

TUGAS AKHIR

ANALISIS METODE RAWATAN BETON MENGUNAKAN CAMPURAN SERBUK KAPUR TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON (*ANALYSIS OF CONCRETE CURING METHODS USING LIME POWDER MIXTURE ON COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY, AND FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE*)

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



**Reza Risnanda Suyudi Putra
19511161**

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

PROPOSAL TUGAS AKHIR

**ANALISIS METODE RAWATAN BETON
MENGUNAKAN CAMPURAN SERBUK KAPUR
TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS
ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON
(*ANALYSIS OF CONCRETE CURING METHODS
USING LIME POWDER MIXTURE ON COMPRESSIVE
STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY, AND
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE*)**

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



Reza Risnanda Suyudi Putra
19511161

Disetujui:

Pembimbing

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

Tanggal : 19 06 24.

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISIS METODE RAWATAN BETON
MENGUNAKAN CAMPURAN SERBUK KAPUR
TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS
ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON
(ANALYSIS OF CONCRETE CURING METHODS
USING LIME POWDER MIXTURE ON COMPRESSIVE
STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY, AND
FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)

Disusun Oleh

Reza Risnanda Suyudi Putra

19511161

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan

Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 31 Mei 2024

Oleh Dewan Penguji :

Pembimbing

19 06 24

Penguji I

Penguji II

19 Juni 2024

Astriaana Hardawati, S.T., M.Eng. Elvis Saputra S.T., M.T. Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U.

NIK : 165111301

NIK : 205111302

NIK : 845110101

Mengesahkan,

Ketua Prodi Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Yonalia Shantafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.

NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 13 Mei 2024

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem, the number '10000', and the text 'METERAI TEMPEL' and 'DEKSTALX1N5241504'.

Reza Ristanda Suyudi Putra

(19511161)

ABSTRAK

Semakin banyaknya permintaan akibat semen dari perkembangan pembangunan konstruksi yang menggunakan material beton semakin meningkat, mengakibatkan semakin lama harga semen akan mengalami kenaikan. saat ini banyak penelitian mengenai material yang mungkin menggantikan semen. secara kualitas, nilai kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu, material yang digunakan dan metode perawatan beton tersebut. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen dan juga pengaruh dari rawatan beton. metode yang digunakan pada mix design berdasarkan SNI 03-2834-2000, metode yang digunakan untuk pengujian kuat tekan berdasarkan SNI 1974-2011, metode yang digunakan untuk pengujian kuat lentur berdasarkan SNI 4154-2014, dan metode yang digunakan untuk modulus elastisitas beton SNI 4169-1966 dan ASTM C 469-1994. Adapun proporsi yang digunakan dalam substitusi ini menggunakan serbuk kapur dengan persentase 5%, 10%, dan 15%. untuk metode perawatan beton digunakan dua metode yaitu, metode perendaman dan metode ditutup karung goni. Secara umum hasil penelitian menunjukkan metode perendaman memberikan nilai hasil uji kuat tekan lebih besar di semua variasi dibanding metode ditutup karung goni. nilai kuat tekan optimal pada metode perendaman didapat di variasi 10% sebesar 31,77 MPa dan untuk metode ditutup karung goni didapat di variasi 15% sebesar 25,80 MPa, pada metode perawatan perendaman nilai modulus elastisitas optimal menggunakan persamaan ASTM C-469 didapatkan pada variasi 10% sebesar 30327,44. Pada metode perawatan perendaman nilai modulus elastisitas optimal menggunakan persamaan ASTM C-469 didapatkan pada variasi 15% sebesar 27376,81, dan metode perawatan perendaman nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 10% sebesar 5,410 MPa. Pada metode perawatan ditutup karung goni nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 15% sebesar 3,928.

Kata Kunci : Kuat Tekan, Kuat Lentur, Serbuk Kapur, Modulus Elastisitas, Perawatan.

ABSTRACT

The increasing demand for cement due to the development of construction using concrete materials is causing cement prices to rise over time. Currently, there is much research on materials that might replace cement. In terms of quality, the compressive strength of concrete is influenced by several factors, namely the materials used and the concrete curing methods. Therefore, this research was conducted to determine the effect of mixing lime powder as a cement substitute and also the effect of concrete curing. The method used for the mix design is based on SNI 03-2834-2000, the method used for compressive strength testing is based on SNI 1974-2011, the method used for flexural strength testing is based on SNI 4154-2014, and the method used for concrete modulus of elasticity is based on SNI 4169-1966 and ASTM C 469-1994. The proportions used in this substitution involve lime powder at percentages of 5%, 10%, and 15%. Two curing methods were used for concrete: the soaking method and the burlap sack covering method. Generally, the research results show that the soaking method provides higher compressive strength test results in all variations compared to the burlap sack covering method. The optimal compressive strength value in the soaking method was obtained at the 10% variation with 31.77 MPa, and for the burlap sack covering method, it was obtained at the 15% variation with 25.80 MPa. In the soaking method, the optimal modulus of elasticity using the ASTM C-469 equation was obtained at the 10% variation with 30,327.44 MPa. In the soaking method, the optimal modulus of elasticity using the ASTM C-469 equation was obtained at the 15% variation with 27,376.81 MPa, and in the soaking method, the optimal flexural strength was obtained at the 10% variation with 5.410 MPa. In the burlap sack covering method, the optimal flexural strength was obtained at the 15% variation with 3.928 MPa.

Keywords : Compressive Strength, Curing Methods, Flexural Strength Lime Powder, Modulus of Elasticity

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, anugerah dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

ini sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam tidak lupa di haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, dan para sahabatnya yang telah menuntun ke jalan yang penuh berkah ini.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan meraih gelar sarjana Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak memperoleh bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, baik berupa saran, kritik maupun bantuan lainnya. Maka dari itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. IPM. selaku Ketua Prodi Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. dan Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.

4. Ibu Noneng Yulia, orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan baik secara material ataupun spritual hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Lia Puspa Anggita dan Natasya Fadlina selaku saudara kandung penulis yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh keluarga besar, yang telah memberikan dukungan beserta doa.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu segala kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, maupun peneliti lain di masa yang akan datang. Demikianlah yang dapat disampaikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR Error! Bookmark not defined.	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Beton	5
2.2. Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Pengaruh Serbuk Batu Kapur terhadap uji Tekan Beton.....	5
2.2.2 Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal.....	5
2.2.3 Analisis Kuat Tekan Beton K175 dengan campuran serbuk kapur dan serbuk batu bata untuk penghematan semen sebagai bahan pengikat dasar.....	6
2.2.4 Analisis Pemanfaatan Limbah B3 Batubara dan Gamping Serbuk Sebagai Bahan Tambah Semen Terhadap Kekuatan Beton.	6
2.2.5 Analisis Uji Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi Kapur dan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Semen.	7

2.3. Perbedaan peneliti terdahulu dengan penulis.....	7
BAB III LANDASAN TEORI.....	11
3.1. Beton	11
3.2. Bahan Penyusun Beton	12
3.2.1 Air	12
3.2.2 Semen.....	12
3.2.3 Agregat.....	13
3.3. <i>Curing</i>	15
3.4. Bahan Tambah	16
3.4.1 Serbuk Kapur	16
3.5. Perencanaan Campuran Beton	17
3.6. Kuat Tekan.....	26
3.7. Kuat Lentur	27
3.8. Modulus Elastisitas	28
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	31
4.1. Umum	31
4.2. Variabel Penelitian.....	31
4.3. Bahan yang Digunakan	31
4.4. Alat yang Digunakan	32
4.5. Benda Uji	34
4.6. Pelaksanaan Penelitian.....	39
4.6.1 Persiapan.....	39
4.6.2 Pengujian agregat.....	40
4.6.3 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	40
4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Beda Uji Trial usia 7 hari.	40
4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Sampel	40
4.6.6 Pengujian Sampel	42
4.6.7 Olah data	44
4.6.8 Analisis Pengujian	44
4.6.9 Pembahasan	44
4.6.10 Kesimpulan dan Saran	44

4.6.11 Kerangka Konsep Penelitian.....	45
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
5.1. Tinjauan Umum	48
5.2. Hasil Pemeriksaan Material Penyusun Beton	48
5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	48
5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	56
5.3. Perencanaan Campuran (<i>mix design</i>).....	62
5.4. Hasil Pengujian Slump.....	73
5.5. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton.....	74
5.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton.....	80
5.7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	86
5.8. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	104
6.1. Kesimpulan	104
6.2. Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN.....	108

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	8
Tabel 3.1 Gradasi Agregat Kasar	14
Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Halus	15
Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar	17
Tabel 3. 4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan $F_{as} = 0,5$	19
Tabel 3.5 Penetapan Nilai <i>Slump</i> Menurut Pemakaian Beton	20
Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas Kg/m ³	21
Tabel 3.7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan f_{as} Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus	22
Tabel 3.8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton	26
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji Perendaman	34
Lanjutan Tabel 4. 2 Rincian benda uji	35
Tabel 4. 3 Rincian Benda Uji Penyelimutan Karung Goni	37
Tabel 5. 1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus	49
Tabel 5. 2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1	51
Tabel 5. 3 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 2	51
Tabel 5. 4 Gradasi agregat halus	52
Tabel 5. 5 Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus	54
Tabel 5. 6 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus	54
Tabel 5. 7 Hasil pengujian analisa saringan no.200	55
Tabel 5. 8 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar	57
Tabel 5. 9 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 1	58
Tabel 5. 10 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 2	59
Tabel 5. 11 Gradasi agregat kasar	60
Tabel 5. 12 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar	62
Tabel 5. 13 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar	62
Tabel 5. 14 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan $f_{as} 0,5$ dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia	63

Tabel 5. 15 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	65
Tabel 5. 16 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	66
Tabel 5. 17 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton	70
Tabel 5. 18 Proporsi campuran beton serbuk kapur sebagai substitusi semen	73
Tabel 5. 19 Nilai <i>Slump</i> Beton	73
Tabel 5. 20 Rekapitulasi berat volume beton	75
Tabel 5. 21 Persentase selisih nilai berat volume metode perendaman	78
Tabel 5. 22 Persentase selisih nilai berat volume metode ditutup karung goni	78
Tabel 5. 23 Persentase selisih nilai berat volume metode perendaman dengan ditutup karung goni	79
Tabel 5. 24 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton	81
Tabel 5. 25 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode perendaman	85
Tabel 5. 26 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode ditutup karung goni	85
Tabel 5. 27 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode perendaman dengan ditutup karung goni	86
Tabel 5. 28 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode perendaman	88
Tabel 5. 29 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode ditutup karung goni	90
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan Perendaman	94
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan ditutup karung goni	95
Tabel 5. 32 Persentase modulus elastisitas beton metode perendaman	97
Tabel 5. 33 Persentase modulus elastisitas beton metode ditutup karung goni	98
Tabel 5. 34 Persentase modulus elastisitas metode perendaman dengan ditutup karung goni	98
Tabel 5. 35 Rekapitulasi hasil perhitungan kuat lentur beton	100
Tabel 5. 36 Persentase nilai kuat lentur untuk metode rawatan perendaman	102
Tabel 5. 37 Persentase nilai kuat lentur untuk metode rawatan karung goni	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Serbuk kapur tohor	17
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen.....	20
Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm	23
Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm	23
Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	25
Gambar 3. 6 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton	27
Gambar 3. 7 Sketsa pengujian kuat lentur beton.....	28
Gambar 3. 8 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton	29
Gambar 3. 9 Sketsa Uji Modulus Elastisitas Beton	29
Gambar 3. 10 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton	30
Gambar 4. 1 Perawatan Beton Dengan Metode Perendaman	41
Gambar 4. 2 Perawatan Beton Dengan Metode Penyelesaian Karung Goni	42
Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian	46
Lanjutan Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 5. 1 Kurva gradasi agregat halus daerah 4 sampel 1	52
Gambar 5. 2 Kurva gradasi agregat halus daerah 4 sampel 2	53
Gambar 5. 3 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm sampel 1.....	60
Gambar 5. 4 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm sampel 2.....	60
Gambar 5. 5 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	65
Gambar 5. 6 Grafik persen agregat halus terhadap kadar total yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	68
Gambar 5. 7 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan	69
Gambar 5. 8 Hubungan <i>Slump</i> dengan Persentase Serbuk Kapur	73
Gambar 5. 9 Hubungan Antara Berat Volume dengan metode rawatan dan Variasi	77

Gambar 5. 10 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap perawatan dan varian	84
Gambar 5. 11 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan perendaman	96
Gambar 5. 12 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan karung goni berdasarkan	96
Gambar 5. 13 Grafik nilai kuat tekan beton pada setiap metode rawatan dan variasi	101
Gambar L-8. 1 Proses perawatan ditutup karung goni.....	253
Gambar L-8. 2 Proses perawatan perendaman.....	253
Gambar L-8. 3 Proses capping beton	254
Gambar L-8. 4 Kerusakan benda uji silinder setelah pengujian	254
Gambar L-8. 5 Proses pemberian batas pada benda uji balok	254
Gambar L-8. 6 Kerusakan benda uji balok setelah pengujian	255
Gambar L-9. 1 Saringan Agregat	256
Gambar L-9. 2 Neraca Ohaus	256
Gambar L-9. 3 Piknometer.....	256
Gambar L-9. 4 Oven	257
Gambar L-9. 5 Mesin pengguncang Agregat halus	257
Gambar L-9. 6 Compression Testing Machine	258
Gambar L-9. 7 Dial gauge.....	258
Gambar L-9. 8 Universal testing machine	259
Gambar L-9. 9 Cetakan beton	259
Gambar L-9. 10 Ember	260
Gambar L-9. 11 Alat uji <i>slump</i>	260
Gambar L-9. 12 Timbangan digital.....	261
Gambar L-9. 13 <i>Concrete mixer</i>	261
Gambar L-9. 14 Alat capping	262
Gambar L-9. 15 Pan	262

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
MPa	= Megapascal
F_{as}	= Faktor air semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Sd	= Standar Deviasi
M	= Nilai Tambah
Sr	= Deviasi standar rencana
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rencana
W	= Jumlah air yang dibutuhkan
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
c	= Jumlah Semen
w	= Kadar air bebas
SSD	= <i>Saturated Surface</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Beton adalah salah satu material yang umum digunakan dalam proyek pembangunan, terutama pada kegiatan konstruksi. Hampir setiap aspek kehidupan sehari-hari tidak terlepas dari material beton, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Sebagai contoh, jalan, jembatan, *break water* (pemecah gelombang), dam, gedung bertingkat, pelabuhan, dan lain-lainnya. Beton memiliki kelebihan di antaranya adalah harganya yang relatif murah. Hal ini disebabkan karena ketersediaan material dan bahan penyusun beton yang mudah di dapatkan di alam bebas. Beton juga memiliki daya tahan yang kuat terhadap tekanan, sehingga sering digunakan sebagai struktur bangunan yang membutuhkan kekuatan tinggi.

Selain itu, beton yang baru dicampur mudah untuk dipindahkan, dicetak, dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan, oleh karena itu beton sangat cocok untuk digunakan dalam pembangunan (Tjokrodinulyo, 2007). Beton memiliki material penyusun antara lain yaitu air, kerikil, pasir, semen, serta dengan atau tanpa bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Akibat dari percampuran tersebut, menghasilkan adanya reaksi kimia yang umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan serta peningkatan kekuatan.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah proses perawatan atau *curing*. Untuk menghindari atau mengurangi atau mencegah kehilangan atau penguapan air dari dalam beton yang ternyata masih diperlukan untuk proses hidrasi. Jika terjadi kekurangan/kehilangan air maka proses hidrasi akan terganggu/terhenti dan mengakibatkan menurunnya perkembangan kekuatan beton. Metode perawatan yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perendaman dan penyelimutan benda uji menggunakan karung goni sebagai perbandingan untuk mencari metode yang paling optimal.

