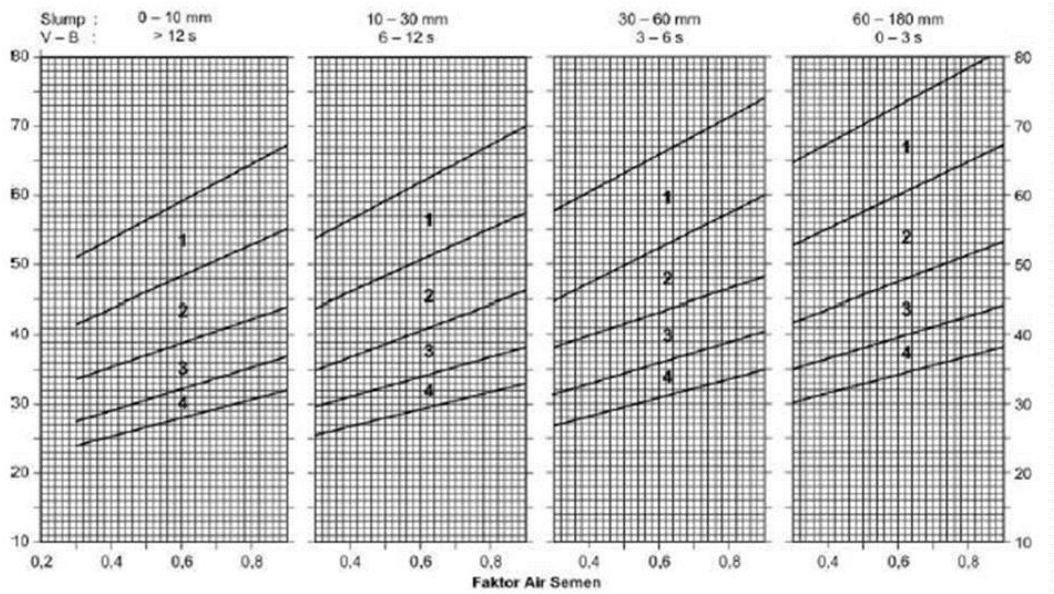
Untuk nilai Wh dan Wk dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

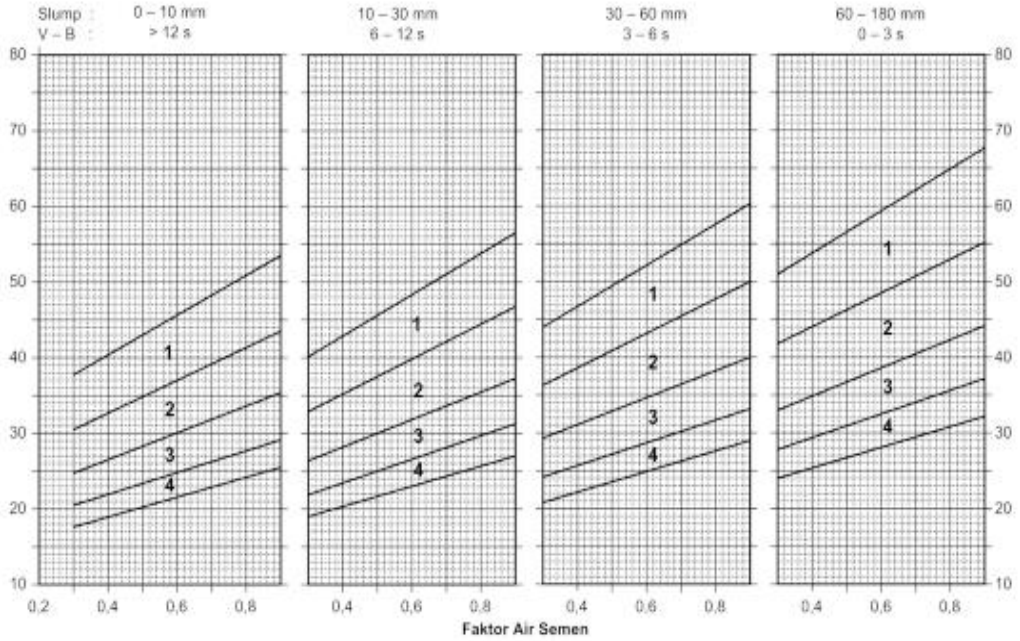
Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI-03-2834-2000

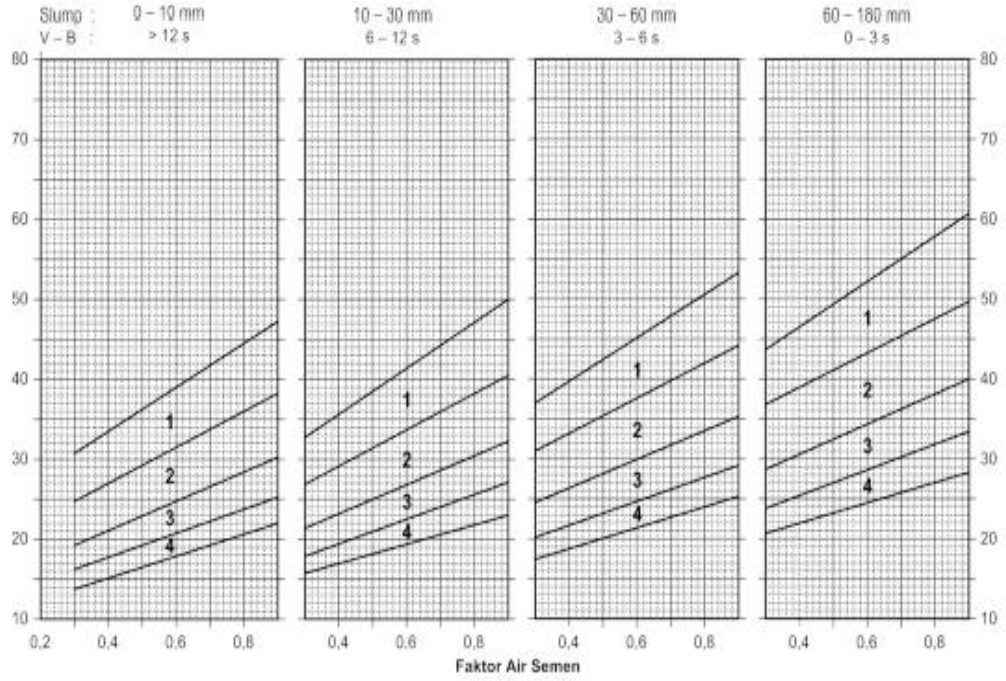
13. Menentukan nilai persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik persen pasir terhadap kadar total agregat.



Gambar 3.7 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

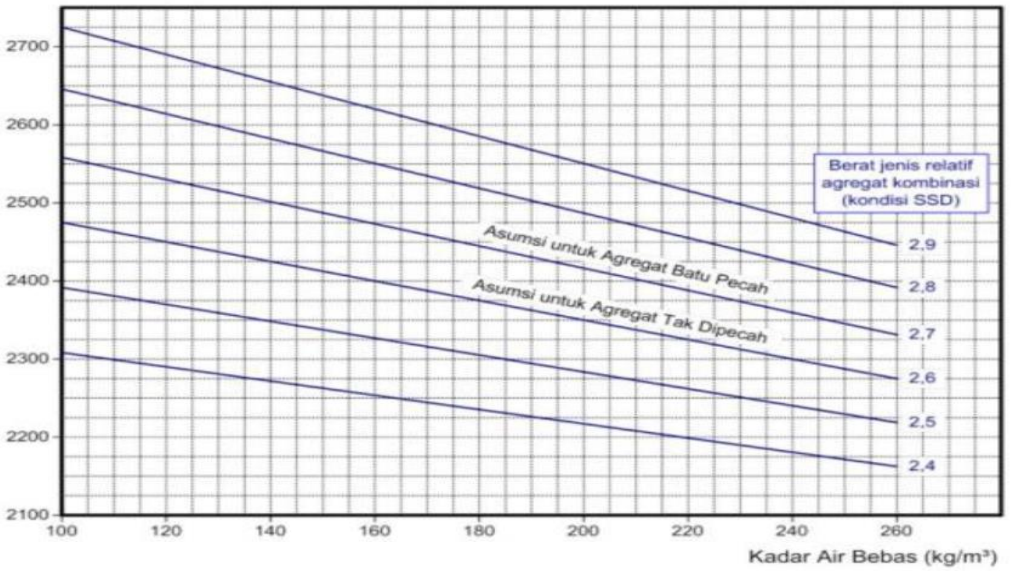


Gambar 3.8 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm



Gambar 3.9 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

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



Gambar 3.10 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah

Sumber: SNI-03-2834-2000

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

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

17. Menghitung kadar agregat kasar dan agregat halus.

    Kadar agregat halus = % Agregat Halus x Kadar Agregat Gabungan (3.6)

    Kadar agregat kasar = Kadar Agregat Gabungan – Kadar Ag. Halus (3.7)

18. Menghitung persentase bahan substitusi.

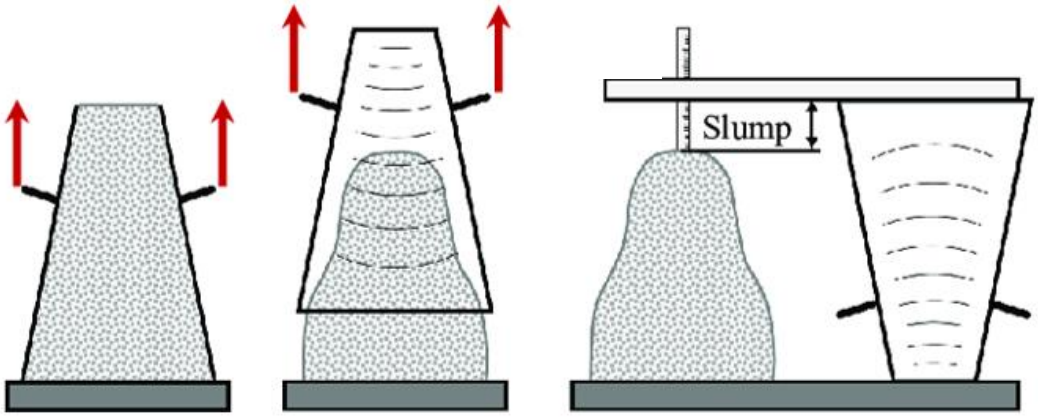
3.9 Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan dengan memakai alat kerucut Abrams untuk menghitung nilai *slump* yang menunjukkan tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton dan mutu pengerjaan beton (SNI-1972-2008). *Workability* pada beton umumnya dikaitkan dengan homogenitas campuran beton. Slump test dengan nilai yang tinggi menandakan bahwa campuran beton ringan dikerjakan, sementara itu nilai kecil membuat beton menjadi kental dan susah dikerjakan. Tabel di bawah ini dapat digunakan untuk melihat penetapan nilai *slump* dari berbagai pengerjaan beton berdasarkan jenis struktur.

Tabel 3.5 Nilai Slump Untuk Berbagai Pekerjaan Beton

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

(Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971)



Gambar 3.11 Ilustrasi Pengujian Slump

(Sumber: google, 2024)

3.10 Perawatan Beton

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

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

3.11 Pengujian Kuat Tekan Beton

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

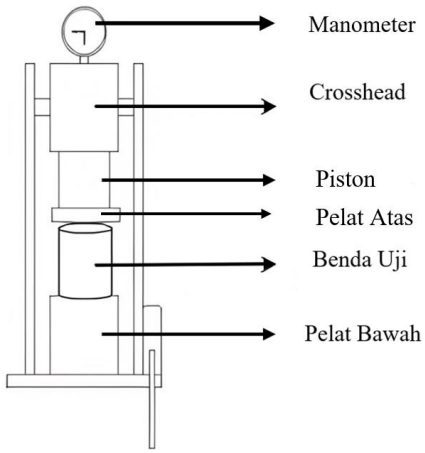
Kuat tekan beton $f'c = \frac{P}{A}$ (3.8)

Keterangan:

P : beban maksimum (N)

A : luas penampang benda uji (mm^2)

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



Gambar 3.12 Ilustrasi Pengujian Kuat Tekan
(Sumber: google, 2024)

3.12 Absorpsi Beton

Absorpsi beton merupakan peristiwa masuk nya air kedalam beton melalui pori-pori yang terletak pada permukaan beton. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai absorpsi beton pori atau rongga yang terdapat pada beton. Maka semakin banyak pori-pori pada beton, maka akan semakin besar juga nilai absorpsi pada beton, hal ini akan berpengaruh terhadap ketahan dan mutu beton. Menurut SNI 6433-2016, nilai absorpsi dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$P_A = \frac{B-A}{A} \text{ X } 100\% \quad (3.9)$$

Keterangan:

P_A = Absorpsi Beton (%)

B = Berat Kering Permukaan Di Udara Setelah Perendaman (gram)

A = Berat Kering Oven Di udara (gram)

3.13 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan salah satu cara untuk mengetahui sifat elastisitas suatu material. Modulus elastisitas berkorelasi dengan kemampuan suatu bahan dalam menahan suatu beban, menggambarkan hubungan ataran tegangan dan regangan pada sampel saat megalami deformasi elastis. Nilai modulus yang tinggi menandakan lendutan beton akan lebih kecil, mengartikan bahwa nilai modulus elastisitas beton yang lebih besar memiliki kapasitas untuk menahan tegangan yang tinggi pada keadaan regangan yang relatif kecil. Metode hasil pengujian menggunakan perhitungan berdasarkan ASTM C-469. Sedangkan metode teoritis menggunakan perhitungan berdasarkan SNI 2847-2019. Perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan rumus dari ASTM C-469 seperti berikut.

$$Ec = \frac{S2-S1}{\varepsilon 2-0{,}000050} \tag{3.10}$$

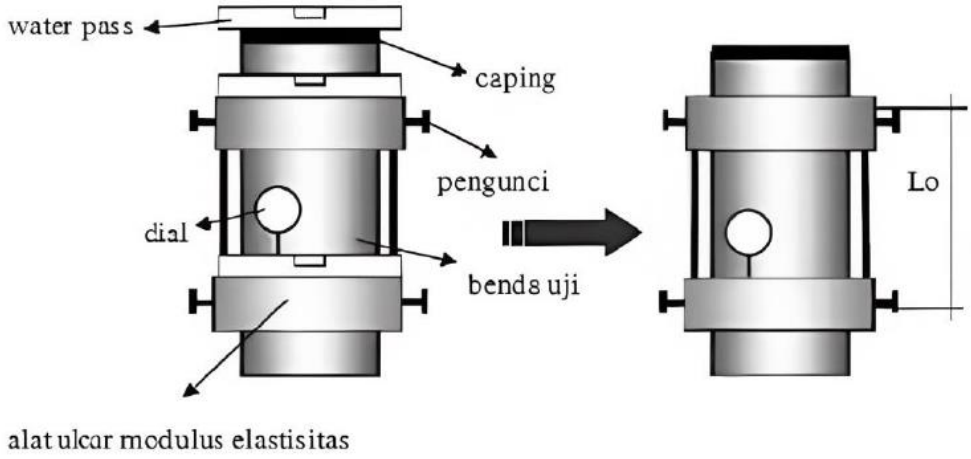
Keterangan:

Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)

S1 = Tegangan pada saat regangan mencapai 0,000050

S2 = Tegangan pada saat regangan 40% dari beban maksimum

ε2 = Regangan pada 40% dari beban maksimum



Gambar 3.13 Ilustrasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Sumber: google, 2025

Adapun modulus elastisitas dapat dicari berdasarkan SNI 2847-2019 beton dengan berat volume 1400-2560 kg/m^3 nilai modulus elastisitasnya dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$Ec = W_c^{1,5} \text{ x } 0{,}043 \text{ x } \sqrt{f'c} \quad (3.11)$$

Atau

$$Ec = 4700 \text{ x } \sqrt{f'c} \quad (3.12)$$

Keterangan:

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

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

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian adalah langkah-langkah yang akan dilaksanakan pada saat pengujian. Metode memiliki tujuan guna mendapatkan solusi dari permasalahan dari penelitian yang akan dilaksanakan. Maka dari itu diperlukan adanya pemilihan seputar penelitian yang akan dilakukan dengan tepat. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium melalui serangkaian percobaan terkontrol. Penelitian kali ini dilaksanakan dengan cara mengganti sebagian serbuk batu bata merah pada agregat halus. Kadar serbuk batu bata yaitu sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dari berat pasir sebagai agregat halus. Hal ini dilakukan guna mengetahui pengaruh variasi bahan serbuk batu bata terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi beton.

4.2 Lokasi Penelitian

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

4.3 Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan terlebih dahulu untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai spesifikasi guna mendukung konsistensi campuran beton. Uraian meliputi asal sumber material. Material yang dimaksud mencakup semen *portland* tipe I, agregat kasar batu pecah, agregat halus berupa pasir alam, serbuk batu bata merah sebagai substitusi sebagian agregat halus, dan air pencampur. Uraian rinci untuk setiap bahan disajikan pada poin-poin berikut.

1. Semen *Portland* (PC)

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



Gambar 4.1 Semen Portland

2. Agregat Kasar

   Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksimum 20 mm, yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Clereng, Kulon Progo.



Gambar 4.2 Agregat Kasar

3. Agregat Halus

Agregat halus yang dipakai pada penelitian ini diambil dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan dilakukannya analisa saringan terlebih dahulu.



Gambar 4.3 Agregat Halus

4. Air

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



Gambar 4.4 Air

5. Serbuk Batu Bata

Batu bata yang dipakai pada penelitian ini berasal dari Toko Bangunan Wahyu Jaya.



Gambar 4.5 Serbuk Batu Bata

4.4 Alat Yang Digunakan

Adapun alat yang akan digunakan pada penelitian disajikan terstuktur untuk memastikan setiap tahap, mulai dari penanganan material, pengukuran pencampuran, pemadatan, hingga pengujian beton. Setiap alat dijelaskan dari fungsinya. Kelompok peralatan yang digunakan mencakup saringan agregat, alat bantu penimbangan dan pengukuran, oven, peralatan pencampur serta pemadat, mesin untuk menghancurkan batu bata, dan mesin pengujian, uraian rinci per alat disampaikan pada poin-poin berikut.

1. Set Saringan Agregat

   Set saringan agregat dipakai untuk memilah agregat berdasar pada ukuran butirnya saat pengujian analisa saringan.



Gambar 4.6 Saringan Agregat

2. Timbangan

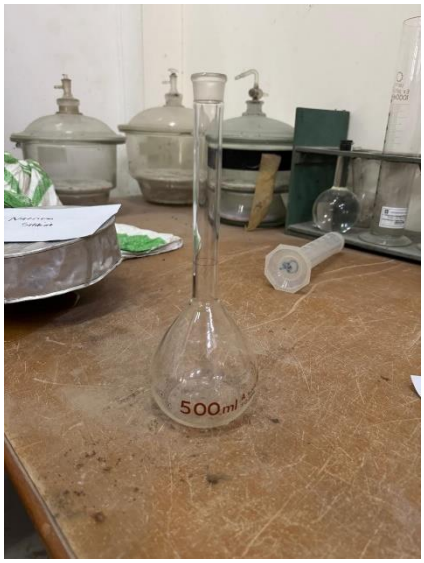
   Timbangan berguna untuk mengukur berat material yang dipakai berdasar hasil perhitungan perencanaan campuran beton (*mix design*).



Gambar 4.7 Timbangan

3. Piknometer

Piknometer digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.



Gambar 4.8 Piknometer

4. Oven

Oven berguna untuk menghilangkan air pada agregat kasar dan agregat halus. Oven juga digunakan untuk menguji berat jenis dan penyerapan air agregat serta uji absorpsi beton.



Gambar 4.9 Oven

5. *Concrete Mixer*

Concrete mixer merupakan alat yang digunakan untuk mencampur material penyusun beton yang perbandingan materialnya sesuai dengan hasil perhitungan perencanaan campuran beton.



Gambar 4.10 *Concrete Mixer*

6. Sekop

Sekop digunakan dalam membantu penuangan beton segar ke bekisting beton.



Gambar 4.11 Sekop

7. Ember

Ember digunakan untuk mengangkut dan menampung material penyusun beton.



Gambar 4.12 Ember

8. Kerucut Abrams

Kerucut abrams digunakan untuk pengujian slump beton segar.



Gambar 4.13 Kerucut Abrams

9. Tongkat Penumbuk

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



Gambar 4.14 Tongkat Penumbuk

10. Bekisting Beton

Bekisting merupakan cetakan beton yang berfungsi untuk membuat beton sesuai bentuk benda uji yang diinginkan.



Gambar 4.15 Bekisting Beton

11. *Stone Crusher*

Stone crusher digunakan untuk menghancurkan batu menjadi ukuran tertentu.



Gambar 4.16 *Stone Crusher*

12. Alat Uji Beton

Pada penelitian ini alat di bawah digunakan untuk uji kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Mesin uji yang digunakan adalah mesin uji tekan yang berfungsi untuk mendapatkan nilai beban yang didapat oleh benda uji hingga benda uji hancur. Pada uji modulus elastisitas beton ditambahkan kompresometer-ekstensiometer.



Gambar 4.17 Mesin Uji Tekan

4.5 Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan harus dilakukan dengan baik dan sistematis guna menghasilkan penelitian yang akurat. Prosedur tersebut harus terlaksana supaya tidak keluar dari tujuan penelitian.

4.5.1 Pengujian Agregat

Pengujian agregat merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menguji agregat halus dan kasar. Pengujian agregat dilaksanakan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang akan dipakai dalam pembuatan campuran beton. Hasil pengujian ini yang kemudian akan dijadikan acuan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Berikut merupakan acuan dalam pengujian agregat yang digunakan pada penelitian ini.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
7. Pengujian butiran lolos ayakan no.200 berdasarkan SNI 4142-1996.

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

4.5.2 Persiapan Bahan

Persiapan bahan penting dilakukan agar mendapatkan bahan dengan mutu yang baik dan hasil perencanaan campuran beton sesuai dengan rencana. Berikut ini merupakan persiapan yang perlu dijalankan.

1. Persiapan Material

   Material yang harus disiapkan yaitu bahan-bahan penyusun beton yang akan

dicampur menjadi beton segar antara lain agregat halus, agregat kasar, air, semen, dll. Material khusus yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah batu bata.

2. Persiapan Bahan Khusus

   Bahan khusus yang disiapkan pada penelitian ini adalah serbuk batu bata merah menjadi material substitusi agregat halus yang dihancurkan hingga lolos saringan no. 4 menggunakan alat *stone crush*. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam proses penghalusan batu bata.

   a. Menyiapkan batu bata merah.
   b. Memasukkan batu bata ke alat *stone crush* dengan output 4 kelas ukuran (1, 2, 3, dan 4) dengan menghaluskan kembali kelas ukuran 2, 3, dan 4 sampai mendapatkan kelas ukuran 1.
   c. Melakukan pemisahan pada hasil kelas ukuran 1 dengan uji analisis saringan.

3. Pembersihan Material

   Pembersihan dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar agar bahan material dapat memenuhi standar. Pembersihan dilakukan untuk menghilangkan kotoran dan benda asing pada agregat.

4.5.3 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan subtitusi serbuk batu bata pada agregat halus, setiap variasi benda uji dilakukan pengujian saat beton berumur 28 hari. Benda uji berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Jumlah sampel silinder yang digunakan adalah 3 buah untuk absorpsi dan 5 buah untuk kuat tekan dan modulus elastisitas. Adapun detail benda uji pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Detail Sampel Benda Uji

Jenis Pengujian	Persentase Penggunaan Limbah Batu Bata (%)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	0	TM-00	5
	5	TM-01	5
	10	TM-02	5
	15	TM-03	5
	20	TM-04	5
	25	TM-05	5
Absorpsi Beton	0	AB-00	3
	5	AB-01	3
	10	AB-02	3
	15	AB-03	3
	20	AB-04	3
	25	AB-05	3
		Total Sampel	48

Adapun keterangan dari kode benda uji sebagai berikut :

TM = Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

AB = Uji Absorpsi Beton

Tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan dan membersihkan bahan penyusun beton seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Serbuk batu bata juga disiapkan sebagai bahan ganti sebagian agregat halus.
2. Menyiapkan, menakar, dan menimbang bahan yang digunakan sesuai dengan perencanaan campuran beton menurut SNI 2493-2011.
3. Bahan yang telah ditakar sesuai komposisi dimasukkan ke wadah untuk memudahkan pada saat pencampuran ke dalam *mixer* beton.
4. Mengolesi bekisting benda uji silinder pada bagian dalam dengan oli serta melakukan penimbangan dan pencatatan berat bekisting.

5. Menyiapkan *mixer* beton dan diaduk sampai agregat tercampur merata.
6. Agregat kasar dan halus termasuk serbuk batu bata dimasukkan ke dalam *mixer* beton dan diaduk hingga agregat tercampur merata.
7. Setelah agregat tercampur merata, masukan semen ke dalam *mixer* dan aduk hingga rata.
8. Pencampuran beton segar dilakukan hingga merata (homogen).
9. Setalah campuran homogen, tuang campuran beton segar ke tempat yang telah disiapkan.
10. Memasukkan campuran beton segar ke dalam setu per tiga cetakan bekisting, kemudian tumbuk dengan tongkat penumbuk dan pukul dengan palu karet sampai campuran beton rata tanpa ruang udara. Prosedur ini diulangi hingga bekisting silinder terisi penuh.
11. Ratakan permukaan campuran beton.
12. Timbang dan catat berat beton dengan bekisting benda uji silinder.
13. Setelah kurang lebih 24 jam, bekisting dilepas dari benda uji dan melakukan proses perawatan benda uji.

4.5.4 Perawatan Benda Uji

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

4.5.5 Pengujian Benda Uji

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

4.6 Prosedur Pengujian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa pengujian. Prosedur setiap pengujian akan diuraikan secara sistematis. Adapun prosedur pengujian adalah sebagai berikut.

4.6.1 Uji *Slump*

Uji *slump* berguna untuk mengukur workabilitas beton yang sudah dibuat. Uji *slump* dilakukan sesudah campuran beton dituang dari mixer beton. Adapun prosedur pengujian slump adalah sebagai berikut.

1. Kerucut *Abrams* diisi dengan beton segar setiap 1/3 bagian. Pada tiap bagian dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh, lalu isi 1/3 beton lagi (menjadi 2/3), dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali, lalu isi 1/3 beton lagi sampai kerucut abrams terisi penuh. Penumbukan tiap bagian dilakukan secara menyeluruh sampai kerucut *abrams* terisi penuh.
2. Beton segar didiamkan selama 30 detik.
3. Kerucut abrams dinaikkan secara tegak.
4. Lakukan pengukuran nilai slump dengan cara membalikkan kerucut abrams lalu diletakkan disebelahnya, dan ukur tinggi slump dengan penggaris.

4.6.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton merujuk pada SNI 1974-2011. Mengenai tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Benda uji diangkat dari bak rendaman dan didiamkan selama 24 jam.
2. Dilakukan pengukuran berat dan dimensi benda uji.
3. Benda uji diletakkan pada alas tekan bawah dan penunjuk beban telah berada pada angka nol.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik.
5. Pembebanan dilakukan sampai benda uji hancur dan catat beban tertinggi.

4.6.3 Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian Absorspsi beton menggunakan benja uji silinder 15 cm x 30 cm . kemudian untuk pengujian yang dilakukan mengacu kepada SNI 6433-2016

sebagai berikut.

1. Mengangkat benda uji dari perendaman kemudian diamkan beberapa saat selanjutnya memasukan benda uji ke dalam oven dengan temperatur (110 ±5) selama minimal 24 jam.
2. Keluarkan benda uji dari oven kemudian diamkan beberapa saat hingga suhu benda uji pada temperature ruang (20℃ sampai 25℃).
3. Mengukur berat benda uji kering oven (A).
4. Merendam benda uji kering oven di dalam air minimal 48 jam.
5. Mengeringakan permukaan benda uji dengan menggunakan kain lap guna menghilangkan kelembapan pada permukaan benda uji.
6. Mengukur berat benda uji hasil perendaman.

4.6.4 Pengujian Modulus Elastisitas

Menurut SNI 4169-1996, modulus elastisitas adalah nilai tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis, pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan acuan dari ASTM C-469-1994. Langkah-langkah pengujian seperti berikut.

1. Mengangkat benda uji dari perendaman dan dibiarkan selama 24 jam.
2. Mengukur diameter benda uji pada tiga posisi menggunakan jangka sorong dengan ketelitian mencapai 0,05 mm.
3. Mengukur dimensi benda uji yang sudah ditambah kaping hingga pembacaan 1 mm.
4. Memasang alat *kompresometer ekstensiometer* pada benda uji dan pasasng alat ukur deformasi (*dial gauge*).
5. Letakkan benda uji pada mesin uji tekan dalam posisi simetris setelah pemasangan alat pengukur deformasi.
6. Operasikan mesin uji tekan dan terapkan beban secara teratur dengan kecepatan pembebanan berkisar 207 sampai 275 Kpa/detik hingga benda uji mengalami kegagalan. Catat setiap kenaikan beban sebesar 10 Kn.

4.7 Olah Data

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

4.8 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang sudah diolah dan diperoleh parameter yang diinginkan kemudian dilaksanakan proses analisis yang sinkron dengan dasar teori dan peraturan yang terkait. Analisis data dilakukan dengan melakukan komparasi nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi beton terhadap setiap varian benda uji. Varian benda uji berupa campuran beton dengan subtitusi serbuk batu bata 5%, 10%, 15%, 20%, 25%. Data hasil analisis berupa komparasi nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi beton .

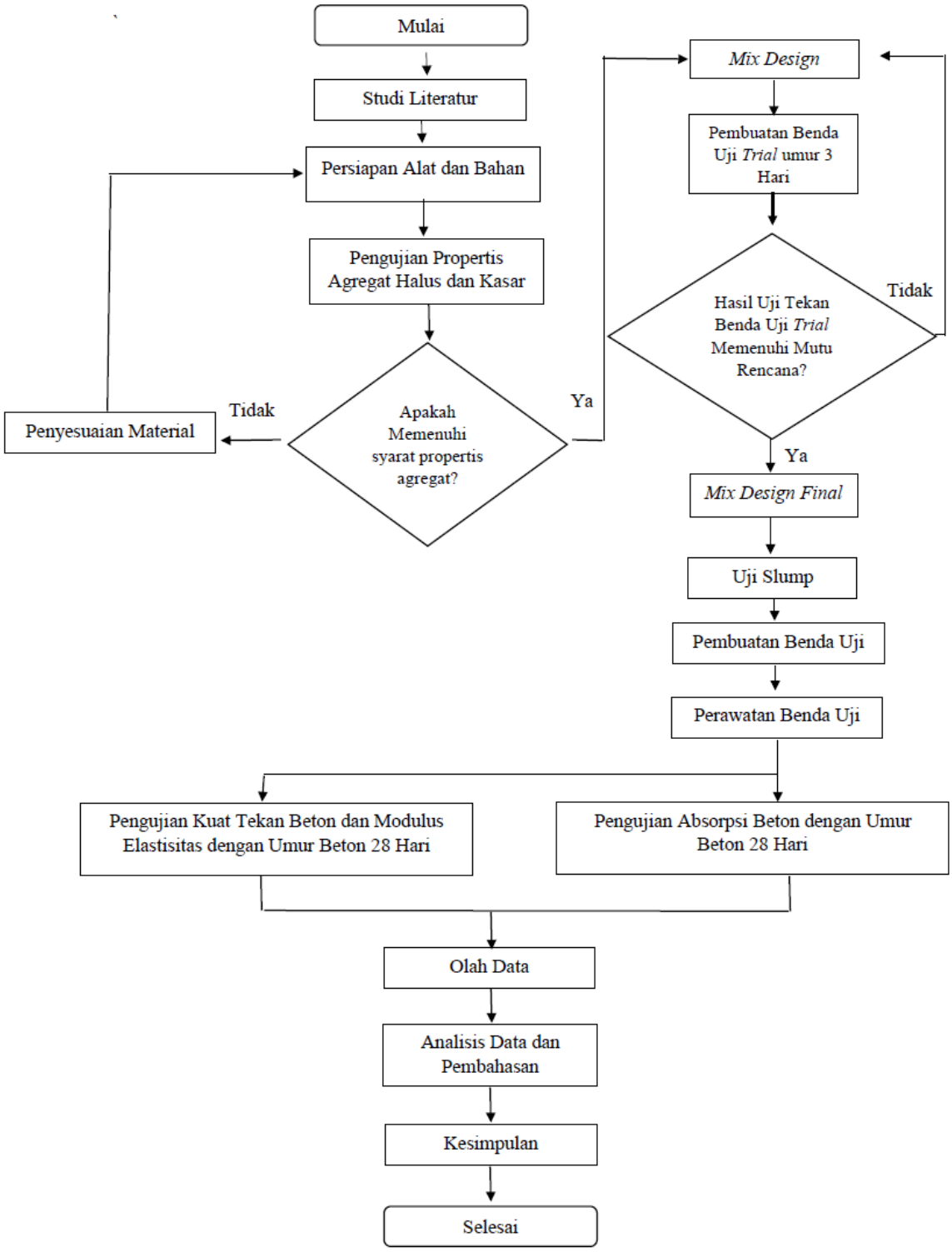
Setelah tahapan analisis data telah selesai kemudian dilakukan pembahasan. Pembahasan dilakukan berdasarkan analisis data yang telah dilakukan. Pembahasan dilakukan untuk menafsirkan hasil komparasi nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan absorpsi beton. Pembahasan juga harus menjawab seluruh rumusan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

4.9 Kesimpulan dan Saran

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

4.10 Bagan Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.18 sebagai berikut.



Gambar 4.18 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

5.1.1 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik agregat halus dan sifat agregat yang digunakan pada penelitian ini. Karena agregat memiliki beberapa persyaratan yang harus terpenuhi untuk dapat dijadikan sebagai campuran pada beton. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume gembur & volume padat, pengujian kadar air, dan pengujian lolos saringan no. 200.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini merujuk pada SNI 03-1970-1990, pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mencari nilai berat jenis dan nilai penyerapan air dari agregat halus. Adapun perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

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

$= \frac{482}{(658+500-964)}$

$= 2{,}485$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

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

$= \frac{500}{(658+500-964)}$

$= 2.577$

c. Berat Jenis Semu

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

$= \frac{482}{(658+482-964)}$

= 2,739

d. Penyerapan Air

Penyerapan Air $= \frac{(500-Bk)}{Bk}$ x 100%

$= \frac{(500-482)}{482}$ x 100%

= 3,734 %

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

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	482	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	964	gram
Berat piknometer berisi air (B)	658	gram
Berat jenis curah	2,485	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,577	
Berat jenis semu	2,739	
Penyerapan air	3,734	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,577. Sesuai ketentuan (SNI 03-1970:2008) berada pada kisaran normal yaitu 2,5-2,7 dan pada penyerapan air batasan umum di bawah 5% dengan batasan yang lebih ketat pada 3%, jadi penyerapan air sebesar 3,734% masih batas wajar. Sehingga pasir tergolong agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian analisis saringan agregat halus, data yang diperoleh akan diproses untuk mendapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta

menentukan daerah gradasinya, berdasarkan standar SNI 1968-1990. Adapun perhitungan Analisa saringan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{1991}$ x 100%

$= 0$ %

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{142}{1991}$ x 100%

$= 7{,}13$ %

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{369}{1991}$ x 100%

$= 18{,}53$ %

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{607}{1991}$ x 100%

$= 30{,}49$ %

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{369}{1991}$ x 100%

$= 18{,}53$ %

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{316}{1991}$ x 100%

$= 15{,}87$ %

Pan $= \frac{188}{1991}$ x 100%

$= 9{,}442$ %

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4.8 mm = 0%

Lubang ayakan 2,4 mm = 7,13% + 0%

= 7,13 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 18,53% + 7,13%

= 25,67 %

Lubang ayakan 0,6 mm = 30,49% + 25,67%

= 56,15 %

Lubang ayakan 0,3 mm = 18,53% + 56,15%

= 74,69 %

Lubang ayakan 0,15 mm = 15,87% + 74,69%
= 90,56 %
Pan = 9,442% + 90,56%
= 100 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 0 %
= 100 %
Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 7,13 %
= 92,87 %
Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 25,67 %
= 74,33 %
Lubang ayakan 0,6 mm = 100 % - 56,15 %
= 43,85 %
Lubang ayakan 0,3 mm = 100 % - 74,69 %
= 25,31 %
Lubang ayakan 0,15 mm = 100 % - 90,56 %
= 9,44 %
Pan = 100 % - 100 %
= 0 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan Analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	142	7,13	7,13	92,87
1,2	369	18,53	25,67	74,33
0,6	607	30,49	56,15	43,85
0,3	369	18,53	74,69	25,31
0,15	316	15,87	90,56	9,44
Pan	188	9,442	100	0
Jumlah	1991	100	254,194	345,806

d. Modulus Halus Butir

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

$= \frac{254,194}{100}$

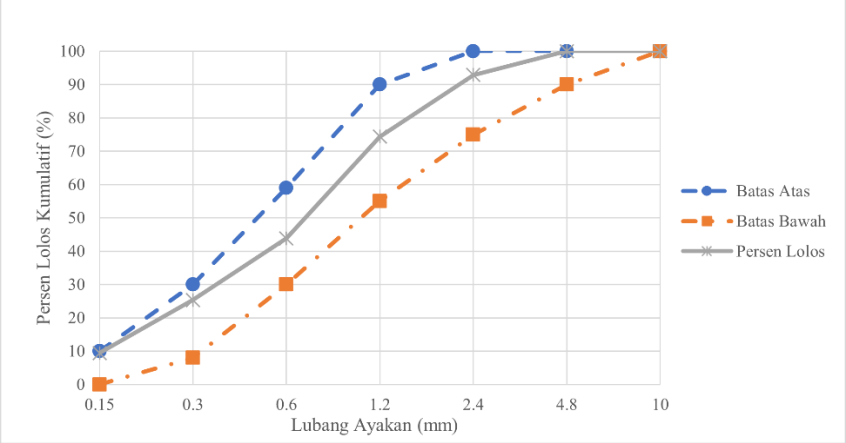
$= 2,542$

Dari hasil perhitngan di atas, didapatkan nilai MHB sebesar 2,542, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat standar nilai MHB berdasarkan SNI-04-1989-F, yaitu nilai MBH agregat halus harus 1,5 – 3,8. Selain itu hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang ada pada Tabel 5.3. Dari tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat halus yang ditampilan pada Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.3 Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-39	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834-2000



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume gembur agregat halus.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18805 - 10787

= 8018 gram

Volume tabung (V) = ¼ π d^2 t

= ¼ π x$15{,}20^2$ x 30,01

= 5446 cm^3

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

$= \frac{8018}{5446}$

$= 1{,}472$ gram/cm^3

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

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18805	gram
Berat Agregat (W3)	8018	gram
Diameter tabung (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung (t)	30,01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,472	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,472 gram/cm^3. Hasil tersebut berada di kisaran umum menurut (ASTM C 29, 2003) yaitu 1,4-1,9. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat halus.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume padar agregat halus.