Kegiatan konstruksi dan modernisasi masyarakat sering bergantung terhadap perkembangan dari teknologi beton. Dari waktu-kewaktu semakin terasa peranan penting dari beton di dalam kehidupan masyarakat sehari-hari terlebih dalam pembangunan di masa sekarang dan masa yang akan datang. Karena semakin meningkatnya penggunaan beton dalam pembangunan suatu struktur yang tidak terbatas maka dibutuhkan inovasi pembuatan beton yang efisien dan ekonomis. Peningkatan pembuatan beton dapat ditingkatkan pada kualitas yang baik, sedangkan biaya dari bahan pembuatan beton dapat ditekan sehemat mungkin terutama pada bahan pengikat dasar (semen) (Da Cruz & Supriatna, 2020).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mulyati dan Arkis (2020) menyebutkan bahwa metode perawatan beton berpengaruh terhadap mutu beton itu sendiri. Sedangkan, pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rochmah dan Sarya (2019) menyebutkan bahwa beton menggunakan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen dapat meningkatkan mutu beton dengan persentase tertentu.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, pada penelitian ini mengambil tema mengenai serbuk kapur dan metode perawatan beton. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton. Diharapkan dengan adanya penambahan serbuk kapur dan metode perawatan ini mendapatkan hasil yang optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh rawatan beton terhadap beton dengan campuran serbuk kapur terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton pada umur 28 hari?
2. Berapa nilai kuat tekan optimum pengaruh rawatan beton dengan campuran serbuk kapur pada variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh rawatan beton dengan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen terhadap nilai kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastisitas pada usia 28 hari.
2. Mengetahui nilai optimum kuat tekan beton, kuat lentur, dan modulus elastisitas dari pengaruh rawatan beton dengan campuran serbuk kapur pada variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari penggunaan semen.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi dibidang bahan bangunan, khususnya pembuatan beton dengan penggunaan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen.
2. Menjadikan acuan terhadap pengaplikasian beton dengan mensubstitusi semen oleh serbuk kapur dalam industri konstruksi nasional dengan dipengaruhi rawatan.
3. Sebagai acuan bagi peneliti selanjutnya mengenai pengaruh rawatan beton dengan campuran serbuk kapur terhadap nilai kuat tekan, kuat belah, dan modulus elastisitas

1.5. Batasan Penelitian

Dari rumusan masalah di atas, pengujian ini dibatasi pada:

- a. Mutu beton rencana adalah 25 MPa.
- b. Serbuk kapur sebagai bahan campuran dengan perbandingan persentase 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.
- c. Metode *Mix Design* menggunakan SNI 2834-2000.
- d. Metode rawatan beton yang digunakan yaitu direndam air dan ditutup karung goni selama 28 hari.
- e. Semen yang digunakan adalah semen PCC tipe I merk Tigaroda.
- f. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm.
- g. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo.
- h. Agregat halus yang digunakan menggunakan gradasi 2.

- i. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo, Kulon Progo.
- j. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- k. Benda uji berupa balok 40 x 10 x 10 cm untuk uji lentur dan silinder berdiameter 15 x 30 cm untuk uji tekan dan modulus elastisitas beton.
- l. Pengujian beton keras dilakukan pada umur 28 hari.
- m. Penelitian dilakukan hanya sebatas uji kuat tekan (SNI 1974-2011), uji kuat lentur (SNI 4154-2014), dan uji modulus elastisitas (SNI 4169-1966).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton merupakan suatu unsur bangunan yang terdiri dari agregat halus, agregat kasar, semen dan air. Dalam proses pembuatan beton dapat ditambahkan bahan tambahan sebagai bahan tambahan yang dapat memperlancar proses atau mempercepat waktu pengerasan beton sehingga mempersingkat waktu konstruksi. Menurut SNI 03-2847-2013, beton didefinisikan sebagai campuran semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk suatu massa padat.

2.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang membahas mengenai penggunaan bahan tambah serbuk kapur pada beton yaitu sebagai berikut.

2.2.1 Pengaruh Serbuk Batu Kapur terhadap uji Tekan Beton.

Menurut (Rochmah & Sarya, 2019) semakin banyaknya permintaan akan semen akibat dari pembangunan konstruksi yang menggunakan material beton semakin meningkat, mengakibatkan harga semen mengalami kenaikan. Sehingga dalam penelitian ini untuk meminimalisir pemakaian semen dalam campuran beton, penggunaan semen disubstitusikan dengan serbuk yang terbuat dari batu kapur. Dipilih batu kapur karena senyawa yang ada dalam batu kapur mirip dengan senyawa yang di kandung dalam semen. Adapun proporsi yang dipakai dalam substitusi ini menggunakan serbuk batu kapur dengan persentase mulai dari 0%, 10%, dan 15%.

2.2.2 Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal.

Menurut (Mulyati & Arkis, 2020) Perawatan (curing) beton merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan. Perawatan beton dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode sesuai dengan jenis dan kondisi elemen struktur yang akan dirawat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari beberapa metode

perawatan beton yang digunakan, dan untuk mengetahui metode perawatan beton yang baik.

2.2.3 Analisis Kuat Tekan Beton K175 dengan campuran serbuk kapur dan serbuk batu bata untuk penghematan semen sebagai bahan pengikat dasar.

Menurut (Da Cruz & Supriatna, 2020) sejauh ini penggunaan semen terutama semen portland (PCC) masih merupakan alternatif dalam bahan pengikat utama dalam pembuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa terhadap kuat tekan beton normal yang dibandingkan dengan kuat tekan beton yang dicampur dengan serbuk kapur dan serbuk batu bata, sebagai bahan pengikat lain selain semen yang dapat dicampur dengan bahan campuran dalam pembuatan beton. Pada prinsipnya pelaksanaan dari penelitian ini adalah membuat beton dengan mutu K-175 yang dibagi dalam dua jenis pembuatan yaitu beton normal dan beton dengan campuran 5% kapur dan serbuk batu bata, 10% kapur dan serbuk batu bata, 20% kapur dan serbuk batu bata, dan 30% kapur dan serbuk batu bata, di mana setiap campuran semen diganti dengan kapur sebesar 70% dari persen pembuatan campuran beton dan 30% dari serbuk batu bata. Dari pengujian kuat tekan beton yang dicampur dengan bahan campuran berupa kapur dan serbuk batu bata tersebut dapat maksimal atau optimum dari kuat tekan beton normal sehingga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan beton di kemudian hari.

2.2.4 Analisis Pemanfaatan Limbah B3 Batubara dan Gamping Serbuk Sebagai Bahan Tambah Semen Terhadap Kekuatan Beton.

Berdasarkan penelitian (Chusna et al., 2020), perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebanyak 497 pembangkit listrik merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat (Renstra Direktorat Ketenagalistrikan, 2015). Jika tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik, limbah B3 ini dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton yang optimal menggunakan limbah B3 batubara dan batu kapur sebagai bahan tambahan semen. Pengujian yang digunakan adalah uji kuat tekan. Sampel berbentuk tabung berumur 28 hari. Sampel A merupakan sampel indikator yang komponennya berupa semen, pasir, dan kerikil dengan perbandingan 1:2:3. Sampel B terbuat dari semen batu kapur, sampel C terbuat dari semen bottom ash, dan sampel D terbuat dari semen fly ash. Proporsi bahan tambahan semen pada

masing-masing sampel adalah 5%, 15% dan 18% terhadap volume semen pada Sampel A. Tingkat penggunaan bubuk kapur sebagai bahan tambahan semen adalah 5-15%, sedangkan tingkat penggunaan fly ash yang optimal adalah 15-18%, dan tingkat penggunaan bottom ash yang optimal hanya sebesar 5%.

2.2.5 Analisis Uji Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi Kapur dan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Semen.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Adya Taurano et al., 2021) penggunaan beton dalam berbagai proyek konstruksi terus meningkat setiap tahunnya, sehingga harga bahan pembentuk beton khususnya semen mengalami peningkatan yang cukup besar. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi kebutuhan semen dengan menambahkan bahan aditif yang mengandung silika, seperti penggunaan kapur dan abu sekam padi (RHA) sebagai pengganti semen. Semen tipe 1 (pc), pasir Muntilan dan kerikil Muntilan digunakan sebagai bahan pembuatan beton. Sedangkan abu sekam padi (RHA) diperoleh dari sisa pembakaran sekam padi pada proses pembuatan batu bata di wilayah Kalanganyar, sedangkan bahan batu kapur diperoleh dari sentra produksi kapur di wilayah Grobogan, Jawa Tengah. Dosis kapur dan abu sekam padi masing-masing sebesar 5%, 10%, dan 15%. Umur beton yang akan diuji kuat tekannya adalah 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari untuk dibandingkan dengan kuat tekan beton. beton biasa.

2.3. Perbedaan peneliti terdahulu dengan penulis

Berdasarkan jurnal peneliti terdahulu yang telah diuraikan oleh penulis, terdapat beberapa perbedaan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Rochmah N, Sarya G (2019)	Mulyati, Arkis Ziga (2020)	Da Cruz J, Supriatna Y (2020)	Ifa Aulia dkk(2020)	Galih Adya dkk (2021)	Penulis (2024)
Judul Penelitian	Pengaruh Serbuk Batu Kapur Terhadap Uji Tekan Beton	Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Analisis Kuat Tekan Beton K175 Dengan Campuran Serbuk Kapur dan Serbuk Batu Bata Untuk Penghematan Semen Sebagai Bahan Pengikat Dasar	Analaisis Pemanfaatan Limbah B3 Batubara dan Serbuk Gamping Sebagai Bahan Tambah Semen Terhadap Kekuatan Beton	Analisis Uji Kuat Tekan Beton Beton dengan Substitusi Kapur dan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Semen	Analisis Metode Rawatan Beton Menggunakan Campuran Serbuk Kapur Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur Beton
Tujuan penelitian	Mencari proporsi optimal dari serbuk kapur sebagai substitusi semen beton	Mencari hasil kuat tekan beton dari pengaruh metode rawatan	Melakukan perbandingan kuat tekan beton antara beton normal dan beton dengan campuran tambahan kapur dan serbuk batu bata. Mengajukan bahan campuran tambahan baru dalam pembuatan beton selain semen, agregat (agregat halus dan agregat kasar) dan air yang lazim digunakan. Untuk penghematan penggunaan semen dalam pembuatan beton. Memanfaatkan bahan dasar material yang selain lebih murah dan mudah untuk didapat.	Melakukan perbandingan kuat tekan beton antara beton <i>ash</i> , beton serbuk gamping, beton <i>bottom ash</i> , dan beton <i>fly ash</i> .	Melakukan analisis mengenai komposisi kolaborasi semen, kapur dan RHA untuk mendapatkan hasil kuat tekan beton dari beberapa variasi yang menghasilkan mutu beton terbaik dari bahan campuran diatas.	Mengetahui pengaruh rawatan beton dengan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen terhadap nilai kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastisitas pada usia 28 hari.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Rochmah N, Sarya G (2019)	Mulyati, Arkis Ziga (2020)	Da Cruz J, Supriatna Y (2020)	Ifa Aulia dkk(2020)	Galih Adya dkk (2021)	Penulis (2024)
Metode penelitian	Analisis <i>mix design</i> , pengujian <i>slump</i> , dan pengujian kuat tekan beton	Analisis <i>properties</i> agregat dan <i>mix design</i> sesuai SNI 03-2834-2000	Analisis Perhitungan <i>mix design</i> sesuai SNI 03-1974-1990.	Analisis perbandingan kuat tekan beton <i>ash</i> , beton <i>gamping</i> , beton <i>bottom ash</i> , dan beton fly ash dengan kadar 5%, 15%, dan 18%.	Analisis perbandingan kuat tekan beton normal dengan beton inovasi (serbuk kapur dan abu sekam padi)	Analisis perhitungan <i>Mix design</i> sesuai SNI 03-2834-2000 dan pengujian kuat tekan dan kuat tarik pada beton berusia 28 hari
Parameter yang diuji	Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen.	Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dengan pengaruh metode perawatan beton	Perbandingan dari hasil pengujian kuat tekan beton normal dengan beton yang memiliki campuran batu bata dan serbuk kapur sebagai substitusi semen dengan variasi campuran dari 0%, 10%, 20%, dan 30%.	Hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari berbagai macam jenis beton seperti, beton <i>ash</i> , beton <i>gamping</i> , beton <i>bottom ash</i> , dan beton <i>fly ash</i>	Hasil pengujian kuat tekan beton yang didapatkan dari	Hasil pengujian dari kuat tekan dan kuat tarik beton rawatan dengan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen
Usia pengujian	7 hari dan 28 hari	28 hari	7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari	28 hari	8 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari	28 hari

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Rochmah N, Sarya G (2019)	Mulyati, Arkis Ziga (2020)	Da Cruz J, Supriatna Y (2020)	Ifa Aulia dkk(2020)	Galih Adya dkk (2021)	Penulis (2024)
Hasil penelitian	Dari hasil analisis penelitian tersebut dapat diperoleh hasil optimal berdasar nilai uji tekan yaitu pada proporsi serbuk kapur 10% sebesar 12,7 (N/m ²), dimana harapan penelitian ini dapat tercapai untuk mencari proporsi optimal serbuk kapur sebagai substitusi semen.	Dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh besarnya nilai kuat tekan rata-rata benda uji beton pada umur 28 hari untuk masing-masing metode perawatan beton adalah merendam dalam air sebesar 18,95 MPa, membasahi permukaan dengan air sebesar 13,70 MPa, membungkus dengan plastik hitam sebesar 18,93 MPa, dan membungkus dengan karung goni basah sebesar 17,41 MPa.	Dari hasil pengujian menunjukan bahwa nilai kuat tekan beton dengan campuran kapur dan serbuk batu bata 10% menghasilkan kuat tekan diatas rata-rata kuat tekan beton normal.	Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil dan analisis adalah penggunaan bahan tambah pada batugamping dan fly ash dapat meningkatkan kekuatan dari beton. Kadar penggunaan serbuk gamping sebagai bahan tambah semen adalah 5-15%, sedangkan penggunaan fly ash optimal pada kadar 15-18%, dan penggunaan bottom ash hanya optimal pada kadar 5%.	Hasil yang didapatkan dari pengujian menunjukan bahwa campuran 5% bahan inovasi (2,5% abu sekam dan 2,5% kapur) dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal dengan hasil penelitian sebesar 11,9% pada umur ke-8 dan 35,6% pada umur ke 14. Namun kuat tekan tersebut berangsur menurun pada umur ke-21 dan 28.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Beton

Beton merupakan material atau bahan konstruksi yang dihasilkan dari pencampuran agregat, air dan semen. Pencampuran semen dengan agregat yang terdiri dari 2, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang memiliki fungsi sebagai bahan perekat susunan beton, serta penambahan air yang memiliki fungsi sebagai keperluan reaksi kimia pada proses pengerasan beton. Menurut Tjokrodimuljo (1992) Beton yang sudah mengeras dapat dianggap sebagai batu tiruan yang mempunyai rongga-rongga antara butiran besar diisi dengan butiran yang lebih kecil, dan pori-pori antara butiran agregat halus diisi oleh semen air. Dalam adukan beton, air dan semen akan terbentuk menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi sebagai perekat antara agregat halus dan agregat kasar, serta membantu mengisi pori-pori di antara agregat halus, sehingga terbentuklah material beton yang padat dan merekat pada setiap bahannya.

Menurut Tjokrodimuljo (1992) juga mengungkapkan bahwa kualitas beton dipengaruhi oleh berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, serta perawatan (*curing*). Beton yang berkualitas akan memiliki kekuatan tinggi, sehingga dapat menahan beban.

Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan mengenai penggunaan beton, sebagai berikut:

A. Kelebihan

1. Memiliki harga yang relative murah karena material penyusun dari beton mudah untuk didapatkan,
2. Beton dapat dibentuk dengan mudah sesuai dengan kebutuhan,
3. Beton dapat menahan beban yang berat,
4. Pemeliharaan beton relatif murah dan mudah untuk dilakukan.

B. Kekurangan

1. Beton yang sudah dicetak dan mengeras sulit untuk diubah bentuk,
2. Beton memiliki beban yang berat,

3. Pengerjaan beton membutuhkan ketelitian yang sangat tinggi,
4. Beton sangat rentan dengan kuat tarik.

3.2. Bahan Penyusun Beton

3.2.1 Air

Air adalah alat yang digunakan untuk mendapatkan kelecakan pada saat penungan beton. Air dalam pembuatan beton sangat berperan besar karena dapat bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta ikatan agregat. Dikutip dari SNI 03-2847-2002 syarat air dalam pembuatan beton yaitu dapat diminum, tidak berasa (tawar), tidak berbau, dan tidak mengandung bahan yang dapat merusak beton, seperti minyak, asam, alkali, dan bahan-bahan lainnya yang dapat merusak beton ataupun tulangnya. (SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung)

Selain sebagai reaksi pengikatan, air digunakan sebagai perawatan beton ketika beton sudah dituangkan. Air yang digunakan sebagai perawatan (*curing*) harus memiliki syarat-syarat yang lebih tinggi dari pada air yang digunakan sebagai pembuatan beton. Kadar keasaman yang digunakan tidak boleh $PH > 6$, serta memiliki banyak kandungan kapur.