Berat Agregat (W3) $=$ W2 – W1

$=$ 19533 - 10787

$=$ 8746 gram

Volume tabung (V) $= ¼ \pi d^2 t$

$= ¼ \pi$ x14.83^2 x 30,6

$=$ 5286 cm^3

Berat volume padat $= \frac{W3}{V}$

$$= \frac{8746}{5286}$$

$$= 1{,}655 \text{ gram/cm}^3$$

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

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19533	gram
Berat Agregat (W3)	8746	gram
Diameter tabung (d)	14.83	cm
Tinggi Tabung (t)	30,6	cm
Volume Tabung (V)	5286	cm^3
Berat Volume Padat	1,655	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,655 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum menurut (ASTM C 29, 2003) yaitu 1,5-1,7. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume padat agregat halus.

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan No. 200 agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4142-1996. Berikut perhitungan lolos saringan No. 200 agregat halus.

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

$= \frac{500-476}{500}$ x 100%

$= 4{,}80$ %

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

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2)	476	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	4,80	%

Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 4,80 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasilnya masuk dalam standar SNI 04-1989-F maksimal 5%.

5.1.2 Pengujian Bahan Substitusi (Batu Bata)

Pengujian bahan substitusi yaitu batu bata sebagai pengganti sebagian pasir dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat halus. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume gembur & volume padat, pengujian kadar air, dan pengujian lolos saringan no. 200.

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini merujuk pada SNI 03-1970-1990, pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mencari nilai berat jenis dan nilai penyerapan air dari batu bata. Adapun perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air batu bata sebagai berikut.

e. Berat Jenis Curah

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

$= \frac{477}{(666+500-969)}$

$= 2{,}421$

f. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

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

$= \frac{500}{(666+500-969)}$

$= 2.538$

g. Berat Jenis Semu

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

$= \frac{477}{(666+477-969)}$

= 2,741

h. Penyerapan Air

Penyerapan Air $= \frac{(500-Bk)}{Bk}$ x 100%

$= \frac{(500-477)}{477}$ x 100%

= 4,82 %

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

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Batu Bata

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	477	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	969	gram
Berat piknometer berisi air (B)	666	gram
Berat jenis curah	2,421	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,538	
Berat jenis semu	2,741	
Penyerapan air	4,82	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,538 berdasarkan (SNI 03-1970:2008) sesuai pada kisaran normal yaitu 2,5-2,7 dan pada penyerapan air batasan umum di bawah 5% dengan batasan yang lebih ketat pada 3%, jadi penyerapan air sebesar 4,82% masih batas wajar walaupun diambang batas maksimal 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian analisis saringan agregat halus (batu bata), data yang diperoleh akan diproses untuk mendapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta menentukan daerah gradasinya, berdasarkan standar SNI 1968-1990. Adapun perhitungan Analisa saringan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{1990}$ x 100%

$= 0$ %

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{184}{1990}$ x 100%

$= 9{,}25$ %

Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{375}{190}$ x 100%

$= 18{,}84$ %

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{649}{1990}$ x 100%

$= 32{,}61$ %

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{262}{1990}$ x 100%

$= 13{,}17$ %

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{325}{1990}$ x 100%

$= 16{,}33$ %

Pan $= \frac{195}{1990}$ x 100%

$= 9{,}799$ %

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4.8 mm = 0%

Lubang ayakan 2,4 mm = 9,25% + 0%

= 9,25 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 18,84% + 9,25%

= 28,09 %

Lubang ayakan 0,6 mm = 32,61% + 28,09%

= 60,70 %

Lubang ayakan 0,3 mm = 13,17% + 60,70%

= 73,87 %

Lubang ayakan 0,15 mm = 16,33% + 73,87%

= 90,20 %

Pan = 9,799% + 90,20%

= 100 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

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

= 100 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 9,25 %

= 90,75 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 28,09 %

= 71,91 %

Lubang ayakan 0,6 mm = 100 % - 60,70 %

= 39,30 %

Lubang ayakan 0,3 mm = 100 % - 73,87 %

= 26,13 %

Lubang ayakan 0,15 mm = 100 % - 90,20 %

= 9,80 %

Pan = 100 % - 100 %

= 0 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan Analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus (Batu Bata)

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	188	9,25	9,25	90,75
1,2	375	18,84	28,09	71,91
0,6	649	32,61	60,70	39,30
0,3	262	13,17	73,87	26,13
0,15	325	16,33	90,20	9,80
Pan	195	9,799	100	0
Jumlah	1990	100	262,111	337,889

d. Modulus Halus Butir

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

$$= \frac{262,111}{100}$$

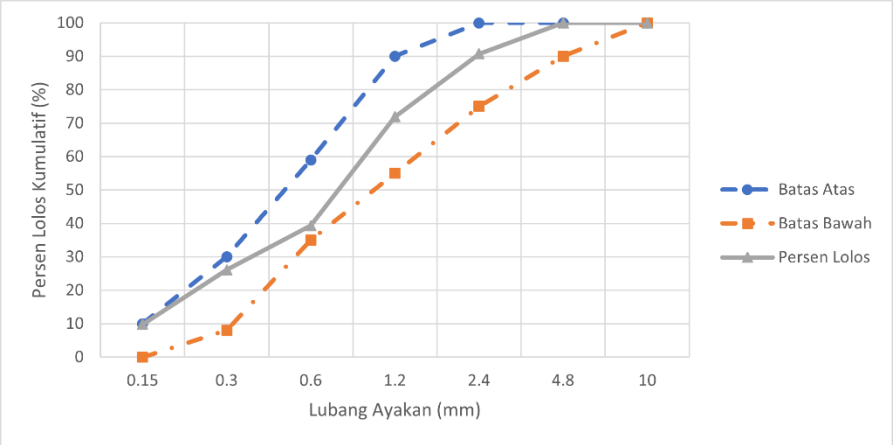
$$= 2,621$$

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan nilai MHB sebesar 2,621, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat standar nilai MHB berdasarkan SNI-04-1989-F, yaitu nilai MBH agregat halus harus 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 ditampilan pada Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.9 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	35-39	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 Batu Bata Daerah II

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat halus (batu bata) yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume gembur agregat halus (batu bata).

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18872 - 11149

= 7723 gram

Volume tabung (V) = ¼ π d^2 t

= ¼ π x$14{,}90^2$ x 30,05

= 5236 cm^3

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

= $\frac{7723}{5236}$

= 1,475 $gram/cm^3$

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 Batu Bata

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	11149	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18872	gram
Berat Agregat (W3)	7723	gram
Diameter tabung (d)	14,90	cm
Tinggi Tabung (t)	30,05	cm
Volume Tabung (V)	5236	cm^3
Berat Volume Gembur	1,475	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,475 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum yaitu 1,4-1,9 menurut (ASTM C 29, 2003). Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat halus (batu bata).

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat halus (batu bata) yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume padar agregat halus.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 19242 - 11099

= 8143 gram

Volume tabung (V) = ¼ π d^2 t

= ¼ π x14.90^2 x 30,05

= 5236 cm^3

Berat volume padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8143}{5236}$

$= 1{,}555$ gram/cm^3

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 Batu Bata

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	11099	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19242	gram
Berat Agregat (W3)	8143	gram
Diameter tabung (d)	14.90	cm
Tinggi Tabung (t)	30,05	cm
Volume Tabung (V)	5236	cm^3
Berat Volume Padat	1,555	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,555 gram/cm^3. Berdasarkan (ASTM C 29, 2003) hasil tersebut masuk dalam kisaran umum yaitu 1,5-1,7. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume padat agregat halus (batu bata).

5. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Pengujian lolos saringan No. 200 agregat halus (batu bata) yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4142-1996. Berikut perhitungan lolos saringan No. 200 agregat halus (batu bata).

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

$= \frac{500-475}{500}$ x 100%

$= 5{,}00$ %

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 dicuci (W2)	475	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	5,00	%

Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus untuk batu bata sebesar 5,00 %. Nilai tersebut berada tepat pada batas maksimum yang dipersyaratkan untuk lolos ayakan no. 200 menurut SNI 04-1989-F yaitu 5%.

5.1.3 Perbandingan Hasil Pengujian Propertis Pasir dan Batu Bata

1. Pengujian Berat Jenis

Perbandingan hasil berat jenis bertujuan mengetahui kualitas dari pasir dan batu bata. Berikut hasil berat jenis dan penyerapan air pada pasir dan batu bata.

Tabel 5.13 Komparasi Pengujian Berat jenis Pasir dan Batu Bata

Uraian	Hasil	
	Pasir	Batu Bata
Berat kering mutlak (Bk), gram	482	477
Berat kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	964	969
Berat piknometer berisi air (B), gram	658	666
Berat jenis curah	2,485	2,421
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,577	2,538
Berat jenis semu	2,739	2,741
Penyerapan air %	3,734	4,82

Dari hasil pada Tabel 5.13, didapatkan untuk berat jenis pada pasir dan batu bata berturut-turut yaitu 2,577 dan 2,538, pada hasil ini berat jenis batu bata lebih rendah dari pasir. Berdasarkan (SNI 03-1970:2008) hasil berat jenis pasir dan batu bata masuk pada kisaran normal yaitu 2,5-2,7. Kemudian hasil penyerapan air untuk pasir dan batu bata berturut-turut yaitu 3,734% dan 4,82% di mana hasil tersebut masi di bawah batas sebesar 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian Analisa saringan bertujuan untuk mengetahui pasir dan batu bata masuk daerah gradasi

Tabel 5.14 Komparasi Pengujian Analisa Saringan Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	142	7,13	7,13	92,87
1,2	369	18,53	25,67	74,33
0,6	607	30,49	56,15	43,85
0,3	369	18,53	74,69	25,31
0,15	316	15,87	90,56	9,44
Pan	188	9,442	100	0
Jumlah	1991	100	254,194	345,806

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

$$= \frac{254,194}{100}$$

$$= 2,542$$

Tabel 5.15 Komparasi Pengujian Analisa Saringan Batu Bata

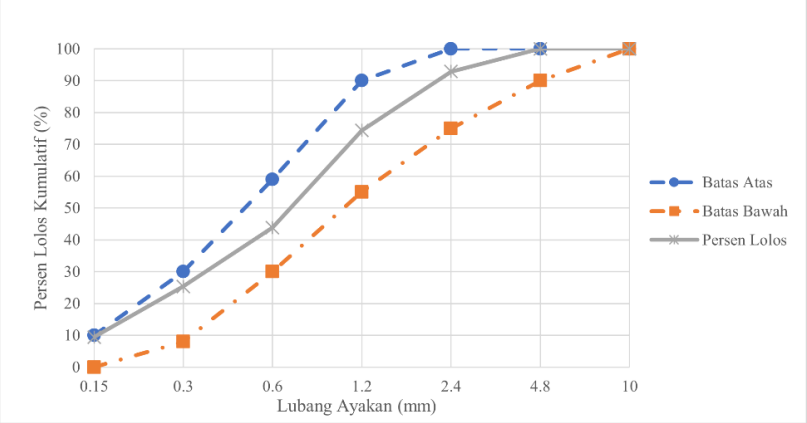
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,8	0	0	0	100
2,4	188	9,25	9,25	90,75
1,2	375	18,84	28,09	71,91
0,6	649	32,61	60,70	39,30
0,3	262	13,17	73,87	26,13
0,15	325	16,33	90,20	9,80
Pan	195	9,799	100	0
Jumlah	1990	100	262,111	337,889

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

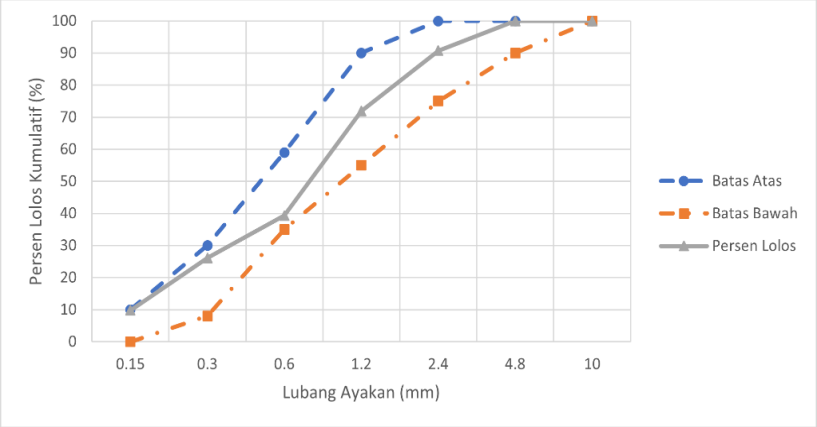
$= \frac{262,111}{100}$

= 2,621

Dari hasil di atas pada pengujian modulus halus butir untuk pasir dan berturut-turut yaitu 2,542 dan 2,621. sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat standar nilai MHB berdasarkan SNI-04-1989-F, yaitu nilai MBH agregat halus harus 1,5 – 3,8.



Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II



Gambar 5.4 Kurva Gradasi Batu Bata Daerah II

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Tujuan dari pengujian berat volume gembur ini adalah untuk mengetahui berat per satuan volume pasir dan batu bata tanpa pemadatan. Berikut adalah hasil berat volume gembur pada pasir dan batu bata.

Tabel 5.16 Komparasi Pengujian Berat Volume Gembur Pasir dan Batu Bata

Uraian	Hasil	
	Pasir	Batu Bata
Berat Tabung (W1), gram	10787	11149
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18805	18872
Berat Agregat (W3), gram	8018	7723
Diameter tabung (d), cm	15,20	14,90
Tinggi Tabung (t), cm	30,01	30,05
Volume Tabung (V), cm^3	5446	5236
Berat Volume Gembur, $gram/cm^3$	1,472	1,475

Berdasarkan hasil di atas, didapatkan berat volume gembur untuk pasir dan batu bata berturut-turut yaitu 1,472 $gram/cm^3$ dan 1,475 $gram/cm^3$. Hasil dari kedua material tersebut berada di kisaran umum yaitu 1,4-1,9 menurut (ASTM C 29, 2003). Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Tujuan dari pengujian berat volume padat ini adalah untuk mengetahui berat per satuan volume pasir dan batu bata dengan pemadatan. Berikut adalah hasil berat volume padat pada pasir dan batu bata.

Tabel 5.17 Komparasi Pengujian Berat Volume Padat Pasir dan Batu Bata

Uraian	Hasil	
	Pasir	**Batu Bata**
Berat Tabung (W1), gram	10787	11099
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19533	19242
Berat Agregat (W3), gram	8746	8143
Diameter tabung (d), cm	14.83	14.90
Tinggi Tabung (t), cm	30,6	30,05
Volume Tabung (V), cm^3	5286	5236
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,655	1,555

Berdasarkan hasil di atas, didapatkan berat volume padat untuk pasir dan batu bata berturut-turut yaitu 1,655 $gram/cm^3$ dan 1,555 $gram/cm^3$. Hasil dari kedua material tersbut berdasarkan (ASTM C 29, 2003) masuk dalam kisaran umum yaitu 1,5-1,7.

5. Pengujian Lolos Saringan no. 200

Pengujian lolos saringan no. 200 bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur dari pasir dan batu bata. Berikut adalah hasil pengujian lolos saringan no. 200.

Uraian	Hasil	
	Pasir	**Batu Bata**
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	476	475
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	4,80	5,00

Berdasarkan hasil di atas, untuk lolos saringan no. 200 pada pasir dan batu bata berturut-turut Adalah 4,80% dan 5%. Hasil dari lolos saringan no. 200 pada kedua material tersebut berada pada di bawah batas maksimum, walaupun untuk

hasil pada batu bata berada tepat di batas maksimum yang dipersyaratkan untuk lolos ayakan no. 200 menurut SNI 04-1989-F yaitu 5%.

5.1.4 Pengujian Agregat Kasar

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

1. Pengujian Berat Jenis

Pengujian ini merujuk pada SNI 03-1969-1990, pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mencari nilai berat jenis dan nilai penyerapan air dari agregat kasar. Adapun perhitungan dari pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

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

$= \frac{4792}{(5000-3023)}$

$= 2{,}424$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

BJ jenuh kering muka $= \frac{500}{(Bj-Ba)}$

$= \frac{5000}{(5000-3023)}$

$= 2{,}529$

c. Berat Jenis Semu

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

$= \frac{4792}{(4792-3023)}$

$= 2{,}709$

d. Penyerapan Air

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

$= \frac{(5000-4792)}{4792}$ x 100%

$= 4{,}34$ %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil	Satuan
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4792	gram
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3023	gram
Berat jenis curah BK/(Bj-Ba)	2,424	
Berat jenis jenuh kering muka Bj/(Bj-Ba)	2,529	
Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,709	
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%	4,34	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,529 gram dan penyerapan air sebesar 4,34%. Hasil ini masuk dalam kisaran normal untuk berat jenis jenuh kering muka yaitu 2,5-2,8 menurut (SNI-03-1969-2008) dan untuk penyerapan air maksimum sebesar 5%.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian analisis saringan agregat kasar, data yang diperoleh akan diproses untuk mendapatkan nilai Modulus Halus Butir (MHB) agregat serta menentukan daerah gradasinya, berdasarkan standar SNI 1968-1990. Adapun perhitungan Analisa saringan sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

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

$= 0$ %

Lubang ayakan 20 mm $= \frac{13}{5000}$ x 100%

$= 0{,}26$ %

Lubang ayakan 10 mm $= \frac{3367}{5000}$ x 100%

$= 67{,}34$ %

Lubang ayakan 4,8 mm = $\frac{1517}{5000}$ x 100%
= 30,34 %

Lubang ayakan 2,4 mm = $\frac{25}{5000}$ x 100%
= 0,50 %

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

Pan = $\frac{78}{5000}$ x 100%
= 1,56 %

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 0%

Lubang ayakan 20 mm = 0,26% + 0%
= 0,26 %

Lubang ayakan 10 mm = 67,34% + 0,26%
= 67,60 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 30,34% + 67,60%
= 97,94 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 0,5% + 97,94%
= 98,44 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 0% + 98,94%
= 98,94 %

Pan = 1,56% + 98,94%
= 100 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100 % - 0 %
= 100 %

Lubang ayakan 20 mm = 100 % - 0,26 %
= 99,74 %

Lubang ayakan 10mm = 100 % - 67,60 %
= 32,40 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 97,94 %

= 2,06 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 98,44%

= 1,56 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 98,44 %

= 1,56 %

Pan = 100 % - 100 %

= 0 %

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan Analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	13	0,26	0,26	99,74
10	3367	67,34	67,60	32,40
4,8	1517	30,34	97,94	2,06
2,4	25	0,50	98,44	1,56
1,2	0	0	98,44	1,56
0,6	0	0	98,44	1,56
0,3	0	0	98,44	1,56
0,15	0	0	98,44	1,56
Pan	78	1,56	100	0
Jumlah	5000	100	658	242

d. Modulus Halus Butir

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

$= \frac{658}{100}$

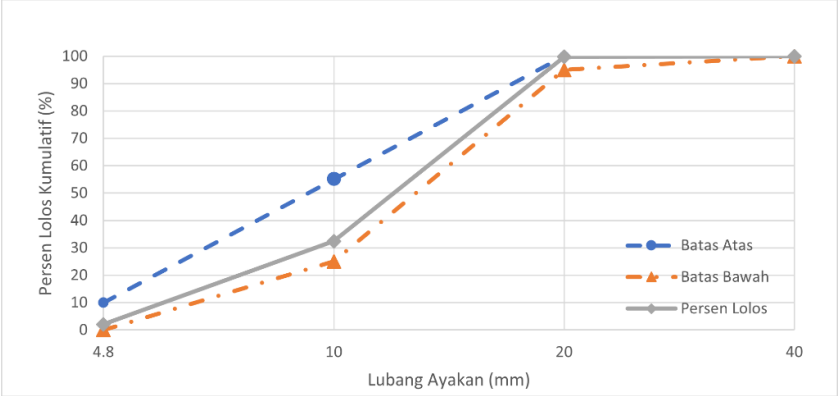
= 6,58

Dari hasil perhitngan di atas, didapatkan nilai MHB sebesar, sehingga nilai tersebut telah memenuhi syarat standar nilai MHB berdasarkan SNI-04-1989-F, yaitu nilai MBH agregat kasar harus 5 – 8. Selain itu hasil analisis saringan digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar yang ada pada Tabel 5.20. Dari tabel tersebut, dibuat kurva gradasi agregat kasar yang ditampilan pada Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5.20 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 5.5 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maks 20 mm

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

3. Pengujian Berat Volume Gembur

Pengujian berat volume gembur agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume gembur agregat kasar.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18257 - 10787

= 7470 gram

Volume tabung (V) = ¼ π d^2 t

= ¼ π x15,2^2 x 30,01

= 5446 cm^3

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

= $\frac{7470}{5446}$

= 1,372 gram/cm^3

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume gembur agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.21 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18257	gram
Berat Agregat (W3)	7470	gram
Diameter tabung (d)	15,2	cm
Tinggi Tabung (t)	30,01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,372	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,372 gram/cm^3. Hasil tersebut berada di kisaran umum yaitu 1,2-1,5 menurut (SNI 03-4804). Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat kasar.

4. Pengujian Berat Volume Padat

Pengujian berat volume padat agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan SNI 4804-1998. Berikut perhitungan berat volume padat agregat kasar.

Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18867 - 10787

= 8080 gram

Volume tabung (V) $= ¼ \pi d^2 t$

$= ¼ \pi x15{,}03^2 x 30{,}4$

$= 5394 \text{ cm}^3$

Berat volume padat $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{8080}{5394}$

$= 1{,}498 \text{ gram/cm}^3$

Adapun rekapitulasi dari hasil perhitungan pengujian berat volume padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18867	gram
Berat Agregat (W3)	8080	gram
Diameter tabung (d)	15,03	cm
Tinggi Tabung (t)	30,4	cm
Volume Tabung (V)	5394	cm^3
Berat Volume Padat	1,498	gram/cm^3

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat kasar sebesar 1,498 gram/cm^3. Hasil tersebut masih bisa dikatakan berada di kisaran umum yaitu 1,5-1,7 menurut (SNI 03-4804).

5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton ini berdasarkan SNI 2834-2000. Adapun perhitungan rencana campuran beton ialah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana sebesar 21 MPa.
2. Benda uji merupakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Semen yang akan digunakan adalah semen *Portland* tipe PCC merek Tiga Roda.
4. Berat jenis agregat halus sebesar 2,577 gr dan penyerapan air sebesar 3,734%.

5. Berat jenis agregat kasar sebesar 2,529 gr dan penyerapan air sebesar 4,34%.
6. Ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm.
7. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi II, didapatkan dari hasil pengujian analisa saringan agregat halus.
8. Menetapkan nilai deviasi standar. Berdasarkan Tabel 3.1, nilai deviasi standar yang ditetapkan adalah 7 karena peneliti belum memiliki pengalaman sebelumnya.
9. Menghitung nilai tambah

   M = 1,64 x Sr

   M = 1,64 x 7

   M = 11,48 MP ≈ 12 MPa
10. Menghitung nilai mutu beton berdasarkan persamaan berikut.

    $F'cr = f'c + M$

    $F'cr$ = 21 + 12

    $F'cr$ = 33 MPa
11. Menentukan nilai FAS berdasarkan Tabel 5.23 dan Gambar 5.6 berikut ini.

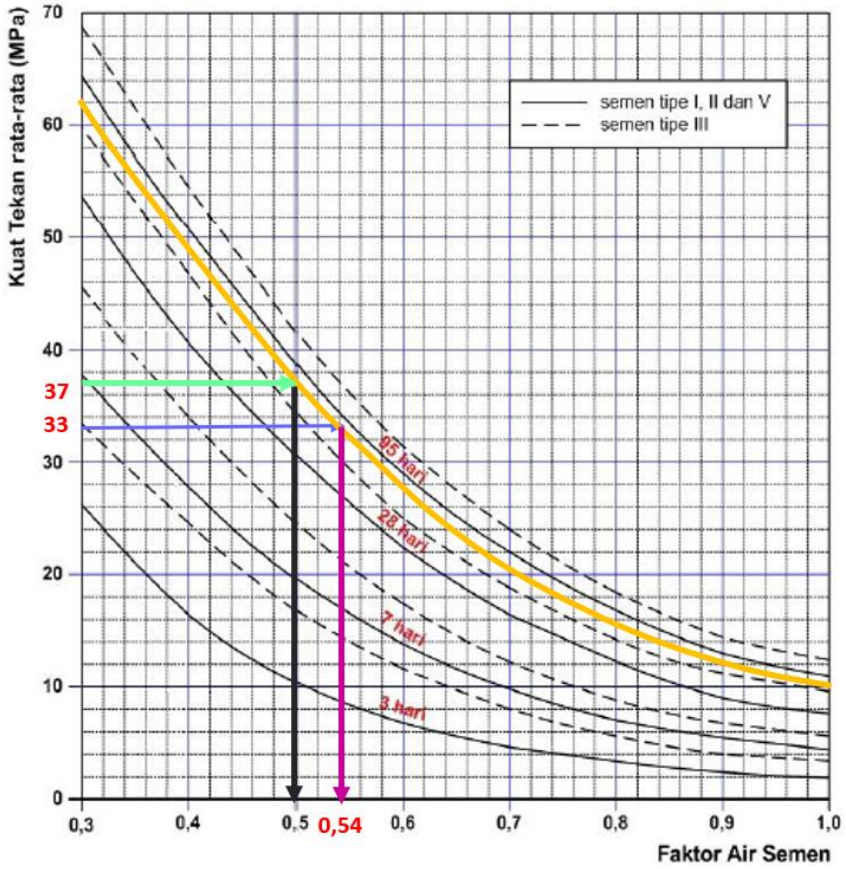
Tabel 5.23 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Fas 0,5, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

a. Semen portland tipe PCC digunakan bersama dengan agregat kasar berupa batu pecah. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari dan bentuk benda uji ialah silinder. Perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 adalah sebeser 37 MPa.
b. Dengan merujuk pada Gambar 5.6 tarik garis vertikal dari nilai fas 0,5 dan tarik garis horizontal dari nilai kuat tekan rata-rata 37 MPa. Titik perpotongan kedua garis tersebut akan diperoleh.
c. Buat garis parabola baru terhadap titik perpotongan.
d. Gunakan kuat tekan silinder yang direncanakan yaitu 33 MPa

   Dengan kuat tekan rencana sebesar 33 MPa tarik garis horizontal sampai garis parabola baru kemudia tarik garis vertikal ke bawah didapat nilai fas bebas sebesar 0,54



Gambar 5.6 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)

Sumber: SNI 2834-2000

12. Menentukan kadar air

    a. Hasil pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa ukuran butir maksimum agregat kasar adalah 20 mm.

    b. Jenis batuan adalah batu tak dipecahkan dan batu pecah

    c. *Slump* dalam rentang slump 60-180 mm.

Tabel 5.24 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: SNI-03-2834-2000

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

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

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

$= 205\ \text{kg/m}^3$

Keterangan:

Wh = Batuan Alami

Wk = Batu Pecah

13. Menentukan nilai maksimum untuk FAS dan minimum jumlah semen berdasarkan tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetinan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per-m^3 beton (kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton di luar ruangan bangunan a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung. b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung.	325 275	0,60 0,60
Beton masuk ke dalam 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 c. Air tawar d. Air laut		Tabel 6

Sumber: SNI-03-2834-2000

14. Menentukan kadar semen
    a. Nilai fas yang didapatkan dari pembacaan grafik adalah 0,54 sementara itu nilai fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 0,60. Nilai fas yang dipilih adalah yang terkecil, yaitu 0,54 dari hasil pembacaan grafik.
    b. Menghitung kadar semen

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

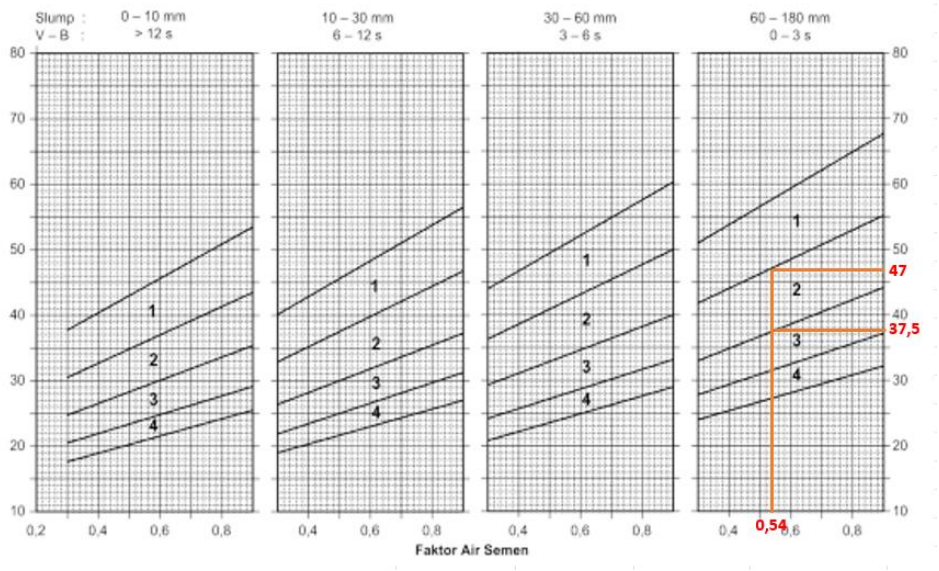
= $\frac{205}{0{,}54}$

= 379,63 kg/m^3

c. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar semen adalah 379,63 kg/m^3, sementara kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan adalah 275 kg/m^3. Oleh karena itu, kadar semen yang digunakan adalah 379,63 kg/m^3.

15. 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 0,54 dan gradasi agregat halus berada dalam gradasi II.



Gambar 5.7 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat

Sumber: SNI 03-2834-2000

Persentase agregat halus $= \frac{(Batas\ atas + batas\ bawah)}{2}$

$= \frac{47+37,5}{2}$

= 42,25%

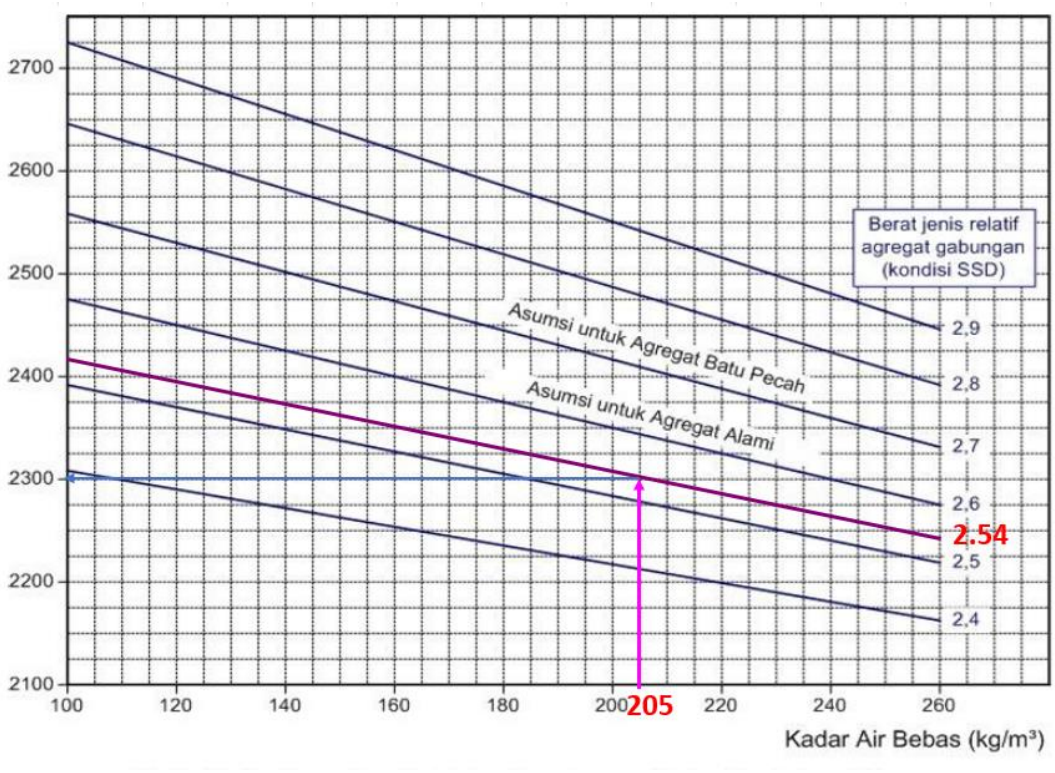
16. Menentukan berat jenis gabungan

Berat jenis gabungan = (42,25 x bj agregat halus) + ((100-42,25) x bj agregat kasar)

= (42,25 x 2,577) + (57,75 x 2,529)

= 2,54

17. Menetukan berat isi beton
    a. Buat kurva baru dengan berat jenis agregat gabungan sebesar 2,54
    b. Tarik garis vertikal ke atas dari kadar air 205 kg/m^3 hingga mencapai kurva yang baru dibuat pada langkah a.
    c. Dari titik perpotongan tersebut, tarik garis horizontal ke kiri sampai didapatkan nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2300 kg/m^3.



Gambar 5.8 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah selesai Dipadatkan

Sumber: SNI 2834-2000

18. Menentukan kadar agegat
    a. Kadar agregat gabungan = berat isi beton – kadar semen – kadar air
       = 2300 – 379,63 – 205
       = 1715,37 kg/m^3
    b. Kadar agregat halus = persen agregat halus x kadar agregat
       = 42,25% x 1715,37
       = 724,744 kg/m^3

c. Kadar agregat kasar = kadar agr. gabungan - kadar agr. halus
= 1715,37 – 724,744
= 990,63 kg/m^3

19. Proporsi campuran per 1 m^3 beton

Air = 205 lt

Semen = 379,63 kg

Agregat Halus = 724,744 kg

Agregat Kasar = 990,63 kg

20. Proporsi campuran per 1 m^3 beton dengan angka penyusutan 25%

Air = 256,25 lt

Semen = 474,537 kg

Agregat Halus = 905,930 kg

Agregat Kasar = 1238,283 kg

21. Proporsi campuran per 8 benda uji

Volume silinder = ¼ π x d^2 x t
= ¼ π x $0,15^2$ x 0,3
= 0,0053 m^3

Air = 0,0053 x 256,25 x 8
= 10,867 lt

Semen = 0.0053 x 474,537 x 8
= 20,126 kg

Agregat Halus = 0,0053 x 905,930 x 8
= 38,421 kg

Agregat Kasar = 0,0053 x 1238,283 x 8
= 52,517 kg

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	**Uraian**	**Nilai**	**Satuan**
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	21	MPa
2	Standar Deviasi		
3	Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	33	MPa
5	Jenis Semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,54	
	Faktor air semen maksimum	0,60	
8	FAS digunakan	0,54	
9	Slump	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m^3
12	Kadar semen	379,63	kg/m^3
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m^3
14	Kadar semen minimum	275	kg/m^3
15	Kadar semen digunakan	379,63	kg/m^3
16	FAS disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat halus	2,577	
	Berat jenis agregat kasar	2,529	
19	Persen agregat halus	42,25	%
20	Persen agregat kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,54	
22	Berat isi beton	2300	kg/m^3

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

23	Kadar agregat gabungan	1715,37	kg/m^3
24	Kadar agregat halus	724,744	kg/m^3
25	Kadar agregat kasar	990,63	kg/m^3
26	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m^3
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	905,930	kg/m^3
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1238,283	kg/m^3
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	474,537	kg/m^3

Untuk mengetahui kebutuhan proporsi campuran beton 8 benda uji dengan batu bata 5% pada Tabel 5.27 dilakukan perhitungan menggunakan rumus seperti berikut.

Volume silinder $= ¼ \pi \times d^2 \times t$

$= ¼ \pi \times 0{,}15^2 \times 0{,}3$

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

Air $= 0{,}0053 \times 256{,}25 \times 8$

$= 10{,}867$ lt

Semen $= 0.0053 \times 474{,}537 \times 8$

$= 20{,}126$ kg

Agregat Kasar $= 0{,}0053 \times 1238{,}283 \times 8$

$= 52{,}517$ kg

Agregat Halus $= 0{,}0053 \times 905{,}930 \times 8$

$= 38{,}421$ kg

Batu Bata 5% = Agregat halus x 5%

$= 38{,}421 \times 5\%$

$= 1{,}921$ kg

Pasir Pakai = Agregat Halus – Batu Bata 5%

$= 38{,}421 - 1{,}921$

$= 36{,}5$ kg

Tabel 5.27 Proporsi Campuran Beton dengan Batu Bata

Kode Sampel	Jumlah Sampel	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)	Batu Bata	
						Berat (kg)	%
BN	8	20,126	38,421	52,517	10,868	0	0
BB 5	8	20,126	36,501	52,517	10,868	1,921	5
BB 10	8	20,126	34,580	52,517	10,868	3,842	10
BB 15	8	20,126	32,659	52,517	10,868	5,763	15
BB 20	8	20,126	30,737	52,517	10,868	7,684	20
BB 25	8	20,126	28,816	52,517	10,868	9,605	25

5.3 Hasil Benda Uji Trial

Sesuai dengan perencanaan campuran yang telah disusun, langkah selanjutnya adalah melakukan percobaan dengan pembuatan benda uji *trial*. Hal tersebut dilakukan untuk meninjau apakah perencanaan campuran tersebut akurat. Sampel yang dibuat 3 benda uji silinder. Pengujian ini dilaksanakan ketika beton berusia 3 hari, sehingga dalam perhitungan nilai kuat tekan beton, perlu memperhitungkan faktor konversi untuk usia pengujian yang sesuai. Berikut adalah detail perhitungan kuat tekan beton dari trial ini.

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

$= \frac{186{,}6\ x\ 1000}{16983{,}216}$

$= 10{,}987$ MPa

$F'c$ Konversi $= F'c$ Aktual x $\frac{1}{angka\ konversi}$

$= 10{,}987$ x $\frac{1}{0{,}40}$

$= 27{,}47$ MPa

Berikut adalah hasil untuk sampel 2 dan sampel 3 dengan menggunakan cara yang sama. Hasil uji kuat tekan beton *trial* dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial

No.	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm^2)	Beban (kN)	Angka Konversi	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	147,05	302	16983,216	186,6	0,40	27,47	25,94
2	147	301,3	16971,668	158,61	0,40	23,36	
3	148,04	304,25	17212,661	178,61	0,40	25,94	

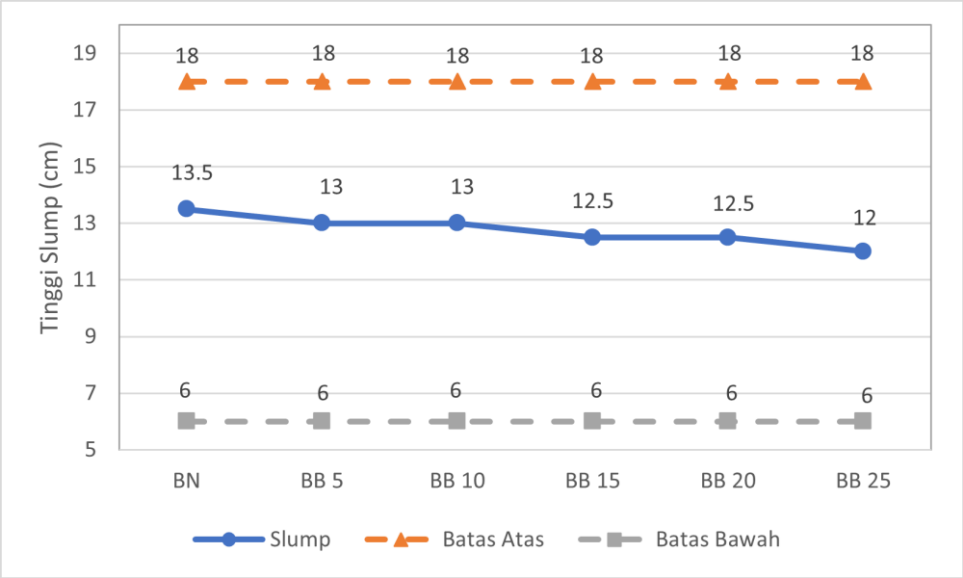
Berdasarkan Tabel 5.28, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton *trial* sebesar 25,94 MPa, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian beton *trial* telah memenuhi mutu rencana yaitu 21 MPa. Dengan hasil tersebut, penelitian dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

5.4 Pengujian Slump

Pengujian nilai slump dilakukan setelah proses pengadukan campuran beton menggunakan mesin pengaduk telah selesai dan campuran beton sudah tercampur dengan merata. Nilai slump digunakan untuk mengetahui tingkat workability campuran beton. Hasil dari pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 5.29 dan Gambar 5.9 di bawah ini.

Tabel 5.29 Hasil Pengujian Slump

Kode Sampel	**Komposisi Campuran**	**Tinggi Slump (cm)**	**Syarat Nilai Slump (60-180mm)**
	Serbuk Batu Bata		
BN	0%	13,5	Memenuhi
BB 5%	5%	13	Memenuhi
BB 10%	10%	13	Memenuhi
BB 15%	15%	12,5	Memenuhi
BB 20%	20%	12,5	Memenuhi
BB 25%	25%	12	Memenuhi



Gambar 5.9 Grafik Pengujian Nilai Slump

Berdasarkan Gambar 5.9 di atas, hasil slump secara keseluruhan sudah memenuhi syarat perencanaan yaitu 60-180 mm. Pada variasi 0% hasil slump yaitu 13,5 cm, kemudian terjadi tren menurun seiring bertambahnya variasi serbuk batu bata. Hal tersebut dikarenakan serbuk batu bata dapat menyerap air relatif lebih tinggi dibandingkan agregat normal karena tekstur porosnya (Mohammed et al., 2023). Seiring bertambahnya variasi serbuk batu bata, campuran menunjukkan penurunan nilai slump dan semakin mengental akibatnya *workability* menurun dan proses pemadatan realtif lebih sulit dibanding dengan beton normal.

5.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan pada saat umur beton 28 hari. Sebulum pengujian dilakukan capping terlebih dahulu. Fungsi capping yaitu untuk meratakan bagian permukaan beton. Pengujian dilakukan menggunakan *Compression Testing Machine* (MCM). Pengujian dijalankan sampai sampel uji tidak dapat menahan beban yang diberikan mesin. Selama proses tekanan beton, dial beban akan meningkat sampai mencapai beban maksimum. Nilai kuat tekan beton ditentukan oleh beban maksimum yang dicapai saat pengujian. Berikut contoh perhitungan dan

hasil rekapitulasi dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.30 dibawah ini.

Kuat Tekan Beton $= \frac{beban\ maks\ x\ 1000}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2}$

$= \frac{540{,}9\ x\ 1000}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15{,}005^2}$

= 30,59 MPa

Tabel 5.30 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BN	150,05	302,1	0	540,9	17683,242	30,59	33,18
	150,25	304		596,5	17730,413	33,64	
	149,35	303,25		594,9	17284,825	33,96	
	150,2	305		581,6	17718,614	32,82	
	150	305,1		616,4	17671,459	34,88	
BB 5%	149,4	301,3	5	520,3	17560,000	29,72	27,67
	150,1	300		371	17695,028	20,97	
	148,15	304,25		514,3	17238,251	29,83	
	150,05	302		563	17683,242	31,84	
	149,3	305,25		454,7	17506,910	25,97	

Ket:

BN = Beton Normal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Lanjutan Tabel 5.30 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BB 10%	148,45	305,3	10	565,9	17308,135	32,70	29,14
	148,5	304,3		509,5	17319,797	29,42	
	147,85	309,85		463,3	17168,507	26,99	
	149,1	307,55		524,9	17460,037	30,06	
	147,85	307,9		456	17168,507	26,56	
BB 15%	147,9	301,2	15	535,5	17180,121	31,17	28,50
	149,1	300,4		538,4	17460,037	30,84	
	148,6	309,6		495,8	17343,131	28,59	
	148,5	309,6		470,5	17319,797	27,17	
	149,4	304,25		433,3	17530,370	24,72	

Ket:

BN 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

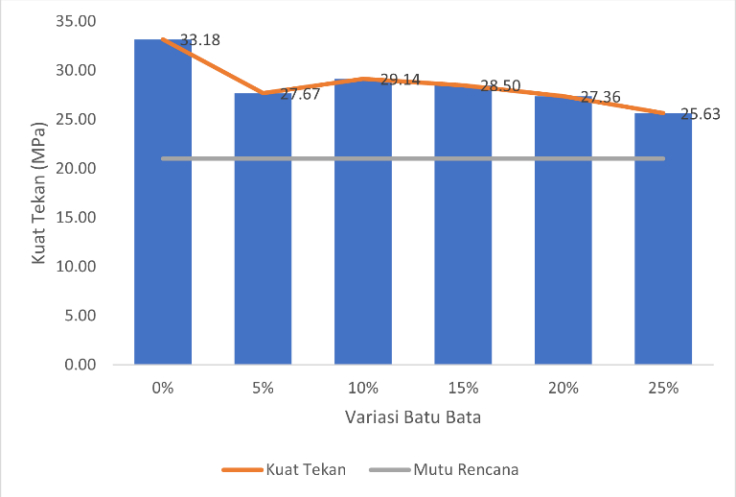
Lanjutan Tabel 5.30 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BB 20%	148,8	303,3	20	496,4	17386,846	28,55	27,36
	149,45	307,65		419,9	17542,106	23,94	
	147,7	306,05		472,8	17133,689	27,59	
	148,35	305,3		518,7	17284,825	30,01	
	148,15	307,45		460,8	17238,251	26,73	
BB 25%	148	304,5	25	442,8	17203,361	25,74	25,63
	148,1	300		459	17226,617	26,64	
	149,3	308,05		452,5	17506,910	25,85	
	149,05	305		404	17448,329	23,15	
	148,5	303,3		463,6	17319,797	26,77	

Ket:

BN 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%



Gambar 5.10 Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi

5.5.1 Pembahasan

Berdasarkan grafik hasil uji kuat tekan di atas, dapat dijelaskan bahwa nilai kuat tekan beton menunjukkan besarnya kemampuan beton menahan beban tekan hingga beton mengalami keruntuhan. Penelitian ini dilakukan oleh penulis dengan memanfaatkan serbuk batu bata merah sebagai substitusi agregat halus pada beberapa variasi campuran, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari.

Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kuat tekan tertinggi (optimum) justru diperoleh pada beton normal (0%) sebesar 33,18 MPa, kemudian menurun pada variasi 5% menjadi 27,67 MPa, sedikit meningkat di variasi 10% (29,14 MPa), lalu kembali menurun pada variasi 15%–25%. Berbeda dengan jurnal sebelumnya dari jurnal (Sofia et al., 2019) yang menunjukkan hasil optimum pada kadar 9% sebesar 26,560 MPa dibanding dengan beton normalnya yaitu sebesar 24,961 MPa, kemudian dari jurnal (Yulian et al., 2023) menunjukkan hasil optimum pada variasi 14% yaitu sebesar 22,79 MPa lebih besar daripada beton normal yaitu sebesar 20,24 MPa. Hasil selisih pada beton normal terlihat lebih besar dari mutu rencana karena ada penambahan nilai margin dari mutu rencana pada *mix design*.

Ketidaksesuaian ini terjadi karena sifat fisik dan kualitas serbuk batu bata merah yang digunakan berbeda dengan penelitian sebelumnya. Hasil uji propertis pada penelitian ini menunjukkan serbuk batu bata memiliki penyerapan air sebesar

4,82% dan kandungan lumpur 5%, lebih tinggi daripada pasir untuk penyerapan air sebesar 3,73% dan kandungan lumpur 4,8%, serta berat jenis yang lebih rendah daripada pasir, pada batu bata yaitu 2,538, dan berat jenis untuk pasir yaitu 2,577. Berat jenis yang lebih rendah pada serbuk bata mengindikasikan porositas yang lebih tinggi, konsisten dengan laporan (Bremner et al., 2014). Semakin tinggi porositas, maka semakin turun kuat tekan beton (Sultan et al., 2018). Agregat yang berasal dari batu bata memiliki daya serap air yang tinggi, kepadatan yang rendah, dan kekuatam yang lebih rendah, sehingga secara signifikan memengaruhi penurunan kualitas dan kinerja beton (Hu et al., 2024). Serbuk batu bata memiliki porositas tinggi dan kandungan lumpur yang besar, akibatnya kepadatan beton menurun dengan meningkatnya variasi batu bata (Zhu & Zhu, 2020). Dalam kasus ini, meskipun substitusi 10% sedikit meningkatkan kuat tekan dibanding 5%, nilainya tetap lebih rendah daripada beton normal karena agregat alami memiliki kekuatan intrinsik lebih tinggi dan ikatan pasta semen yang lebih baik.

5.6 Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi dilakukan pada saat benda uji telah berusia 28 hari. Tujuan pengujian ini adalah unutk mengetahui kemampuan beton menyerap air melalui pori-pori yang dapat ditembus. Pada pengujian ini dilakukan dengan cara mengeringkan benda uji menggunakan oven dengan suhu 110 ± 5˚C selama 24 jam kemudian ditimbang sebagai berat kering oven, lalu kembali memasukkan benda uji kedalam air selama 48 jam setelah itu ditimbang dengan kondisi SSD. Berikut contoh perhitungan dan hasil rekapitulasi dari pengujian absorpsi beton dapat dilihat pada Tabel 5.31 dibawah ini.

$$\text{Absorpsi} = \frac{b-a}{a} \text{ x } 100\%$$

$$= \frac{13{,}14-12.976}{12.976} \text{ x } 100\%$$

$$= 1{,}264\%$$

Keterangan:

a = Berat kering oven di udara (gram)

b = Berat kering permukaan di udara setelah perendaman (gram)

Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BN	1	13,14	12,976	1,264	2,749
	2	12,817	12,521	2,364	
	3	13,066	12,489	4,620	
BB 5%	1	12,903	12,682	1,743	2,419
	2	12,856	12,601	2,024	
	3	12,837	12,404	3,491	

Ket:

BN = Beton Nomal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Lanjutan Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BB 10%	1	12,955	12,431	4,215	4,629
	2	13,01	12,278	5,962	
	3	12,944	12,481	3,710	
BB 15%	1	12,632	12,184	3,677	5,292
	2	12,653	12,067	4,856	
	3	12,662	11,796	7,341	

Ket:

BB 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

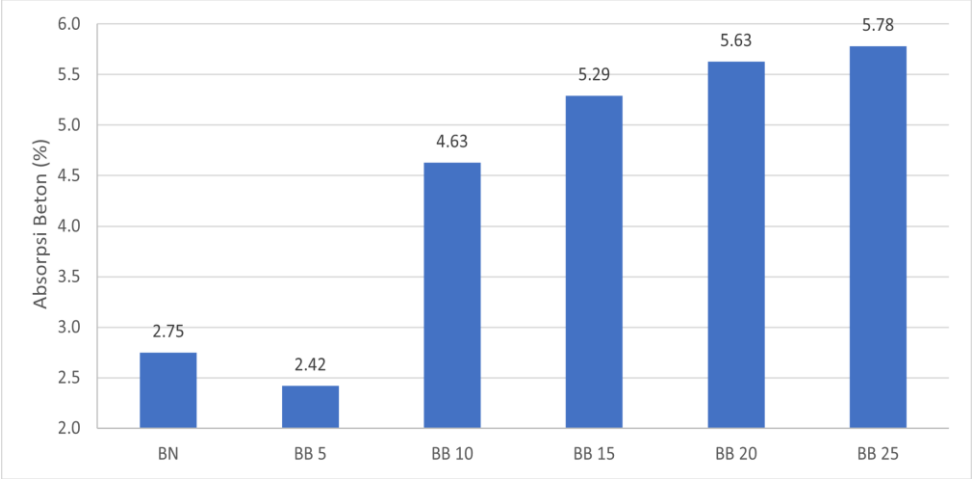
Lanjutan Tabel 5.31 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BB 20%	1	12,998	12,511	3,983	5,629
	2	12,991	12,002	8,240	
	3	12,912	12,326	4,754	
BB 25%	1	12,971	12,477	3,959	5,782
	2	12,019	12,077	7,800	
	3	12,854	12,174	5,586	

Ket:

BB 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Absorpsi Beton



Gambar 5.12 Beton Variasi 10%



Gambar 5.13 Beton Variasi 5%

5.6.1 Pembahasan

Berdasarkan grafik hasil pengujian absorpsi beton di atas, dapat dijelaskan bahwa nilai absorpsi beton menunjukkan persentase kemampuan beton dalam menyerap air. Pada penelitian ini, variasi substitusi serbuk batu bata merah dilakukan pada agregat halus dengan persentase 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Pengujian absorpsi dilakukan setelah umur rencana yaitu 28 hari. Hasilnya menunjukkan adanya tren peningkatan absorpsi seiring bertambahnya persentase substitusi. Seperti pada Gambar 5.12 menunjukkan beton variasi 10% memiliki pori permukaannya terlihat lebih banyak dan besar, dibanding pada Gambar 5.13 beton variasi 5% yang relatif lebih halus dengan pori yang lebih kecil. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk menghitung ruang pori permeabel pada beton yang telah mengeras (Loop, 2008). Metode ini mencakup persentase penyerapan, artinya absorpsi adalah pengukur pori, bukan pengukur langsung kekuatan, jadi tidak selalu hasil absorpsi sejalan dengan hasil kuat tekan.

Fenomena menarik terjadi pada variasi 10%, di mana hasil kuat tekannya menunjukkan lebih baik dibanding variasi 5%. Hal tersebut terjadi dikarenakan sedikit kenaikan dari batu bata dapat memperbaiki gradasi sehingga kuat tekan naik dibanding 5% optimasi kepadatan partikel pada campuran beton memberikan pengaruh positif terhadap sifat beton (K. Wang et al., 2017), namun nilai absorpsi justru melonjak menjadi 4,63%, yang lebih tinggi dari variasi 5%. Kondisi ini disebabkan karena variasi batu bata bertambah, sehingga volume pori naik. Literatur merekam konsisten bahwa material daur ulang termasuk limbah batu bata memiliki daya serap air lebih tinggi dibandingkan bahan alami (Skocek et al., 2024).

Selain itu, pada variasi 5%, absorpsi justru lebih rendah (2,42%) dibandingkan beton normal (2,75%). Hal ini terjadi karena jumlah substitusi yang kecil mampu mengisi sebagian pori-pori antar butiran pasir dengan partikel halus dari batu bata merah, sehingga mengurangi jalur masuknya air (Sicakova et al., 2017), meskipun pada sisi lain kekuatan tekan BN tetap lebih tinggi karena agregat alami memiliki kekuatan melekat yang lebih baik dibandingkan batu bata merah (Xu et al., 2022). Kenaikan dari variasi 5% ke 10% sangat melonjak jauh karena pada variasi 10% tercapai ambang reologi, serbuk bata yang sangat menyerap banyak air membuat slump turun dan pori saling terhubung, sehingga absorpsi melonjak. Setelah pori saling terhubung, penambahan 10% sampai 25% tidak terjadi kenaikan yang sangat signifikan karena pori yang terhubung sudah terbentuk. Temuan ini konsisten dengan studi yang menunjukkan 5% relatif normal, sedangkan 10% mulai menurunkan kelecakan atau meningkatan kebutuhan air (Aquino Rocha et al., 2024).

Dengan demikian, hubungan antara kuat tekan dan absorpsi pada penelitian ini tidak sepenuhnya linear karena absorpsi tidak menunjukkan hubungan dengan kuat tekan (Zhang & Zong, 2014). Kuat tekan bergantung pada struktur internal seperti semen, agregat, ITZ, sehingga angka absorpsi pada variasi 5% tidak otomatis meningkatkan kuat tekan, dan sebaliknya pada variasi 10% kuat tekan bisa membaik meskipun absorpsi meningkat.

5.7 Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton dan menggunakan benda uji yang sama dengan pengujian kuat tekan beton. Perbedaan dengan pengujian kuat tekan beton berada pada pemasangan *dial gauge* pada benda uji. *Dial gauge* menampilkan nilai penurunan pada beton saat diberi beban oleh mesin CTM. Pengujian dilakukan sampai beton hancur. Pada pengujian ini dilakukan pembacaan penurunan beton pada setiap pembebanan 10 kN.

Perhitungan modulus elastisitas menggunakan hasil pengujian dan perhitungan teoritis. Pengujian modulus akan memperoleh data tegangan dan regangan aksial yang diakibatkan dari pembebanan. Berikut perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban beton mencapai 10 kN sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai Deformasi (ΔL)

$$\Delta L = \frac{\Delta L}{2} \text{ x } 10^{-3}$$
$$= \frac{5}{2} \text{ x } 10^{-3}$$
$$= 0{,}0025 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo}$$
$$= \frac{0{,}0025}{200}$$
$$= 0{,}0000125$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{10000}{17683{,}242}$$
$$= 0{,}57 \text{ MPa}$$

Berikut hasil rekapan dari perhitungan pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Tabel 5.32

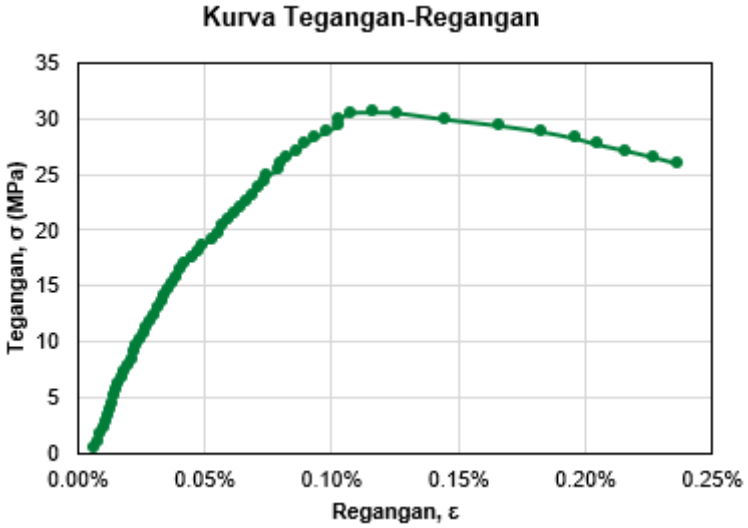
Tabel 5.32 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN01

Beban (kN)	Ekstensiometer x 10^3 mm	Deformasi (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ)
10	5	0.0025	0.001%	0.57
20	10	0.005	0.003%	1.13
30	14	0.007	0.004%	1.70
40	20	0.01	0.005%	2.26
50	22	0.011	0.006%	2.83
60	26	0.013	0.007%	3.39
70	28	0.014	0.007%	3.96
80	31	0.0155	0.008%	4.52
90	34	0.017	0.009%	5.09
100	40	0.02	0.010%	5.66
110	43	0.0215	0.011%	6.22
120	48	0.024	0.012%	6.79
130	52	0.026	0.013%	7.35
140	58	0.029	0.015%	7.92
150	63	0.0315	0.016%	8.48
160	66	0.033	0.017%	9.05
170	71	0.0355	0.018%	9.61
180	76	0.038	0.019%	10.18
190	83	0.0415	0.021%	10.74
200	87	0.0435	0.022%	11.31
210	92	0.046	0.023%	11.88
220	99	0.0495	0.025%	12.44
230	104	0.052	0.026%	13.01
240	110	0.055	0.028%	13.57
250	114	0.057	0.029%	14.14
260	120	0.06	0.030%	14.70
270	128	0.064	0.032%	15.27
280	133	0.0665	0.033%	15.83
290	140	0.07	0.035%	16.40
300	145	0.0725	0.036%	16.97
310	160	0.08	0.040%	17.53
320	168	0.084	0.042%	18.10

Lanjutan Tabel 5.32 Hasil Perhitungan Tegangan Regangan Beton BN01

330	175	0.0875	0.044%	18.66
340	191	0.0955	0.048%	19.23
350	199	0.0995	0.050%	19.79
360	207	0.1035	0.052%	20.36
370	215	0.1075	0.054%	20.92
380	225	0.1125	0.056%	21.49
390	234	0.117	0.059%	22.05
400	243	0.1215	0.061%	22.62
410	253	0.1265	0.063%	23.19
420	262	0.131	0.066%	23.75
430	272	0.136	0.068%	24.32
440	276	0.138	0.069%	24.88
450	296	0.148	0.074%	25.45
460	299	0.1495	0.075%	26.01
470	308	0.154	0.077%	26.58
480	322	0.161	0.081%	27.14
490	336	0.168	0.084%	27.71
500	351	0.1755	0.088%	28.28
510	370	0.185	0.093%	28.84
520	388	0.194	0.097%	29.41
530	390	0.195	0.098%	29.97
540	410	0.205	0.103%	30.54
540.9	443	0.2215	0.111%	30.59
540	482	0.241	0.121%	30.54
530	557	0.2785	0.139%	29.97
520	642	0.321	0.161%	29.41
510	710	0.355	0.178%	28.84
500	761	0.3805	0.190%	28.28
490	798	0.399	0.200%	27.71
480	843	0.4215	0.211%	27.14
470	885	0.4425	0.221%	26.58
460	923	0.4615	0.231%	26.01

Berdasarkan Tabel 5.32 didapatkan hasil dari pembacaan dial selama pengujian modulus elastisitas. Didapatkan juga grafik hubungan antara regangan dan tegangan berdasarkan Tabel 5.32 dapat dilihat pada Gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5.14 Kurva Tegangan Regangan

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.14 dan data yang tercantum dalam Tabel 5.32 di atas, dilakukan perhitungan modulus elastisitas dengan metode ASTM C469-94 di bawah ini.

$E_{uji} = \frac{\sigma 2 - \sigma 1}{\varepsilon 2 - \varepsilon 1}$

$= \frac{12{,}44 - 9{,}05}{0{,}030 - 0{,}022}$

= 41127,79 MPa

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

$E_{teori} = 4700 \sqrt{f'c}$

$= 4700 \sqrt{30{,}59}$

= 25994,14 MPa

Berdasarkan Gambar 5.14 di atas, nilai modulus elastisitas untuk beton variasi 0% dengan umur 28 hari pada sampel 1 yaitu sebesar 41127,79 MPa. Pada penelitian ini, modulus elastisitas teoritis juga dihitung untuk setiap sampel menggunakan persamaan berdasarkan SNI 2847-2019, yaitu 4700 $\sqrt{f'c}$, dengan beton variasi yang sama dan umur 28 hari diperoleh modulus elastisitas teoritis sebesar 25994,14 MPa. Rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk semua variasi sampel dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BN	28 Hari	1	30,59	41127,79	25994,14	35306,73	27065,92
		2	33,64	44139,34	27261,12		
		3	33,96	28541,03	27388,59		
		4	32,82	27901,85	26927,45		
		5	34,88	34823,65	27758,31		
BB 5%	28 Hari	1	29,68	27381,05	25605,26	33827,42	24654,14
		2	20,97	25834,54	21520,84		
		3	29,83	33148,87	25671,99		
		4	31,84	47621,66	26519,85		
		5	25,97	35150,96	23952,76		

Ket:

BN = Beton Normal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Lanjutan Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BB 10%	28 Hari	1	32,70	44020,04	26874,24	34577,95	25354,77
		2	29,42	31855,12	25491,69		
		3	26,99	31484,42	24415,34		
		4	30,06	34465,56	25769,95		
		5	26,56	31064,63	24222,22		
BB 15%	28 Hari	1	31,17	37755,77	26240,04	34009,77	25066,45
		2	30,84	47728,04	26099,24		
		3	28,59	32948,41	25129,70		
		4	27,17	23094,96	24496,63		
		5	24,72	28521,93	23366,66		

Ket:

BB 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

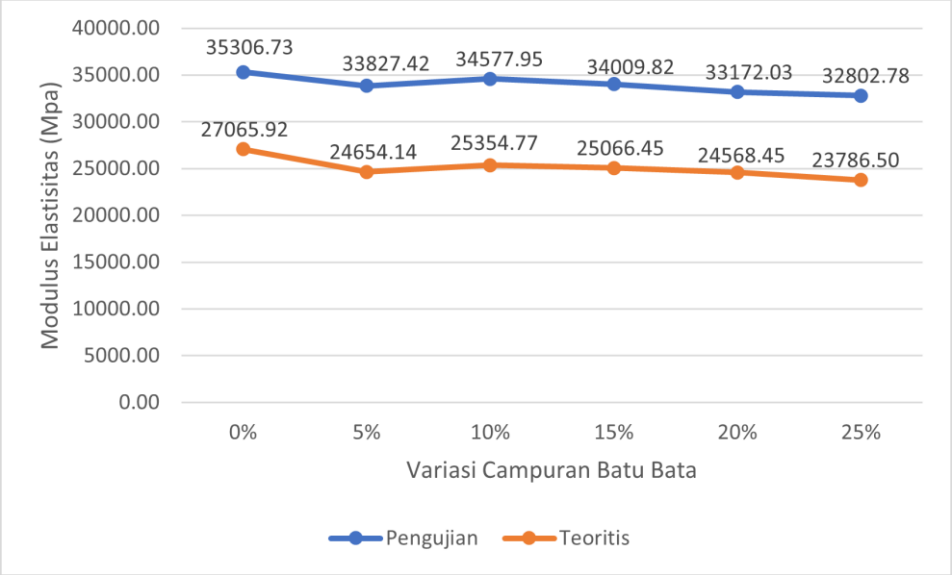
Lanjutan Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BB 20%	28 Hari	1	28,55	42794,29	25111,11	33172,03	24568,45
		2	23,94	27921,16	22994,82		
		3	27,59	32830,06	24689,44		
		4	30,01	31667,57	25746,81		
		5	26,73	30647,07	24300,07		
BB 25%	28 Hari	1	25.74	25136,51	23844,87	32802,78	23786,50
		2	26,64	28145,31	24260,75		
		3	25,85	40320,21	23894,75		
		4	23,15	36197,10	22615,78		
		5	26,77	34214,75	24316,34		

Ket:

BB 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Perhitungan Pengujian dan Teoritis

5.7.1 Pembahasan

Berdasarkan grafik hasil pengujian modulus elastisitas beton, terlihat bahwa nilai modulus elastisitas yang diperoleh melalui metode pengujian langsung (ASTM C469) selalu lebih tinggi dibandingkan nilai perhitungan teoritis (SNI 2847:2019) pada seluruh variasi substitusi serbuk batu bata merah. Selisih rata-rata antara kedua metode tersebut mencapai sekitar 26%. Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kekakuan beton dengan memanfaatkan serbuk batu bata merah sebagai substitusi agregat halus pada enam variasi campuran, yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, dengan pengujian dilakukan pada umur rencana 28 hari di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh substitusi serbuk batu bata merah terhadap modulus elastisitas beton, serta membandingkan hasil pengujian langsung dan perhitungan teoritis.