3.2.2 Semen

Semen adalah bahan jadi yang mengeras dengan adanya air karena memiliki sifat *adhesive* dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Biasanya semen dipakai untuk beton dinamakan semen *Portland* (PC), karena setelah mengeras mirip batu *Portland* yang ada di inggris. (Ir Siti Nurlina MT “Struktur Beton”)

Semen Portland memiliki beberapa komponen utama yaitu sebagai berikut :

Komponen utama dari semen *portland*:

1. Batu kapur yang mengandung CaO (kapur, line)
2. Lempung yang mengandung silica, oksida alumina, oksidasi besi.

Jenis jenis semen Portland menurut ASTM (*American Society for Testing Materials*) adalah sebagai berikut :

1. Semen tipe I : Untuk konstruksi biasa, dimana tidak diperlukan sifat khusus.

2. Semen tipe II : Untuk konstruksi biasa, dimana diinginkan perlawanan terhadap sulfat atau panas hidrasi sedang.
3. Semen tipe III : Untuk konstruksi dimana diinginkan cepat mengeras dan kekuatan awal tinggi.
4. Semen tipe IV : Untuk konstruksi dimana diinginkan panas hidrasi rendah.
5. Semen tipe V : Untuk konstruksi dimana diinginkan daya tahan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Agregat

Agregat biasanya menempati sekitar 60% - 80% dari *volume* total beton, maka sifat-sifat agregat memiliki pengaruh yang besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras (buku struktur beton). Agregat harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat berukuran besar.

Ada 2 jenis agregat, yaitu:

1. Agregat kasar, meliputi kerikil, batu pecah, atau pecahan-pecahan dari *blast furnace*.

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan butiran-butiran kerikil hasil dari desintegrasi alami dari batu atau dapat berupa batu pecah yang didapatkan dari industri pemecah batu dan memiliki ukuran butiran antara 5 mm – 40 mm. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agregat kasar sebagai campuran beton sebagai berikut.

- a. Agregat kasar yang digunakan memiliki karakter keras dan tidak memiliki pori serta memiliki sifat yang tahan lama (tahan terhadap cuaca seperti panas dan hujan). Butiran pipih pada agregat dapat digunakan maksimal 20% dari berat total agregat.
- b. Kadar lumpur maksimum yang dimiliki agregat kasar sebesar 1%
- c. Agregat kasar tidak mengandung bahan-bahan yang dapat merusak kualitas beton
- d. Agregat yang memiliki reaksi dengan alkali dapat digunakan dengan semen yang tidak memiliki kadar alkali setara dengan Natrium Oksida tidak lebih

dari 0,6% ataupun dapat dicampurkan dengan bahan yang berfungsi sebagai pencehan terjadinya pemuaian yang dapat membahayakan akibat reaksi dari alkali-agregat.

- e. Kekerasan dari agregat dilakukan pemeriksaan dengan mesin Los Angeles, dengan syarat kehilangan berat yang dimiliki agregat maksimal 50%. Persyaratan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gradasi Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentasi berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38 - 4,76	19,0 - 4,76	9,6 - 4,76
38,1	95 - 100	100	-
19	37 - 70	95 - 100	100
9,52	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,76	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Sumber: SNI 03-2834-2000

2. Agregat halus, meliputi pasir alami dan pasir buatan.

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran beton yang mempunyai ukuran butiran kurang dari 4,8 mm atau lolos dari ayakan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Biasanya agregat halus dihasilkan dari disintegrasi alami batuan alam atau pasir yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). Pasir yang digunakan harus sesuai dengan syarat berikut ini.

- a. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel mudah hancur maksimal 0,5%.
- b. Persentase berat maksimum untuk kadar lumpur atau ukuran partikel kurang dari 75 mikron (ukuran ayakan 200) adalah 3% untuk beton abrasi dan 5% untuk beton jenis lainnya.
- c. Tidak memiliki kandungan zat organik yang dapat merusak beton dari berbagai aspek.

- d. Agregat halus yang digunakan sebagai bahan pembuatan beton dalam kondisi basah dan lembab secara terus menerus serta terbebas dari bahan yang reaktif terhadap alkali.
- e. Memiliki sifat kekal, dengan pengujian larutan garam sulfat.
- f. Modulus halus butir diantara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: SNI 03-1970-2008

3.3. *Curing*

Curing atau perawatan beton merupakan serangkaian tindakan yang dilakukan setelah pengecoran beton untuk memastikan beton mengalami hidrasi yang optimal, menjaga kelembaban, dan mencapai kekuatan serta ketahanan yang direncanakan. *Curing* beton sangat penting untuk membantu menghindari retak, meningkatkan ketahanan terhadap cuaca, dan memastikan beton mencapai kekuatan.

Ada beberapa metode perawatan yang umum digunakan:

1. Penyiraman berkala (*water curing*)

Penyiraman permukaan beton yang dilakukan secara berkala, ini merupakan salah satu metode paling sederhana dan efektif untuk *curing* beton. Metode ini membutuhkan pemantauan dan perhatian secara berkala.

2. **Penyelimutan dengan kain basah atau karung jute**
Beton dililit atau ditutup dengan kain atau karung jute yang sudah dibasahi dengan air, kain atau karung jute harus tetap dalam kondisi basah selama curing dilakukan. Metode ini dilakukan untuk melindungi beton dari sinar matahari dan angin sehingga kelembaban beton terjaga.
3. **Penggunaan *curing compound***
Curing compound merupakan bahan khusus yang diterapkan pada permukaan beton untuk membentuk lapisan yang menghambat penguapan air. *Curing compound* biasanya berbentuk cairan yang dioleskan atau disemprotkan terhadap permukaan beton.
4. **Perendaman beton**
Perendaman beton hanya dapat dilakukan terhadap benda uji yang akan dilakukan pengujian, metode ini sangat efektif untuk mendapatkan hidrasi yang optimal, menjaga kelembaban, dan mencapai kekuatan dan ketahanan beton.

3.4. Bahan Tambah

3.4.1 Serbuk Kapur

Batu kapur merupakan bahan yang berasal dari batuan sedimen halus yang mengandung mineral kalsium. Tiga senyawa utama penyusun kapur adalah kalsium karbonat, kalsium oksida, dan kalsium hidroksida. Kapur merupakan bahan yang sangat berguna dalam segala bentuk aktivitas manusia dan harganya relatif murah. Sebagian besar penggunaannya di bidang konstruksi dan pertanian.

Kapur juga merupakan bagian dari campuran semen karena sifatnya yang mengikat. Sementara, serbuk kapur dihasilkan dari proses penggilingan batu kapur yang berukuran besar. Serbuk kapur memiliki tekstur yang sangat halus serta berwarna putih atau abu abu terang.



Gambar 3. 1 Serbuk kapur tohor

(Sumber : Dokumentasi pribadi)

3.5. Perencanaan Campuran Beton

Beton yang baik dan sesuai dengan perencanaan didapatkan dari hasil perencanaan campuran (*mix design*) untuk mengetahui perbandingan untuk masing-masing material yang digunakan. Metode *mix design* yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI-03-2834-2000 karena penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton normal. Berikut ini tahapan-tahapan yang dilakukan untuk *mix design*.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan. Pada penelitian ini kuat tekan rencana sebesar 25 MPa
2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (Sd)

Untuk menentukan nilai deviasi standar dapat dilihat dari Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali
<15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
>30	1,00

Sumber: SNI 03-2834-2000

Catatan : Jika jumlah benda uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa.

3. Menentukan nilai tambah (M)

Nilai tambah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 dibawah ini.

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

Dengan keterangan sebagai berikut.

M = Nilai tambah

1,64 = Tetapan statik yang nilainya bergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar 5%

Sr = Deviasi standar rencana

4. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan (f'_{cr})

Untuk menghitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan menggunakan persamaan 3.2 dibawah ini.

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

Dengan keterangan sebagai berikut.

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

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

5. Menentukan jenis semen

Jenis semen dapat mempengaruhi faktor air semen. Semen yang digunakan pada penelitian ini merupakan semen tipe I dengan merk Tigaroda.

6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus

Berdasarkan SNI 03-2843-2000, agregat halus memiliki empat kategori berdasarkan gradasinya. Yaitu pasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Sedangkan agregat kasar memiliki dua kelompok. Yaitu batu kerikil alami dan kerikil batu pecah.

7. Menentukan faktor air semen (fas)

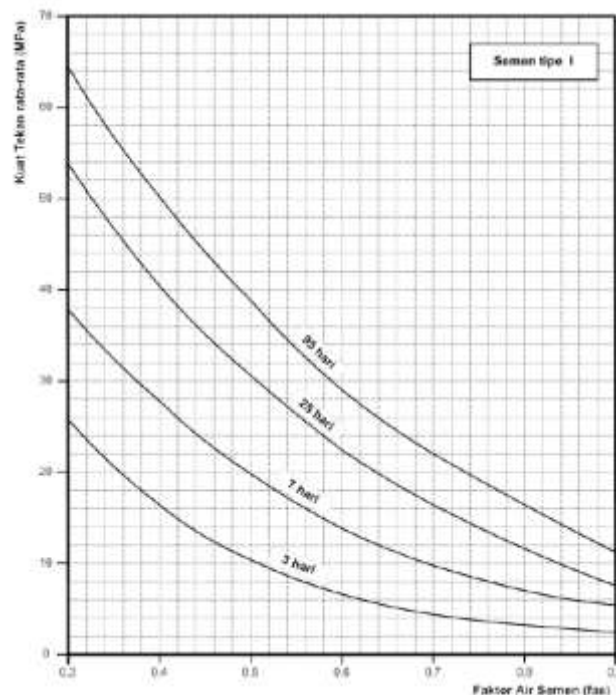
Perbandingan antara berat air dan berat semen sebagai bahan campuran beton disebut sebagai faktor air semen (fas). Nilai fas akan berpengaruh dan berbanding terbalik dengan hasil yang didapatkan, semakin besar nilai fas maka kekuatan beton semakin kecil, semakin rendah nilai fas maka kekuatan beton semakin besar. Untuk menentukan faktor air semen dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Gambar 3.2.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kuat Tekan Beton (Mpa) dengan Fas = 0,5

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 3.4 dapat dilihat jenis-jenis semen, jenis agregat kasar, bentuk benda uji, dan umur rencana yang akan digunakan saat pembuatan beton. Hal ini dapat membantu mengetahui nilai kuat tekan maksimum yang didapat dicapai dengan nilai fas 0,5. Sedangkan untuk menentukan kurva lengkung berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang didapatkan dari Tabel 3.4 dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen

Sumber: SNI 03-2834-2000

8. Menentukan nilai *slump*

Nilai *slump* adalah parameter dalam menentukan kelecakan campuran beton yang akan berpengaruh terhadap kemudahan dalam melaksanakan pengerjaan. Pemakaian beton yang sesuai dengan nilai slump dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Penetapan Nilai *Slump* Menurut Pemakaian Beton

Pemakaian Beton	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi, dan pondasi tapak	125	50
Pondasi Tapak tidak bertulang, kaison, dan struktur di bawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom, dan dinding	150	75
Pengerasan jalan	75	50
Pembetonan masal	75	25

Sumber: SNI 03-2834-2000

9. Menentukan nilai kadar air bebas

Kadar air bebas ditentukan pada Tabel 3.6 dan persamaan 3.3 berikut ini.

Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas Kg/m^3

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

$$W = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (3.3)$$

Dengan Keterangan sebagai berikut.

W = Jumlah air yang dibutuhkan (Kg/m^3)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (Kg/m^3)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (Kg/m^3)

10. Menentukan kebutuhan semen

Untuk mendapatkan jumlah kebutuhan semen, dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4 berikut ini.

$$c = \frac{w}{f_{as}} \quad (3.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (Kg/m^3)

w = Kadar air bebas (Kg/m^3)

f_{as} = Faktor air semen (Kg/m^3)

11. Menentukan kadar semen minimum

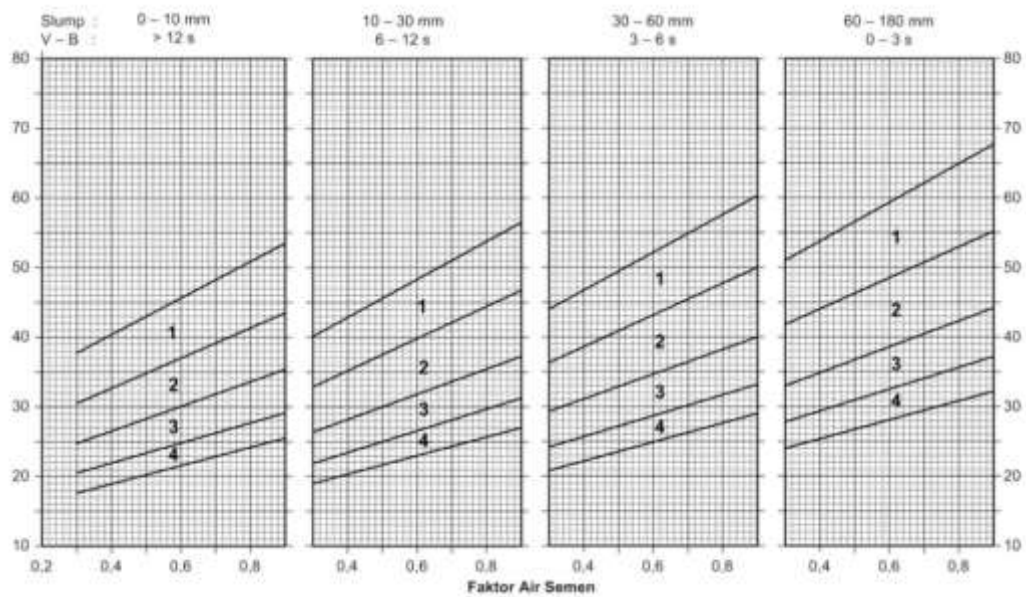
Kadar semen minimum ditetapkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan *fas* Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah semen Minimum Per m³ beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar bangunan :		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,55
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah :		
a. Mengalami keadaan basah dan kering	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan :		
a. Air tawar		
b. Air laut		Tabel 6

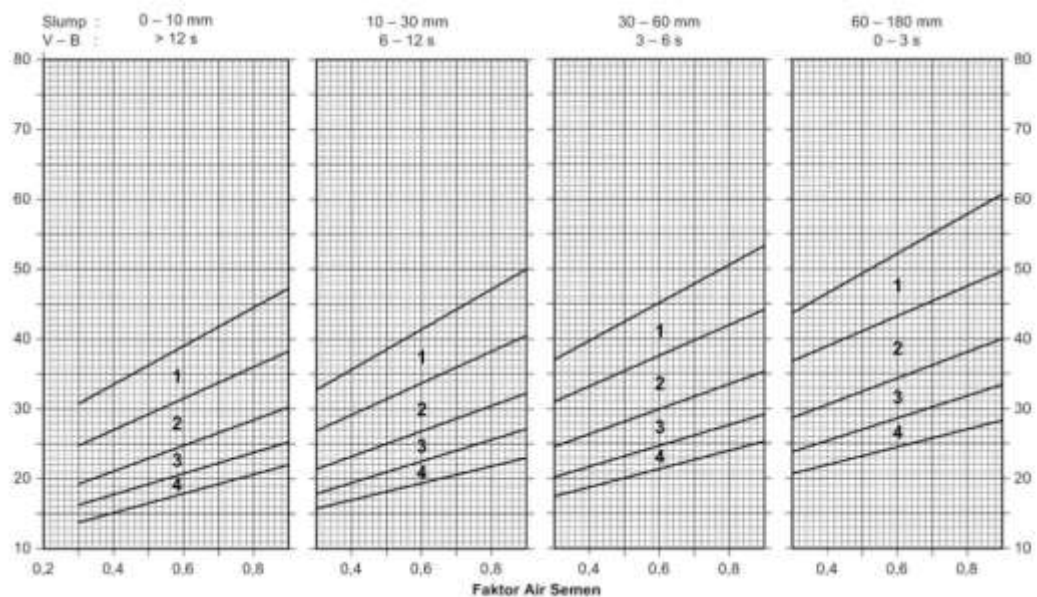
Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Menentukan besar butir agregat maksimum
13. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik pada Gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000

Langkah-langkah untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat adalah sebagai berikut.