Dari grafik terlihat bahwa pada beton normal (0%), nilai modulus elastisitas pengujian mencapai 35306,73 MPa, sedangkan secara teoritis sekitar 27065,92 MPa. Tren penurunan E_C pada kedua metode saat kadar serbuk batu bata meningkat sejalan dengan temuan bahwa sifat agregat memberikan pengaruh besar terhadap kekakuan beton (Aïssoun et al., 2016). Seiring bertambahnya persentase batu bata merah, nilai modulus elastisitas cenderung menurun pada kedua metode. Penurunan

ini dipengaruhi oleh sifat fisik batu bata merah yang berpori dan memiliki modulus elastisitas intrinsik rendah (Hasnat, 1983).

Perbedaan nilai antara metode pengujian dan teoritis dapat dijelaskan dari cara penentuannya. Metode SNI menghitung modulus elastisitas dari kuat tekan beton menggunakan rumus empiris Ec = 4700 x $\sqrt{f'c}$, sehingga ketika kuat tekan menurun akibat agregat batu bata yang lebih lemah, nilai teoritis ikut menurun signifikan. Sebaliknya, metode ASTM mengukur hubungan tegangan–regangan secara langsung, sehingga hasilnya tidak hanya bergantung pada kuat tekan, tetapi juga dipengaruhi oleh ikatan pasta semen–agregat dan distribusi tegangan pada sampel.

Keterkaitan dengan hasil kuat tekan sebelumnya terlihat jelas. Beton normal yang memiliki kuat tekan tertinggi juga menunjukkan modulus elastisitas tertinggi di kedua metode. Variasi 10%, walaupun kuat tekannya sedikit lebih tinggi dibanding 5%, tidak menunjukkan kenaikan signifikan pada modulus elastisitas karena sifat elastis agregat batu bata merah tetap rendah. Pada variasi 15–25%, penurunan kuat tekan diikuti dengan penurunan modulus elastisitas, baik pada metode pengujian maupun teoritis.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Substitusi serbuk batu bata merah sebanyak 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat pasir dapat memengaruhi kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan absorpsi beton. Tidak terjadi peningkatan mutu beton, terjadi penurunan mutu beton dari beton normal BN (0%) hingga pada variasi 25% meskipun terjadi peningkatan pada variasi 10% dari 5%, akan tetapi mutu beton pada variasi 10% masih di bawah dari beton normal. Hal tersebut terjadi dikarenakan karena sifat fisik dan kualitas serbuk batu bata merah yang digunakan berbeda dengan penelitian sebelumnya. Hasil uji propertis pada penelitian ini menunjukkan serbuk batu bata memiliki penyerapan air sebesar 4,82% dan kandungan lumpur 5%, serta berat jenis yang lebih rendah daripada pasir, akibatnya kekuatan beton menurun dengan meningkatnya variasi serbuk batu bata.
2. Nilai mutu beton tertinggi terdapat di beton normal dengan nilai rata-rata yaitu 33,18 MPa dan untuk beton variasi yaitu BB 10% sebesar 29,14 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian ini, berikut beberapa hal yang dapat dijadikan sebagai saran untuk penelitian lebih lanjut tentang bagaimana pengaruh limbah batu bata merah pada substitusi agregat halus**.**

1. Perlu dilakukan perlakuan awal, terhadap serbuk batu bata seperti perendaman, untuk mengurangi daya serap air yang tinggi.
2. Melakukan observasi lebih lanjut terkait sumber penggunaan serbuk batu bata merah.

3. Menambahkan *superplasticizer* untuk meningkatkan *workability* tanpa menambah banyak air.

DAFTAR PUSTAKA

Aïssoun, B. M., Hwang, S. D., & Khayat, K. H. (2016). Influence of aggregate characteristics on workability of superworkable concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, *49*(1–2), 597–609. https://doi.org/10.1617/s11527-015-0522-9

Alfiqry, M. M. (2019). Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan. *(Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin)*.

Aquino Rocha, J. H., Morales Ruiz, B. M., & Toledo Filho, R. D. (2024). Evaluating the Use of Recycled Brick Powder as a Partial Replacement for Portland Cement in Concrete. *Ingenieria e Investigacion*, *44*(1), 1–11. https://doi.org/10.15446/ing.investig.107462

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

ASTM Committe C-9. (1994). ASTM C 469-94, Elasticity. *ASTM International*, 1–2.

Badan Standardisasi Nasional. (1990). *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990*.

Badan Standardisasi Nasional. (1996a). *METODE PUNGUJIAN MODULUS ELASTISITAS STATIS DAN RASIO POISON BETON DENGAN KOMPRESOR EKSTENSOMETER*.

Badan Standardisasi Nasional. (1996b). SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 Mm). *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, *200*(200), 1–6.

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

Badan Standardisasi Nasional. (2008a). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*. http://sni.litbang.pu.go.id/index.php?r=/sni/new/sni/detail/id/195

Badan Standardisasi Nasional. (2008b). SNI 1969:2008 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.

Badan Standardisasi Nasional. (2011a). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*.

https://www.academia.edu/download/57886647/SNI-1974-2011-.pdf

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

Badan Standardisasi Nasional. (2016). Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Keras. *Badan Standarisasi Nasional*.

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

Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 03-6433-2000 Metode Pengujian Kerapatan, Penyerapan dan Rongga Dalam Beton Yang Telah Mengeras. *Badan Standardisasi Nasional, Jakarta*, *m*, 1–2.

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

Bremner, T. W., Caldarone, M. A., Crocker, D. A., Gruber, R. D., Kluckowski, E. S., Mccabe, K. A., Mor, A. A., Ries, J. P., Wall, J. R., Hammer, T. A., & Sypher, W. X. (2014). *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. *14*(23), 23–26.

Elianora. (2010). Variasi Tanah Lempung, Tanah Lanau Dan PasirSebagai Bahan Campuran Batu Bata. *Jurnal Teknobiologi*, *2*(2), 34–46.

Ghassani, D. B., & Pratama, R. (2024). ANALISIS KUAT TEKAN BETON MENGGUNAKAN BATU BATA MERAH SEBAGAI CAMPURAN AGREGAT HALUS. *Jurnal Teknik*, *04*(02), 184–192.

Hasnat, A. A. A. and A. (1983). Properties of Concrete Using Crushed Brick as Aggregate. *Concrete International*, *5*(2).

Hu, J., Ahmed, W., & Jiao, D. (2024). A Critical Review of the Technical Characteristics of Recycled Brick Powder and Its Influence on Concrete Properties. *Buildings*, *14*(11). https://doi.org/10.3390/buildings14113691

Islam, N., Sandanayake, M., Muthukumaran, S., & Navaratna, D. (2024). Review on Sustainable Construction and Demolition Waste Management—Challenges and Research Prospects. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(8). https://doi.org/10.3390/su16083289

Loop, S. (2008). Permeable Voids (Boil Test). *Concrete Property Test*, 1–2. www.cptechcenter.org

Mohammed, T. U., Mahmood, A. H., Sakib, A., Khan, F. A., & Sopnil, S. I. (2023). Fresh and Hardened Properties of Brick Aggregate Concrete with Maximum Aggregate Sizes of 10 mm to 75 mm. *Construction Materials*, *3*(4), 337–353. https://doi.org/10.3390/constrmater3040022

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

Nugraha, B. H. (2024). *PEMANFAATAN LIMBAH BATU BATA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA BETON NORMAL*.

Sicakova, A., Draganovska, M., & Kovac, M. (2017). Water Absorption Coefficient as a Performance Characteristic of Building Mixes Containing Fine Particles of Selected Recycled Materials. *Procedia Engineering*, *180*, 1256–1265. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.287

Skocek, J., Ouzia, A., Vargas Serrano, E., & Pato, N. (2024). Recycled Sand and Aggregates for Structural Concrete: Toward the Industrial Production of High-Quality Recycled Materials with Low Water Absorption. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(2). https://doi.org/10.3390/su16020814

Sofia, D. A., Shafira, P. A., & Kusumah, H. (2019). Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, *10*(1), 600–608. https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/1481

Sultan, M. A., Imran, & Litiloly, F. (2018). Korelasi Porositas Beton Terhadap Kuat Tekan Rata-Rata. *Jurnal Teknologi Sipil*, *2*(2), 57–63. https://ocs.unmul.ac.id/index.php/TS/article/download/2189/1625

Tjokrodimuljo, K. (2007). Teknologi Beton. *Universitas Gadjah Mada*. http://etd.repository.ugm.ac.id/

Wang, K., Alleman, J. E., & Buss, A. F. (2017). *Major : Civil Engineering (Civil Engineering Materials) Program of Study Committee :*

Wang, Y., Wang, J., Deng, Z., & Xiao, J. (2023). Studying Thermal and Mechanical Properties of Recycled Concrete by Using Ceramic Aggregate. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(3). https://doi.org/10.3390/su15032642

Xu, L., Su, W., & Su, T. (2022). Influence of recycled clay brick aggregate on the mechanical properties of concrete. *Reviews on Advanced Materials Science*, *61*(1), 372–380. https://doi.org/10.1515/rams-2022-0034

Yulian, H., Carlo, N., & Khaidir, I. (2023). Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, *19*(2), 322–334. https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6176

Zhang, S. P., & Zong, L. (2014). Evaluation of Relationship between Water Absorption and Durability of Concrete Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/650373

Zhu, L., & Zhu, Z. (2020). Reuse of Clay Brick Waste in Mortar and Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/6326178

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 (Bk)	482	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	964	gram
Berat piknometer berisi air (B)	658	gram
Berat jenis curah	2,485	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,577	
Berat jenis semu	2,739	
Penyerapan air	3,734	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,577. Sesuai ketentuan (SNI 03-1970:2008) berada pada kisaran normal yaitu 2,5-2,7 dan pada penyerapan air batasan umum di bawah 5% dengan batasan yang lebih ketat pada 3%, jadi penyerapan air sebesar 3,734% masih batas wajar. Sehingga pasir tergolong agregat normal.

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	0	0	0	100
2,4	142	7,13	7,13	92,87
1,2	369	18,53	25,67	74,33
0,6	607	30,49	56,15	43,85
0,3	369	18,53	74,69	25,31
0,15	316	15,87	90,56	9,44
Pan	188	9,442	100	0
Jumlah	1991	100	254,194	345,806

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

$= \frac{254{,}194}{100}$

= 2,542 **(Memenuhi syarat SNI-04-1989-F yaitu: 1,5 – 3,8)**

Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-39	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

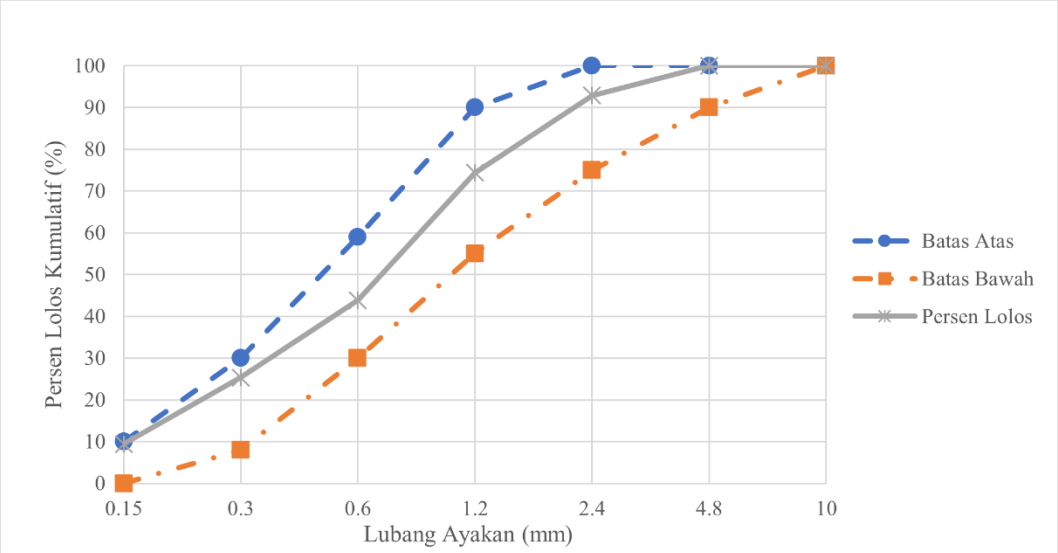
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan

Pasir masuk daerah : Daerah II (Pasir Agak Kasar)

Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18805	gram
Berat Agregat (W3)	8018	gram
Diameter tabung (d)	15,20	cm
Tinggi Tabung (t)	30,01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,472	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,472 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum menurut (ASTM C29, 2003) yaitu 1,4-1,9. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat halus.

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)	19533	gram
Berat Agregat (W3)	8746	gram
Diameter tabung (d)	14,83	cm
Tinggi Tabung (t)	30,6	cm
Volume Tabung (V)	5286	cm^3
Berat Volume Padat	1,655	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,655 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum menurut (ASTM C 29, 2003) yaitu 1,5-1,7. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume padat agregat halus.

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 dicuci (W2)	476	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	4,80	%

Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus sebesar 4,80 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasilnya masuk dalam standar SNI 04-1989-F maksimal 5%.

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Halus Batu Bata

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS BATU BATA

Asal Batu Bata	Toko Bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	477	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	969	gram
Berat piknometer berisi air (B)	666	gram
Berat jenis curah	2,421	
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,538	
Berat jenis semu	2,741	
Penyerapan air	4,82	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,538 berdasarkan (SNI 03-1970:2008) sesuai pada kisaran normal yaitu 2,5-2,7 dan pada penyerapan air batasan umum di bawah 5% dengan batasan yang lebih ketat pada 3%, jadi penyerapan air sebesar 4,82% masih batas wajar walaupun diambang batas maksimal 5%.

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

Asal Batu Bata	Toko Bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	**Berat Tertinggal (gram)**	**Berat Tertinggal (%)**	**Berat Tertinggal Kumulatif (%)**	**Persen Lolos Kumulatif (%)**
4,8	0	0	0	100
2,4	188	9,25	9,25	90,75
1,2	375	18,84	28,09	71,91
0,6	649	32,61	60,70	39,30
0,3	262	13,17	73,87	26,13
0,15	325	16,33	90,20	9,80
Pan	195	9,799	100	0
Jumlah	1990	100	262,111	337,889

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

$= \frac{262,111}{100}$

= 2,621 **(Memenuhi syarat SNI-04-1989-F yaitu: 1,5 – 3,8)**

Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-39	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

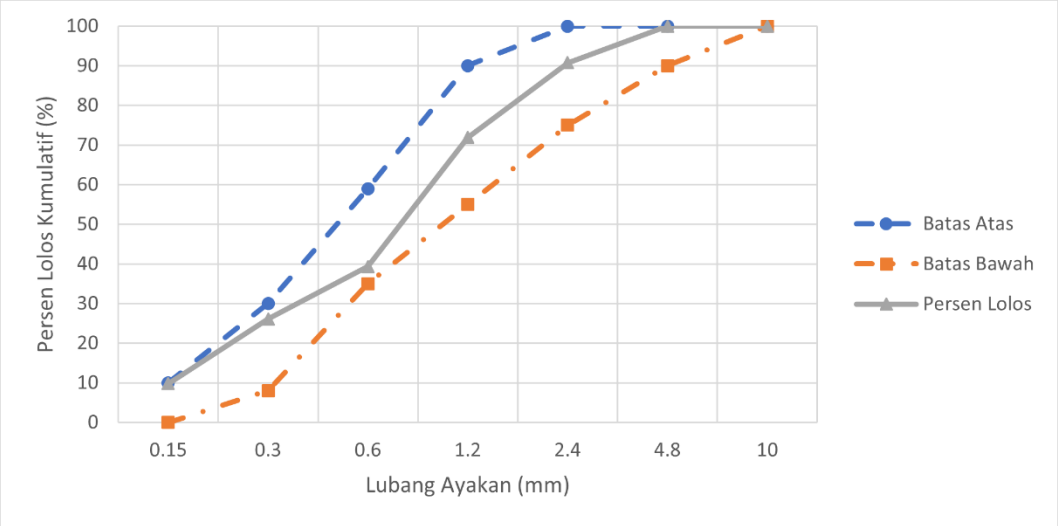
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan

Pasir masuk daerah : Daerah II (Pasir Agak Kasar)

Kurva Gradasi Agregat Halus Batu Bata Daerah II



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS BATU BATA

Asal Batu Bata	Toko Bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Tabung (W1)	11149	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18872	gram
Berat Agregat (W3)	7723	gram
Diameter tabung (d)	14,90	cm
Tinggi Tabung (t)	30,05	cm
Volume Tabung (V)	5236	cm^3
Berat Volume Gembur	1,475	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,475 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum yaitu 1,4-1,9 menurut (ASTM C 29, 2003). Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat halus (batu bata).

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS BATU BATA

Asal Batu Bata	Toko Bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	**Hasil**	**Satuan**
Berat Tabung (W1)	11099	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19242	gram
Berat Agregat (W3)	8143	gram
Diameter tabung (d)	14.90	cm
Tinggi Tabung (t)	30,05	cm
Volume Tabung (V)	5236	cm^3
Berat Volume Padat	1,555	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat halus sebesar 1,555 $gram/cm^3$. Berdasarkan (ASTM C 29, 2003) hasil tersebut masuk dalam kisaran umum yaitu 1,5-1,7. Sehingga tergolong wajar untuk berat volume padat agregat halus (batu bata).

PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200

Asal Batu Bata	Toko Bangunan Wahyu Jaya Ngaglik, Sleman
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2)	475	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	5,00	%

Adapun hasil dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka kadar lumpur pada agregat halus untuk batu bata sebesar 5,00 %. Nilail tersebut berada tepat pada batas maksimum yang dipersyaratkan untuk lolos ayakan no. 200 menurut SNI 04-1989-F yaitu 5%.

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil	Satuan
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4792	gram
Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3023	gram
Berat jenis curah BK/(Bj-Ba)	2,424	
Berat jenis jenuh kering muka Bj/(Bj-Ba)	2,529	
Berat jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,709	
Penyerapan air (Bj-Bk)/Bk x 100%	4,34	%

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,529 gram dan penyerapan air sebesar 4,34%. Hasil ini masuk dalam kisaran normal untuk berat jenis jenuh kering muka yaitu 2,5-2,8 menurut (SNI-03-1969-2008) dan untuk penyerapan air maksimum sebesar 5%.

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	13	0,26	0,26	99,74
10	3367	67,34	67,60	32,40
4,8	1517	30,34	97,94	2,06
2,4	25	0,50	98,44	1,56
1,2	0	0	98,44	1,56
0,6	0	0	98,44	1,56
0,3	0	0	98,44	1,56
0,15	0	0	98,44	1,56
Pan	78	1,56	100	0
Jumlah	5000	100	658	242

Modulus Halus Butir $= \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$

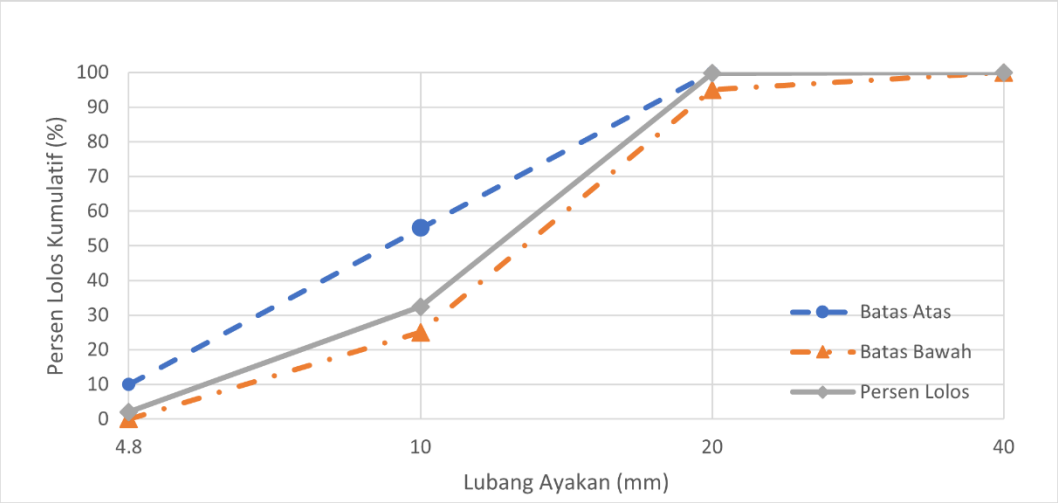
$= \frac{658}{100}$

= 6,58 **(Memenuhi syarat SNI-04-1989-F yaitu: 5-8)**

GRADASI AGREGAT KASAR

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

Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18257	gram
Berat Agregat (W3)	7470	gram
Diameter tabung (d)	15,2	cm
Tinggi Tabung (t)	30,01	cm
Volume Tabung (V)	5446	cm^3
Berat Volume Gembur	1,372	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume gembur agregat halus sebesar 1,475 $gram/cm^3$. Hasil tersebut berada di kisaran umum yaitu 1,4-1,9 menurut (ASTM C 29, 2003). Sehingga tergolong wajar untuk berat volume gembur agregat halus (batu bata).

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat Tabung (W1)	10787	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18867	gram
Berat Agregat (W3)	8080	gram
Diameter tabung (d)	15,03	cm
Tinggi Tabung (t)	30,4	cm
Volume Tabung (V)	5394	cm^3
Berat Volume Padat	1,498	$gram/cm^3$

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan angka berat volume padat agregat kasar sebesar 1,498 $gram/cm^3$. Hasil tersebut masih bisa dikatakan berada di kisaran umum yaitu 1,5-1,7 menurut (SNI 03-4804).

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	21	MPa
2	Standar Deviasi		
3	Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	33	MPa
5	Jenis Semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (FAS)	0,54	
	Faktor air semen maksimum	0,60	
8	FAS digunakan	0,54	
9	Slump	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m^3
12	Kadar semen	379,63	kg/m^3
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m^3
14	Kadar semen minimum	275	kg/m^3
15	Kadar semen digunakan	379,63	kg/m^3
16	FAS disesuaikan		
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat halus	2,577	gram
	Berat jenis agregat kasar	2,529	gram
19	Persen agregat halus	42,25	%
20	Persen agregat kasar	57,75	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,54	
22	Berat isi beton	2300	kg/m^3
23	Kadar agregat gabungan	1715,37	kg/m^3

24	Kadar agregat halus	724,744	kg/m^3
25	Kadar agregat kasar	990,63	kg/m^3
26	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m^3
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	905,930	kg/m^3
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1238,283	kg/m^3
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	474,537	kg/m^3

Lampiran 5 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BN	150,05	302,1	0	540,9	17683,242	30,59	33,18
	150,25	304		596,5	17730,413	33,64	
	149,35	303,25		594,9	17284,825	33,96	
	150,2	305		581,6	17718,614	32,82	
	150	305,1		616,4	17671,459	34,88	
BB 5%	149,4	301,3	5	520,3	17560,000	29,72	27,67
	150,1	300		371	17695,028	20,97	
	148,15	304,25		514,3	17238,251	29,83	
	150,05	302		563	17683,242	31,84	
	149,3	305,25		454,7	17506,910	25,97	

Ket:

BN = Beton Normal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BB 10%	148,45	305,3	10	565,9	17308,135	32,70	29,14
	148,5	304,3		509,5	17319,797	29,42	
	147,85	309,85		463,3	17168,507	26,99	
	149,1	307,55		524,9	17460,037	30,06	
	147,85	307,9		456	17168,507	26,56	
BB 15%	147,9	301,2	15	535,5	17180,121	31,17	28,50
	149,1	300,4		538,4	17460,037	30,84	
	148,6	309,6		495,8	17343,131	28,59	
	148,5	309,6		470,5	17319,797	27,17	
	149,4	304,25		433,3	17530,370	24,72	

Ket:

BN 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

Kode Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Variasi Campuran (%)	Beban Maks (kN)	Luas (mm^2)	Kuat Desak (MPa)	
			Batu Bata			Unit	Rata-rata
BB 20%	148,8	303,3	20	496,4	17386,846	28,55	27,36
	149,45	307,65		419,9	17542,106	23,94	
	147,7	306,05		472,8	17133,689	27,59	
	148,35	305,3		518,7	17284,825	30,01	
	148,15	307,45		460,8	17238,251	26,73	
BB 25%	148	304,5	25	442,8	17203,361	25,74	25,63
	148,1	300		459	17226,617	26,64	
	149,3	308,05		452,5	17506,910	25,85	
	149,05	305		404	17448,329	23,15	
	148,5	303,3		463,6	17319,797	26,77	

Ket:

BN 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%

Lampiran 6 Laporan Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BN	1	13,14	12,976	1,264	2,749
	2	12,817	12,521	2,364	
	3	13,066	12,489	4,620	
BB 5%	1	12,903	12,682	1,743	2,419
	2	12,856	12,601	2,024	
	3	12,837	12,404	3,491	

Ket:

BN = Beton Nomal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BB 10%	1	12,955	12,431	4,215	4,629
	2	13,01	12,278	5,962	
	3	12,944	12,481	3,710	
BB 15%	1	12,632	12,184	3,677	5,292
	2	12,653	12,067	4,856	
	3	12,662	11,796	7,341	

Ket:

BB 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

Kode Sampel	No. Sampel	Berat Kering Udara (kg)	Berat Kering Oven (kg)	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BB 20%	1	12,998	12,511	3,983	5,629
	2	12,991	12,002	8,240	
	3	12,912	12,326	4,754	
BB 25%	1	12,971	12,477	3,959	5,782
	2	12,019	12,077	7,800	
	3	12,854	12,174	5,586	

Ket:

BB 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%

Lampiran 7 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas BN 1

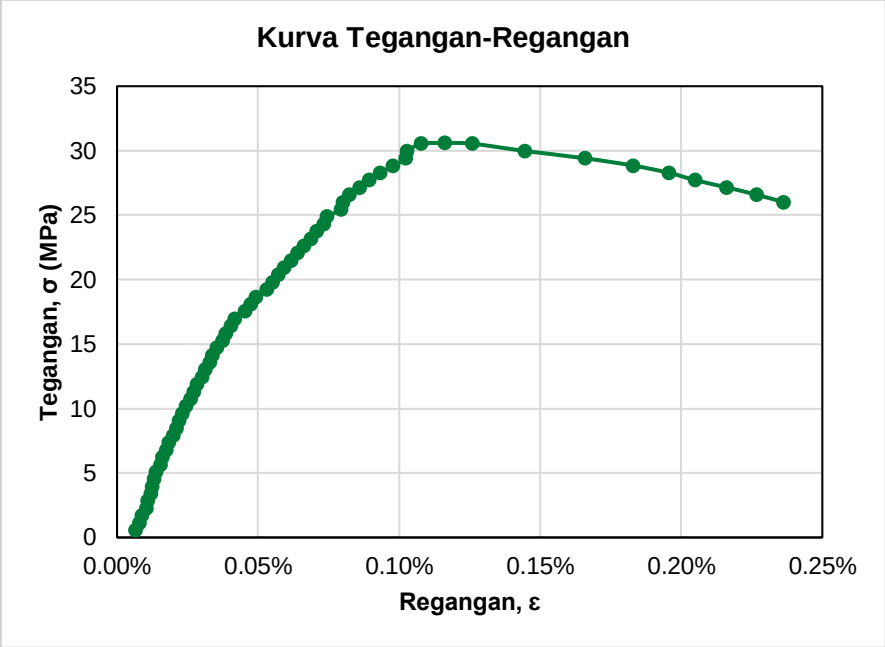
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0.0025	0.001%	0.57
20	20000	10	0.005	0.003%	1.13
30	30000	14	0.007	0.004%	1.70
40	40000	20	0.01	0.005%	2.26
50	50000	22	0.011	0.006%	2.83
60	60000	26	0.013	0.007%	3.39
70	70000	28	0.014	0.007%	3.96
80	80000	31	0.0155	0.008%	4.52
90	90000	34	0.017	0.009%	5.09
100	100000	40	0.02	0.010%	5.66
110	110000	43	0.0215	0.011%	6.22
120	120000	48	0.024	0.012%	6.79
130	130000	52	0.026	0.013%	7.35
140	140000	58	0.029	0.015%	7.92
150	150000	63	0.0315	0.016%	8.48
160	160000	66	0.033	0.017%	9.05
170	170000	71	0.0355	0.018%	9.61
180	180000	76	0.038	0.019%	10.18
190	190000	83	0.0415	0.021%	10.74
200	200000	87	0.0435	0.022%	11.31
210	210000	92	0.046	0.023%	11.88
220	220000	99	0.0495	0.025%	12.44
230	230000	104	0.052	0.026%	13.01
240	240000	110	0.055	0.028%	13.57

250	250000	114	0.057	0.029%	14.14
260	260000	120	0.06	0.030%	14.70
270	270000	128	0.064	0.032%	15.27
280	280000	133	0.0665	0.033%	15.83
290	290000	140	0.07	0.035%	16.40
300	300000	145	0.0725	0.036%	16.97
310	310000	160	0.08	0.040%	17.53
320	320000	168	0.084	0.042%	18.10
330	330000	175	0.0875	0.044%	18.66
340	340000	191	0.0955	0.048%	19.23
350	350000	199	0.0995	0.050%	19.79
360	360000	207	0.1035	0.052%	20.36
370	370000	215	0.1075	0.054%	20.92
380	380000	225	0.1125	0.056%	21.49
390	390000	234	0.117	0.059%	22.05
400	400000	243	0.1215	0.061%	22.62
410	410000	253	0.1265	0.063%	23.19
420	420000	262	0.131	0.066%	23.75
430	430000	272	0.136	0.068%	24.32
440	440000	276	0.138	0.069%	24.88
450	450000	296	0.148	0.074%	25.45
460	460000	299	0.1495	0.075%	26.01
470	470000	308	0.154	0.077%	26.58
480	480000	322	0.161	0.081%	27.14
490	490000	336	0.168	0.084%	27.71
500	500000	351	0.1755	0.088%	28.28
510	510000	370	0.185	0.093%	28.84
520	520000	388	0.194	0.097%	29.41
530	530000	390	0.195	0.098%	29.97
540	540000	410	0.205	0.103%	30.54
540.9	540900	443	0.2215	0.111%	30.59
540	540000	482	0.241	0.121%	30.54
530	530000	557	0.2785	0.139%	29.97
520	520000	642	0.321	0.161%	29.41
510	510000	710	0.355	0.178%	28.84
500	500000	761	0.3805	0.190%	28.28

490	490000	798	0.399	0.200%	27.71
480	480000	843	0.4215	0.211%	27.14
470	470000	885	0.4425	0.221%	26.58
460	460000	923	0.4615	0.231%	26.01

Grafik Modulus Elastisitas BN 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	30,59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	41127,79	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25994,14	MPa

Modulus Elastisitas BN 2

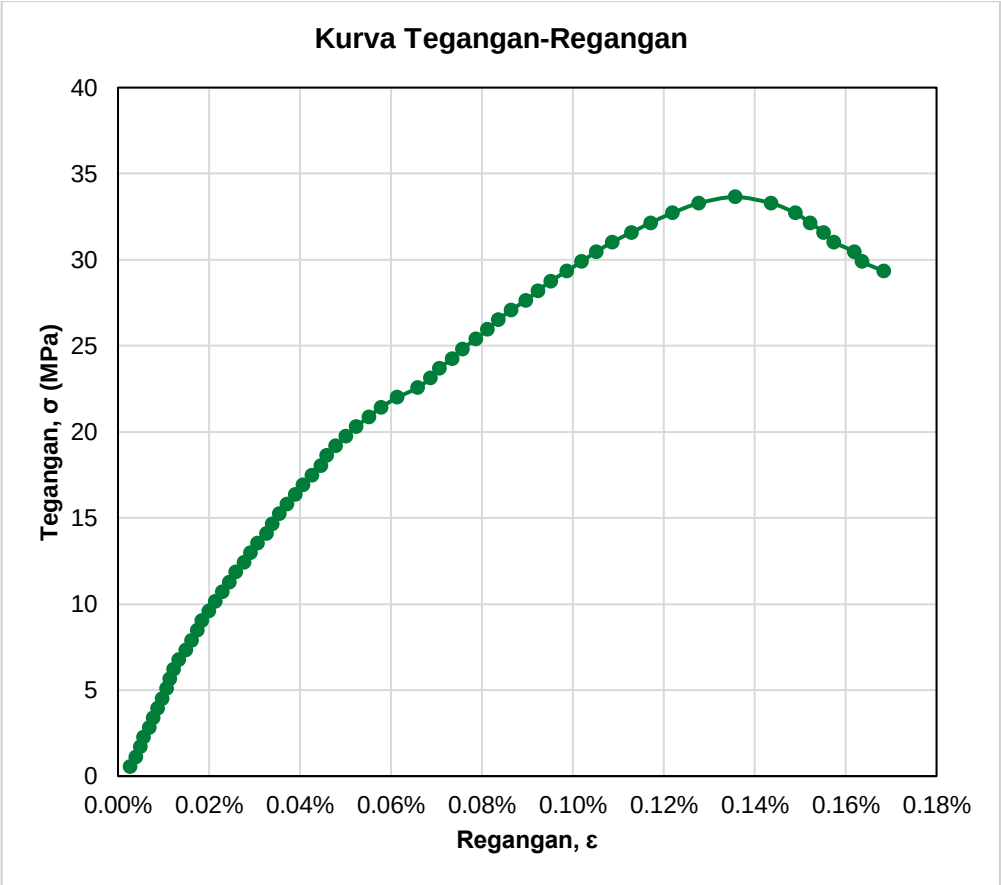
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.56
20	20000	5	0.0025	0.001%	1.13
30	30000	9	0.0045	0.002%	1.69
40	40000	12	0.006	0.003%	2.26
50	50000	17	0.0085	0.004%	2.82
60	60000	20	0.01	0.005%	3.38
70	70000	24	0.012	0.006%	3.95
80	80000	28	0.014	0.007%	4.51
90	90000	32	0.016	0.008%	5.08
100	100000	35	0.0175	0.009%	5.64
110	110000	38	0.019	0.010%	6.20
120	120000	43	0.0215	0.011%	6.77
130	130000	49	0.0245	0.012%	7.33
140	140000	54	0.027	0.014%	7.90
150	150000	59	0.0295	0.015%	8.46
160	160000	63	0.0315	0.016%	9.02
170	170000	69	0.0345	0.017%	9.59
180	180000	75	0.0375	0.019%	10.15
190	190000	81	0.0405	0.020%	10.72
200	200000	87	0.0435	0.022%	11.28
210	210000	93	0.0465	0.023%	11.84
220	220000	100	0.05	0.025%	12.41
230	230000	106	0.053	0.027%	12.97
240	240000	112	0.056	0.028%	13.54
250	250000	120	0.06	0.030%	14.10
260	260000	125	0.0625	0.031%	14.66