- a. Pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 di atas, tentukan grafik yang digunakan sesuai dengan ukuran maksimum agregat dan nilai slump rencana.
- b. Tarik garis vertikal ke atas hingga sampai kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- c. Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas ataupun batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilai yang didapatkan.
- d. Lakukan rata-rata nilai dari kedua nilai yang didapatkan.

Nilai persentase agregat kasar = 100% - Persentase agregat halus

14. Menghitung berat jenis relatif agregat yang didapatkan sesuai data dari hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung sesuai dengan persamaan 3.5 berikut.

$$BJ_{AG} = (\% AH \times BJ_{AH}) + (\% AK \times BJ_{AK}) \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

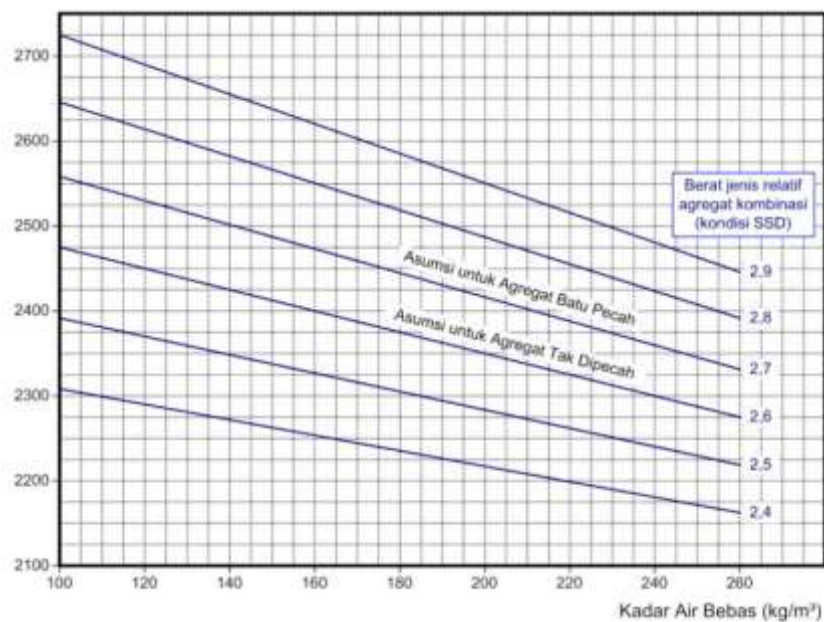
BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

% AH = Persentase agregat halus

% AK = Persentase agregat kasar

15. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.5 berikut ini.



**Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai
Dipadatkan**

Sumber: SNI 03-2834-2000

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan nilai berat isi beton berdasarkan grafik di atas adalah sebagai berikut.

- a. Pada Gambar 3.5, tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang terdapat pada grafik tersebut.
 - b. Tarik garis vertikal ke atas hingga memotong garis yang telah dibuat sebelumnya sesuai dengan nilai kadar air bebas, kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas, catat nilai yang didapatkan.
16. Kadar agregat gabungan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.6 berikut ini.
- $$\text{Kadar agregat gabungan} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.6)$$
17. Kadar agregat halus dapat dihitung menggunakan persamaan 3.7 berikut ini.
- $$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ Agregat halus}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan} \quad (3.7)$$
18. Kadar agregat kasar dapat dihitung menggunakan persamaan 3.8 berikut ini.

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ Agregat kasar}}{100} \times \text{Kadar agregat gabungan}$$

(3.8)

19. Menghitung kadar serbuk kapur dari berat total agregat beton

3.6. Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah perbandingan antara besar beban dengan satuan luas, yang disebabkan oleh benda uji beton hancur bila diberikan beban dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Mulyono (2006) mengemukakan Bahwa kuat tekan beton mengidentifikasi mutu struktur, ketika semakin tinggi kekuatan struktur yang diberikan, maka semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Berdasarkan PBI (1971), kekuatan tekan standar dihitung saat beton berusia 28 hari, karena pada usia tersebut memiliki kuat tekan 100%. Kekuatan beton berdasarkan usia beton dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Kuat Tekan (%)	40	65	88	95	100	120	135

Sumber: PBI 1971

Berdasarkan SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan 3.9 berikut.

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

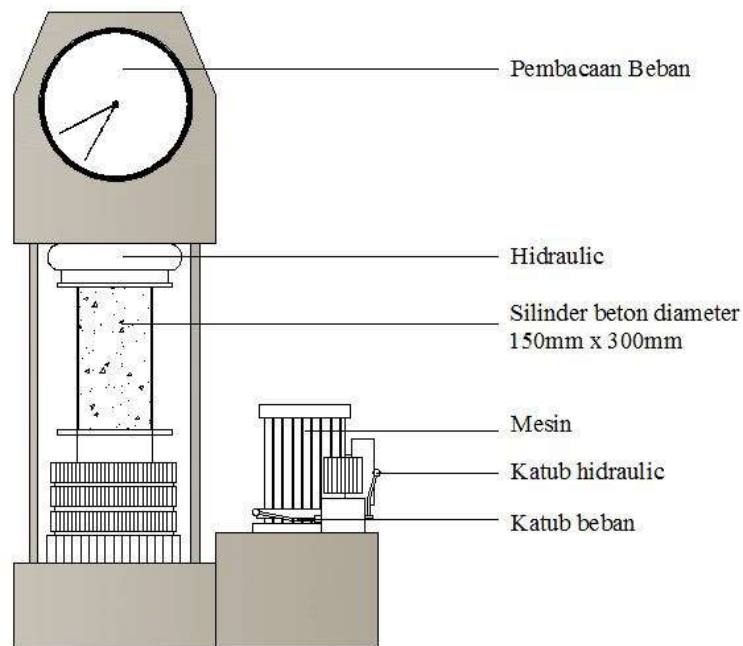
Dengan keterangan sebagai berikut.

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang yang menerima beban (mm^2)

Berikut adalah sketsa dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Sketsa Uji Kuat Tekan Beton

Sumber : Tugas Akhir Alfiandinata

3.7. Kuat Lentur

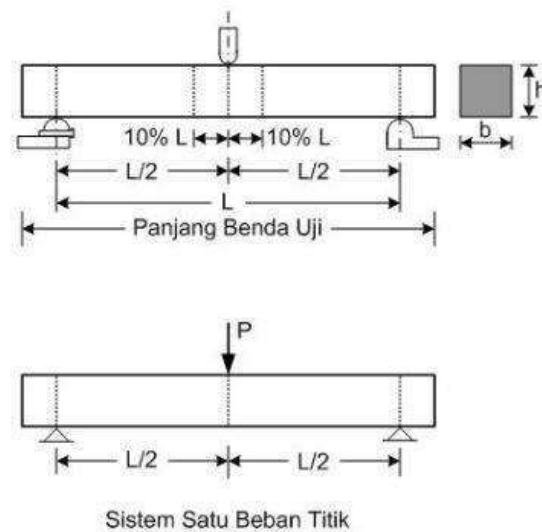
Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton untuk menahan tekanan dan tahan terhadap lenturan yang di letakan pada dua titik tumpu sebagai penopang gaya vertikal yang diberikan beban hingga benda uji patah. Metode pengujian kuat lentur beton menggunakan sistem satu titik pembebanan berdasarkan SNI 4154-2014. Nilai kuat lentur beton dapat ditentukan berdasarkan SNI 4154-2014 dengan persamaan 3.10 berikut ini.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

- R = Kuat lentur beton/modulus runtuh (MPa atau N/mm^2)
- P = Beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)
- L = Panjang bentang diantara kedua tumpuan (mm)
- b = Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)
- d = Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

Berikut adalah sketsa dari pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Sketsa pengujian kuat lentur beton

3.8. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan hasil dari perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas beton dinyatakan dalam satuan MPa. Menurut ASTM C-469:1994, nilai modulus elastisitas beton dihitung menggunakan persamaan 3.11 berikut ini

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

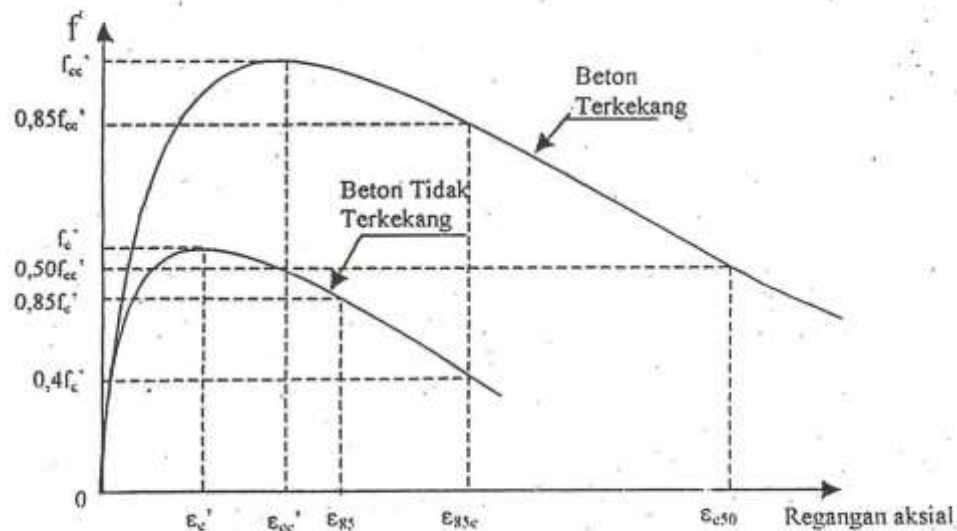
S_2 = Tegangan ketika 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa)

ε_2 = Regangan akibat Tegangan S_2

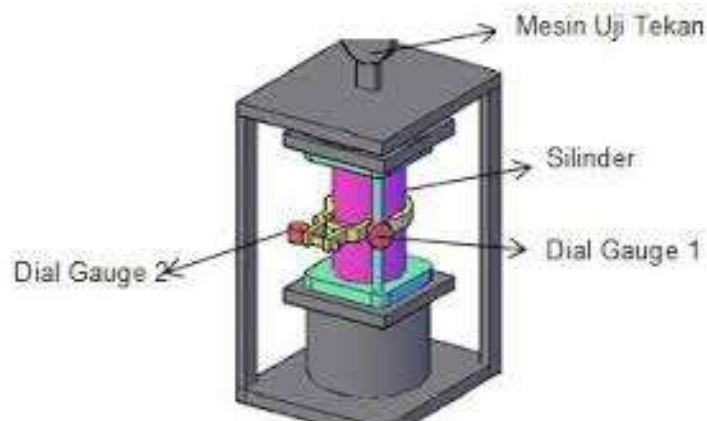
ε_1 = 0,000050

Berikut adalah kurva hubungan tegangan dan regangan beton dan sketsa dari pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan 3.9.



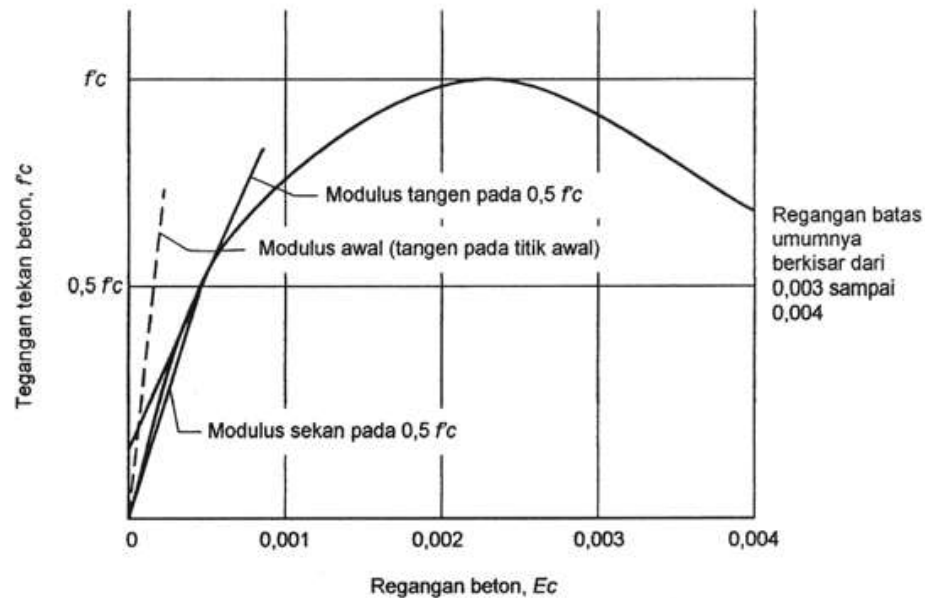
Gambar 3. 8 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

(Sumber: Sihombing)



Gambar 3. 9 Sketsa Uji Modulus Elastisitas Beton

Kurva tersebut merupakan kurva linier pada taraf pembebanan awal, sehingga modulus elastisitas pada kurva tersebut yaitu garis singgung pada kurva tegangan-regangan dari titik pusat. Kemiringan garis singgung tersebut didefinisikan sebagai modulus tangen awal. Jika dibuat tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar $0,4 \times f'_c$ maksimum, maka disebut modulus elastisitas sekan beton. Modulus sekan ini merupakan hasil dari modulus elastisitas yang ditinjau. Modulus tangen dan modulus sekan dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 3. 10 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton

(Sumber: I Wayan, 2010)

Menurut SNI 2847:2019, modulus elastisitas juga dapat dihitung dengan rumus pendekatan empiris yaitu menggunakan persamaan 3.12 dan 3.13 berikut ini.

1. Jika diketahui berat volume

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

Untuk W_c dengan rentang 1400-2560 kg/m³

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W = Berat volume beton normal (kg/m³)

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

2. Jika tidak diketahui berat volumenya

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

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

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Umum

Metode penelitian adalah prosedur, tahapan tahapan dalam mengambil dan menganalisis permasalahan yang dilakukan agar mendapatkan data untuk tujuan penelitian. Dalam penelitian ini digunakan metode experimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh rawatan beton dengan memvariasikan campuran serbuk kapur, sehingga mendapatkan hasil yang paling optimal dalam menunjang mutu beton. Dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh metode rawatan beton dengan variasi campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton.

4.2. Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas, meliputi metode rawatan beton (*curing*) dengan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen.
2. Variabel terikat, meliputi kuat tekan beton, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton.
3. Variabel tetap, meliputi bentuk benda uji, dimensi benda uji, dan kuat tekan beton rencana (f'_c).

4.3. Bahan yang Digunakan

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

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Tiga Roda. Semen yang digunakan harus tetap terjaga kualitasnya dengan cara menyimpan pada tempat yang teduh dan kering.

2. Agregat

Agregat halus yang digunakan berasal dari sungai Progo, Yogyakarta dan agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Yogyakarta.

3. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan jernih secara visual dan tidak berbau ataupun berwarna.

4. Serbuk kapur

Serbuk kapur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari ...

5. Curing Compound

Curing *compound* yang digunakan dalam penelitian adalah Sika Antisol-S yang diproduksi oleh Sika Indonesia.

4.4. Alat yang Digunakan

Dalam Penelitian ini diperlukan beberapa alat dengan kondisi baik sebagai penunjang pembuatan benda uji. Alat alat yang diperlukan adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan digunakan untuk menimbang berat material yang nantinya akan digunakan dalam proses pembuatan benda uji. Berat material yang dibutuhkan didapat dari hasil perhitungan *mix design*.

2. Ayakan *Mesh*

Pada penelitian ini ayakan *mesh* atau set saringan agregat yang digunakan untuk memisahkan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Alat ini digunakan sebagai pengujian analisa lolos saringan agregat kasar dan agregat halus.

3. Neraca *Ohaus*

Pada penelitian ini neraca *ohauss* digunakan dalam penimbangan berat material yang nantinya akan digunakan. Timbangan ini memiliki ketelitian lebih baik daripada timbangan biasa.