270	270000	131	0.0655	0.033%	15.23
280	280000	138	0.069	0.035%	15.79
290	290000	145	0.0725	0.036%	16.36
300	300000	152	0.076	0.038%	16.92
310	310000	160	0.08	0.040%	17.48
320	320000	168	0.084	0.042%	18.05
330	330000	173	0.0865	0.043%	18.61
340	340000	181	0.0905	0.045%	19.18
350	350000	190	0.095	0.048%	19.74
360	360000	199	0.0995	0.050%	20.30
370	370000	210	0.105	0.053%	20.87
380	380000	221	0.1105	0.055%	21.43
390	390000	235	0.1175	0.059%	22.00
400	400000	253	0.1265	0.063%	22.56
410	410000	264	0.132	0.066%	23.12
420	420000	272	0.136	0.068%	23.69
430	430000	283	0.1415	0.071%	24.25
440	440000	292	0.146	0.073%	24.82
450	450000	304	0.152	0.076%	25.38
460	460000	314	0.157	0.079%	25.94
470	470000	324	0.162	0.081%	26.51
480	480000	335	0.1675	0.084%	27.07
490	490000	348	0.174	0.087%	27.64
500	500000	359	0.1795	0.090%	28.20
510	510000	370	0.185	0.093%	28.76
520	520000	384	0.192	0.096%	29.33
530	530000	397	0.1985	0.099%	29.89
540	540000	410	0.205	0.103%	30.46
550	550000	424	0.212	0.106%	31.02
560	560000	441	0.2205	0.110%	31.58
570	570000	458	0.229	0.115%	32.15
580	580000	477	0.2385	0.119%	32.71
590	590000	500	0.25	0.125%	33.28
596.5	596500	532	0.266	0.133%	33.64
590	590000	564	0.282	0.141%	33.28
580	580000	585	0.2925	0.146%	32.71

570	570000	598	0.299	0.150%	32.15
560	560000	610	0.305	0.153%	31.58
550	550000	619	0.3095	0.155%	31.02
540	540000	637	0.3185	0.159%	30.46
530	530000	644	0.322	0.161%	29.89
520	520000	663	0.3315	0.166%	29.33

Grafik Modulus Elastisitas BN 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	33,64	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	44139,34	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	27261,12	MPa

Modulus Elastisitas BN 3

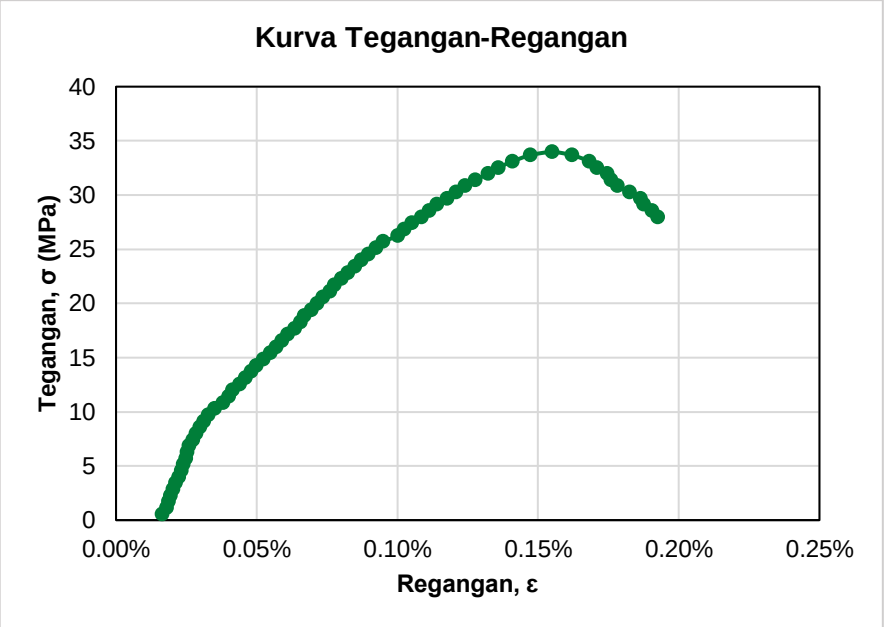
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	6	0.003	0.002%	1.14
30	30000	9	0.0045	0.002%	1.71
40	40000	12	0.006	0.003%	2.28
50	50000	15	0.0075	0.004%	2.85
60	60000	19	0.0095	0.005%	3.42
70	70000	23	0.0115	0.006%	4.00
80	80000	27	0.0135	0.007%	4.57
90	90000	30	0.015	0.008%	5.14
100	100000	33	0.0165	0.008%	5.71
110	110000	35	0.0175	0.009%	6.28
120	120000	38	0.019	0.010%	6.85
130	130000	43	0.0215	0.011%	7.42
140	140000	48	0.024	0.012%	7.99
150	150000	53	0.0265	0.013%	8.56
160	160000	59	0.0295	0.015%	9.13
170	170000	65	0.0325	0.016%	9.70
180	180000	74	0.037	0.019%	10.27
190	190000	86	0.043	0.022%	10.85
200	200000	94	0.047	0.024%	11.42
210	210000	100	0.05	0.025%	11.99
220	220000	110	0.055	0.028%	12.56
230	230000	118	0.059	0.030%	13.13
240	240000	126	0.063	0.032%	13.70
250	250000	134	0.067	0.034%	14.27
260	260000	144	0.072	0.036%	14.84

270	270000	154	0.077	0.039%	15.41
280	280000	162	0.081	0.041%	15.98
290	290000	170	0.085	0.043%	16.55
300	300000	178	0.089	0.045%	17.12
310	310000	188	0.094	0.047%	17.70
320	320000	196	0.098	0.049%	18.27
330	330000	202	0.101	0.051%	18.84
340	340000	212	0.106	0.053%	19.41
350	350000	220	0.11	0.055%	19.98
360	360000	228	0.114	0.057%	20.55
370	370000	238	0.119	0.060%	21.12
380	380000	245	0.1225	0.061%	21.69
390	390000	255	0.1275	0.064%	22.26
400	400000	264	0.132	0.066%	22.83
410	410000	274	0.137	0.069%	23.40
420	420000	283	0.1415	0.071%	23.97
430	430000	293	0.1465	0.073%	24.55
440	440000	304	0.152	0.076%	25.12
450	450000	314	0.157	0.079%	25.69
460	460000	335	0.1675	0.084%	26.26
470	470000	344	0.172	0.086%	26.83
480	480000	355	0.1775	0.089%	27.40
490	490000	368	0.184	0.092%	27.97
500	500000	379	0.1895	0.095%	28.54
510	510000	390	0.195	0.098%	29.11
520	520000	405	0.2025	0.101%	29.68
530	530000	418	0.209	0.105%	30.25
540	540000	430	0.215	0.108%	30.82
550	550000	445	0.2225	0.111%	31.40
560	560000	463	0.2315	0.116%	31.97
570	570000	478	0.239	0.120%	32.54
580	580000	498	0.249	0.125%	33.11
590	590000	523	0.2615	0.131%	33.68
594.9	594900	554	0.277	0.139%	33.96
590	590000	582	0.291	0.146%	33.68
580	580000	607	0.3035	0.152%	33.11

570	570000	618	0.309	0.155%	32.54
560	560000	632	0.316	0.158%	31.97
550	550000	638	0.319	0.160%	31.40
540	540000	647	0.3235	0.162%	30.82
530	530000	664	0.332	0.166%	30.25
520	520000	680	0.34	0.170%	29.68
510	510000	684	0.342	0.171%	29.11
500	500000	696	0.348	0.174%	28.54
490	490000	704	0.352	0.176%	27.97

Grafik Modulus Elastisitas BN 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	33,96	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28541,03	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	27388,59	MPa

Modulus Elastisitas BN 4

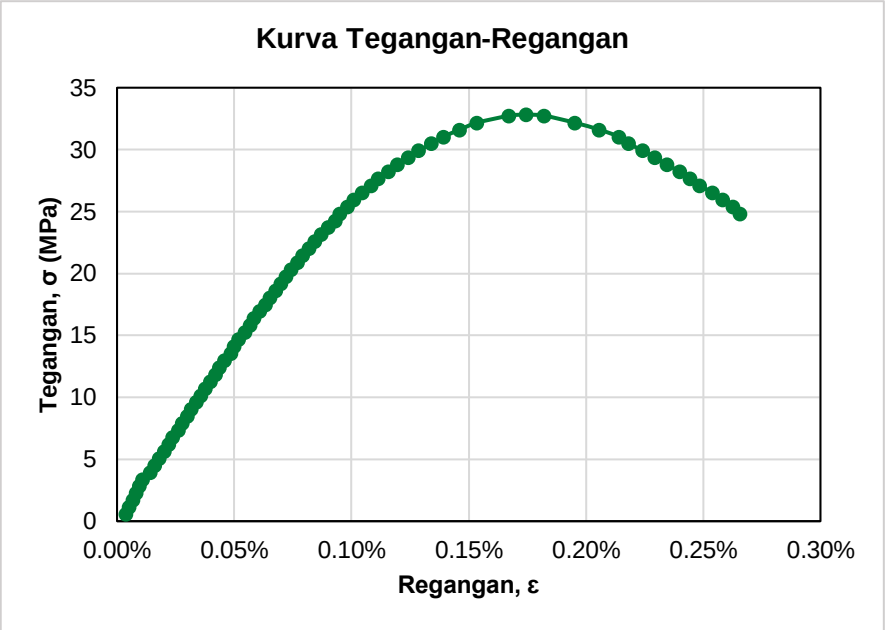
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.56
20	20000	8	0.004	0.002%	1.13
30	30000	14	0.007	0.004%	1.69
40	40000	20	0.01	0.005%	2.26
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.82
60	60000	31	0.0155	0.008%	3.39
70	70000	44	0.022	0.011%	3.95
80	80000	51	0.0255	0.013%	4.52
90	90000	59	0.0295	0.015%	5.08
100	100000	68	0.034	0.017%	5.64
110	110000	75	0.0375	0.019%	6.21
120	120000	82	0.041	0.021%	6.77
130	130000	92	0.046	0.023%	7.34
140	140000	98	0.049	0.025%	7.90
150	150000	107	0.0535	0.027%	8.47
160	160000	114	0.057	0.029%	9.03
170	170000	123	0.0615	0.031%	9.59
180	180000	130	0.065	0.033%	10.16
190	190000	138	0.069	0.035%	10.72
200	200000	147	0.0735	0.037%	11.29
210	210000	155	0.0775	0.039%	11.85
220	220000	162	0.081	0.041%	12.42
230	230000	171	0.0855	0.043%	12.98
240	240000	181	0.0905	0.045%	13.55
250	250000	187	0.0935	0.047%	14.11
260	260000	195	0.0975	0.049%	14.67

270	270000	205	0.1025	0.051%	15.24
280	280000	214	0.107	0.054%	15.80
290	290000	221	0.1105	0.055%	16.37
300	300000	231	0.1155	0.058%	16.93
310	310000	241	0.1205	0.060%	17.50
320	320000	248	0.124	0.062%	18.06
330	330000	258	0.129	0.065%	18.62
340	340000	267	0.1335	0.067%	19.19
350	350000	275	0.1375	0.069%	19.75
360	360000	284	0.142	0.071%	20.32
370	370000	295	0.1475	0.074%	20.88
380	380000	304	0.152	0.076%	21.45
390	390000	315	0.1575	0.079%	22.01
400	400000	325	0.1625	0.081%	22.58
410	410000	335	0.1675	0.084%	23.14
420	420000	347	0.1735	0.087%	23.70
430	430000	359	0.1795	0.090%	24.27
440	440000	367	0.1835	0.092%	24.83
450	450000	380	0.19	0.095%	25.40
460	460000	391	0.1955	0.098%	25.96
470	470000	405	0.2025	0.101%	26.53
480	480000	421	0.2105	0.105%	27.09
490	490000	433	0.2165	0.108%	27.65
500	500000	450	0.225	0.113%	28.22
510	510000	466	0.233	0.117%	28.78
520	520000	484	0.242	0.121%	29.35
530	530000	502	0.251	0.126%	29.91
540	540000	523	0.2615	0.131%	30.48
550	550000	544	0.272	0.136%	31.04
560	560000	571	0.2855	0.143%	31.61
570	570000	601	0.3005	0.150%	32.17
580	580000	656	0.328	0.164%	32.73
581.6	581600	685	0.3425	0.171%	32.82
580	580000	716	0.358	0.179%	32.73
570	570000	768	0.384	0.192%	32.17
560	560000	810	0.405	0.203%	31.61

550	550000	843	0.4215	0.211%	31.04
540	540000	860	0.43	0.215%	30.48
530	530000	884	0.442	0.221%	29.91
520	520000	905	0.4525	0.226%	29.35
510	510000	925	0.4625	0.231%	28.78
500	500000	947	0.4735	0.237%	28.22
490	490000	965	0.4825	0.241%	27.65
480	480000	981	0.4905	0.245%	27.09
470	470000	1003	0.5015	0.251%	26.53
460	460000	1020	0.51	0.255%	25.96
450	450000	1038	0.519	0.260%	25.40
440	440000	1050	0.525	0.263%	24.83

Grafik Modulus Elastisitas BN 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	32,82	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27901,85	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	26927,45	MPa

Modulus Elastisitas BN 5

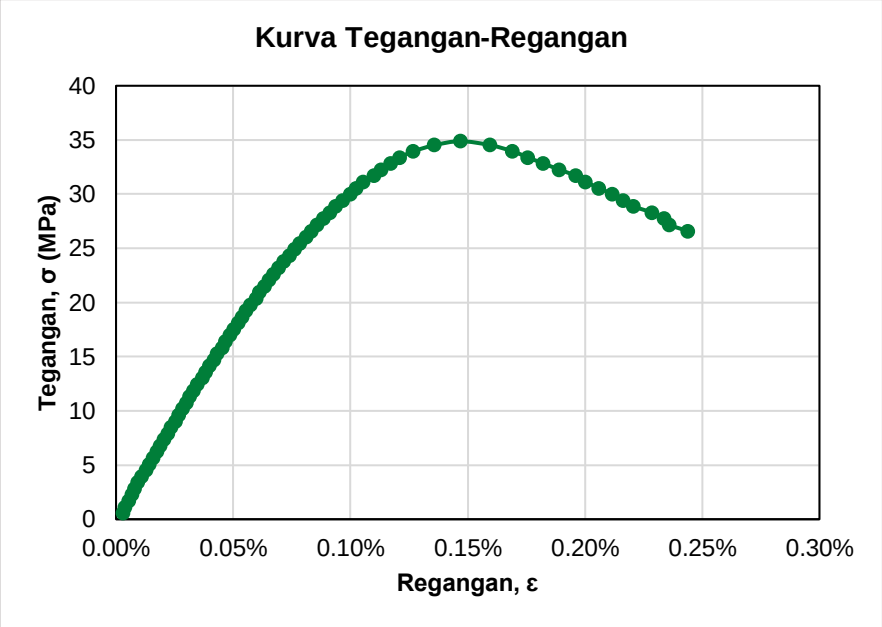
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	0%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	3	0.0015	0.001%	1.13
30	30000	10	0.005	0.003%	1.70
40	40000	15	0.0075	0.004%	2.26
50	50000	20	0.01	0.005%	2.83
60	60000	25	0.0125	0.006%	3.40
70	70000	32	0.016	0.008%	3.96
80	80000	39	0.0195	0.010%	4.53
90	90000	45	0.0225	0.011%	5.09
100	100000	51	0.0255	0.013%	5.66
110	110000	58	0.029	0.015%	6.22
120	120000	63	0.0315	0.016%	6.79
130	130000	70	0.035	0.018%	7.36
140	140000	76	0.038	0.019%	7.92
150	150000	82	0.041	0.021%	8.49
160	160000	89	0.0445	0.022%	9.05
170	170000	95	0.0475	0.024%	9.62
180	180000	101	0.0505	0.025%	10.19
190	190000	108	0.054	0.027%	10.75
200	200000	114	0.057	0.029%	11.32
210	210000	120	0.06	0.030%	11.88
220	220000	127	0.0635	0.032%	12.45
230	230000	135	0.0675	0.034%	13.02
240	240000	141	0.0705	0.035%	13.58
250	250000	147	0.0735	0.037%	14.15
260	260000	155	0.0775	0.039%	14.71

270	270000	160	0.08	0.040%	15.28
280	280000	169	0.0845	0.042%	15.84
290	290000	175	0.0875	0.044%	16.41
300	300000	182	0.091	0.046%	16.98
310	310000	189	0.0945	0.047%	17.54
320	320000	196	0.098	0.049%	18.11
330	330000	203	0.1015	0.051%	18.67
340	340000	210	0.105	0.053%	19.24
350	350000	217	0.1085	0.054%	19.81
360	360000	227	0.1135	0.057%	20.37
370	370000	232	0.116	0.058%	20.94
380	380000	241	0.1205	0.060%	21.50
390	390000	249	0.1245	0.062%	22.07
400	400000	257	0.1285	0.064%	22.64
410	410000	265	0.1325	0.066%	23.20
420	420000	274	0.137	0.069%	23.77
430	430000	284	0.142	0.071%	24.33
440	440000	293	0.1465	0.073%	24.90
450	450000	301	0.1505	0.075%	25.46
460	460000	312	0.156	0.078%	26.03
470	470000	321	0.1605	0.080%	26.60
480	480000	331	0.1655	0.083%	27.16
490	490000	342	0.171	0.086%	27.73
500	500000	353	0.1765	0.088%	28.29
510	510000	363	0.1815	0.091%	28.86
520	520000	375	0.1875	0.094%	29.43
530	530000	388	0.194	0.097%	29.99
540	540000	398	0.199	0.100%	30.56
550	550000	409	0.2045	0.102%	31.12
560	560000	428	0.214	0.107%	31.69
570	570000	440	0.22	0.110%	32.26
580	580000	457	0.2285	0.114%	32.82
590	590000	472	0.236	0.118%	33.39
600	600000	495	0.2475	0.124%	33.95
610	610000	531	0.2655	0.133%	34.52
616.4	616400	575	0.2875	0.144%	34.88

610	610000	626	0.313	0.157%	34.52
600	600000	664	0.332	0.166%	33.95
590	590000	690	0.345	0.173%	33.39
580	580000	717	0.3585	0.179%	32.82
570	570000	744	0.372	0.186%	32.26
560	560000	772	0.386	0.193%	31.69
550	550000	789	0.3945	0.197%	31.12
540	540000	812	0.406	0.203%	30.56
530	530000	834	0.417	0.209%	29.99
520	520000	853	0.4265	0.213%	29.43
510	510000	871	0.4355	0.218%	28.86
500	500000	902	0.451	0.226%	28.29
490	490000	923	0.4615	0.231%	27.73
480	480000	932	0.466	0.233%	27.16
470	470000	963	0.4815	0.241%	26.60

Grafik Modulus Elastisitas BN 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	34,88	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	34823,65	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	277758,31	MPa

Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 1

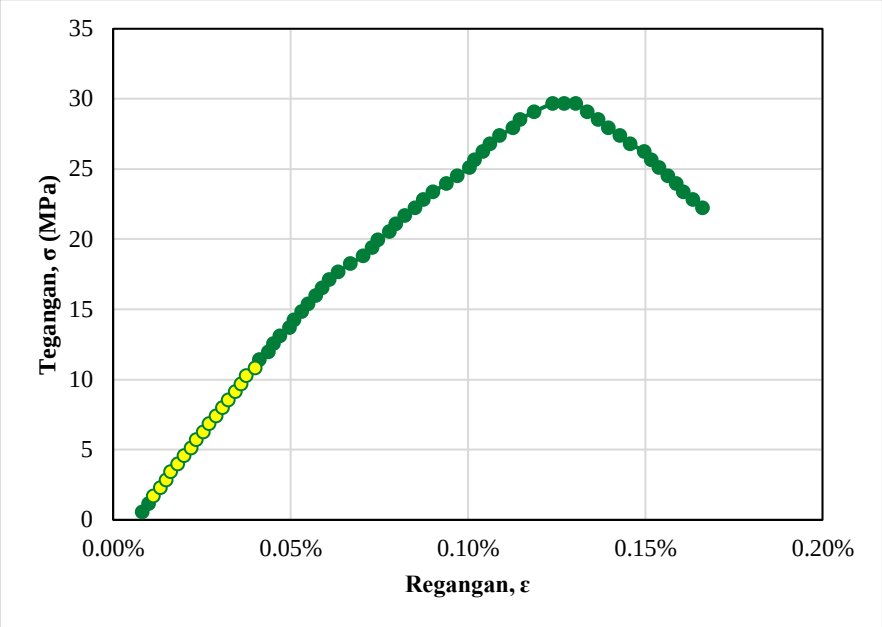
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	5%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0	0.57
20	20000	7	0.0035	0.0000175	1.14
30	30000	12	0.006	0.00003	1.71
40	40000	20	0.01	0.00005	2.28
50	50000	27	0.0135	0.0000675	2.85
60	60000	32	0.016	0.00008	3.42
70	70000	40	0.02	0.0001	3.99
80	80000	47	0.0235	0.0001175	4.56
90	90000	55	0.0275	0.0001375	5.13
100	100000	61	0.0305	0.0001525	5.70
110	110000	69	0.0345	0.0001725	6.27
120	120000	75	0.0375	0.0001875	6.85
130	130000	83	0.0415	0.0002075	7.42
140	140000	90	0.045	0.000225	7.99
150	150000	97	0.0485	0.0002425	8.56
160	160000	105	0.0525	0.0002625	9.13
170	170000	111	0.0555	0.0002775	9.70
180	180000	117	0.0585	0.0002925	10.27
190	190000	127	0.0635	0.0003175	10.84
200	200000	132	0.066	0.00033	11.41
210	210000	142	0.071	0.000355	11.98
220	220000	148	0.074	0.00037	12.55
230	230000	155	0.0775	0.0003875	13.12
240	240000	166	0.083	0.000415	13.69
250	250000	171	0.0855	0.0004275	14.26
260	260000	180	0.09	0.00045	14.83

270	270000	187	0.0935	0.0004675	15.40
280	280000	196	0.098	0.00049	15.97
290	290000	203	0.1015	0.0005075	16.54
300	300000	211	0.1055	0.0005275	17.11
310	310000	221	0.1105	0.0005525	17.68
320	320000	235	0.1175	0.0005875	18.25
330	330000	249	0.1245	0.0006225	18.82
340	340000	259	0.1295	0.0006475	19.39
350	350000	266	0.133	0.000665	19.97
360	360000	279	0.1395	0.0006975	20.54
370	370000	286	0.143	0.000715	21.11
380	380000	296	0.148	0.00074	21.68
390	390000	308	0.154	0.00077	22.25
400	400000	317	0.1585	0.0007925	22.82
410	410000	328	0.164	0.00082	23.39
420	420000	343	0.1715	0.0008575	23.96
430	430000	355	0.1775	0.0008875	24.53
440	440000	369	0.1845	0.0009225	25.10
450	450000	375	0.1875	0.0009375	25.67
460	460000	384	0.192	0.00096	26.24
470	470000	392	0.196	0.00098	26.81
480	480000	403	0.2015	0.0010075	27.38
490	490000	418	0.209	0.001045	27.95
500	500000	426	0.213	0.001065	28.52
510	510000	442	0.221	0.001105	29.09
520	520000	463	0.2315	0.0011575	29.66
520.3	520300	476	0.238	0.00119	29.68
520	520000	489	0.2445	0.0012225	29.66
510	510000	502	0.251	0.001255	29.09
500	500000	514	0.257	0.001285	28.52
490	490000	526	0.263	0.001315	27.95
480	480000	539	0.2695	0.0013475	27.38
470	470000	550	0.275	0.001375	26.81
460	460000	566	0.283	0.001415	26.24
450	450000	574	0.287	0.001435	25.67
440	440000	583	0.2915	0.0014575	25.10

430	430000	593	0.2965	0.0014825	24.53
420	420000	602	0.301	0.001505	23.96
410	410000	610	0.305	0.001525	23.39
400	400000	621	0.3105	0.0015525	22.82
390	390000	632	0.316	0.00158	22.25

Grafik Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	29,68	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27381,05	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25605,26	MPa

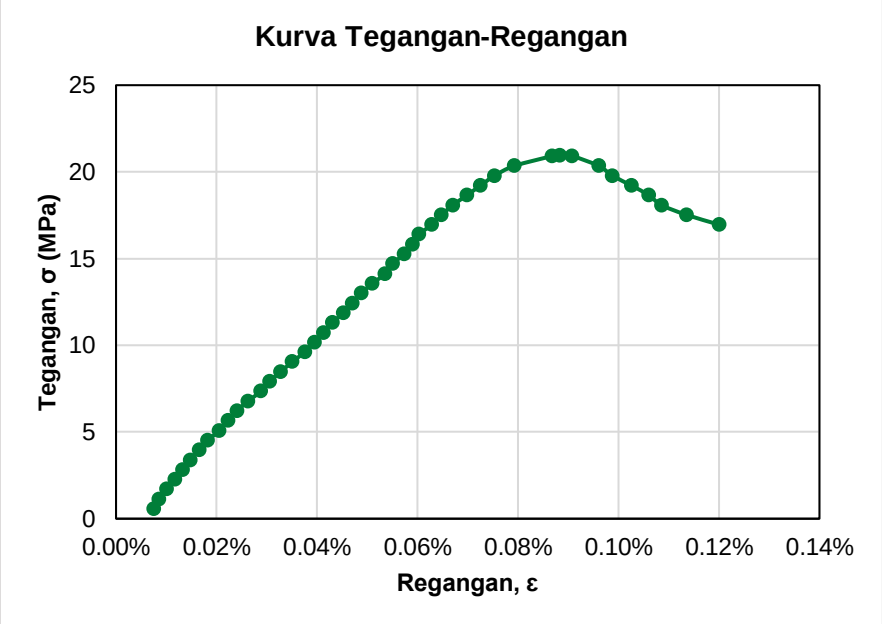
Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 2

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	5%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	4	0.002	0.001%	1.13
30	30000	10	0.005	0.003%	1.70
40	40000	17	0.0085	0.004%	2.26
50	50000	23	0.0115	0.006%	2.83
60	60000	29	0.0145	0.007%	3.39
70	70000	36	0.018	0.009%	3.96
80	80000	43	0.0215	0.011%	4.52
90	90000	52	0.026	0.013%	5.09
100	100000	59	0.0295	0.015%	5.65
110	110000	66	0.033	0.017%	6.22
120	120000	75	0.0375	0.019%	6.78
130	130000	85	0.0425	0.021%	7.35
140	140000	92	0.046	0.023%	7.91
150	150000	101	0.0505	0.025%	8.48
160	160000	110	0.055	0.028%	9.04
170	170000	120	0.06	0.030%	9.61
180	180000	128	0.064	0.032%	10.17
190	190000	135	0.0675	0.034%	10.74
200	200000	142	0.071	0.036%	11.30
210	210000	151	0.0755	0.038%	11.87
220	220000	158	0.079	0.040%	12.43
230	230000	165	0.0825	0.041%	13.00
240	240000	174	0.087	0.044%	13.56
250	250000	184	0.092	0.046%	14.13
260	260000	190	0.095	0.048%	14.69

270	270000	199	0.0995	0.050%	15.26
280	280000	206	0.103	0.052%	15.82
290	290000	211	0.1055	0.053%	16.39
300	300000	221	0.1105	0.055%	16.95
310	310000	229	0.1145	0.057%	17.52
320	320000	238	0.119	0.060%	18.08
330	330000	249	0.1245	0.062%	18.65
340	340000	260	0.13	0.065%	19.21
350	350000	271	0.1355	0.068%	19.78
360	360000	287	0.1435	0.072%	20.34
370	370000	317	0.1585	0.079%	20.91
371	371000	323	0.1615	0.081%	20.97
370	370000	333	0.1665	0.083%	20.91
360	360000	354	0.177	0.089%	20.34
350	350000	365	0.1825	0.091%	19.78
340	340000	380	0.19	0.095%	19.21
330	330000	394	0.197	0.099%	18.65
320	320000	404	0.202	0.101%	18.08
310	310000	424	0.212	0.106%	17.52
300	300000	450	0.225	0.113%	16.95

Grafik Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	20,97	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25834,54	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	21520,84	MPa

Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 3

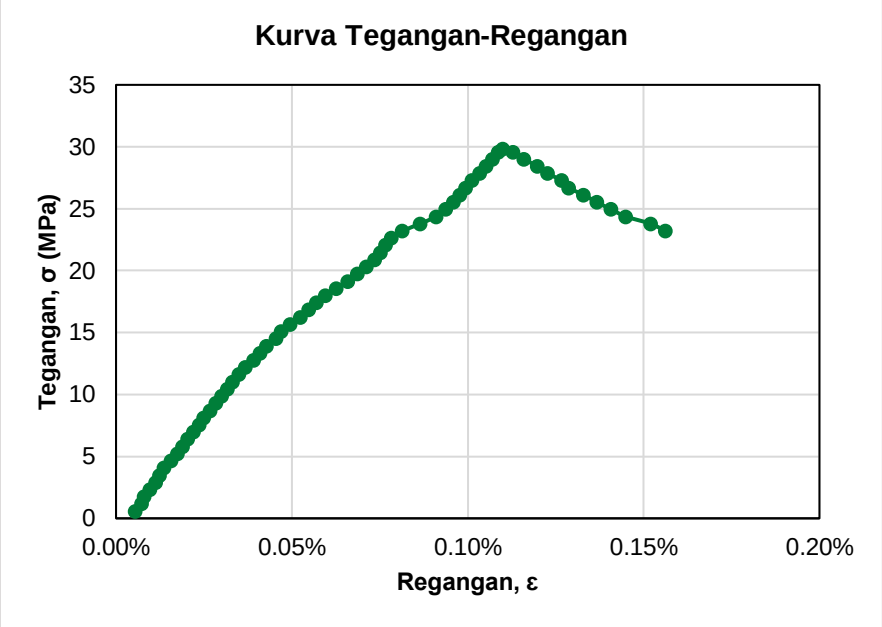
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	5%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.58
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.16
30	30000	12	0.006	0.003%	1.74
40	40000	19	0.0095	0.005%	2.32
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.90
60	60000	30	0.015	0.008%	3.48
70	70000	35	0.0175	0.009%	4.06
80	80000	43	0.0215	0.011%	4.64
90	90000	50	0.025	0.013%	5.22
100	100000	56	0.028	0.014%	5.80
110	110000	62	0.031	0.016%	6.38
120	120000	68	0.034	0.017%	6.96
130	130000	75	0.0375	0.019%	7.54
140	140000	80	0.04	0.020%	8.12
150	150000	87	0.0435	0.022%	8.70
160	160000	94	0.047	0.024%	9.28
170	170000	100	0.05	0.025%	9.86
180	180000	107	0.0535	0.027%	10.44
190	190000	113	0.0565	0.028%	11.02
200	200000	120	0.06	0.030%	11.60
210	210000	127	0.0635	0.032%	12.18
220	220000	137	0.0685	0.034%	12.76
230	230000	144	0.072	0.036%	13.34
240	240000	151	0.0755	0.038%	13.92
250	250000	162	0.081	0.041%	14.50
260	260000	168	0.084	0.042%	15.08

270	270000	178	0.089	0.045%	15.66
280	280000	190	0.095	0.048%	16.24
290	290000	199	0.0995	0.050%	16.82
300	300000	208	0.104	0.052%	17.40
310	310000	218	0.109	0.055%	17.98
320	320000	231	0.1155	0.058%	18.56
330	330000	244	0.122	0.061%	19.14
340	340000	255	0.1275	0.064%	19.72
350	350000	265	0.1325	0.066%	20.30
360	360000	274	0.137	0.069%	20.88
370	370000	281	0.1405	0.070%	21.46
380	380000	287	0.1435	0.072%	22.04
390	390000	293	0.1465	0.073%	22.62
400	400000	306	0.153	0.077%	23.20
410	410000	326	0.163	0.082%	23.78
420	420000	344	0.172	0.086%	24.36
430	430000	355	0.1775	0.089%	24.94
440	440000	364	0.182	0.091%	25.52
450	450000	371	0.1855	0.093%	26.10
460	460000	378	0.189	0.095%	26.68
470	470000	385	0.1925	0.096%	27.26
480	480000	394	0.197	0.099%	27.85
490	490000	401	0.2005	0.100%	28.43
500	500000	408	0.204	0.102%	29.01
510	510000	415	0.2075	0.104%	29.59
514.3	514300	420	0.21	0.105%	29.83
510	510000	432	0.216	0.108%	29.59
500	500000	444	0.222	0.111%	29.01
490	490000	459	0.2295	0.115%	28.43
480	480000	471	0.2355	0.118%	27.85
470	470000	487	0.2435	0.122%	27.26
460	460000	495	0.2475	0.124%	26.68
450	450000	512	0.256	0.128%	26.10
440	440000	527	0.2635	0.132%	25.52
430	430000	543	0.2715	0.136%	24.94
420	420000	560	0.28	0.140%	24.36

410	410000	588	0.294	0.147%	23.78
400	400000	605	0.3025	0.151%	23.20

Grafik Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	29,83	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	33148,87	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25671,99	MPa

Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 4

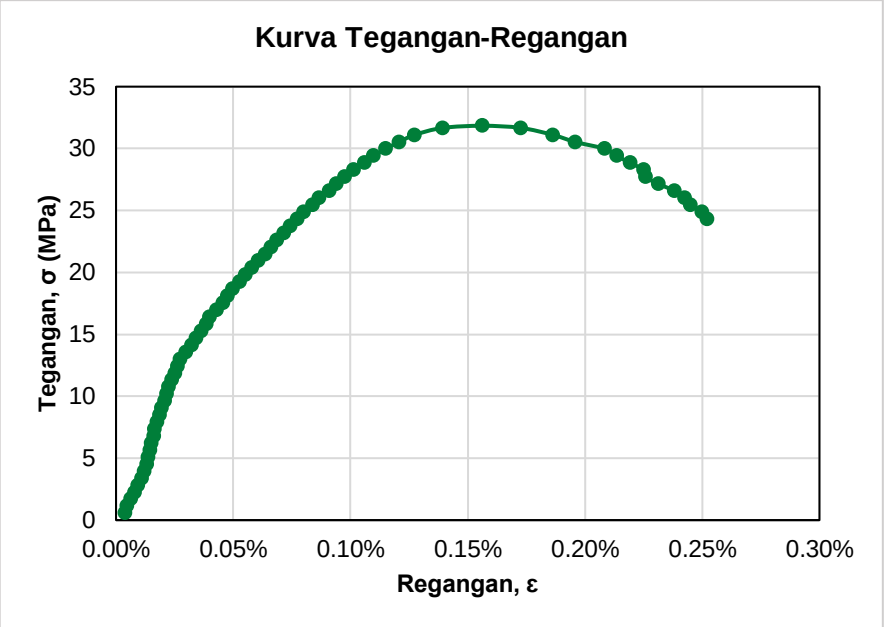
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	5%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	4	0.002	0.001%	1.13
30	30000	10	0.005	0.003%	1.70
40	40000	17	0.0085	0.004%	2.26
50	50000	22	0.011	0.006%	2.83
60	60000	29	0.0145	0.007%	3.39
70	70000	33	0.0165	0.008%	3.96
80	80000	37	0.0185	0.009%	4.52
90	90000	40	0.02	0.010%	5.09
100	100000	43	0.0215	0.011%	5.66
110	110000	45	0.0225	0.011%	6.22
120	120000	49	0.0245	0.012%	6.79
130	130000	51	0.0255	0.013%	7.35
140	140000	55	0.0275	0.014%	7.92
150	150000	59	0.0295	0.015%	8.48
160	160000	63	0.0315	0.016%	9.05
170	170000	68	0.034	0.017%	9.61
180	180000	71	0.0355	0.018%	10.18
190	190000	75	0.0375	0.019%	10.74
200	200000	80	0.04	0.020%	11.31
210	210000	85	0.0425	0.021%	11.88
220	220000	90	0.045	0.023%	12.44
230	230000	94	0.047	0.024%	13.01
240	240000	104	0.052	0.026%	13.57
250	250000	114	0.057	0.029%	14.14
260	260000	121	0.0605	0.030%	14.70

270	270000	130	0.065	0.033%	15.27
280	280000	139	0.0695	0.035%	15.83
290	290000	145	0.0725	0.036%	16.40
300	300000	157	0.0785	0.039%	16.97
310	310000	167	0.0835	0.042%	17.53
320	320000	175	0.0875	0.044%	18.10
330	330000	184	0.092	0.046%	18.66
340	340000	196	0.098	0.049%	19.23
350	350000	206	0.103	0.052%	19.79
360	360000	217	0.1085	0.054%	20.36
370	370000	227	0.1135	0.057%	20.92
380	380000	239	0.1195	0.060%	21.49
390	390000	249	0.1245	0.062%	22.05
400	400000	259	0.1295	0.065%	22.62
410	410000	271	0.1355	0.068%	23.19
420	420000	282	0.141	0.071%	23.75
430	430000	294	0.147	0.074%	24.32
440	440000	305	0.1525	0.076%	24.88
450	450000	320	0.16	0.080%	25.45
460	460000	331	0.1655	0.083%	26.01
470	470000	349	0.1745	0.087%	26.58
480	480000	361	0.1805	0.090%	27.14
490	490000	375	0.1875	0.094%	27.71
500	500000	390	0.195	0.098%	28.28
510	510000	409	0.2045	0.102%	28.84
520	520000	424	0.212	0.106%	29.41
530	530000	445	0.2225	0.111%	29.97
540	540000	468	0.234	0.117%	30.54
550	550000	494	0.247	0.124%	31.10
560	560000	542	0.271	0.136%	31.67
563	563000	610	0.305	0.153%	31.84
560	560000	675	0.3375	0.169%	31.67
550	550000	730	0.365	0.183%	31.10
540	540000	768	0.384	0.192%	30.54
530	530000	819	0.4095	0.205%	29.97
520	520000	839	0.4195	0.210%	29.41

510	510000	862	0.431	0.216%	28.84
500	500000	885	0.4425	0.221%	28.28
490	490000	888	0.444	0.222%	27.71
480	480000	910	0.455	0.228%	27.14
470	470000	938	0.469	0.235%	26.58
460	460000	955	0.4775	0.239%	26.01
450	450000	965	0.4825	0.241%	25.45
440	440000	985	0.4925	0.246%	24.88
430	430000	993	0.4965	0.248%	24.32

Grafik Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	31,84	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	47621,66	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	26519,85	MPa

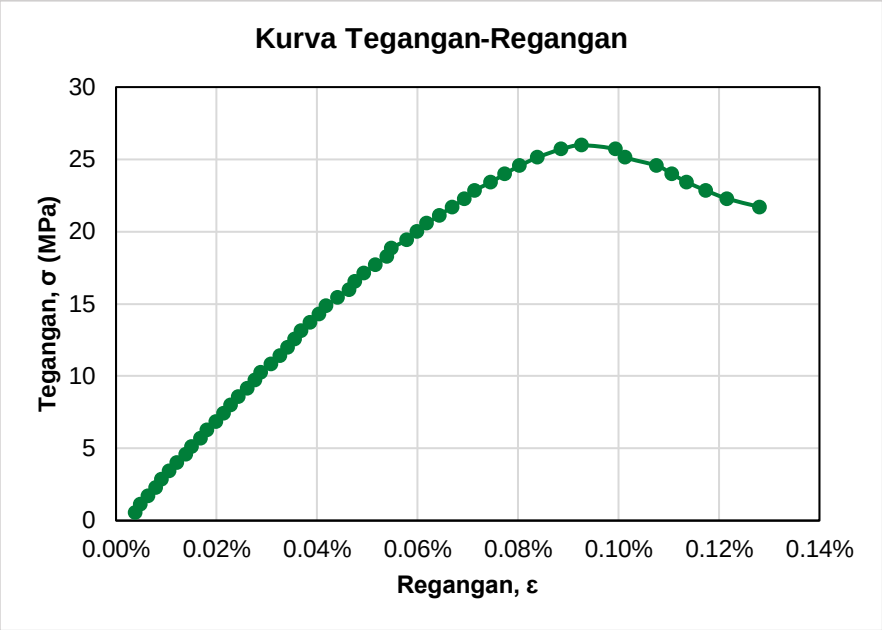
Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 5

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	5%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	4	0.002	0.001%	1.14
30	30000	10	0.005	0.003%	1.71
40	40000	16	0.008	0.004%	2.28
50	50000	21	0.0105	0.005%	2.86
60	60000	27	0.0135	0.007%	3.43
70	70000	33	0.0165	0.008%	4.00
80	80000	40	0.02	0.010%	4.57
90	90000	45	0.0225	0.011%	5.14
100	100000	52	0.026	0.013%	5.71
110	110000	57	0.0285	0.014%	6.28
120	120000	64	0.032	0.016%	6.85
130	130000	70	0.035	0.018%	7.43
140	140000	76	0.038	0.019%	8.00
150	150000	82	0.041	0.021%	8.57
160	160000	89	0.0445	0.022%	9.14
170	170000	95	0.0475	0.024%	9.71
180	180000	100	0.05	0.025%	10.28
190	190000	108	0.054	0.027%	10.85
200	200000	115	0.0575	0.029%	11.42
210	210000	121	0.0605	0.030%	12.00
220	220000	127	0.0635	0.032%	12.57
230	230000	132	0.066	0.033%	13.14
240	240000	139	0.0695	0.035%	13.71
250	250000	146	0.073	0.037%	14.28
260	260000	152	0.076	0.038%	14.85

270	270000	161	0.0805	0.040%	15.42
280	280000	170	0.085	0.043%	15.99
290	290000	175	0.0875	0.044%	16.56
300	300000	182	0.091	0.046%	17.14
310	310000	191	0.0955	0.048%	17.71
320	320000	200	0.1	0.050%	18.28
330	330000	204	0.102	0.051%	18.85
340	340000	216	0.108	0.054%	19.42
350	350000	224	0.112	0.056%	19.99
360	360000	232	0.116	0.058%	20.56
370	370000	242	0.121	0.061%	21.13
380	380000	252	0.126	0.063%	21.71
390	390000	262	0.131	0.066%	22.28
400	400000	270	0.135	0.068%	22.85
410	410000	283	0.1415	0.071%	23.42
420	420000	294	0.147	0.074%	23.99
430	430000	306	0.153	0.077%	24.56
440	440000	320	0.16	0.080%	25.13
450	450000	339	0.1695	0.085%	25.70
454.7	454700	355	0.1775	0.089%	25.97
450	450000	382	0.191	0.096%	25.70
440	440000	390	0.195	0.098%	25.13
430	430000	415	0.2075	0.104%	24.56
420	420000	427	0.2135	0.107%	23.99
410	410000	439	0.2195	0.110%	23.42
400	400000	454	0.227	0.114%	22.85
390	390000	471	0.2355	0.0011775	22.28
380	380000	497	0.2485	0.0012425	21.71

Grafik Modulus Elastisitas BB 5 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	25,97	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	35150,96	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	23952,76	MPa

Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 1

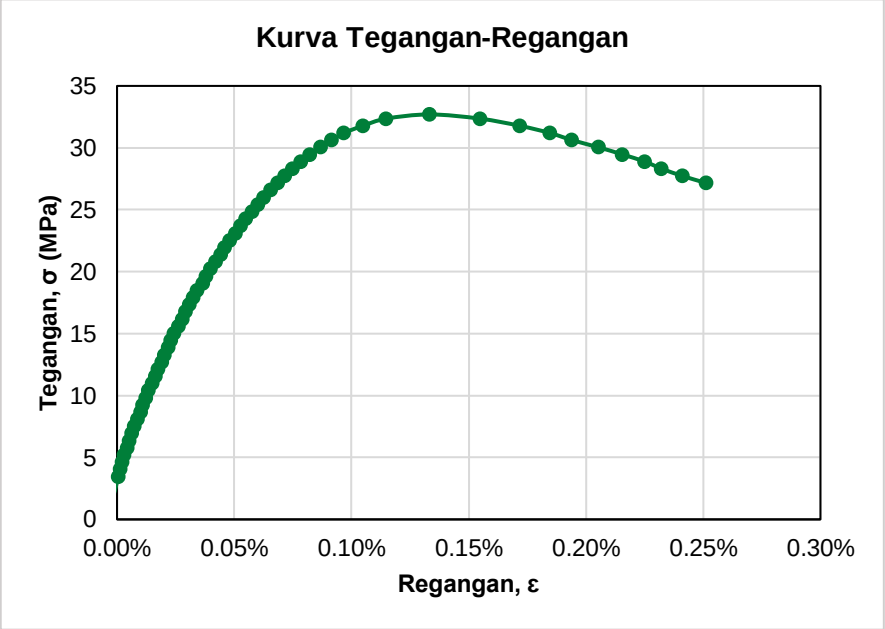
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	10%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	8	0.004	0.002%	1.16
30	30000	12	0,006	0.003%	1.73
40	40000	16	0.008	0.004%	2.31
50	50000	19	0.0095	0.005%	2.89
60	60000	22	0.011	0.006%	3.47
70	70000	25	0.0125	0.006%	4.04
80	80000	29	0.0145	0.007%	4.62
90	90000	32	0.016	0.008%	5.20
100	100000	37	0.0185	0.009%	5.78
110	110000	41	0.0205	0.010%	6.36
120	120000	45	0.0225	0.011%	6.93
130	130000	50	0.025	0.013%	7.51
140	140000	55	0.0275	0.014%	8.09
150	150000	60	0.03	0.015%	8.67
160	160000	64	0.032	0.016%	9.24
170	170000	69	0.0345	0.017%	9.82
180	180000	74	0.037	0.019%	10.40
190	190000	80	0.04	0.020%	10.98
200	200000	85	0.0425	0.021%	11.56
210	210000	90	0.045	0.023%	12.13
220	220000	96	0.048	0.024%	12.71
230	230000	101	0.0505	0.025%	13.29
240	240000	107	0.0535	0.027%	13.87
250	250000	112	0.056	0.028%	14.44
260	260000	117	0.0585	0.029%	15.02

270	270000	125	0.0625	0.031%	15.60
280	280000	131	0.0655	0.033%	16.18
290	290000	137	0.0685	0.034%	16.76
300	300000	143	0.0715	0.036%	17.33
310	310000	150	0.075	0.038%	17.91
320	320000	157	0.0785	0.039%	18.49
330	330000	166	0.083	0.042%	19.07
340	340000	172	0.086	0.043%	19.64
350	350000	180	0.09	0.045%	20.22
360	360000	188	0.094	0.047%	20.80
370	370000	197	0.0985	0.049%	21.38
380	380000	204	0.102	0.051%	21.95
390	390000	212	0.106	0.053%	22.53
400	400000	222	0.111	0.056%	23.11
410	410000	231	0.1155	0.058%	23.69
420	420000	240	0.12	0.060%	24.27
430	430000	250	0.125	0.063%	24.84
440	440000	260	0.13	0.065%	25.42
450	450000	270	0.135	0.068%	26.00
460	460000	282	0.141	0.071%	26.58
470	470000	294	0.147	0.074%	27.15
480	480000	306	0.153	0.077%	27.73
490	490000	319	0.1595	0.080%	28.31
500	500000	333	0.1665	0.083%	28.89
510	510000	349	0.1745	0.087%	29.47
520	520000	367	0.1835	0.092%	30.04
530	530000	386	0.193	0.097%	30.62
540	540000	407	0.2035	0.102%	31.20
550	550000	439	0.2195	0.110%	31.78
560	560000	479	0.2395	0.120%	32.35
565.9	565900	553	0.2765	0.138%	32.70
560	560000	639	0.3195	0.160%	32.35
550	550000	707	0.3535	0.177%	31.78
540	540000	758	0.379	0.190%	31.20
530	530000	796	0.398	0.199%	30.62
520	520000	841	0.4205	0.210%	30.04

510	510000	882	0.441	0.221%	29.47
500	500000	920	0.46	0.230%	28.89
490	490000	949	0.4745	0.237%	28.31
480	480000	984	0.492	0.246%	27.73
470	470000	1025	0.5125	0.256%	27.15

Grafik Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	32,70	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	44020,04	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	26874,63	MPa

Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 2

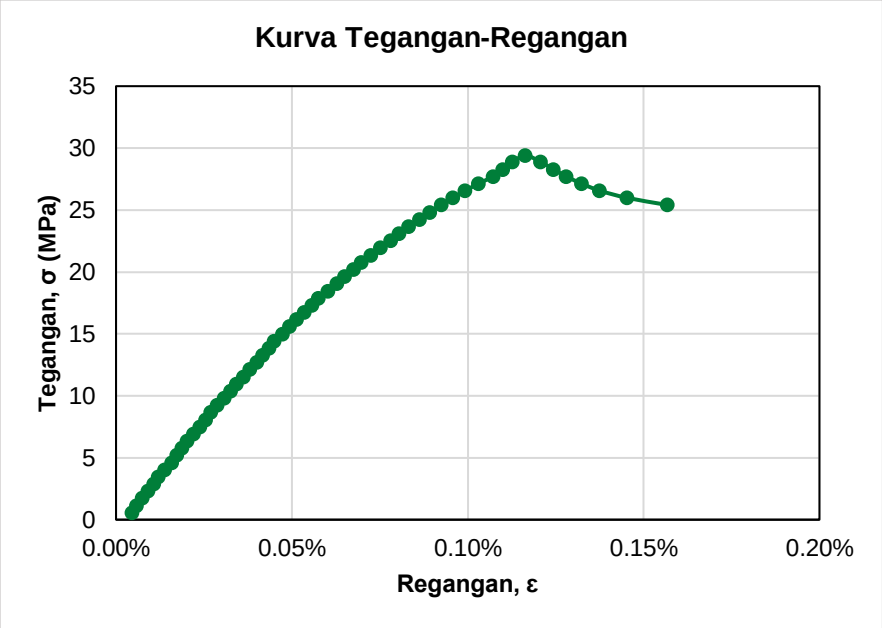
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	10%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	8	0.004	0.002%	1.15
30	30000	15	0.0075	0.004%	1.73
40	40000	21	0.0105	0.005%	2.31
50	50000	28	0.014	0.007%	2.89
60	60000	33	0.0165	0.008%	3.46
70	70000	40	0.02	0.010%	4.04
80	80000	48	0.024	0.012%	4.62
90	90000	54	0.027	0.014%	5.20
100	100000	60	0.03	0.015%	5.77
110	110000	66	0.033	0.017%	6.35
120	120000	73	0.0365	0.018%	6.93
130	130000	80	0.04	0.020%	7.51
140	140000	87	0.0435	0.022%	8.08
150	150000	93	0.0465	0.023%	8.66
160	160000	100	0.05	0.025%	9.24
170	170000	108	0.054	0.027%	9.82
180	180000	115	0.0575	0.029%	10.39
190	190000	122	0.061	0.031%	10.97
200	200000	130	0.065	0.033%	11.55
210	210000	137	0.0685	0.034%	12.12
220	220000	145	0.0725	0.036%	12.70
230	230000	152	0.076	0.038%	13.28
240	240000	159	0.0795	0.040%	13.86
250	250000	165	0.0825	0.041%	14.43
260	260000	174	0.087	0.044%	15.01

270	270000	182	0.091	0.046%	15.59
280	280000	190	0.095	0.048%	16.17
290	290000	199	0.0995	0.050%	16.74
300	300000	208	0.104	0.052%	17.32
310	310000	215	0.1075	0.054%	17.90
320	320000	226	0.113	0.057%	18.48
330	330000	236	0.118	0.059%	19.05
340	340000	245	0.1225	0.061%	19.63
350	350000	255	0.1275	0.064%	20.21
360	360000	264	0.132	0.066%	20.79
370	370000	275	0.1375	0.069%	21.36
380	380000	286	0.143	0.072%	21.94
390	390000	297	0.1485	0.074%	22.52
400	400000	307	0.1535	0.077%	23.09
410	410000	318	0.159	0.080%	23.67
420	420000	330	0.165	0.083%	24.25
430	430000	342	0.171	0.086%	24.83
440	440000	355	0.1775	0.089%	25.40
450	450000	368	0.184	0.092%	25.98
460	460000	382	0.191	0.096%	26.56
470	470000	397	0.1985	0.099%	27.14
480	480000	414	0.207	0.104%	27.71
490	490000	425	0.2125	0.106%	28.29
500	500000	436	0.218	0.109%	28.87
509.5	509500	450	0.225	0.113%	29.42
500	500000	468	0.234	0.117%	28.87
490	490000	482	0.241	0.121%	28.29
480	480000	497	0.2485	0.124%	27.71
470	470000	514	0.257	0.129%	27.14
460	460000	535	0.2675	0.134%	26.56
450	450000	566	0.283	0.142%	25.98
440	440000	612	0.306	0.153%	25.40
430	430000	650	0.325	0.163%	24.83
420	420000	667	0.3335	0.167%	24.25
410	410000	679	0.3395	0.170%	23.67
400	400000	686	0.343	0.172%	23.09

390	390000	695	0.3475	0.174%	22.52

Grafik Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	29,42	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31855,12	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25491,69	MPa

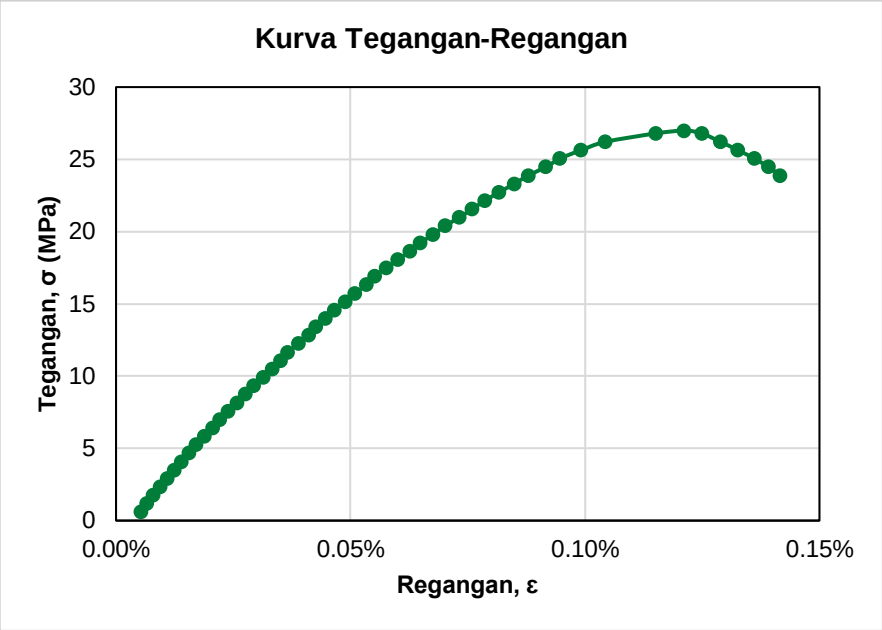
Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 3

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	10%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	8	0.004	0.002%	1.16
30	30000	13	0.0065	0.003%	1.75
40	40000	19	0.0095	0.005%	2.33
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.91
60	60000	31	0.0155	0.008%	3.49
70	70000	37	0.0185	0.009%	4.08
80	80000	44	0.022	0.011%	4.66
90	90000	50	0.025	0.013%	5.24
100	100000	57	0.0285	0.014%	5.82
110	110000	64	0.032	0.016%	6.41
120	120000	70	0.035	0.018%	6.99
130	130000	77	0.0385	0.019%	7.57
140	140000	85	0.0425	0.021%	8.15
150	150000	92	0.046	0.023%	8.74
160	160000	99	0.0495	0.025%	9.32
170	170000	107	0.0535	0.027%	9.90
180	180000	115	0.0575	0.029%	10.48
190	190000	122	0.061	0.031%	11.07
200	200000	128	0.064	0.032%	11.65
210	210000	137	0.0685	0.034%	12.23
220	220000	146	0.073	0.037%	12.81
230	230000	152	0.076	0.038%	13.40
240	240000	160	0.08	0.040%	13.98
250	250000	168	0.084	0.042%	14.56
260	260000	177	0.0885	0.044%	15.14

270	270000	185	0.0925	0.046%	15.73
280	280000	195	0.0975	0.049%	16.31
290	290000	202	0.101	0.051%	16.89
300	300000	212	0.106	0.053%	17.47
310	310000	222	0.111	0.056%	18.06
320	320000	232	0.116	0.058%	18.64
330	330000	241	0.1205	0.060%	19.22
340	340000	252	0.126	0.063%	19.80
350	350000	262	0.131	0.066%	20.39
360	360000	274	0.137	0.069%	20.97
370	370000	285	0.1425	0.071%	21.55
380	380000	296	0.148	0.074%	22.13
390	390000	308	0.154	0.077%	22.72
400	400000	321	0.1605	0.080%	23.30
410	410000	333	0.1665	0.083%	23.88
420	420000	348	0.178	0.089%	24.46
430	430000	360	0.18	0.090%	25.05
440	440000	378	0.189	0.095%	25.63
450	450000	399	0.1995	0.100%	26.21
460	460000	442	0.221	0.111%	26.79
463.3	463300	466	0.233	0.117%	26.99
460	460000	481	0.2405	0.120%	26.79
450	450000	497	0.2485	0.124%	26.21
440	440000	512	0.256	0.128%	25.63
430	430000	526	0.263	0.132%	25.05
420	420000	538	0.269	0.135%	24.46
410	410000	548	0.274	0.137%	23.88

Grafik Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	26,99	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31484,42	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24415,34	MPa

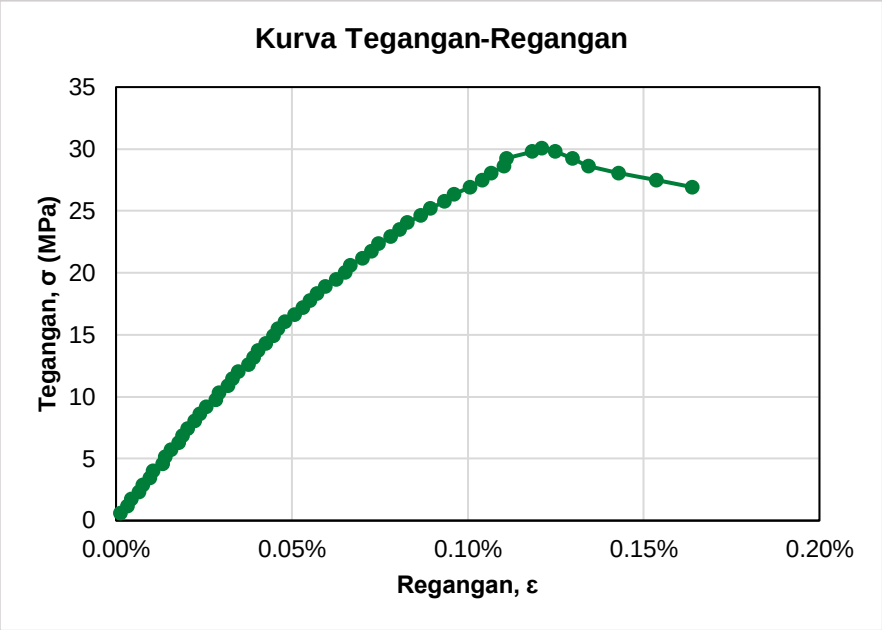
Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 4

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	10%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.57
20	20000	10	0.005	0.003%	1.15
30	30000	14	0.007	0.004%	1.72
40	40000	23	0.0115	0.006%	2.29
50	50000	27	0.0135	0.007%	2.86
60	60000	35	0.0175	0.009%	3.44
70	70000	39	0.0195	0.010%	4.01
80	80000	50	0.025	0.013%	4.58
90	90000	53	0.0265	0.013%	5.15
100	100000	59	0.0295	0.015%	5.73
110	110000	68	0.034	0.017%	6.30
120	120000	72	0.036	0.018%	6.87
130	130000	78	0.039	0.020%	7.45
140	140000	86	0.043	0.022%	8.02
150	150000	92	0.046	0.023%	8.59
160	160000	99	0.0495	0.025%	9.16
170	170000	110	0.055	0.028%	9.74
180	180000	114	0.057	0.029%	10.31
190	190000	124	0.062	0.031%	10.88
200	200000	129	0.0645	0.032%	11.45
210	210000	136	0.068	0.034%	12.03
220	220000	147	0.0735	0.037%	12.60
230	230000	153	0.0765	0.038%	13.17
240	240000	158	0.079	0.040%	13.75
250	250000	167	0.0835	0.042%	14.32
260	260000	176	0.088	0.044%	14.89

270	270000	181	0.0905	0.045%	15.46
280	280000	189	0.0945	0.047%	16.04
290	290000	200	0.1	0.050%	16.61
300	300000	209	0.1045	0.052%	17.18
310	310000	217	0.1085	0.054%	17.75
320	320000	225	0.1125	0.056%	18.33
330	330000	235	0.1175	0.059%	18.90
340	340000	247	0.1235	0.062%	19.47
350	350000	257	0.1285	0.064%	20.05
360	360000	263	0.1315	0.066%	20.62
370	370000	277	0.1385	0.069%	21.19
380	380000	287	0.1435	0.072%	21.76
390	390000	295	0.1475	0.074%	22.34
400	400000	309	0.1545	0.077%	22.91
410	410000	319	0.1595	0.080%	23.48
420	420000	328	0.164	0.082%	24.05
430	430000	343	0.1715	0.086%	24.63
440	440000	354	0.177	0.089%	25.20
450	450000	370	0.185	0.093%	25.77
460	460000	381	0.1905	0.095%	26.35
470	470000	399	0.1995	0.100%	26.92
480	480000	413	0.2065	0.103%	27.49
490	490000	423	0.2115	0.106%	28.06
500	500000	438	0.219	0.110%	28.64
510	510000	441	0.2205	0.110%	29.21
520	520000	470	0.235	0.118%	29.78
524.9	524900	481	0.2405	0.120%	30.06
520	520000	496	0.248	0.124%	29.78
510	510000	516	0.258	0.129%	29.21
500	500000	534	0.267	0.134%	28.64
490	490000	568	0.284	0.142%	28.06
480	480000	611	0.3055	0.153%	27.49
470	470000	652	0.326	0.163%	26.92

Grafik Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	30,06	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	34465,56	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25769,95	MPa

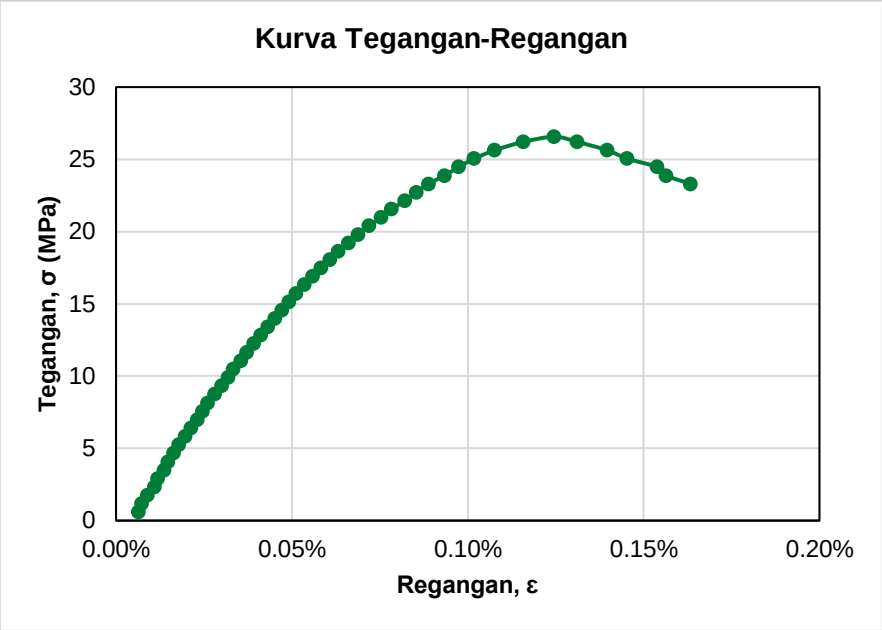
Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 5

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	10%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	7	0.0035	0.002%	0.58
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.16
30	30000	17	0.0085	0.004%	1.75
40	40000	25	0.0125	0.006%	2.33
50	50000	29	0.0145	0.007%	2.91
60	60000	36	0.018	0.009%	3.49
70	70000	41	0.0205	0.010%	4.08
80	80000	47	0.0235	0.012%	4.66
90	90000	53	0.0265	0.013%	5.24
100	100000	60	0.03	0.015%	5.82
110	110000	67	0.0335	0.017%	6.41
120	120000	74	0.037	0.019%	6.99
130	130000	80	0.04	0.020%	7.57
140	140000	86	0.043	0.022%	8.15
150	150000	94	0.047	0.024%	8.74
160	160000	102	0.051	0.026%	9.32
170	170000	109	0.0545	0.027%	9.90
180	180000	115	0.0575	0.029%	10.48
190	190000	124	0.062	0.031%	11.07
200	200000	130	0.065	0.033%	11.65
210	210000	138	0.069	0.035%	12.23
220	220000	146	0.073	0.037%	12.81
230	230000	154	0.077	0.039%	13.40
240	240000	162	0.081	0.041%	13.98
250	250000	170	0.085	0.043%	14.56
260	260000	178	0.089	0.045%	15.14

270	270000	186	0.093	0.047%	15.73
280	280000	196	0.098	0.049%	16.31
290	290000	205	0.1025	0.051%	16.89
300	300000	215	0.1075	0.054%	17.47
310	310000	225	0.1125	0.056%	18.06
320	320000	234	0.117	0.059%	18.64
330	330000	246	0.123	0.062%	19.22
340	340000	257	0.1285	0.064%	19.80
350	350000	269	0.1345	0.067%	20.39
360	360000	283	0.1415	0.071%	20.97
370	370000	295	0.1475	0.074%	21.55
380	380000	310	0.155	0.078%	22.13
390	390000	323	0.1615	0.081%	22.72
400	400000	337	0.1685	0.084%	23.30
410	410000	355	0.1775	0.089%	23.88
420	420000	371	0.1855	0.093%	24.46
430	430000	389	0.1945	0.097%	25.05
440	440000	412	0.206	0.103%	25.63
450	450000	445	0.2225	0.111%	26.21
456	456000	480	0.24	0.120%	26.56
450	450000	506	0.253	0.127%	26.21
440	440000	540	0.27	0.135%	25.63
430	430000	563	0.2815	0.141%	25.05
420	420000	597	0.2985	0.149%	24.46
410	410000	607	0.3035	0.152%	23.88
400	400000	635	0.3175	0.159%	23.30

Grafik Modulus Elastisitas BB 10 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	26,56	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31064,63	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24222,22	MPa

Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 1

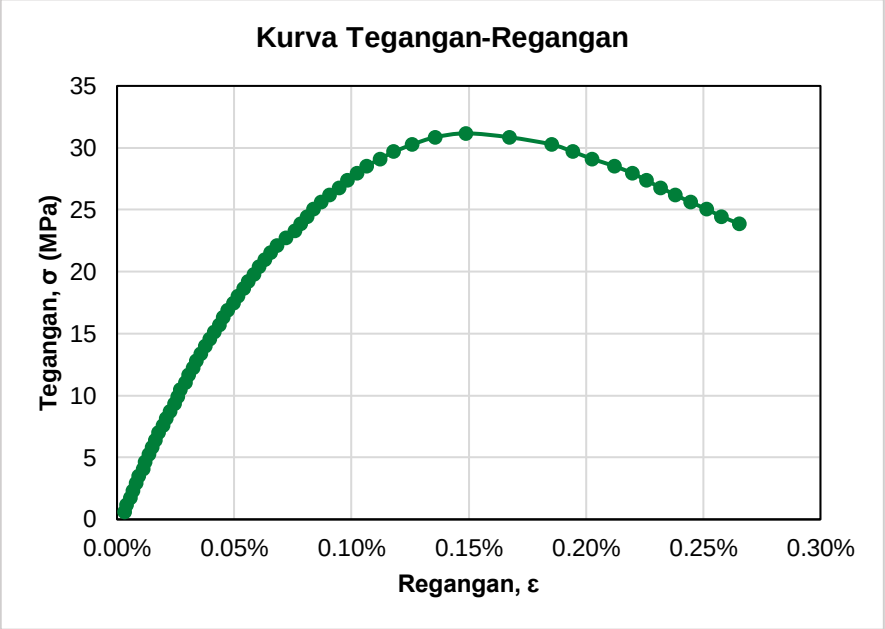
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.58
20	20000	3	0.0015	0.001%	1.16
30	30000	9	0.0045	0.002%	1.75
40	40000	14	0.007	0.004%	2.33
50	50000	19	0.0095	0.005%	2.91
60	60000	24	0.012	0.006%	3.49
70	70000	31	0.0155	0.008%	4.07
80	80000	35	0.0175	0.009%	4.66
90	90000	41	0.0205	0.010%	5.24
100	100000	47	0.0235	0.012%	5.82
110	110000	52	0.026	0.013%	6.40
120	120000	58	0.029	0.015%	6.98
130	130000	65	0.0325	0.016%	7.57
140	140000	71	0.0355	0.018%	8.15
150	150000	77	0.0385	0.019%	8.73
160	160000	85	0.0425	0.021%	9.31
170	170000	90	0.045	0.023%	9.90
180	180000	95	0.0475	0.024%	10.48
190	190000	103	0.0515	0.026%	11.06
200	200000	109	0.0545	0.027%	11.64
210	210000	117	0.0585	0.029%	12.22
220	220000	122	0.061	0.031%	12.81
230	230000	130	0.065	0.033%	13.39
240	240000	137	0.0685	0.034%	13.97
250	250000	145	0.0725	0.036%	14.55
260	260000	153	0.0765	0.038%	15.13