4. Piknometer

Piknometer merupakan alat yang digunakan dalam pengukuran massa jenis atau densitas fluida. Pada penelitian ini piknometer berperan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

5. Oven
Pada penelitian ini oven digunakan untuk mengeringkan agregat (kasar dan halus). Oven nantinya digunakan pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat.
6. Cetakan Silinder
Pada penelitian ini cetakan digunakan sebagai wadah untuk membentuk benda uji beton sesuai dengan dimensinya. Cetakan silinder yang digunakan dalam pengujian ini memiliki diameter 15cm dengan tinggi 30cm.
7. Bak Penampung atau Ember
Pada penelitian ini ember berfungsi sebagai wadah material dan juga alat yang membantu memasukan material *concrete mixer*.
8. *Concrete Mixer*
Pada penelitian ini concrete mixer berguna sebagai alat pencampur agregat (kasar dan halus), semen, serbuk kapur, dan air dengan kadar masing masing sesuai dengan hasil perhitungan *mix design*.
9. Sekop
Pada penelitian ini sekop digunakan untuk masing masing menuang adonan (beton segar) ke dalam cetakan silinder maupun cetakan balok.
10. Kerucut Abrams
Pada penelitian ini kerucut abrams digunakan untuk mengetahui nilai *slump* beton segar sebelum dilakukan penuangan kedalam cetakan.
11. Mesin Uji Tekan
Mesin uji tekan digunakan pada saat pengujian kuat tekan beton yang nantinya akan diketahui nilai beban yang dapat diterima oleh benda uji sampai dengan benda uji mengalami keruntuhan hingga hancur (beban maksimal).
12. Dial Gauge
Digunakan sebagai pembacaan regangan beton pada saat dilakukan pengujian modulus elastisitas
13. *Universal Testing Machine*
Mesin uji lentur yang digunakan pada saat pengujian kuat lentur beton yang nantinya akan diketahui nilai lentur beton tersebut.

4.5. Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder dengan diameter 30 cm dan tinggi 15 cm untuk pengujian kuat tekan dan balok dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm untuk pengujian kuat lentur beton. Benda uji ini diberikan metode rawatan beton yang sama dengan variasi campuran serbuk kapur yang berbeda-beda. Menurut SNI 2847:2019 jumlah benda uji silinder yang dirawat di lapangan setidaknya 2 spesimen yang berukuran 150 x 300 mm atau setidaknya 3 spesimen yang berukuran 100 x 200 mm. Sedangkan menurut SNI 2493-2011 jumlah benda uji biasanya 3 atau lebih tergantung pada kebiasaan dan sifat program pengujian. Berikut ini adalah rincian benda uji yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji Perendaman

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Perendaman	0%	S1-A	5
				S2-A	
				S3-A	
				S4-A	
				S5-A	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Perendaman	5%	S1-B	5
				S2-B	
				S3-B	
				S4-B	
				S5-B	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Perendaman	10%	S1-C	5
				S2-C	
				S3-C	
				S4-C	
				S5-C	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Perendaman	15%	S1-D	5
				S2-D	
				S3-D	
				S4-D	
				S5-D	

Lanjutan Tabel 4. 2 Rincian benda uji

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	0%	B1-A	3
				B2-A	
				B3-A	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	5%	B1-B	3
				B2-B	
				B3-B	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	10%	B1-C	3
				B2-C	
				B3-C	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	15%	B1-D	3
				B2-D	
				B3-D	
Total Sampel					32

Keterangan:

S1-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

S2-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

S3-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

S1-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

S2-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

S3-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

S1-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

S2-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

S3-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

S1-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

S2-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

S3-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

B1-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

B2-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

B3-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 0%, metode rawatan perendaman.

B1-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

B2-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

B3-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 5%, metode rawatan perendaman.

B1-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

B2-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

B3-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 10%, metode rawatan perendaman.

B1-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

B2-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

B3-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 15%, metode rawatan perendaman.

Tabel 4. 3 Rincian Benda Uji Penyelimutan Karung Goni

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Penyelimutan karung goni	0%	SG1-A	5
				SG2-A	
				SG3-A	
				SG4-A	
				SG5-A	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Penyelimutan karung goni	5%	SG1-B	5
				SG2-B	
				SG3-B	
				SG4-B	
				SG5-B	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Penyelimutan karung goni	10%	SG1-C	5
				SG2-C	
				SG3-C	
				SG4-C	
				SG5-C	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Penyelimutan karung goni	15%	SG1-D	5
				SG2-D	
				SG3-D	
				SG4-D	
				SG5-D	
Uji Kuat Lentur	Balok	Penyelimutan karung goni	0%	BG1-A	3
				BG2-A	
				BG3-A	
Uji Kuat Lentur	Balok	Penyelimutan karung goni	5%	BG1-B	3
				BG2-B	
				BG3-B	
Uji Kuat Belah	Balok	Penyelimutan karung goni	10%	BG1-C	3
				BG2-C	
				BG3-C	
Uji Kuat Belah	Balok	Penyelimutan karung goni	15%	BG1-D	3
				BG2-D	
				BG3-D	
Total Sampel					32

Keterangan:

SG1-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG1-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG1-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG1-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG1-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG2-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG3-A = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG1-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG2-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG3-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 5%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG1-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG2-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG3-C = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG1-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG2-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

BG3-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran 15%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

4.6. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu sebagai berikut.

4.6.1 Persiapan

Persiapan adalah tahapan awal bagi penulis untuk mempersiapkan langkah-langkah yang dibutuhkan untuk melanjutkan ke tahap selanjutnya. Pada tahapan ini penulis melaksanakan studi literatur terhadap peneliti-peneliti terdahulu ataupun buku dan jurnal sebagai tolak ukur dan wawasan penulis dalam melakukan penelitian. Selain itu, penulis mempersiapkan peralatan serta bahan-bahan yang akan digunakan pada saat penelitian berlangsung, seperti serbuk kapur, agregat (halus dan kasar), semen, kolam perendaman, dll.

4.6.2 Pengujian agregat

Pengujian agregat halus maupun kasar dilaksanakan sebagai cara untuk mengetahui karakteristik dan sifat dari agregat yang nantinya akan digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian karakteristik dan sifat agregat dijadikan tolak ukur dalam proses *mix design*. Berikut adalah standar yang digunakan dalam proses pengujian agregat.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 1970-2016.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan SNI 1969-2016.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus menggunakan SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar menggunakan SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar menggunakan SNI 4804-1998
7. Pengujian butiran lolos ayakan no. 200 (Uji kandungan lumpur dalam pasir) menggunakan SNI 4142-1996

4.6.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran (*Mix Design*) dilaksanakan setelah mengetahui sifat dan karakteristik dari hasil pengujian agregat (halus dan kasar). *Mix design* dilakukan berdasarkan SNI 2834-2000. Untuk perhitungan detail akan dibahas pada bab V.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Trial usia 7 hari.

Setelah *Mix Design* dilakukan dengan mutu 25 MPa, kemudian dilaksanakan pembuatan dan pengujian benda uji *trial*. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa perhitungan rencana campuran sesuai dengan rencana. Penelitian dilanjutkan jika hasil dari pengujian benda uji *trial* sudah sesuai dengan mutu rencana.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Sampel

Pembuatan sampel dilakukan berdasarkan hasil *mix design*, sehingga hasil perhitungan berat agregat (kasar dan halus), berat semen, berat serbuk kapur, dan air akan dilakukan pencampuran menggunakan alat *concrete mixer* selama waktu

yang ditentukan. Setelah itu, campuran beton segar tersebut dituang ke kerucut abrams untuk pengujian slump, untuk mengetahui apakah slump yang dihasilkan telah sesuai dengan syarat atau tidak, ketika slump telah memenuhi syarat maka campuran beton segar dapat segera dimasukan ke dalam cetakan silinder.

Apabila beton sudah mencapai *setting time* atau mengeras maka beton dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan perawatan. Perawatan yang dilakukan menggunakan metode perendaman hingga berumur 28 hari. Metode yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Metode perendaman di dalam air dilakukan dengan cara merendam benda uji pada air yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sampai dengan umur rencana. Berikut merupakan contoh rawatan beton menggunakan metode perendaman dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Perawatan Beton Dengan Metode Perendaman

Sumber : Dokumentasi pribadi

2. Metode penyalimutan karung goni dilakukan dengan cara menyalimuti benda uji menggunakan karung goni pada sisi atas dan samping benda uji. Setelah diselimuti lalu karung goni disiram hingga basah. Proses penyiraman karung

hingga basah dilakukan setiap hari hingga mencapai umur rencana. Berikut merupakan contoh rawatan beton menggunakan metode penylimutan karung goni dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Perawatan Beton Dengan Metode Penylimutan Karung Goni

Sumber : Dokumentasi pribadi

4.6.6 Pengujian Sampel

Pada tahapan ini sampel atau benda uji dilakukan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton sebagai berikut.

1. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan pada sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sesuai dengan SNI 1974-2011 sebagai berikut.

- a. Menyiapkan benda uji berupa silinder yang telah dikeluarkan dari perawatan beton.
- b. Lakukan pengukuran dimensi dan tinggi dari benda uji serta menimbang berat benda uji.

- c. Meletakkan benda uji ke dalam dudukan mesin tekan dan pastikan dial beban menunjukkan angka 0, ketika dial tidak menunjukkan angka 0 maka dilakukan pengaturan dial terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian.
- d. Mulai pengujian dengan memberikan pembebanan dengan kecepatan 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/detik hingga benda uji hancur.
- e. Lakukan pencatatan beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji.

2. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Tujuan dari pengujian modulus elastisitas adalah untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada beton. Pengujian ini berdasarkan pada SNI 4169-1996. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, karena kedua pengujian ini saling berkaitan. Berikut langkah-langkah pengujian modulus elastisitas beton.

- a. Persiapan seluruh beton uji yang akan diuji dan peralatannya.
- b. Ukur berat, diameter, dan tinggi benda uji dengan timbangan dan kaliper.
- c. Pasang alat kompresometer ekstensiometer pada benda uji, kemudian pasang alat pengukur deformasi.
- d. Letakkan benda uji dalam mesin uji tekan, lalu jalankan mesin uji hidrolik akan menekan benda uji perlahan
- e. Lakukan pembacaan dan catat deformasi setiap peningkatan beban 10 kN.
- f. Pembacaan selesai ketika benda uji runtuh atau hancur.
- g. Lakukan pembacaan beban maksimum.

3. Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian ini dilakukan pada sampel balok dengan dimensi 10 x 10 x 40 cm, yang berdasarkan pada SNI 4154-2014 sebagai berikut.

- a. Menyiapkan benda uji berupa balok
- b. Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk letak titik perletakan dan titik pembebanan. Garis sejauh 10% dari jarak bentang, diluar titik perletakan beban.

- c. Ukur dimensi dan timbang berat benda uji.
- d. Meletakkan benda uji pada mesin uji lentur sesuai dengan posisi pada saat dicetak dan dipasang pada tengah blok tumpuan
- e. Letakkan belok beban sampai menyentuh permukaan specimen di tengah bentang.
- f. Jalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Beban diatur sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan efek beban kejut.
- g. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 0,9 MPa/menit dan 1,2 MPa/menit hingga mengalami keruntuhan.
- h. Catat beban maksimum yang dapat diterima benda uji.

4.6.7 Olah data

Olah data dilakukan pada data mentah yang diperoleh pada setiap pengujian. Pengolahan data berdasarkan pada masing-masing kode dan landasan teori yang digunakan, sehingga mendapatkan parameter yang dapat digunakan untuk tahapan selanjutnya.

4.6.8 Analisis Pengujian

Parameter-parameter yang didapatkan dari tahapan olah data yang dijadikan sebagai perbandingan berdasarkan kelompok variabel untuk mendapatkan hasil dan nilai yang terjadi, seperti sebab akibat yang berkaitan dengan pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dan juga perbedaan kandungan dari persentase serbuk kapur pada setiap sampel atau benda uji, sehingga berdampak terhadap kualitas beton yang didapatkan.

4.6.9 Pembahasan

Pembahasan merupakan tahapan dimana penulis membahas hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan jawaban terhadap perbedaan yang ditemukan pada saat melakukan perbandingan hasil pengujian pada tahap analisis pengujian.

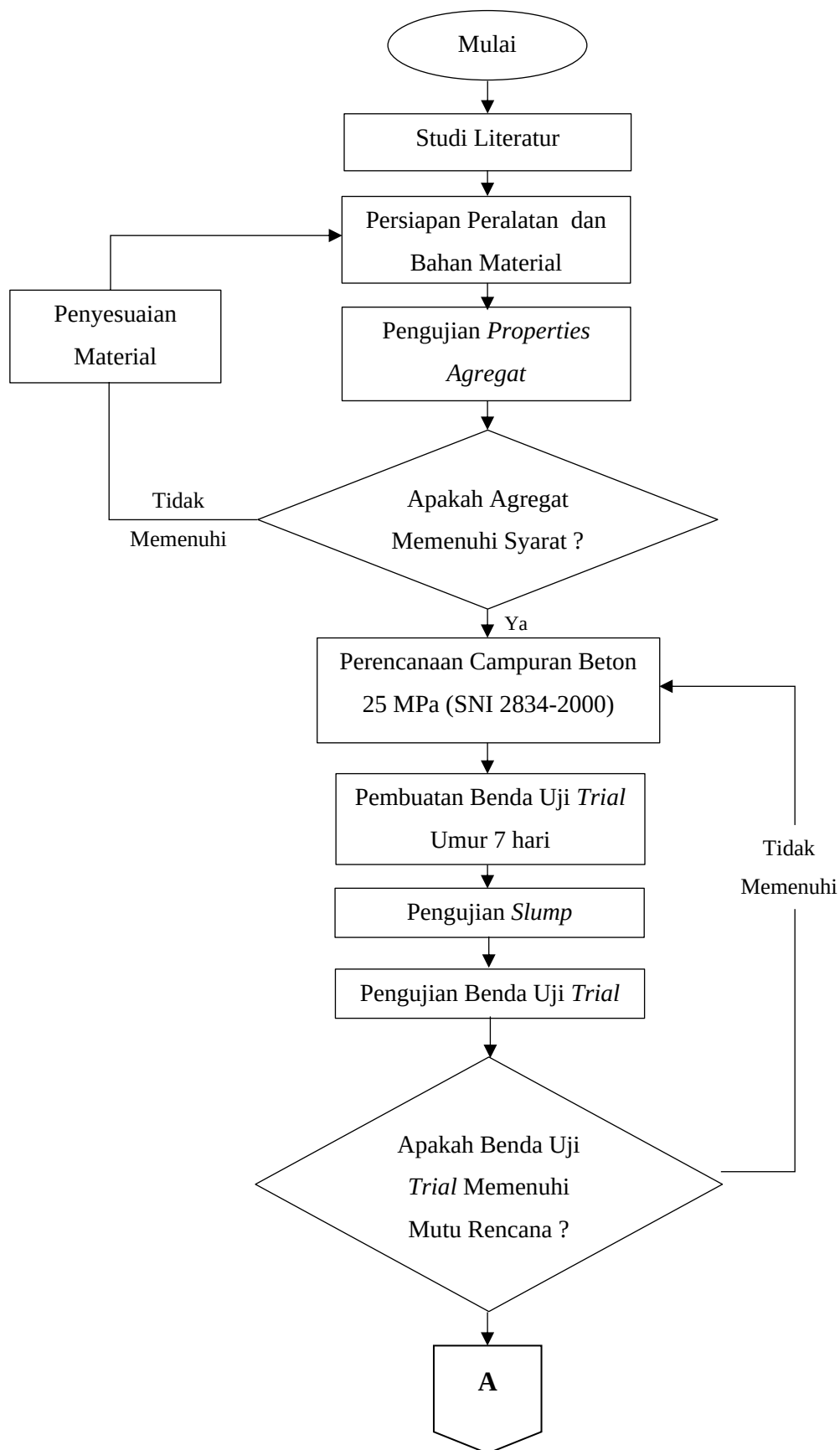
4.6.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dibuat sesuai dengan pembahasan dari hasil analisis pengujian yang dikaitkan dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan, selain itu pada tahapan

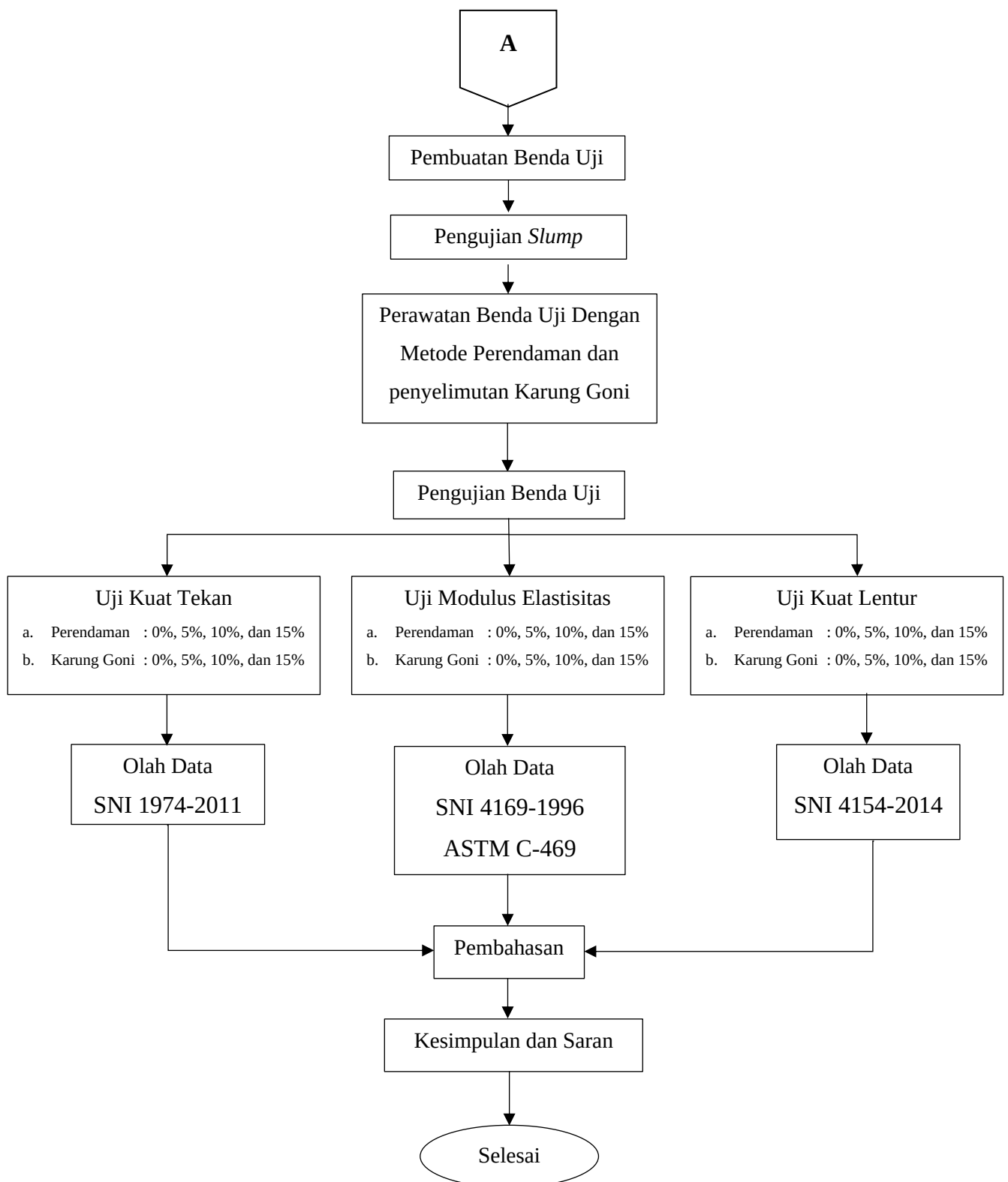
ini akan diberikan saran-saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang telah dibuat.

4.6.11 Kerangka Konsep Penelitian

Adapun kerangka konsep atau biasa disebut sebagai diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 4 Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Tinjauan Umum

Data penelitian yang didapatkan perlu dilakukan analisis serta pembahasan agar diperoleh hasil yang nantinya dapat mencapai tujuan dari penelitian itu sendiri. Bab ini menjelaskan dan membahas mengenai data dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang diawali dengan pemeriksaan material penyusun beton, perencanaan campuran beton (*mix design*), pencampuran material penyusun beton, serta pelaksanaan pengujian beton.

5.2. Hasil Pemeriksaan Material Penyusun Beton

Pemeriksaan agregat bertujuan untuk mengetahui dan memeriksa sifat serta karakteristik agregat/material yang nantinya akan digunakan dalam pembuatan beton. Material penyusun beton harus memenuhi syarat persyaratan sesuai dengan standar yang telah ditentukan, sehingga perlu dilakukan pengujian atau pemeriksaan sebelum digunakan. Adapun pemeriksaan material penyusun beton dibagi menjadi 2 yaitu pemeriksaan agregat halus dan agregat kasar.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan agregat halus, pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus serta pengujian lolos saringan no. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir). Adapun hasilnya sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1970-2016. Penguj memperoleh data pengujian seperti pada table 5.1. Berikut merupakan contoh perhitungan pada sampel 1.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{482}{658+500-952} \\ &= 2,340 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Berat jenis SSD} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{500}{658+500-952} \\
 &= 2,427 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\
 &= \frac{482}{658+482-952} \\
 &= 2,564 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{500-Bk}{Bk} \\
 &= \frac{500-482}{482} \\
 &= 3,73\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan sampel 1 diatas, sehingga dapat dihitung nilai rata ratanya. Berikut dapat dilihat pada Tabel 5.1 rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

Tabel 5. 1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	482	485	484
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	952	1005	979
Berat piknometer berisi air, gram (B)	658	691	675
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,340	2,608	2,474
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,427	2,688	2,558
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,564	2,836	2,700
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,73%	3,09%	3,41%

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus didapatkan hasil sebagai berikut.

- Berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata = 2,558
- Penyerapan air rata-rata = 3,41%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 1968-1990. Penguji mendapatkan data hasil pengujian yang nantinya akan diolah sehingga mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat serta daerah gradasi. Berat sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah 2000 gram. Data yang diperoleh dapat dilihat pada 5.2 dan 5.3. berikut adalah contoh perhitungan sampel 1.

- i. Persentase berat tertinggal =
 - 1) Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{3}{2000} \times 100\% = 0,15 \%$
 - 2) Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{3}{2000} \times 100\% = 0,10 \%$
 - 3) Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{5}{2000} \times 100\% = 0,25 \%$
 - 4) Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{275}{2000} \times 100\% = 13,75 \%$
 - 5) Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{1216}{2000} \times 100\% = 60,80 \%$
 - 6) Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{474}{2000} \times 100\% = 23,70 \%$
 - 7) Pan $= \frac{25}{2000} \times 100\% = 1,25 \%$
- ii. Persentase berat tertinggal kumulatif
 - 1) Lubang ayakan 4,8 mm $= 0,15 \%$
 - 2) Lubang ayakan 2,4 mm $= 0,15 \% + 0,10 \% = 0,25 \%$
 - 3) Lubang ayakan 1,2 mm $= 0,25 \% + 0,25 \% = 0,5 \%$
 - 4) Lubang ayakan 0,6 mm $= 0,5 \% + 13,75 \% = 14,25 \%$
 - 5) Lubang ayakan 0,3 mm $= 14,25 \% + 60,80 \% = 75,05 \%$
 - 6) Lubang ayakan 0,15 mm $= 0,15 \% + 23,70 \% = 98,75 \%$
 - 7) Pan $= 0,15 \% + 1,25 \% = 100\%$
- iii. Persentase lolos kumulatif

Untuk sampel 2 dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah yang sama seperti sampel 1. Berikut adalah rekapitulasi sampel 1 dan 2 pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan 5.3.

- 1) Lubang ayakan 4,8 mm $= 100 \% - 0,15 \% = 99,85 \%$
- 2) Lubang ayakan 2,4 mm $= 100 \% - 0,25 \% = 99,75 \%$
- 3) Lubang ayakan 1,2 mm $= 100 \% - 0,50 \% = 99,50 \%$
- 4) Lubang ayakan 0,6 mm $= 100 \% - 14,25 \% = 85,75 \%$
- 5) Lubang ayakan 0,3 mm $= 100 \% - 75,05 \% = 24,95 \%$

$$6) \text{ Lubang ayakan } 0,15 \text{ mm} = 100 \% - 98,75 \% = 1,25 \%$$

$$7) \text{ Pan} = 100 \% - 100 \% = 0 \%$$

Berdasarkan kurva gradasi pada Gambar 5.2 dan 5.3, maka agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk pada daerah gradasi 1.

Tabel 5. 2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	3	0,15	0,15	99,85
2,40	2	0,10	0,25	99,75
1,20	5	0,25	0,50	99,50
0,60	275	13,75	14,25	85,75
0,30	1216	60,80	75,05	24,95
0,15	474	23,70	98,75	1,25
Sisa	25	1,250	100,000	0
Jumlah	2000	100	188,950	411,050

Tabel 5. 3 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	2	0,10	0,10	99,90
2,40	2	0,10	0,20	99,80
1,20	6	0,30	0,50	99,50
0,60	201	10,05	10,55	89,45
0,30	1282	64,10	74,65	25,35
0,15	480	24,00	98,65	1,35
Sisa	27	1,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	184,650	415,350

Berdasarkan Tabel 5.2 dan 5.3 di dapatkan nilai modulus halus butir (MHB) dengan perhitungan sebagai berikut.

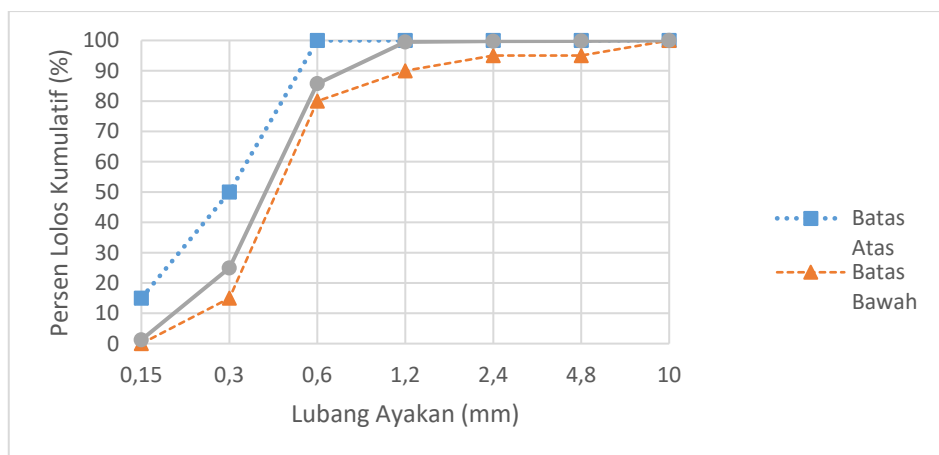
$$\begin{aligned}
 \text{a. Modulus halus butir 1 (MHB1)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{188,950}{100}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,890 \\
 \text{b. Modulus halus butir 2 (MHB2)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{184,650}{100} \\
 &= 1,847 \\
 \text{c. MHB rata-rata} &= \frac{MHB_1 + MHB_2}{2} \\
 &= \frac{1,890 + 1,847}{2} \\
 &= 1,868
 \end{aligned}$$

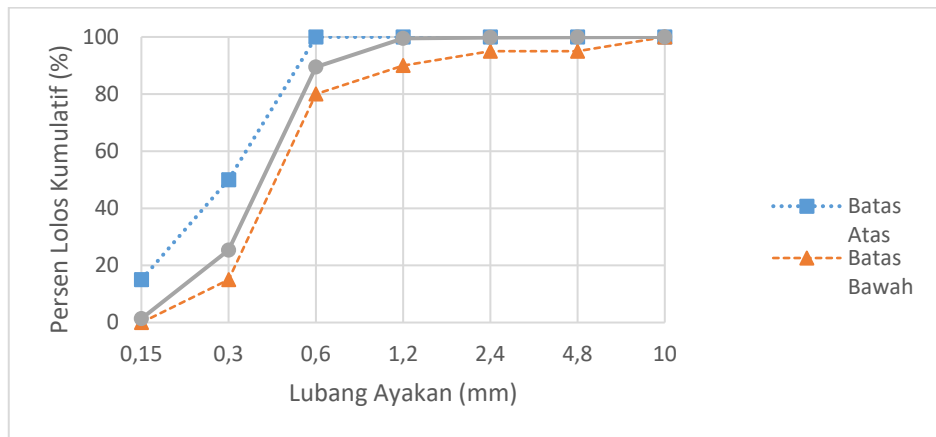
Tabel 5. 4 Gradasi agregat halus

Gradasi 1		Gradasi 2		Gradasi 3		Gradasi 4	
B. Atas	B. Bawah	B. Atas	B. Bawah	B. Atas	B. Bawah	B. Atas	B. Bawah
10	0	10	0	10	0	15	0
20	5	30	8	40	12	50	15
34	15	59	35	79	60	100	80
70	30	90	55	100	75	100	90
95	60	100	75	100	85	100	95
100	90	100	90	100	90	100	95
100	100	100	100	100	100	100	100

(Sumber : SNI 2834-2000)



Gambar 5. 1 Kurva gradasi agregat halus daerah 4 sampel 1



Gambar 5. 2 Kurva gradasi agregat halus daerah 4 sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padar Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998. Berikut ini merupakan contoh perhitungan sampel 1 untuk berat volume gembur dan padat agregat halus.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18376 - 10928 \\
 &= 7448 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\
 &= 5283,707 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7448}{5283,707} \\
 &= 1,409 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19012 - 10928 \\
 &= 8084 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1$$

$$= 5283,707 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{8084}{5283,707} \\ &= 1,53 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan sampel 1 di atas, sehingga akan didapatkan nilai berat volume gembur dan berat volume padat untuk sampel 2. Kemudian dapat dihitung nilai rerata antara sampel 1 dan sampel 2. Berikut merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan 5.6.

Tabel 5. 5 Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	10928	10825	10876.5
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19012	18952	18982
Berat Agregat (W3)	8084	8127	8105,5
Diameter Tabung (d)	14,950	14,950	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,1	30,1
Volume Tabung (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat Volume Gembur	1,530	1,538	1,534

Tabel 5. 6 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	10928	10852	10890
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18376	18192	18284
Berat Agregat (W3)	7448	7340	7394
Diameter Tabung (d)	14,950	14,950	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat Volume Padat	1,409	1,389	1,399

Berdasarkan hasil rekapitulasi di atas, maka didapatkan nilai berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,534 gram/cm³ dan nilai berat volume padat agregat rata-rata sebesar 1,399 gram/cm³.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam Pasir)

Pengujian lolos saringan no.200 (uji kadar lumpur dalam pasir) berdasarkan pada SNI 4142-1996. Pengujian ini menggunakan sampel dengan berat 500 gram agregat kering oven. Data hasil pengujian ini dapat dilihat pada table 5.7 dibawah ini. Adapun perhitungan pengujian lolos saringan no.200 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Lumpur dalam pasir} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100 \% \\ &= \frac{500-492}{500} \times 100\% \\ &= 1,6\%\end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan sampel 1 diatas, sehingga akan didapatkan kadar lumpur pasir untuk sampel 2. Kemudian dapat dihitung nilai rata-rata sampel 1 dan sampel 2. Hasil Pengujian kadar lumpur dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Hasil pengujian analisa saringan no.200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	492	488	490
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,60	2,40	2,00

Dari pengujian tersebut didapatkan persentase kandungan lumpur rata-rata sebesar 1,9%. Besar persentase tersebut sesuai dengan syarat pada SK SNI S-04-1989-F yaitu persentase maksimum kandungan lumpur dalam agregat halus sebesar 5%.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian Analisa saringan agregat kasar, pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 1969-2016. Penguji memperoleh data pengujian seperti pada contoh perhitungan pada sampel 1.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{4942}{(5000 - 3082)} \\
 &= 2,577 \\
 \text{b. Berat jenis SSD} &= \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \\
 &= \frac{500}{(5000 - 3082)} \\
 &= 2,607 \\
 \text{c. Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk - Ba)} \\
 &= \frac{4942}{(4942 - 3082)} \\
 &= 2,657 \\
 \text{d. Penyerapan air} &= \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \\
 &= \frac{(5000 - 4942)}{4942} \\
 &= 1,17\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan sampel 1 diatas, sehingga dapat dihitung nilai rata-ratanya. Berikut rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat Kerikil Mutlak (Bk), gram	4942	4891	4916,5
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082	3095	3088,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,577	2,567	2,572
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,607	2,625	2,616
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,657	2,723	2,690
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,17%	2,23%	1,701%

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus didapatkan hasil sebagai berikut.

- a. Berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata = 2,616
- b. Penyerapan air rata-rata = 1,701%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 1968-1990. Penguji mendapatkan data hasil pengujian yang nantinya akan diolah sehingga mendapatkan nilai modulus halus butir (MHB) agregat serta daerah gradasi. Berat sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah 5000 gram. Berikut adalah contoh perhitungan sampel 1.