270	270000	161	0.0805	0.040%	15.72
280	280000	168	0.084	0.042%	16.30
290	290000	176	0.088	0.044%	16.88
300	300000	185	0.0925	0.046%	17.46
310	310000	193	0.0965	0.048%	18.04
320	320000	203	0.1015	0.051%	18.63
330	330000	211	0.1055	0.053%	19.21
340	340000	220	0.11	0.055%	19.79
350	350000	229	0.1145	0.057%	20.37
360	360000	239	0.1195	0.060%	20.95
370	370000	249	0.1245	0.062%	21.54
380	380000	260	0.13	0.065%	22.12
390	390000	275	0.1375	0.069%	22.70
400	400000	290	0.145	0.073%	23.28
410	410000	300	0.15	0.075%	23.86
420	420000	311	0.1555	0.078%	24.45
430	430000	322	0.161	0.081%	25.03
440	440000	335	0.1675	0.084%	25.61
450	450000	349	0.1745	0.087%	26.19
460	460000	366	0.183	0.092%	26.78
470	470000	380	0.19	0.095%	27.36
480	480000	396	0.198	0.099%	27.94
490	490000	413	0.2065	0.103%	28.52
500	500000	435	0.2175	0.109%	29.10
510	510000	459	0.2295	0.115%	29.69
520	520000	490	0.245	0.123%	30.27
530	530000	529	0.2645	0.132%	30.85
535.5	535500	582	0.291	0.146%	31.17
530	530000	656	0.328	0.164%	30.85
520	520000	728	0.364	0.182%	30.27
510	510000	764	0.382	0.191%	29.69
500	500000	797	0.3985	0.199%	29.10
490	490000	835	0.4175	0.209%	28.52
480	480000	866	0.433	0.217%	27.94
470	470000	890	0.445	0.223%	27.36
460	460000	914	0.457	0.229%	26.78

450	450000	939	0.4695	0.235%	26.19
440	440000	965	0.4825	0.241%	25.61
430	430000	993	0.4965	0.248%	25.03
420	420000	1018	0.509	0.255%	24.45
410	410000	1048	0.524	0.262%	23.86

Grafik Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	31,17	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	37755,77	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	26240,04	MPa

Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 2

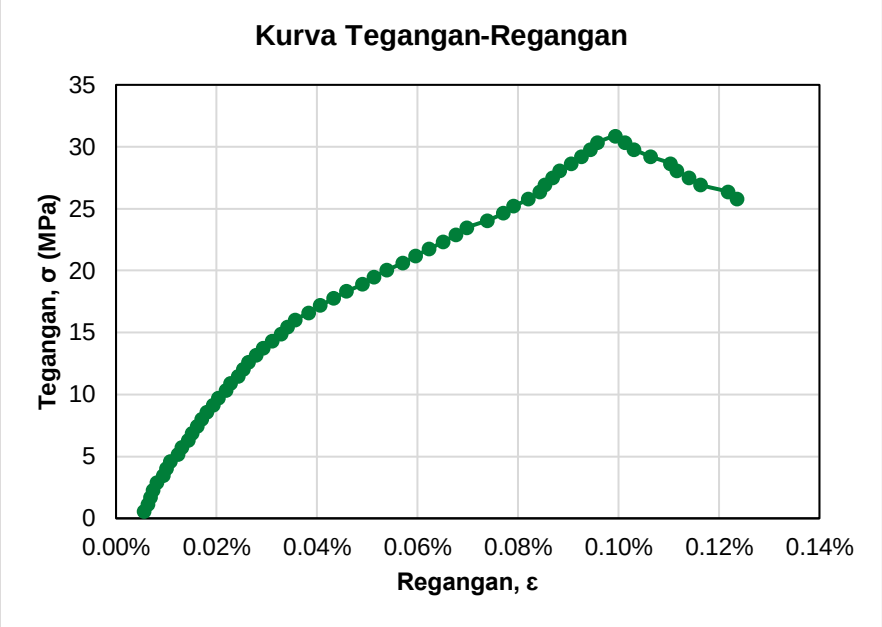
Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	3	0.0015	0.001%	1.15
30	30000	5	0.0025	0.001%	1.72
40	40000	7	0.0035	0.002%	2.29
50	50000	10	0.005	0.003%	2.86
60	60000	15	0.0075	0.004%	3.44
70	70000	18	0.009	0.005%	4.01
80	80000	21	0.0105	0.005%	4.58
90	90000	27	0.0135	0.007%	5.15
100	100000	30	0.015	0.008%	5.73
110	110000	35	0.0175	0.009%	6.30
120	120000	38	0.019	0.010%	6.87
130	130000	42	0.021	0.011%	7.45
140	140000	46	0.023	0.012%	8.02
150	150000	50	0.025	0.013%	8.59
160	160000	55	0.0275	0.014%	9.16
170	170000	59	0.0295	0.015%	9.74
180	180000	65	0.0325	0.016%	10.31
190	190000	69	0.0345	0.017%	10.88
200	200000	75	0.0375	0.019%	11.45
210	210000	79	0.0395	0.020%	12.03
220	220000	83	0.0415	0.021%	12.60
230	230000	89	0.0445	0.022%	13.17
240	240000	95	0.0475	0.024%	13.75
250	250000	102	0.051	0.026%	14.32
260	260000	109	0.0545	0.027%	14.89

270	270000	114	0.057	0.029%	15.46
280	280000	120	0.06	0.030%	16.04
290	290000	131	0.0655	0.033%	16.61
300	300000	140	0.07	0.035%	17.18
310	310000	151	0.0755	0.038%	17.75
320	320000	161	0.0805	0.040%	18.33
330	330000	174	0.087	0.044%	18.90
340	340000	183	0.0915	0.046%	19.47
350	350000	193	0.0965	0.048%	20.05
360	360000	206	0.103	0.052%	20.62
370	370000	216	0.108	0.054%	21.19
380	380000	227	0.1135	0.057%	21.76
390	390000	238	0.119	0.060%	22.34
400	400000	248	0.124	0.062%	22.91
410	410000	257	0.1285	0.064%	23.48
420	420000	273	0.1365	0.068%	24.05
430	430000	286	0.143	0.072%	24.63
440	440000	294	0.147	0.074%	25.20
450	450000	306	0.153	0.077%	25.77
460	460000	315	0.1575	0.079%	26.35
470	470000	319	0.1595	0.080%	26.92
480	480000	325	0.1625	0.081%	27.49
490	490000	331	0.1655	0.083%	28.06
500	500000	340	0.17	0.085%	28.64
510	510000	348	0.174	0.087%	29.21
520	520000	355	0.1775	0.089%	29.78
530	530000	361	0.1805	0.090%	30.36
538.4	538400	375	0.1875	0.094%	30.84
530	530000	383	0.1915	0.096%	30.36
520	520000	390	0.195	0.098%	29.78
510	510000	403	0.2015	0.101%	29.21
500	500000	419	0.2095	0.105%	28.64
490	490000	424	0.212	0.106%	28.06
480	480000	434	0.217	0.109%	27.49
470	470000	443	0.2215	0.111%	26.92
460	460000	465	0.2325	0.116%	26.35

450	450000	472	0.236	0.118%	25.77
440	440000	480	0.24	0.120%	25.20

Grafik Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	30,84	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	47728,04	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	26099,24	MPa

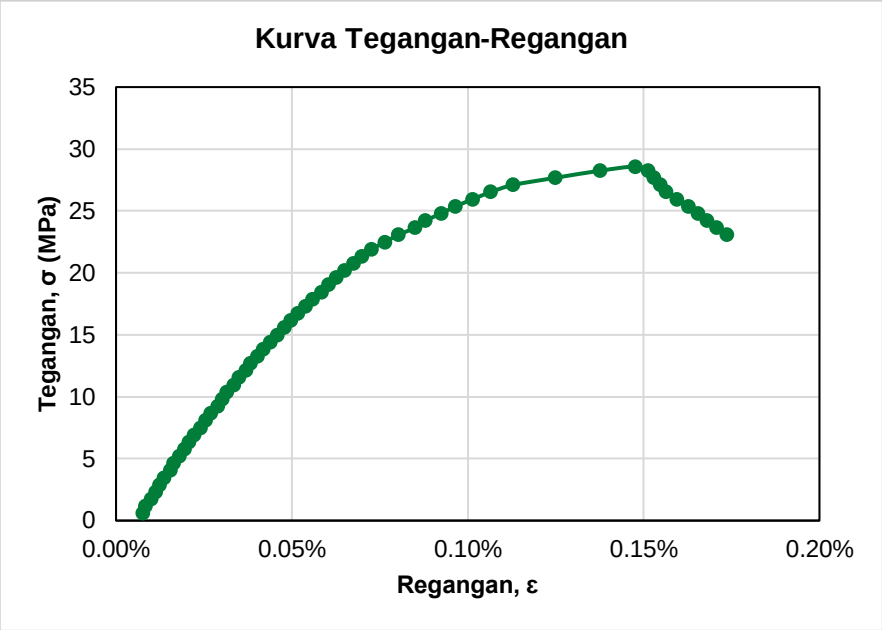
Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 3

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.58
20	20000	3	0.0015	0.001%	1.15
30	30000	9	0.0045	0.002%	1.73
40	40000	14	0.007	0.004%	2.31
50	50000	19	0.0095	0.005%	2.88
60	60000	24	0.012	0.006%	3.46
70	70000	31	0.0155	0.008%	4.04
80	80000	35	0.0175	0.009%	4.61
90	90000	41	0.0205	0.010%	5.19
100	100000	47	0.0235	0.012%	5.77
110	110000	52	0.026	0.013%	6.34
120	120000	58	0.029	0.015%	6.92
130	130000	65	0.0325	0.016%	7.50
140	140000	71	0.0355	0.018%	8.07
150	150000	77	0.0385	0.019%	8.65
160	160000	85	0.0425	0.021%	9.23
170	170000	90	0.045	0.023%	9.80
180	180000	95	0.0475	0.024%	10.38
190	190000	103	0.0515	0.026%	10.96
200	200000	109	0.0545	0.027%	11.53
210	210000	117	0.0585	0.029%	12.11
220	220000	122	0.061	0.031%	12.69
230	230000	130	0.065	0.033%	13.26
240	240000	137	0.0685	0.034%	13.84
250	250000	145	0.0725	0.036%	14.41
260	260000	153	0.0765	0.038%	14.99

270	270000	161	0.0805	0.040%	15.57
280	280000	168	0.084	0.042%	16.14
290	290000	176	0.088	0.044%	16.72
300	300000	185	0.0925	0.046%	17.30
310	310000	193	0.0965	0.048%	17.87
320	320000	203	0.1015	0.051%	18.45
330	330000	211	0.1055	0.053%	19.03
340	340000	220	0.11	0.055%	19.60
350	350000	229	0.1145	0.057%	20.18
360	360000	239	0.1195	0.060%	20.76
370	370000	249	0.1245	0.062%	21.33
380	380000	260	0.13	0.065%	21.91
390	390000	275	0.1375	0.069%	22.49
400	400000	290	0.145	0.073%	23.06
410	410000	309	0.1545	0.077%	23.64
420	420000	321	0.1605	0.080%	24.22
430	430000	339	0.1695	0.085%	24.79
440	440000	355	0.1775	0.089%	25.37
450	450000	375	0.1875	0.094%	25.95
460	460000	395	0.1975	0.099%	26.52
470	470000	421	0.2105	0.105%	27.10
480	480000	469	0.2345	0.117%	27.68
490	490000	520	0.26	0.130%	28.25
495.8	495800	560	0.28	0.140%	28.59
490	490000	574	0.287	0.144%	28.25
480	480000	581	0.2905	0.145%	27.68
470	470000	588	0.294	0.147%	27.10
460	460000	595	0.2975	0.149%	26.52
450	450000	607	0.3035	0.152%	25.95
440	440000	620	0.31	0.155%	25.37
430	430000	631	0.3155	0.158%	24.79
420	420000	641	0.3205	0.160%	24.22
410	410000	652	0.326	0.163%	23.64
400	400000	664	0.332	0.166%	23.06

Grafik Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	28,59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	32948,41	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25129,70	MPa

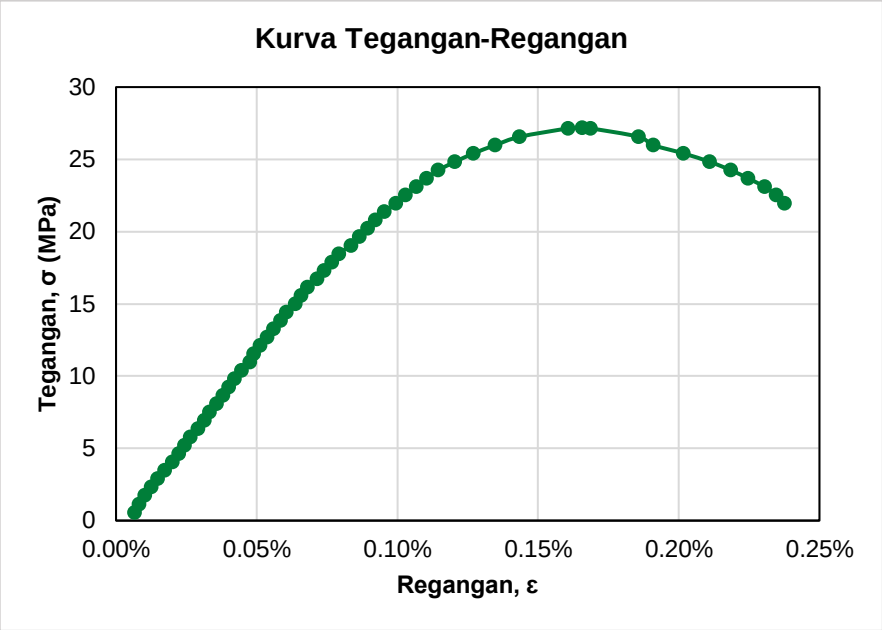
Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 4

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.58
20	20000	6	0.003	0.002%	1.15
30	30000	14	0.007	0.004%	1.73
40	40000	23	0.0115	0.006%	2.31
50	50000	32	0.016	0.008%	2.89
60	60000	42	0.021	0.011%	3.46
70	70000	53	0.0265	0.013%	4.04
80	80000	62	0.031	0.016%	4.62
90	90000	71	0.0355	0.018%	5.20
100	100000	79	0.0395	0.020%	5.77
110	110000	90	0.045	0.023%	6.35
120	120000	99	0.0495	0.025%	6.93
130	130000	106	0.053	0.027%	7.51
140	140000	116	0.058	0.029%	8.08
150	150000	125	0.0625	0.031%	8.66
160	160000	133	0.0665	0.033%	9.24
170	170000	142	0.071	0.036%	9.82
180	180000	152	0.076	0.038%	10.39
190	190000	163	0.0815	0.041%	10.97
200	200000	169	0.0845	0.042%	11.55
210	210000	178	0.089	0.045%	12.12
220	220000	188	0.094	0.047%	12.70
230	230000	197	0.0985	0.049%	13.28
240	240000	207	0.1035	0.052%	13.86
250	250000	215	0.1075	0.054%	14.43
260	260000	228	0.114	0.057%	15.01

270	270000	236	0.118	0.059%	15.59
280	280000	245	0.1225	0.061%	16.17
290	290000	259	0.1295	0.065%	16.74
300	300000	269	0.1345	0.067%	17.32
310	310000	280	0.14	0.070%	17.90
320	320000	290	0.145	0.073%	18.48
330	330000	307	0.1535	0.077%	19.05
340	340000	319	0.1595	0.080%	19.63
350	350000	331	0.1655	0.083%	20.21
360	360000	342	0.171	0.086%	20.79
370	370000	355	0.1775	0.089%	21.36
380	380000	371	0.1855	0.093%	21.94
390	390000	385	0.1925	0.096%	22.52
400	400000	400	0.2	0.100%	23.09
410	410000	415	0.2075	0.104%	23.67
420	420000	431	0.2155	0.108%	24.25
430	430000	455	0.2275	0.114%	24.83
440	440000	481	0.2405	0.120%	25.40
450	450000	512	0.256	0.128%	25.98
460	460000	547	0.2735	0.137%	26.56
470	470000	616	0.308	0.154%	27.14
470.5	470500	636	0.318	0.159%	27.17
470	470000	648	0.324	0.162%	27.14
460	460000	716	0.358	0.179%	26.56
450	450000	737	0.3685	0.184%	25.98
440	440000	780	0.39	0.195%	25.40
430	430000	817	0.4085	0.204%	24.83
420	420000	847	0.4235	0.212%	24.25
410	410000	872	0.436	0.218%	23.67
400	400000	895	0.4475	0.224%	23.09
390	390000	912	0.456	0.228%	22.52
380	380000	924	0.462	0.231%	21.94

Grafik Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	27,17	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	23094,96	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24496,63	MPa

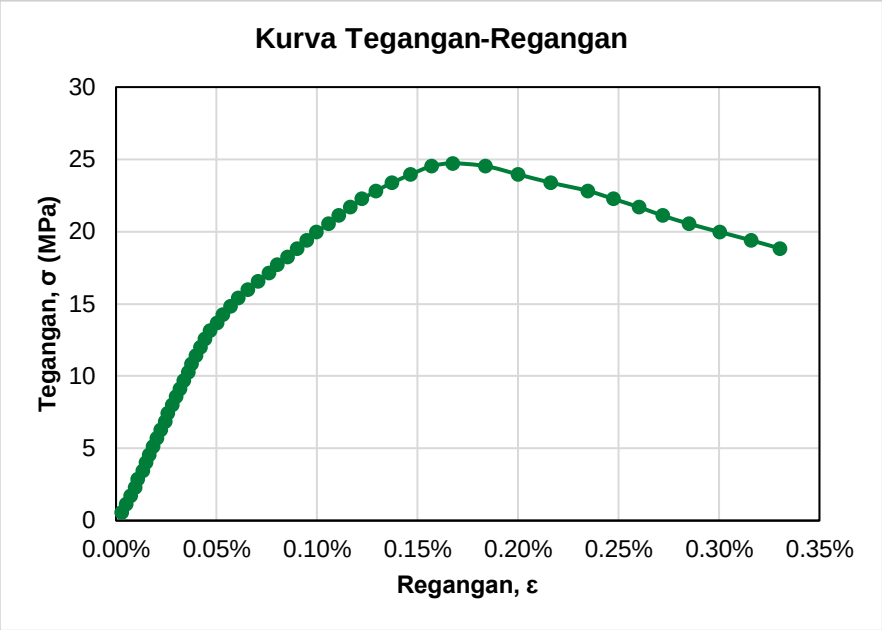
Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 5

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	15%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.57
20	20000	12	0.006	0.003%	1.14
30	30000	20	0.01	0.005%	1.71
40	40000	29	0.0145	0.007%	2.28
50	50000	35	0.0175	0.009%	2.85
60	60000	45	0.0225	0.011%	3.42
70	70000	51	0.0255	0.013%	3.99
80	80000	58	0.029	0.015%	4.56
90	90000	65	0.0325	0.016%	5.13
100	100000	73	0.0365	0.018%	5.70
110	110000	80	0.04	0.020%	6.27
120	120000	90	0.045	0.023%	6.85
130	130000	95	0.0475	0.024%	7.42
140	140000	104	0.052	0.026%	7.99
150	150000	111	0.0555	0.028%	8.56
160	160000	119	0.0595	0.030%	9.13
170	170000	126	0.063	0.032%	9.70
180	180000	135	0.0675	0.034%	10.27
190	190000	142	0.071	0.036%	10.84
200	200000	151	0.0755	0.038%	11.41
210	210000	160	0.08	0.040%	11.98
220	220000	169	0.0845	0.042%	12.55
230	230000	178	0.089	0.045%	13.12
240	240000	192	0.096	0.048%	13.69
250	250000	204	0.102	0.051%	14.26
260	260000	219	0.1095	0.055%	14.83

270	270000	235	0.1175	0.059%	15.40
280	280000	254	0.127	0.064%	15.97
290	290000	274	0.137	0.069%	16.54
300	300000	296	0.148	0.074%	17.11
310	310000	312	0.156	0.078%	17.68
320	320000	333	0.1665	0.083%	18.25
330	330000	352	0.176	0.088%	18.82
340	340000	371	0.1855	0.093%	19.39
350	350000	390	0.195	0.098%	19.97
360	360000	414	0.207	0.104%	20.54
370	370000	435	0.2175	0.109%	21.11
380	380000	458	0.229	0.115%	21.68
390	390000	481	0.2405	0.120%	22.25
400	400000	509	0.2545	0.127%	22.82
410	410000	541	0.2705	0.135%	23.39
420	420000	578	0.289	0.145%	23.96
430	430000	619	0.3095	0.155%	24.53
433.3	433300	662	0.331	0.166%	24.72
430	430000	727	0.3635	0.182%	24.53
420	420000	791	0.3955	0.198%	23.96
410	410000	856	0.428	0.214%	23.39
400	400000	930	0.465	0.233%	22.82
390	390000	982	0.491	0.246%	22.25
380	380000	1033	0.5165	0.258%	21.68
370	370000	1079	0.5395	0.270%	21.11
360	360000	1132	0.566	0.283%	20.54
350	350000	1193	0.5965	0.298%	19.97
340	340000	1255	0.6275	0.314%	19.39
330	330000	1313	0.6565	0.328%	18.82

Grafik Modulus Elastisitas BB 15 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	24,72	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28521,93	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	23366,66	MPa

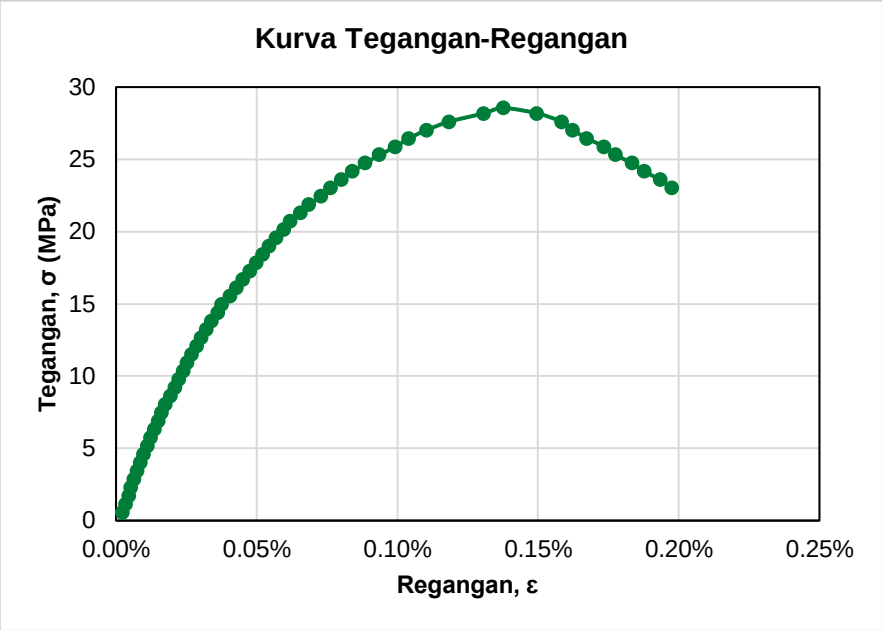
Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 1

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	7	0.0035	0.002%	1.15
30	30000	12	0.006	0.003%	1.73
40	40000	15	0.0075	0.004%	2.30
50	50000	19	0.0095	0.005%	2.88
60	60000	24	0.012	0.006%	3.45
70	70000	28	0.014	0.007%	4.03
80	80000	33	0.0165	0.008%	4.60
90	90000	38	0.019	0.010%	5.18
100	100000	43	0.0215	0.011%	5.75
110	110000	48	0.024	0.012%	6.33
120	120000	54	0.027	0.014%	6.90
130	130000	58	0.029	0.015%	7.48
140	140000	64	0.032	0.016%	8.05
150	150000	71	0.0355	0.018%	8.63
160	160000	77	0.0385	0.019%	9.20
170	170000	83	0.0415	0.021%	9.78
180	180000	89	0.0445	0.022%	10.35
190	190000	95	0.0475	0.024%	10.93
200	200000	101	0.0505	0.025%	11.50
210	210000	108	0.054	0.027%	12.08
220	220000	115	0.0575	0.029%	12.65
230	230000	122	0.061	0.031%	13.23
240	240000	129	0.0645	0.032%	13.80
250	250000	138	0.069	0.035%	14.38
260	260000	144	0.072	0.036%	14.95

270	270000	156	0.078	0.039%	15.53
280	280000	165	0.0825	0.041%	16.10
290	290000	174	0.087	0.044%	16.68
300	300000	184	0.092	0.046%	17.25
310	310000	193	0.0965	0.048%	17.83
320	320000	202	0.101	0.051%	18.40
330	330000	211	0.1055	0.053%	18.98
340	340000	221	0.1105	0.055%	19.55
350	350000	232	0.116	0.058%	20.13
360	360000	241	0.1205	0.060%	20.70
370	370000	256	0.128	0.064%	21.28
380	380000	268	0.134	0.067%	21.85
390	390000	285	0.1425	0.071%	22.43
400	400000	299	0.1495	0.075%	23.00
410	410000	314	0.157	0.079%	23.58
420	420000	330	0.165	0.083%	24.15
430	430000	348	0.174	0.087%	24.73
440	440000	368	0.184	0.092%	25.30
450	450000	391	0.1955	0.098%	25.88
460	460000	410	0.205	0.103%	26.45
470	470000	435	0.2175	0.109%	27.03
480	480000	467	0.2335	0.117%	27.60
490	490000	516	0.258	0.129%	28.18
496.4	496400	544	0.272	0.136%	28.55
490	490000	592	0.296	0.148%	28.18
480	480000	627	0.3135	0.157%	27.60
470	470000	643	0.3215	0.161%	27.03
460	460000	663	0.3315	0.166%	26.45
450	450000	687	0.3435	0.172%	25.88
440	440000	704	0.352	0.176%	25.30
430	430000	727	0.3635	0.182%	24.73
420	420000	745	0.3725	0.186%	24.15
410	410000	767	0.3835	0.192%	23.58
400	400000	784	0.392	0.196%	23.00

Grafik Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	28,55	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	42974,29	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25111,11	MPa

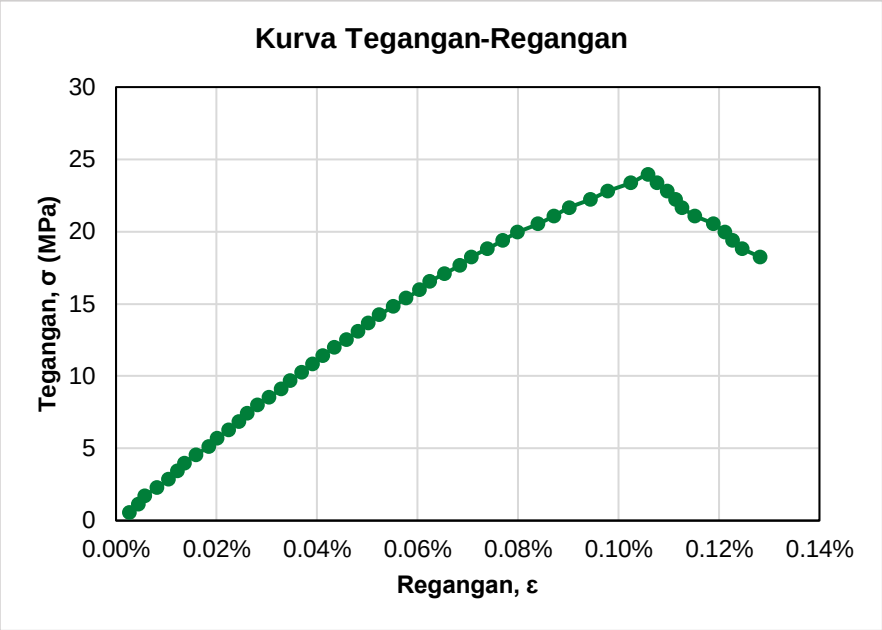
Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 2

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	7	0.0035	0.002%	1.14
30	30000	12	0.006	0.003%	1.71
40	40000	22	0.011	0.006%	2.28
50	50000	31	0.0155	0.008%	2.85
60	60000	38	0.019	0.010%	3.42
70	70000	44	0.022	0.011%	3.99
80	80000	53	0.0265	0.013%	4.56
90	90000	63	0.0315	0.016%	5.13
100	100000	70	0.035	0.018%	5.70
110	110000	79	0.0395	0.020%	6.27
120	120000	87	0.0435	0.022%	6.84
130	130000	94	0.047	0.024%	7.41
140	140000	102	0.051	0.026%	7.98
150	150000	111	0.0555	0.028%	8.55
160	160000	121	0.0605	0.030%	9.12
170	170000	128	0.064	0.032%	9.69
180	180000	137	0.0685	0.034%	10.26
190	190000	146	0.073	0.037%	10.83
200	200000	154	0.077	0.039%	11.40
210	210000	163	0.0815	0.041%	11.97
220	220000	173	0.0865	0.043%	12.54
230	230000	182	0.091	0.046%	13.11
240	240000	190	0.095	0.048%	13.68
250	250000	199	0.0995	0.050%	14.25
260	260000	210	0.105	0.053%	14.82

270	270000	220	0.11	0.055%	15.39
280	280000	231	0.1155	0.058%	15.96
290	290000	239	0.1195	0.060%	16.53
300	300000	251	0.1255	0.063%	17.10
310	310000	263	0.1315	0.066%	17.67
320	320000	272	0.136	0.068%	18.24
330	330000	285	0.1425	0.071%	18.81
340	340000	297	0.1485	0.074%	19.38
350	350000	309	0.1545	0.077%	19.95
360	360000	325	0.1625	0.081%	20.52
370	370000	338	0.169	0.085%	21.09
380	380000	350	0.175	0.088%	21.66
390	390000	367	0.1835	0.092%	22.23
400	400000	381	0.1905	0.095%	22.80
410	410000	399	0.1995	0.100%	23.37
419.9	419900	413	0.2065	0.103%	23.94
410	410000	420	0.21	0.105%	23.37
400	400000	428	0.214	0.107%	22.80
390	390000	435	0.2175	0.109%	22.23
380	380000	440	0.22	0.110%	21.66
370	370000	450	0.225	0.113%	21.09
360	360000	465	0.2325	0.116%	20.52
350	350000	474	0.237	0.119%	19.95
340	340000	480	0.24	0.120%	19.38
330	330000	488	0.244	0.122%	18.81
320	320000	502	0.251	0.126%	18.24

Grafik Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	23,94	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	27921,16	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	22994,82	MPa

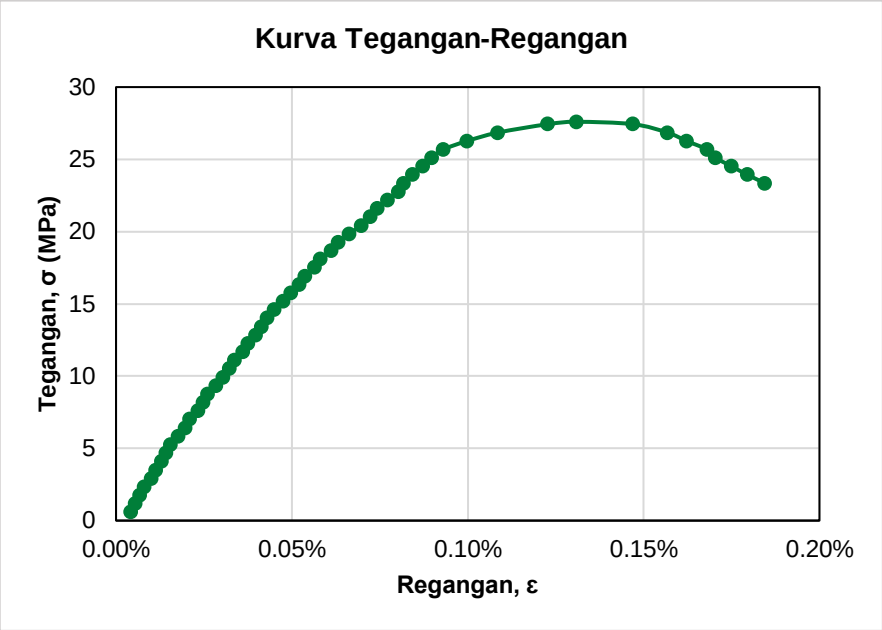
Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 3

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.58
20	20000	5	0.0025	0.001%	1.17
30	30000	10	0.005	0.003%	1.75
40	40000	15	0.0075	0.004%	2.33
50	50000	23	0.0115	0.006%	2.92
60	60000	28	0.014	0.007%	3.50
70	70000	35	0.0175	0.009%	4.09
80	80000	40	0.02	0.010%	4.67
90	90000	45	0.0225	0.011%	5.25
100	100000	54	0.027	0.014%	5.84
110	110000	62	0.031	0.016%	6.42
120	120000	67	0.0335	0.017%	7.00
130	130000	76	0.038	0.019%	7.59
140	140000	82	0.041	0.021%	8.17
150	150000	87	0.0435	0.022%	8.75
160	160000	97	0.0485	0.024%	9.34
170	170000	105	0.0525	0.026%	9.92
180	180000	112	0.056	0.028%	10.51
190	190000	118	0.059	0.030%	11.09
200	200000	127	0.0635	0.032%	11.67
210	210000	133	0.0665	0.033%	12.26
220	220000	142	0.071	0.036%	12.84
230	230000	148	0.074	0.037%	13.42
240	240000	155	0.0775	0.039%	14.01
250	250000	163	0.0815	0.041%	14.59
260	260000	173	0.0865	0.043%	15.17

270	270000	182	0.091	0.046%	15.76
280	280000	191	0.0955	0.048%	16.34
290	290000	198	0.099	0.050%	16.93
300	300000	209	0.1045	0.052%	17.51
310	310000	215	0.1075	0.054%	18.09
320	320000	228	0.114	0.057%	18.68
330	330000	236	0.118	0.059%	19.26
340	340000	248	0.124	0.062%	19.84
350	350000	262	0.131	0.066%	20.43
360	360000	272	0.136	0.068%	21.01
370	370000	280	0.14	0.070%	21.59
380	380000	292	0.146	0.073%	22.18
390	390000	304	0.152	0.076%	22.76
400	400000	310	0.155	0.078%	23.35
410	410000	320	0.16	0.080%	23.93
420	420000	332	0.166	0.083%	24.51
430	430000	342	0.171	0.086%	25.10
440	440000	355	0.1775	0.089%	25.68
450	450000	382	0.191	0.096%	26.26
460	460000	417	0.2085	0.104%	26.85
470	470000	474	0.237	0.119%	27.43
472.8	472800	507	0.2535	0.127%	27.59
470	470000	571	0.2855	0.143%	27.43
460	460000	610	0.305	0.153%	26.85
450	450000	632	0.316	0.158%	26.26
440	440000	655	0.3275	0.164%	25.68
430	430000	665	0.3325	0.166%	25.10
420	420000	683	0.3415	0.171%	24.51
410	410000	701	0.3505	0.175%	23.93
400	400000	721	0.3605	0.180%	23.35

Grafik Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	27,59	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	32830,06	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24689,44	MPa