- a. Persentase berat tertinggal =
 - i. Lubang ayakan 20 mm $= \frac{2}{5000} \times 100\% = 0,04 \%$
 - ii. Lubang ayakan 10 mm $= \frac{3719}{5000} \times 100\% = 74,38 \%$
 - iii. Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{1169}{5000} \times 100\% = 23,38 \%$
 - iv. Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{9}{5000} \times 100\% = 0,18 \%$
 - v. Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{6}{5000} \times 100\% = 0,12 \%$
 - vi. Pan $= \frac{95}{5000} \times 100\% = 1,9 \%$

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

- i. Lubang ayakan 20 mm = 0,04 %
- ii. Lubang ayakan 10 mm = 0,04 % + 74,38 % = 74,42 %
- iii. Lubang ayakan 4,8 mm = 74,42 % + 23,38 % = 97,8 %
- iv. Lubang ayakan 2,4 mm = 97,8 % + 0,18 % = 98,98 %
- v. Lubang ayakan 1,2 mm = 98,08 % + 0,12 % = 98,1 %
- vi. Pan = 98,1 % + 1,9 % = 100%

c. Persentase lolos kumulatif

- i. Lubang ayakan 20 mm = 100 % - 0,04 % = 99,96 %
- ii. Lubang ayakan 10 mm = 100 % - 74,38 % = 25,58 %
- iii. Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 97,8 % = 2,20 %
- iv. Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 97,98 % = 2,02 %
- v. Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 98,1 % = 1,9 %
- vi. Pan = 100 % - 100 % = 0 %

Untuk sampel 2 dilakukan perhitungan dengan langkah-langkah yang sama seperti sampel 1. Berikut adalah rekapitulasi sampel 1 dan 2 pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan 5.10.

Tabel 5. 9 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	2	0,04	0,04	99,96
10,00	3719	74,38	74,42	25,58
4,80	1169	23,38	97,8	2,20
2,40	9	0,18	97,98	2,02
1,20	6	0,12	98,1	1,90
0,60	0	0	98,1	1,90
Sisa	95	1,9	100	0,00
Jumlah	5000	100	662,64	237,36

Tabel 5. 10 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	2	0,04	0,04	99,96
10,00	3678	73,56	73,6	26,40
4,80	1204	24,08	97,68	2,32
2,40	15	0,3	97,98	2,02
1,20	6	0,12	98,1	1,90
0,60	0	0	98,1	1,90
Sisa	95	1,9	100	0,00
Jumlah	5000	100	661,7	238,30

Berdasarkan Tabel 5.9 dan 5.10 di dapatkan nilai modulus halus butir (MHB) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Modulus halus butir 1 (MHB1)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{662,64}{100} \\
 &= 6,626 \\
 \text{b. Modulus halus butir 2 (MHB2)} &= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{661,7}{100} \\
 &= 6,617 \\
 \text{c. MHB rata-rata} &= \frac{MHB_1 + MHB_2}{2} \\
 &= \frac{6,626 + 6,617}{2} \\
 &= 6,621
 \end{aligned}$$

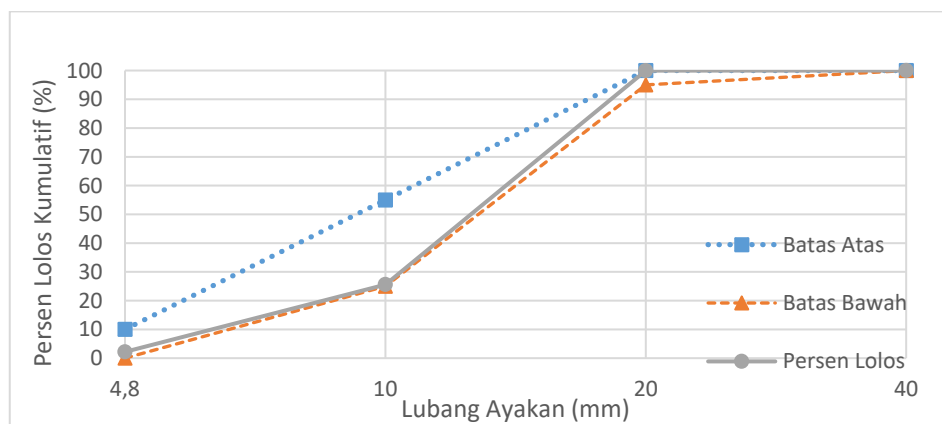
SNI 03-1968 (1990) menyebutkan bahwa nilai modulus harus butir agregat kasar berada dalam rentang 5-8. Sehingga nilai modulus halur butir agregat kasar yang diperoleh dalam penelitian ini sudah memenuhi syarat spesifikasi. Penggunaan hasil analisa saringan juga bertujuan dalam menentukan gradasi

agregat yang berdasarkan pada Tabel 5.11. Sehingga dari tabel berikut dapat kurva gradasi agregat kasar yang dinyatakan pada Gambar 5.3 dan 5.4.

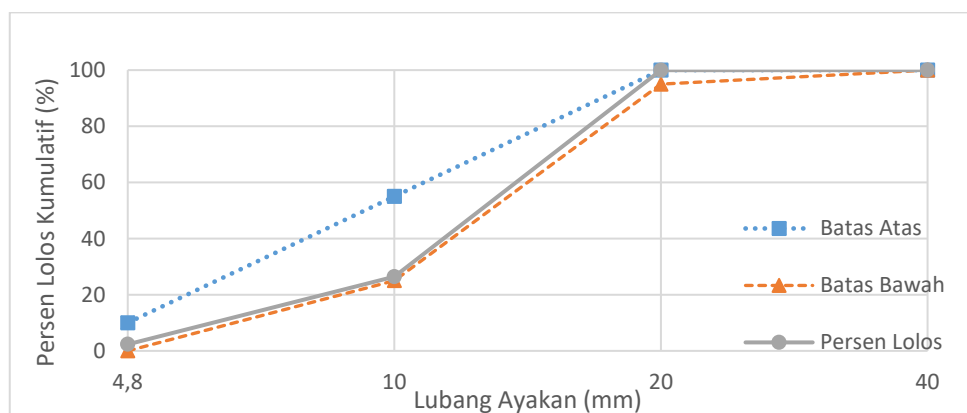
Tabel 5. 11 Gradasi agregat kasar

Lubang Ayakan	Persentase Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

(Sumber : SNI 2834-2000)



Gambar 5. 3 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm sampel 1



Gambar 5. 4 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm sampel 2

Berdasarkan kurva gradasi pada Gambar 5.3 dan 5.4, maka ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan berukuran 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998. Berikut ini merupakan contoh perhitungan sampel 1 untuk berat volume gembur dan padat agregat halus.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18421 - 11191 \\
 &= 7230 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,463 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7230}{5285,463} \\
 &= 1,368 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19321 - 11213 \\
 &= 8108 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,463 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8108}{5285,463} \\
 &= 1,534 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan perhitungan yang sama seperti perhitungan sampel 1 di atas, sehingga akan didapatkan nilai berat volume gembur dan berat volume padat untuk sampel 2. Kemudian dapat dihitung nilai

rerata antara sampel 1 dan sampel 2. Hasil dari pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan 5.13.

Tabel 5. 12 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11191	10693	10942
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18421	17912	18166,5
Berat Agregat (W3)	7230	7219	7224,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat Volume Gembur	1,368	1,366	1,367

Tabel 5. 13 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11213	10701	10957
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19321	18995	19158
Berat Agregat (W3)	8108	8294	8201
Diameter Tabung (d)	14,9500	14,9500	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat Volume Padat	1,534	1,569	1,552

Berdasarkan hasil rekapitulasi di atas, maka didapatkan nilai berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,367 gram/cm³ dan nilai berat volume padat agregat rata-rata sebesar 1,552 gram/cm³.

5.3. Perencanaan Campuran (*mix design*)

Pada penelitian ini digunakan perencanaan campuran berdasarkan SNI 2834-2000. Pada perencanaan beton ini digunakan beton dengan mutu rencana sebesar 25 MPa. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 MPa menggunakan benda uji silinder berdiamter 15 cm dan tinggi 30 cm.

2. Benda uji dilakukan pengujian pada umur 28 hari.
3. Semen yang digunakan adalah semen PCC tipe I merk Tiga Roda.
4. Berat jenis agregat halus adalah 3,414 % dan berat jenis agregat kasar adalah 1,701 % yang didapatkan dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dan agregat kasar.
5. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah IV yang didapatkan dari pengujian analisa saringan agregat halus.
6. Ukuran agregat kasar maksimum 20 mm yang didapatkan dari pengujian analisa saringan agregat kasar.
7. Nilai standar deviasi (S) adalah 7 MPa, diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
8. Nilai tambah atau *margin* (M) adalah 12 Mpa, didapatkan dari rumus,

$$\begin{aligned}
 M &= 1,64 \times S \\
 &= 1,64 \times 7 \\
 &= 11,48 \text{ atau } 12 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$
9. Kekuatan beton rata-rata yang ditargetkan, dengan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F'_{cr} &= f'_c + M \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$
10. Menentukan nilai faktor air semen (fas), menggunakan Tabel 5.14 dan Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5. 14 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0,5 dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia

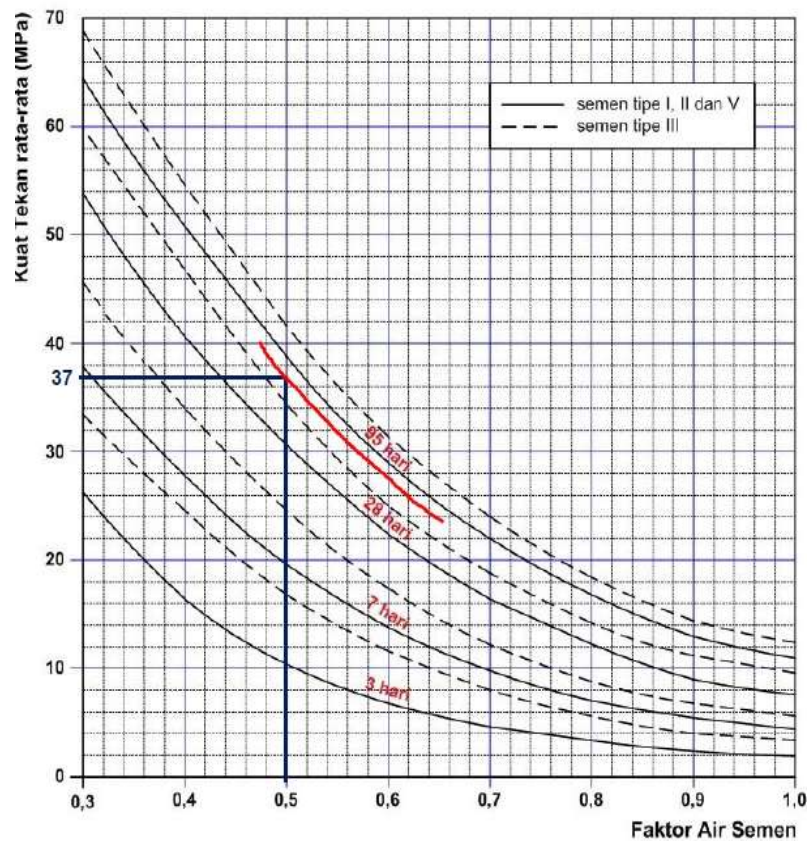
Jenis Semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Usia (hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat tipe II dan V	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu dipecah	25	32	45	54	

Lanjutan Tabel 5. 15 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0,5 dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat kasar	Kekuatan Tekan (mpa)					
		Pada Usia (hari)				Bentuk Benda Uji	
		3	7	28	29		
Semen portland tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silinder	
	Batu pecah	25	33	44	48		
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus	
	Batu pecah	30	40	53	60		

Sumber: SNI 03-2834-2000

- Digunakan semen Portland tipe I, jenis agregat kasar adalah batu pecah, kuat tekan pada umur 28 hari dengan benda uji silinder. Sehingga berdasarkan tabel 5.14 didapatkan perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 32 MPa.
 - Menggunakan Gambar 5.5 berikut ini, Tarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan 37 Mpa dan Tarik garis vertical ke atas dengan acuan fas 0,5 sampai dengan didapatkan titik perpotongan antara 2 garis tersebut kemudian dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan tersebut.
 - Setelah terdapat kurva acuan baru, maka Tarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan rencana yaitu 37 Mpa sampai memotong kurva acuan tersebut. Setelah menyentuh kurva Tarik garis tadi ke arah vertical bawah hingga menyentuh sumbu x. sehingga didapatkan fas sebesar 0,5.
- Gambar 5,5 hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(berdasarkan kuat tekan silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5. 5 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)

11. Menentukan kadar air yang diperlukan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5. 16 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	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
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 2834-2000)

- a. Digunakan ukuran butiran maksimum agregat dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar diperoleh sebesar 20mm dan digunakan jenis batuan dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
- b. Digunakan nilai *slump* 60-180 mm.
- c. Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_b + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \left(\frac{2}{3} \times 195\right) + \left(\frac{1}{3} \times 225\right) \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

12. Menetapkan jumlah semen minimum dan fas maksimum

Jumlah semen minimum dan fas maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5. 17 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

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

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton didalam ruangan dengan keadaan keliling non korosif, maka didapatkan jumlah semen minumum sebesar 275 kg/m^3 dan fas maksimum sebesar 0,6.

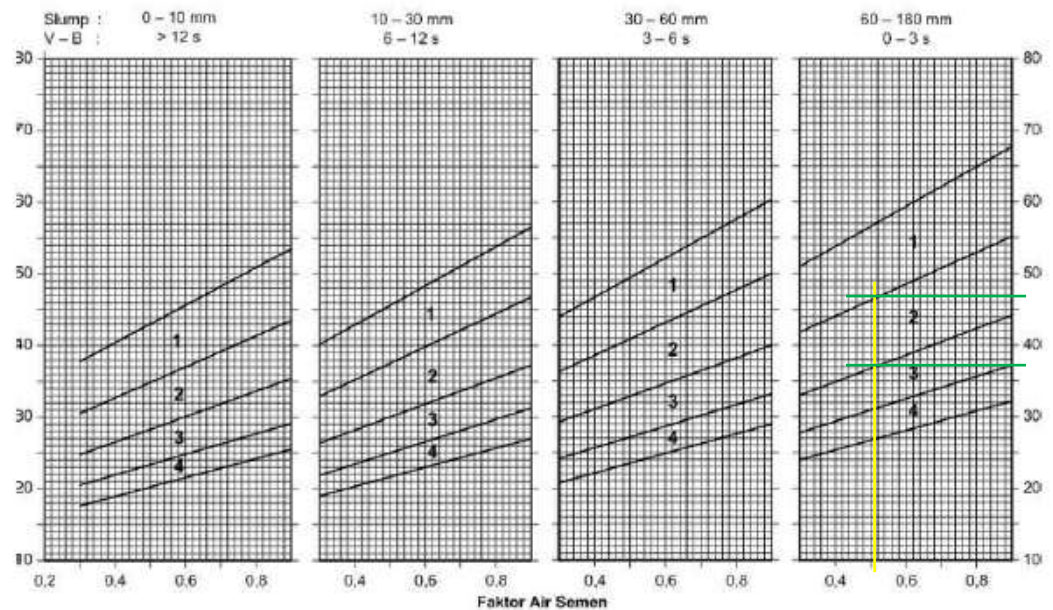
13. Menetapkan kadar semen yang digunakan.

$$\begin{aligned} c &= \frac{w}{fas} \\ &= \frac{205}{0.5} \\ &= 401,961 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Fas yang digunakan pada perhitungan adalah fas terkecil dimana 0,5 didapatkan dari grafik 5.5 diatas. kemudian didapatkan nilai kadar semen perhitungan sebesar $401,961 \text{ kg/m}^3$ sedangkan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/m^3 . Sehingga kadar semen yang digunakan adalah sebesar $401,961 \text{ kg/m}^3$.