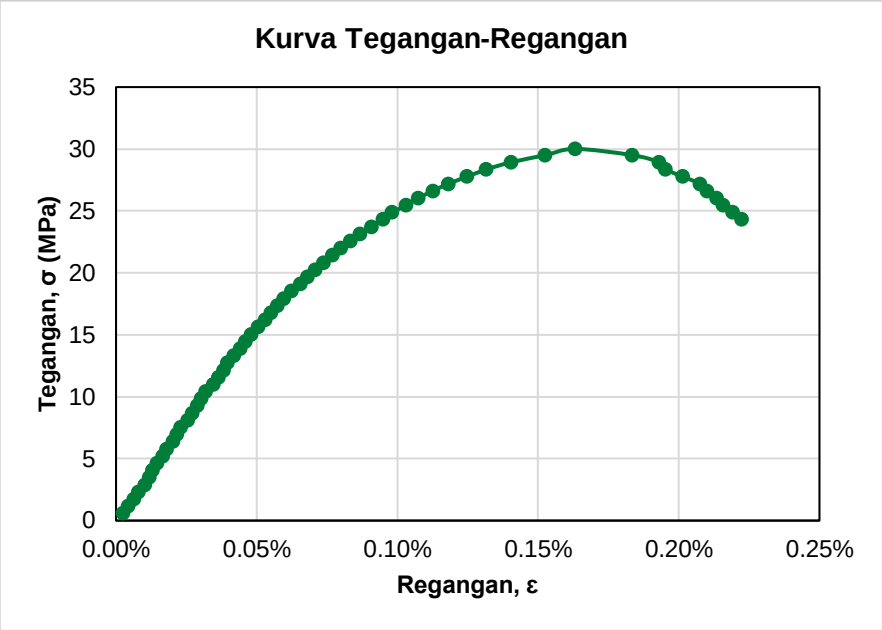
Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 4

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	10	0.005	0.003%	1.16
30	30000	18	0.009	0.005%	1.74
40	40000	25	0.0125	0.006%	2.31
50	50000	34	0.017	0.009%	2.89
60	60000	40	0.02	0.010%	3.47
70	70000	45	0.0225	0.011%	4.05
80	80000	51	0.0255	0.013%	4.63
90	90000	59	0.0295	0.015%	5.21
100	100000	65	0.0325	0.016%	5.79
110	110000	74	0.037	0.019%	6.36
120	120000	79	0.0395	0.020%	6.94
130	130000	85	0.0425	0.021%	7.52
140	140000	95	0.0475	0.024%	8.10
150	150000	101	0.0505	0.025%	8.68
160	160000	108	0.054	0.027%	9.26
170	170000	114	0.057	0.029%	9.84
180	180000	120	0.06	0.030%	10.41
190	190000	131	0.0655	0.033%	10.99
200	200000	138	0.069	0.035%	11.57
210	210000	146	0.073	0.037%	12.15
220	220000	151	0.0755	0.038%	12.73
230	230000	160	0.08	0.040%	13.31
240	240000	169	0.0845	0.042%	13.89
250	250000	177	0.0885	0.044%	14.46
260	260000	185	0.0925	0.046%	15.04

270	270000	195	0.0975	0.049%	15.62
280	280000	205	0.1025	0.051%	16.20
290	290000	213	0.1065	0.053%	16.78
300	300000	222	0.111	0.056%	17.36
310	310000	231	0.1155	0.058%	17.93
320	320000	242	0.121	0.061%	18.51
330	330000	255	0.1275	0.064%	19.09
340	340000	265	0.1325	0.066%	19.67
350	350000	276	0.138	0.069%	20.25
360	360000	288	0.144	0.072%	20.83
370	370000	300	0.15	0.075%	21.41
380	380000	312	0.156	0.078%	21.98
390	390000	326	0.163	0.082%	22.56
400	400000	340	0.17	0.085%	23.14
410	410000	356	0.178	0.089%	23.72
420	420000	372	0.186	0.093%	24.30
430	430000	385	0.1925	0.096%	24.88
440	440000	405	0.2025	0.101%	25.46
450	450000	422	0.211	0.106%	26.03
460	460000	443	0.2215	0.111%	26.61
470	470000	465	0.2325	0.116%	27.19
480	480000	492	0.246	0.123%	27.77
490	490000	519	0.2595	0.130%	28.35
500	500000	554	0.277	0.139%	28.93
510	510000	603	0.3015	0.151%	29.51
518.7	518700	645	0.3225	0.161%	30.01
510	510000	726	0.363	0.182%	29.51
500	500000	765	0.3825	0.191%	28.93
490	490000	774	0.387	0.194%	28.35
480	480000	798	0.399	0.200%	27.77
470	470000	823	0.4115	0.206%	27.19
460	460000	833	0.4165	0.208%	26.61
450	450000	847	0.4235	0.212%	26.03
440	440000	856	0.428	0.214%	25.46
430	430000	869	0.4345	0.217%	24.88
420	420000	882	0.441	0.221%	24.30

Grafik Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	30,01	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	31667,57	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	25476,81	MPa

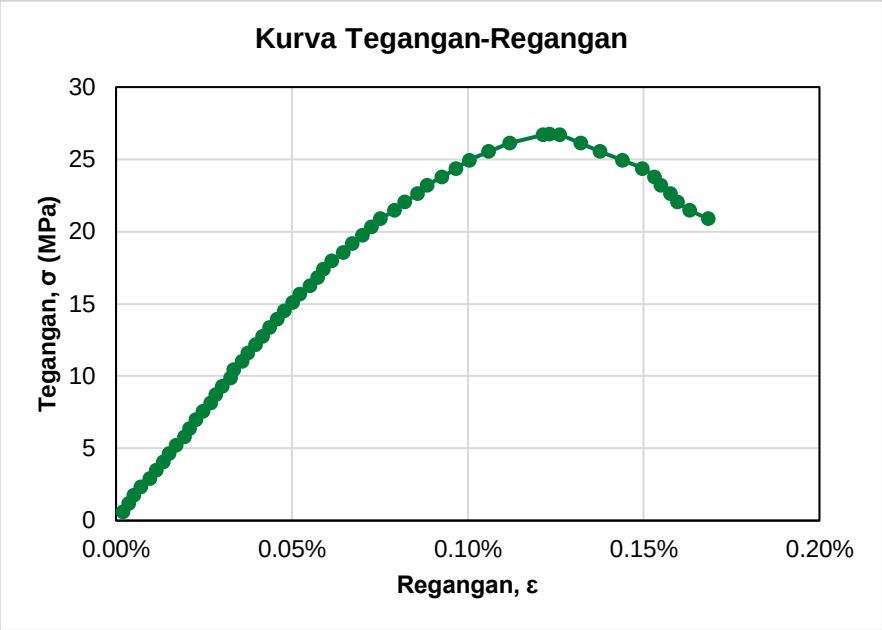
Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 5

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	20%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.58
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.16
30	30000	15	0.0075	0.004%	1.74
40	40000	23	0.0115	0.006%	2.32
50	50000	33	0.0165	0.008%	2.90
60	60000	40	0.02	0.010%	3.48
70	70000	48	0.024	0.012%	4.06
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.64
90	90000	63	0.0315	0.016%	5.22
100	100000	72	0.036	0.018%	5.80
110	110000	78	0.039	0.020%	6.38
120	120000	85	0.0425	0.021%	6.96
130	130000	93	0.0465	0.023%	7.54
140	140000	102	0.051	0.026%	8.12
150	150000	108	0.054	0.027%	8.70
160	160000	115	0.0575	0.029%	9.28
170	170000	125	0.0625	0.031%	9.86
180	180000	128	0.064	0.032%	10.44
190	190000	138	0.069	0.035%	11.02
200	200000	144	0.072	0.036%	11.60
210	210000	153	0.0765	0.038%	12.18
220	220000	161	0.0805	0.040%	12.76
230	230000	169	0.0845	0.042%	13.34
240	240000	178	0.089	0.045%	13.92
250	250000	186	0.093	0.047%	14.50
260	260000	195	0.0975	0.049%	15.08

270	270000	203	0.1015	0.051%	15.66
280	280000	215	0.1075	0.054%	16.24
290	290000	224	0.112	0.056%	16.82
300	300000	230	0.115	0.058%	17.40
310	310000	240	0.12	0.060%	17.98
320	320000	253	0.1265	0.063%	18.56
330	330000	263	0.1315	0.066%	19.14
340	340000	275	0.1375	0.069%	19.72
350	350000	285	0.1425	0.071%	20.30
360	360000	295	0.1475	0.074%	20.88
370	370000	311	0.1555	0.078%	21.46
380	380000	323	0.1615	0.081%	22.04
390	390000	337	0.1685	0.084%	22.62
400	400000	348	0.174	0.087%	23.20
410	410000	365	0.1825	0.091%	23.78
420	420000	381	0.1905	0.095%	24.36
430	430000	396	0.198	0.099%	24.94
440	440000	418	0.209	0.105%	25.52
450	450000	442	0.221	0.111%	26.10
460	460000	480	0.24	0.120%	26.68
460.8	460800	487	0.2435	0.122%	26.73
460	460000	499	0.2495	0.125%	26.68
450	450000	523	0.2615	0.131%	26.10
440	440000	545	0.2725	0.136%	25.52
430	430000	570	0.285	0.143%	24.94
420	420000	593	0.2965	0.148%	24.36
410	410000	607	0.3035	0.152%	23.78
400	400000	614	0.307	0.154%	23.20
390	390000	625	0.3125	0.156%	22.62
380	380000	633	0.3165	0.158%	22.04
370	370000	647	0.3235	0.162%	21.46
360	360000	668	0.334	0.167%	20.88

Grafik Modulus Elastisitas BB 20 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	26,73	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	30647,07	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24300,07	MPa

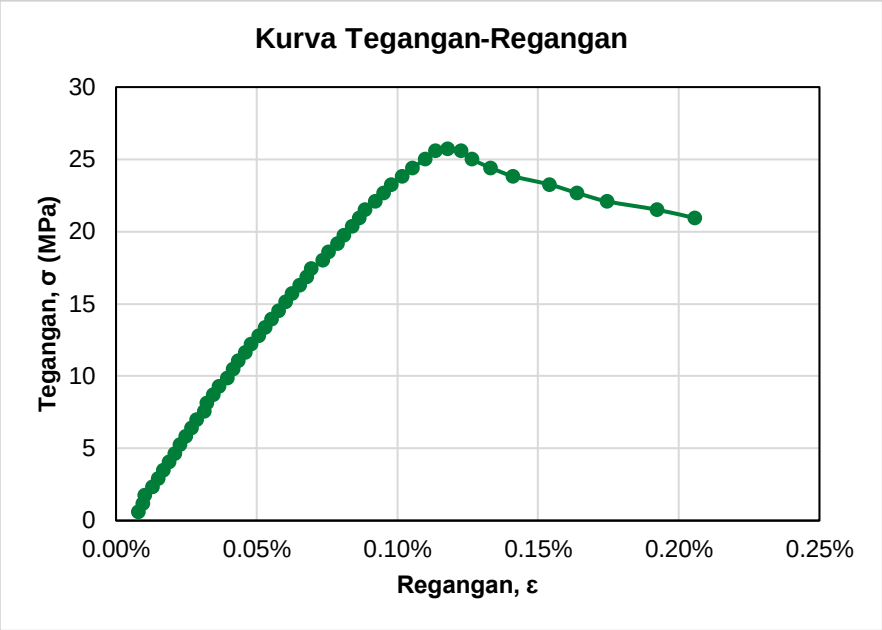
Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 1

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	9	0.0045	0.002%	1.16
30	30000	12	0.006	0.003%	1.74
40	40000	23	0.0115	0.006%	2.33
50	50000	31	0.0155	0.008%	2.91
60	60000	38	0.019	0.010%	3.49
70	70000	46	0.023	0.012%	4.07
80	80000	54	0.027	0.014%	4.65
90	90000	62	0.031	0.016%	5.23
100	100000	70	0.035	0.018%	5.81
110	110000	78	0.039	0.020%	6.39
120	120000	85	0.0425	0.021%	6.98
130	130000	96	0.048	0.024%	7.56
140	140000	100	0.05	0.025%	8.14
150	150000	109	0.0545	0.027%	8.72
160	160000	117	0.0585	0.029%	9.30
170	170000	129	0.0645	0.032%	9.88
180	180000	137	0.0685	0.034%	10.46
190	190000	145	0.0725	0.036%	11.04
200	200000	155	0.0775	0.039%	11.63
210	210000	163	0.0815	0.041%	12.21
220	220000	174	0.087	0.044%	12.79
230	230000	183	0.0915	0.046%	13.37
240	240000	192	0.096	0.048%	13.95
250	250000	202	0.101	0.051%	14.53
260	260000	212	0.106	0.053%	15.11

270	270000	221	0.1105	0.055%	15.69
280	280000	232	0.116	0.058%	16.28
290	290000	242	0.121	0.061%	16.86
300	300000	248	0.124	0.062%	17.44
310	310000	265	0.1325	0.066%	18.02
320	320000	273	0.1365	0.068%	18.60
330	330000	286	0.143	0.072%	19.18
340	340000	295	0.1475	0.074%	19.76
350	350000	307	0.1535	0.077%	20.34
360	360000	317	0.1585	0.079%	20.93
370	370000	325	0.1625	0.081%	21.51
380	380000	339	0.1695	0.085%	22.09
390	390000	351	0.1755	0.088%	22.67
400	400000	362	0.181	0.091%	23.25
410	410000	378	0.189	0.095%	23.83
420	420000	392	0.196	0.098%	24.41
430	430000	410	0.205	0.103%	25.00
440	440000	425	0.2125	0.106%	25.58
442.8	442800	442	0.221	0.111%	25.74
440	440000	461	0.2305	0.115%	25.58
430	430000	477	0.2385	0.119%	25.00
420	420000	503	0.2515	0.126%	24.41
410	410000	535	0.2675	0.134%	23.83
400	400000	587	0.2935	0.147%	23.25
390	390000	626	0.313	0.157%	22.67
380	380000	669	0.3345	0.167%	22.09
370	370000	740	0.37	0.185%	21.51
360	360000	794	0.397	0.199%	20.93

Grafik Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 1, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	25,74	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	25136,51	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	23844,87	MPa

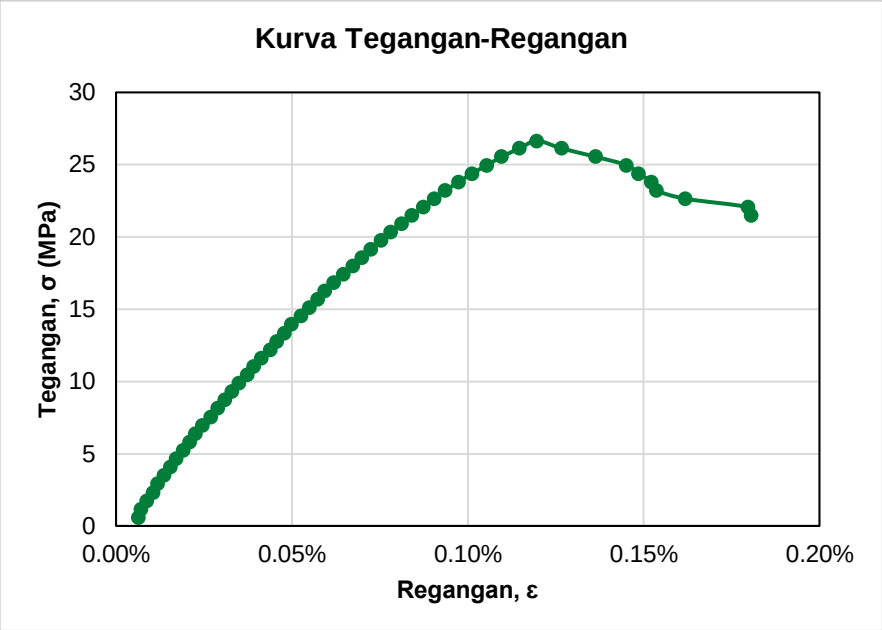
Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 2

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0.0015	0.001%	0.58
20	20000	6	0.003	0.002%	1.16
30	30000	12	0.006	0.003%	1.74
40	40000	20	0.01	0.005%	2.32
50	50000	25	0.0125	0.006%	2.90
60	60000	32	0.016	0.008%	3.48
70	70000	39	0.0195	0.010%	4.06
80	80000	46	0.023	0.012%	4.64
90	90000	54	0.027	0.014%	5.22
100	100000	61	0.0305	0.015%	5.80
110	110000	68	0.034	0.017%	6.39
120	120000	76	0.038	0.019%	6.97
130	130000	85	0.0425	0.021%	7.55
140	140000	93	0.0465	0.023%	8.13
150	150000	101	0.0505	0.025%	8.71
160	160000	109	0.0545	0.027%	9.29
170	170000	117	0.0585	0.029%	9.87
180	180000	127	0.0635	0.032%	10.45
190	190000	134	0.067	0.034%	11.03
200	200000	143	0.0715	0.036%	11.61
210	210000	153	0.0765	0.038%	12.19
220	220000	160	0.08	0.040%	12.77
230	230000	169	0.0845	0.042%	13.35
240	240000	177	0.0885	0.044%	13.93
250	250000	188	0.094	0.047%	14.51
260	260000	197	0.0985	0.049%	15.09

270	270000	207	0.1035	0.052%	15.67
280	280000	215	0.1075	0.054%	16.25
290	290000	225	0.1125	0.056%	16.83
300	300000	236	0.118	0.059%	17.41
310	310000	247	0.1235	0.062%	18.00
320	320000	257	0.1285	0.064%	18.58
330	330000	267	0.1335	0.067%	19.16
340	340000	279	0.1395	0.070%	19.74
350	350000	290	0.145	0.073%	20.32
360	360000	302	0.151	0.076%	20.90
370	370000	314	0.157	0.079%	21.48
380	380000	327	0.1635	0.082%	22.06
390	390000	339	0.1695	0.085%	22.64
400	400000	352	0.176	0.088%	23.22
410	410000	367	0.1835	0.092%	23.80
420	420000	382	0.191	0.096%	24.38
430	430000	399	0.1995	0.100%	24.96
440	440000	416	0.208	0.104%	25.54
450	450000	436	0.218	0.109%	26.12
459	459000	456	0.228	0.114%	26.64
450	450000	484	0.242	0.121%	26.12
440	440000	523	0.2615	0.131%	25.54
430	430000	558	0.279	0.140%	24.96
420	420000	572	0.286	0.143%	24.38
410	410000	586	0.293	0.147%	23.80
400	400000	592	0.296	0.148%	23.22
390	390000	625	0.3125	0.156%	22.64
380	380000	696	0.348	0.174%	22.06
370	370000	700	0.35	0.175%	21.48

Grafik Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 2, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	26,64	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	28145,31	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24260,75	MPa

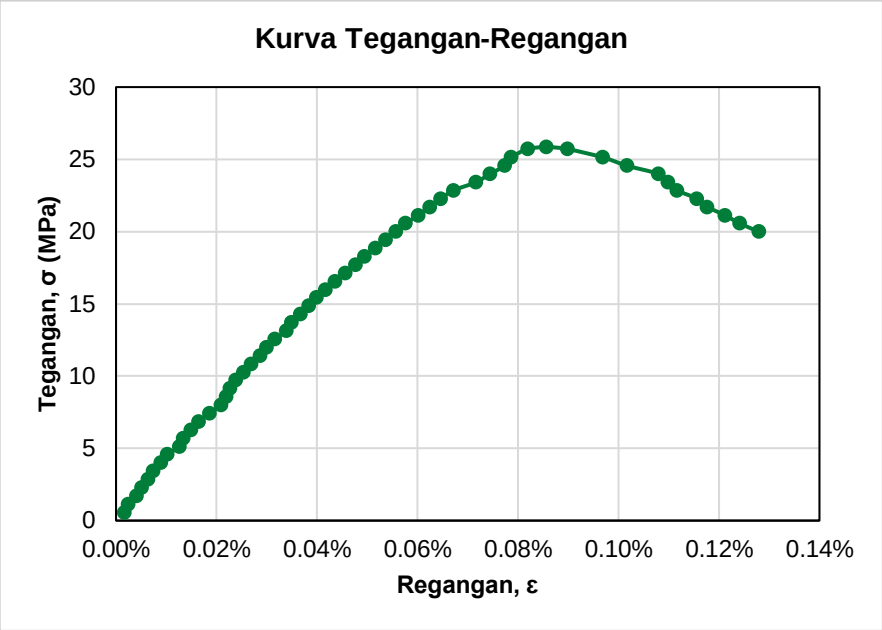
Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 3

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.57
20	20000	5	0.0025	0.001%	1.14
30	30000	12	0.006	0.003%	1.71
40	40000	16	0.008	0.004%	2.28
50	50000	21	0.0105	0.005%	2.86
60	60000	25	0.0125	0.006%	3.43
70	70000	31	0.0155	0.008%	4.00
80	80000	36	0.018	0.009%	4.57
90	90000	46	0.023	0.012%	5.14
100	100000	49	0.0245	0.012%	5.71
110	110000	55	0.0275	0.014%	6.28
120	120000	61	0.0305	0.015%	6.85
130	130000	70	0.035	0.018%	7.43
140	140000	79	0.0395	0.020%	8.00
150	150000	83	0.0415	0.021%	8.57
160	160000	86	0.043	0.022%	9.14
170	170000	91	0.0455	0.023%	9.71
180	180000	97	0.0485	0.024%	10.28
190	190000	103	0.0515	0.026%	10.85
200	200000	110	0.055	0.028%	11.42
210	210000	115	0.0575	0.029%	12.00
220	220000	122	0.061	0.031%	12.57
230	230000	131	0.0655	0.033%	13.14
240	240000	135	0.0675	0.034%	13.71
250	250000	142	0.071	0.036%	14.28
260	260000	149	0.0745	0.037%	14.85

270	270000	155	0.0775	0.039%	15.42
280	280000	162	0.081	0.041%	15.99
290	290000	170	0.085	0.043%	16.56
300	300000	178	0.089	0.045%	17.14
310	310000	186	0.093	0.047%	17.71
320	320000	193	0.0965	0.048%	18.28
330	330000	202	0.101	0.051%	18.85
340	340000	210	0.105	0.053%	19.42
350	350000	218	0.109	0.055%	19.99
360	360000	226	0.113	0.057%	20.56
370	370000	236	0.118	0.059%	21.13
380	380000	245	0.1225	0.061%	21.71
390	390000	254	0.127	0.064%	22.28
400	400000	264	0.132	0.066%	22.85
410	410000	282	0.141	0.071%	23.42
420	420000	293	0.1465	0.073%	23.99
430	430000	305	0.1525	0.076%	24.56
440	440000	310	0.155	0.078%	25.13
450	450000	323	0.1615	0.081%	25.70
452.5	452500	338	0.169	0.085%	25.85
450	450000	355	0.1775	0.089%	25.70
440	440000	383	0.1915	0.096%	25.13
430	430000	402	0.201	0.101%	24.56
420	420000	427	0.2135	0.107%	23.99
410	410000	435	0.2175	0.109%	23.42
400	400000	442	0.221	0.111%	22.85
390	390000	458	0.229	0.115%	22.28
380	380000	466	0.233	0.117%	21.71
370	370000	480	0.24	0.120%	21.13
360	360000	492	0.246	0.123%	20.56
350	350000	507	0.2535	0.127%	19.99

Grafik Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 3, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	25,85	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	40320,21	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	23894,75	MPa

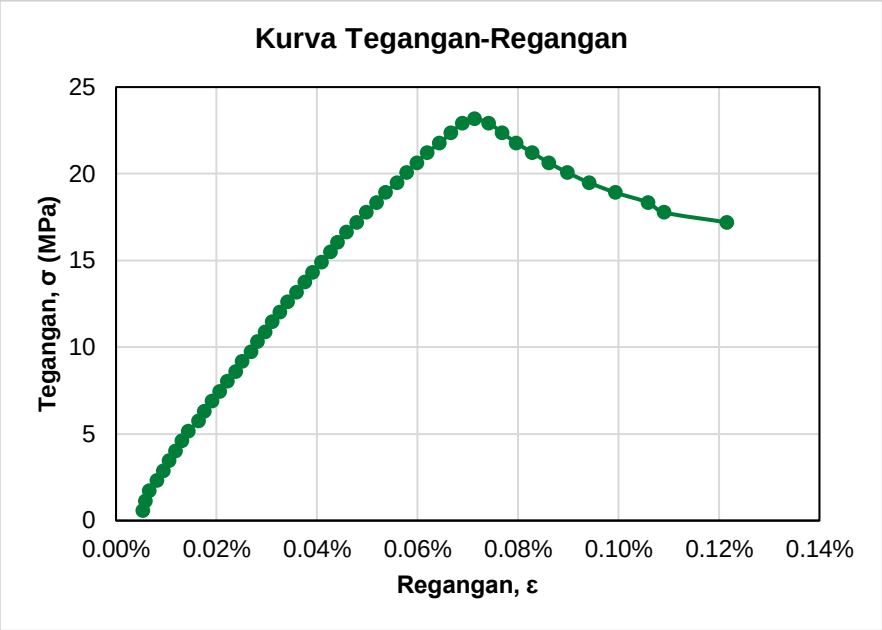
Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 4

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	0	0	0.000%	0.57
20	20000	2	0.001	0.001%	1.15
30	30000	5	0.0025	0.001%	1.72
40	40000	11	0.0055	0.003%	2.29
50	50000	16	0.008	0.004%	2.87
60	60000	21	0.0105	0.005%	3.44
70	70000	26	0.013	0.007%	4.01
80	80000	31	0.0155	0.008%	4.58
90	90000	36	0.018	0.009%	5.16
100	100000	44	0.022	0.011%	5.73
110	110000	49	0.0245	0.012%	6.30
120	120000	55	0.0275	0.014%	6.88
130	130000	61	0.0305	0.015%	7.45
140	140000	67	0.0335	0.017%	8.02
150	150000	74	0.037	0.019%	8.60
160	160000	79	0.0395	0.020%	9.17
170	170000	86	0.043	0.022%	9.74
180	180000	91	0.0455	0.023%	10.32
190	190000	97	0.0485	0.024%	10.89
200	200000	103	0.0515	0.026%	11.46
210	210000	109	0.0545	0.027%	12.04
220	220000	115	0.0575	0.029%	12.61
230	230000	122	0.061	0.031%	13.18
240	240000	129	0.0645	0.032%	13.75
250	250000	135	0.0675	0.034%	14.33
260	260000	142	0.071	0.036%	14.90

270	270000	149	0.0745	0.037%	15.47
280	280000	155	0.0775	0.039%	16.05
290	290000	162	0.081	0.041%	16.62
300	300000	170	0.085	0.043%	17.19
310	310000	178	0.089	0.045%	17.77
320	320000	186	0.093	0.047%	18.34
330	330000	193	0.0965	0.048%	18.91
340	340000	202	0.101	0.051%	19.49
350	350000	210	0.105	0.053%	20.06
360	360000	218	0.109	0.055%	20.63
370	370000	226	0.113	0.057%	21.21
380	380000	236	0.118	0.059%	21.78
390	390000	245	0.1225	0.061%	22.35
400	400000	254	0.127	0.064%	22.92
404	404000	264	0.132	0.066%	23.15
400	400000	275	0.1375	0.069%	22.92
390	390000	286	0.143	0.072%	22.35
380	380000	297	0.1485	0.074%	21.78
370	370000	310	0.155	0.078%	21.21
360	360000	323	0.1615	0.081%	20.63
350	350000	338	0.169	0.085%	20.06
340	340000	355	0.1775	0.089%	19.49
330	330000	376	0.188	0.094%	18.91
320	320000	402	0.201	0.101%	18.34
310	310000	415	0.2075	0.104%	17.77
300	300000	465	0.2325	0.116%	17.19

Grafik Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 4, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	23,15	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	36197,10	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	22615,78	MPa

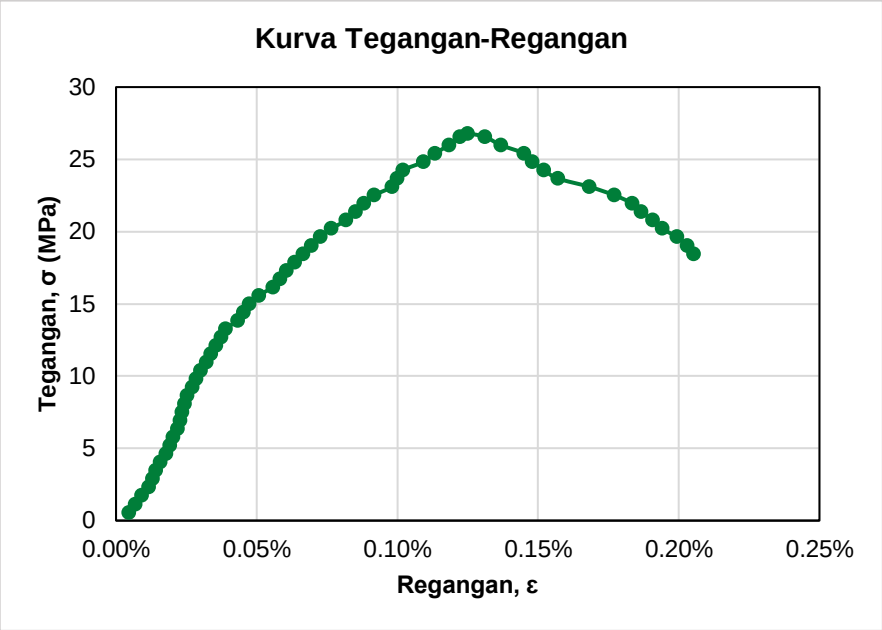
Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 5

Data Sampel	
Persentase Batu Bata Merah	25%
Umur Beton	28 Hari
Mutu Rencana	21 MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0.001	0.001%	0.58
20	20000	11	0.0055	0.003%	1.15
30	30000	20	0.01	0.005%	1.73
40	40000	30	0.015	0.008%	2.31
50	50000	36	0.018	0.009%	2.89
60	60000	40	0.02	0.010%	3.46
70	70000	47	0.0235	0.012%	4.04
80	80000	55	0.0275	0.014%	4.62
90	90000	60	0.03	0.015%	5.20
100	100000	65	0.0325	0.016%	5.77
110	110000	71	0.0355	0.018%	6.35
120	120000	75	0.0375	0.019%	6.93
130	130000	78	0.039	0.020%	7.51
140	140000	81	0.0405	0.020%	8.08
150	150000	85	0.0425	0.021%	8.66
160	160000	92	0.046	0.023%	9.24
170	170000	98	0.049	0.025%	9.82
180	180000	104	0.052	0.026%	10.39
190	190000	112	0.056	0.028%	10.97
200	200000	119	0.0595	0.030%	11.55
210	210000	126	0.063	0.032%	12.12
220	220000	133	0.0665	0.033%	12.70
230	230000	140	0.07	0.035%	13.28
240	240000	157	0.0785	0.039%	13.86
250	250000	165	0.0825	0.041%	14.43
260	260000	173	0.0865	0.043%	15.01

270	270000	187	0.0935	0.047%	15.59
280	280000	207	0.1035	0.052%	16.17
290	290000	217	0.1085	0.054%	16.74
300	300000	226	0.113	0.057%	17.32
310	310000	238	0.119	0.060%	17.90
320	320000	250	0.125	0.063%	18.48
330	330000	262	0.131	0.066%	19.05
340	340000	274	0.137	0.069%	19.63
350	350000	290	0.145	0.073%	20.21
360	360000	311	0.1555	0.078%	20.79
370	370000	324	0.162	0.081%	21.36
380	380000	336	0.168	0.084%	21.94
390	390000	351	0.1755	0.088%	22.52
400	400000	376	0.188	0.094%	23.09
410	410000	384	0.192	0.096%	23.67
420	420000	392	0.196	0.098%	24.25
430	430000	421	0.2105	0.105%	24.83
440	440000	437	0.2185	0.109%	25.40
450	450000	457	0.2285	0.114%	25.98
460	460000	473	0.2365	0.118%	26.56
463.6	463600	484	0.242	0.121%	26.77
460	460000	508	0.254	0.127%	26.56
450	450000	531	0.2655	0.133%	25.98
440	440000	564	0.282	0.141%	25.40
430	430000	576	0.288	0.144%	24.83
420	420000	592	0.296	0.148%	24.25
410	410000	612	0.306	0.153%	23.67
400	400000	657	0.3285	0.164%	23.09
390	390000	692	0.346	0.173%	22.52
380	380000	718	0.359	0.180%	21.94
370	370000	730	0.365	0.183%	21.36
360	360000	747	0.3735	0.187%	20.79
350	350000	760	0.38	0.190%	20.21
340	340000	781	0.3905	0.195%	19.63
330	330000	796	0.398	0.199%	19.05
320	320000	805	0.4025	0.201%	18.48

Grafik Modulus Elastisitas BB 25 Sampel 5, 28 Hari



Kuat Desak, *F'c*	26,77	MPa
Modulus Elastisitas Pengujian, E_{uji}	34214,75	MPa
Modulus Elastisitas Teoritis, E_{Teo}	24316,34	MPa

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BN	28 Hari	1	30,59	41127,79	25994,14	31434,34	27065,92
		2	33,64	44139,34	27261,12		
		3	33,96	28541,03	27388,59		
		4	32,82	27901,85	26927,45		
		5	34,88	34823,65	27758,31		
BB 5%	28 Hari	1	29,68	27381,05	25605,26	36961,79	24654,14
		2	20,97	25834,54	21520,84		
		3	29,83	33148,87	25671,99		
		4	31,84	47621,66	26519,85		
		5	25,97	35150,96	23952,76		

Ket:

BN = Beton Normal

BB 5% = Beton Variasi Campuran 5%

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BB 10%	28 Hari	1	32,70	44020,04	26874,24	34873,12	25354,77
		2	29,42	31855,12	25491,69		
		3	26,99	31484,42	24415,34		
		4	30,06	34465,56	25769,95		
		5	26,56	31064,63	24222,22		
BB 15%	28 Hari	1	31,17	37755,77	26420,04	37187,25	25066,45
		2	30,84	47728,04	26099,24		
		3	28,59	32948,41	25129,70		
		4	27,17	23094,96	24496,63		
		5	24,72	28521,93	23366,66		

Ket:

BB 10% = Beton Variasi Campuran 10%

BB 15% = Beton Variasi Campuran 15%

Kode Sampel	Umur Beton	No. Sampel	*F'c* (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)		Modulus Elastisitas Rata-rata (MPa)	
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis (4700 x $\sqrt{f'c}$)
BB 20%	28 Hari	1	28,55	42794,29	25111,11	33468,32	24568,45
		2	23,94	27921,16	22994,82		
		3	27,59	32830,06	24689,44		
		4	30,01	31667,57	25746,81		
		5	26,73	30647,07	24300,07		
BB 25%	28 Hari	1	25.74	25136,51	23844,87	34614,47	23786,50
		2	26,64	28145,31	24260,75		
		3	25,85	40320,21	23894,75		
		4	23,15	36197,10	22615,78		
		5	26,77	34214,75	24316,34		

Ket:

BB 20% = Beton Variasi Campuran 20%

BB 25% = Beton Variasi Campuran 25%