14. Menetapkan persentase agregat halus dan kasar.

- a. Digunakan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm, selump yang direncanakan masuk kedalam *range* 60-180 mm, nilai fas sebesar 0,5 dan gradasi agregat halus masuk kedalam gradasi IV.
- b. Kemudian ditarik garis vertikal dari fas 0,5 ke atas hingga menyentuk kurva atas dan bawah zona gradasi IV. Setelah menyentuk kurva tarik garis yang menyentuk batas atas dan bawah dari kurva ke arah horizontal kanan. Sehingga, didapatkan nilai persentase batas atas dan batas bawah seperti pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5. 6 Grafik persen agregat halus terhadap kadar total yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834 2000

$$\begin{aligned} \text{c. Persentase agregat halus rata-rata} &= \frac{45,5+36,5}{2} \\ &= 41\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41\% \\ &= 59\% \end{aligned}$$

15. Menetapkan berat jenis relative agregat gabungan (kondisi SSD)

$$BJ_{Ag.Gab} = (\% \text{ Ag. Halus} \times BJ_{Ag.Halus}) + (\% \text{ Ag. Kasar} \times BJ_{Ag.Kasar})$$

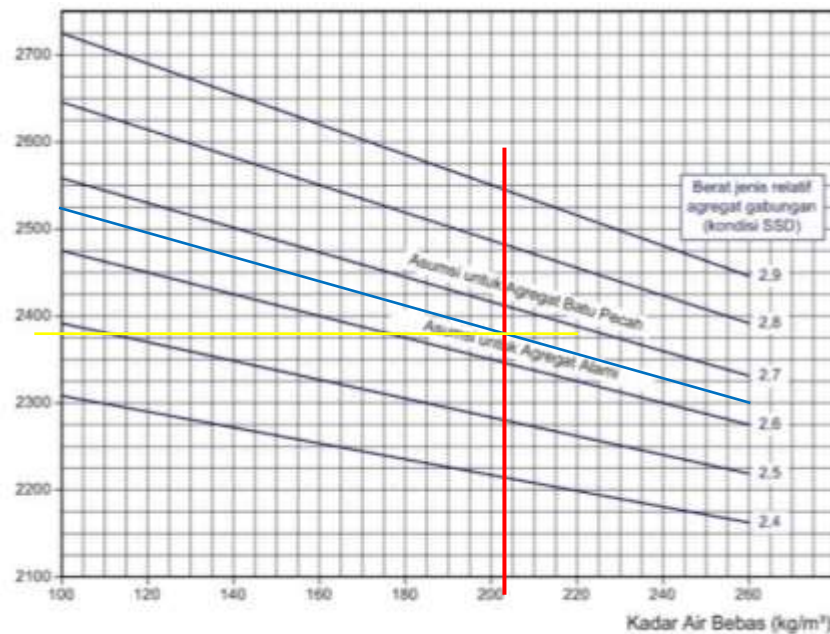
$$\begin{aligned} &= (41\% \times 2,558) + (59\% \times 2,616) \\ &= 2,592 \end{aligned}$$

16. Menetapkan berat isi/volume beton.

Berat isi/volume beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.7 berikut ini.

- Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relative agregat gabungan 2,592. Kemudian tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air 205 kg sampai dengan menyentuh kurva yang telah dibuat.

- b. Dari titik perpotongan antara garis dan kurva pada poin b, ditarik garis horizontal ke kiri. Sehingga mendapatkan nilai perkiraan berat isi beton yaitu sebesar 2375 kg/m^3 .



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

Gambar 5. 7 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan

Sumber : SNI 2384 2000

17. Menghitung kadar agregat gabungan.

$$\begin{aligned} W_{Ag.Gab} &= W_{beton} - W_{semen} - w \\ &= 2375 - 401,961 - 205 \\ &= 1768 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Menghitung kadar agregat halus.

$$\begin{aligned} W_{Ag.Halus} &= \%Ag \text{ halus} \times W_{Ag.Gab} \\ &= 41\% \times 1768 \\ &= 724,896 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Menghitung kadar agregat kasar.

$$\begin{aligned} W_{Ag.Kasar} &= W_{Ag.Gab} - W_{Ag.Halus} \\ &= 1768 - 724,896 \\ &= 1043,14 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

20. Proporsi dalam campuran per1 m³ beton.

Dari hasil perencanaan campuran diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 m³ beton sebagai berikut.

- a. Semen = 401,961 Kg
- b. Air = 205 Kg
- c. Agregat halus = 724,896 Kg
- d. Agregat kasar = 1043,14 Kg

21. Proporsi dalam campuran per1 m³ beton.

Diambil nilai penyusutan 25%, sehingga diperoleh tiap material untuk setiap 1 m³ beton dengan angka penyusutan sebagai berikut.

- e. Semen = 502,451 Kg
- f. Air = 256,250 Kg
- g. Agregat halus = 906,120 Kg
- h. Agregat kasar = 1303,929 Kg

22. Hasil perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan	25	MPa
2	Deviasi Standar	7	
3	Nilai Tambah	11,48	MPa
	Dibulatkan	12	MPa
4	Kuat tekan rata rata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
8	Faktor Air Semen	0,55	
9	Kuat Tekan yang ditargetkan	42	MPa
10	FAS bebas	0,5	
11	FAS Maksimum	0,6	
12	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m ³
13	FAS yang digunakan	0,5	

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
14	Nilai Slump ditetapkan	60-100	mm
15	Ukuran Agregat Maksimum	20	cm
16	Kadar Air Bebas	205	kg/m3
17	Kadar Semen	401,961	kg/m3
18	Kadar Semen maksimum	-	-
19	Kadar Semen minimum	205	kg/m3
20	Kadar Semen digunakan	401,961	kg/m3
21	Faktor Air Semen Disesuaikan	0,5	
22	Susunan Besar Butir Agregat Halus	Gradasi IV	
23	Berat Jenis Agregat Halus (SSD)	2,558	
24	Berat Jenis Agregat Kasar (SSD)	2,616	
25	Persen Agregat Halus	45,5%	batas atas
		36,5%	batas bawah
		41%	rata-rata
26	Persen Agregat Kasar	59%	
27	Berat Jenis Agregat Gabungan	2.592	
28	Berat Isi Beton	2375	kg/m3
29	Kadar Agregat Gabungan	1768,04	kg/m3
30	Kadar Agregat Halus	724,896	kg/m3
31	Kadar Agregat kasar	1043,143	kg/m3
32	Kadar Semen dengan angka penyusutan	502,451	kg/m3
33	Kadar Agregat Halus dengan angka penyusutan	256,250	kg/m3
34	Kadar Agregat Halus dengan angka penyusutan	906,120	kg/m3
35	Kadar Air dengan angka penyusutan	1303,929	kg/m3

23. Volume benda uji

Pada penelitian ini menggunakan benda uji yang terdiri dari 40 silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta 24 balok berdimensi 600 mm × 150 mm × 150 mm. Volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*, penelitian ini pembuatan benda uji tiap variasi dilakukan dalam satu kali *mixing* untuk 10 silinder dan satu kali *mixing* untuk 6 balok.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume per } \textit{mixing} \text{ silinder} &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= 10 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0530 \, m^3 \\
 \text{Volume per } \textit{mixing} \text{ balok} &= 6 \times p \times l \times t \\
 &= 6 \times 0,4 \times 0,10 \times 0,10 \\
 &= 0,0240 \, m^3 \\
 \text{Volume total tiap variasi} &= 0,0265 + 0,0120 \\
 &= 0,0770 \, m^3
 \end{aligned}$$

24. Proporsi campuran setiap *mixing* silinder.

1. Semen = 25,572 kg
2. Air = 13,042 kg
3. Agregat Halus = 45,961 kg
4. Agregat Kasar = 66,139 kg

25. Proporsi campuran setiap *mixing* Balok.

1. Semen = 11,576 kg
2. Air = 5,904 kg
3. Agregat Halus = 20,807 kg
4. Agregat Kasar = 29,942 kg

26. Kebutuhan serbuk kapur untuk setiap *mixing* 5 silinder dan 3 balok.

- a. Serbuk kapur 5% = $37,148 - 5\% = 1,857$
 $= \frac{1,857}{2,75} = \frac{x}{2,4} = 1,621 \, kg$
- b. Serbuk kapur 10% = $37,148 - 10\% = 3,715$
 $= \frac{3,715}{2,75} = \frac{x}{2,4} = 3,242 \, kg$
- c. Serbuk kapur 15% = $37,148 - 15\% = 5,572$
 $= \frac{5,572}{2,75} = \frac{x}{2,4} = 4,863 \, kg$

Keterangan :

2,75 = berat jenis Semen

2,4 = berat jenis serbuk kapur

Berikut merupakan rekapitulasi hasil proporsi campuran beton pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.18 dibawah ini.

Tabel 5. 20 Proporsi campuran beton serbuk kapur sebagai substitusi semen

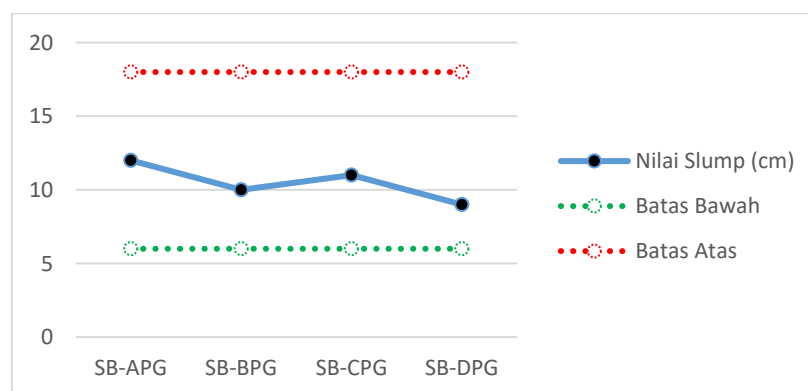
Kode Benda Uji	Variasi	Semen (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Serbuk Kapur (kg)	Air (kg)
SB-APG	0%	37,148	66,678	96,081	0,000	18,946
SB-BPG	5%	35,291	66,678	96,081	1,621	18,946
SB-CPG	10%	33,433	66,678	96,081	3,242	18,946
SB-DPG	15%	31,576	66,678	96,081	4,863	18,946

5.4. Hasil Pengujian Slump

Slump merupakan acuan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada campuran beton. Nilai slump yang semakin besar, maka tekstur semakin cair sehingga mengakibatkan beton semakin mudah untuk dikerjakan, begitu juga sebaliknya. Beton yang baik yaitu beton yang mudah dikerjakan, tidak ada pemisahan antara agregat dengan campuran (*segregasi*) dan pemisahan air dari campuran (*bleeding*). Dibawah ini merupakan hasil dari pengujian *slump* pada penelitian yang dilakukan oleh penulis pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5. 21 Nilai *Slump* Beton

Kode Mixing	Nilai Slump (cm)
SB-APG	12
SB-BPG	10
SB-CPG	11
SB-DPG	9

**Gambar 5. 8 Hubungan *Slump* dengan Persentase Serbuk Kapur**

Berdasarkan Tabel 5.19 dan Gambar 5.8 tersebut dapat dilihat jika nilai *slump* tertinggi pada beton normal yaitu berada 12 cm dan yang terendah yaitu 9 cm pada variasi 15%. Nilai *slump* setiap adukan sudah memenuhi dari nilai *slump* rencana yaitu 60-180 mm dengan batas atas 180 mm dan batas bawah 60 mm.

Semakin banyak serbuk kapur yang digunakan pada variasi beton, maka semakin rendah nilai *slump*-nya. Hal tersebut dikarenakan serbuk kapur menyerap air yang cukup besar sehingga berpengaruh pada tekstur *slump* yang semakin kental dan berpengaruh pada tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang menurun, sehingga campuran akan lebih sulit dipadatkan dibandingkan beton normal.

5.5. Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pemeriksaan berat volume beton dilakukan terhadap benda uji yang didiamkan setelah proses perawatan beton. Benda uji silinder ditimbang beratnya dan diukur dimensi untuk menghitung volume beton tersebut. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum silinder diuji kuat tekan beton. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat beton dengan volume beton adapun perhitungan dan rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat sebagai berikut.

1. Perendaman

$$\begin{aligned}\text{Berat Volume S1-A} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{12,823}{0,25 \times \pi \times 0,150^2 \times 0,302} \\ &= 2401,330 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

2. Ditutup karung goni basah

$$\begin{aligned}&= \frac{W}{V} \\ &= \frac{11,825}{0,25 \times \pi \times 0,1493^2 \times 0,300} \\ &= 2251,638 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Tabel 5. 22 Rekapitulasi berat volume beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
Perendaman	28 Hari	S1-A	0,1500	0,3023	0,0053	12,823	2401,330	2404,138
		S2-A	0,1495	0,3015	0,0053	12,723	2405,194	
		S3-A	0,1488	0,3023	0,0053	12,689	2414,717	
		S4-A	0,1493	0,3018	0,0053	12,581	2381,303	
		S5-A	0,1486	0,3024	0,0052	12,668	2418,143	
		S1-B	0,1493	0,3015	0,0053	12,782	2421,755	2411,528
		S2-B	0,1483	0,3018	0,0052	12,752	2449,063	
		S3-B	0,1495	0,3023	0,0053	12,623	2379,975	
		S4-B	0,1485	0,3012	0,0052	12,412	2380,478	
		S5-B	0,1500	0,3015	0,0053	12,921	2426,368	
		S1-C	0,1513	0,3017	0,0054	12,791	2358,263	2413,468
		S2-C	0,1489	0,3021	0,0053	12,851	2445,755	
		S3-C	0,1505	0,3013	0,0054	12,989	2426,016	
		S4-C	0,1502	0,3015	0,0053	12,885	2412,783	
		S5-C	0,1498	0,3017	0,0053	12,881	2424,521	
		S1-D	0,1485	0,3018	0,0052	12,668	2424,746	2417,703
		S2-D	0,1493	0,3014	0,0053	12,782	2422,559	
		S3-D	0,1483	0,3021	0,0052	12,752	2443,894	
		S4-D	0,1485	0,3022	0,0052	12,623	2412,935	
		S5-D	0,1500	0,3013	0,0053	12,689	2384,383	

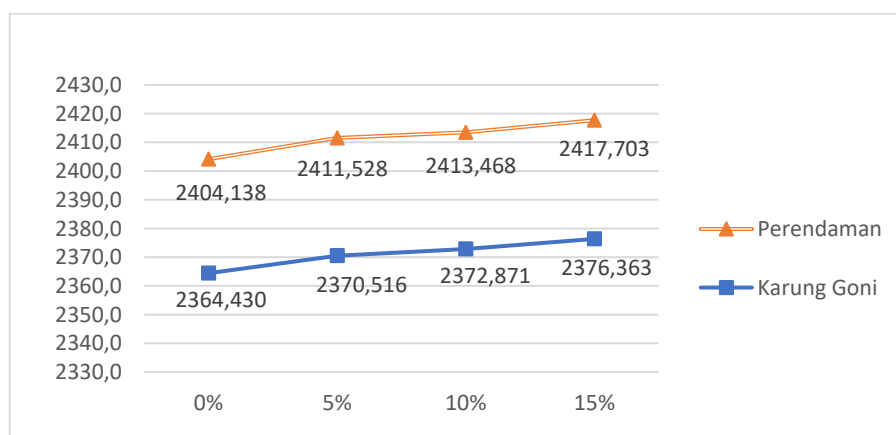
Lanjutan Tabel 5. 23 Rekapitulasi berat volume beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m3)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m3)	Berat Volume Rerata (kg/m3)
Ditutup karung goni	28 Hari	SG1-A	0,1493	0,3000	0,0053	12,325	2346,845	2364,430
		SG2-A	0,1483	0,3000	0,0052	12,582	2430,913	
		SG3-A	0,1495	0,3000	0,0053	12,341	2344,645	
		SG4-A	0,1485	0,3000	0,0052	12,401	2387,882	
		SG5-A	0,1500	0,3000	0,0053	12,250	2311,866	
		SG1-B	0,1485	0,3000	0,0052	12,295	2367,471	2370,516
		SG2-B	0,1493	0,3000	0,0053	12,555	2390,640	
		SG3-B	0,1483	0,3000	0,0052	12,255	2365,085	
		SG4-B	0,1485	0,3000	0,0052	12,485	2404,057	
		SG5-B	0,1506	0,3000	0,0053	12,412	2325,324	
		SG1-C	0,1502	0,3000	0,0053	12,775	2403,569	2372,871
		SG2-C	0,1495	0,3000	0,0053	12,682	2409,431	
		SG3-C	0,1491	0,3000	0,0052	12,335	2357,677	
		SG4-C	0,1493	0,3000	0,0053	12,629	2404,731	
		SG5-C	0,1486	0,3000	0,0052	11,896	2288,946	
		SG1-D	0,1504	0,3000	0,0053	11,972	2246,950	2376,363
		SG2-D	0,1506	0,3000	0,0053	12,895	2415,042	
		SG3-D	0,1493	0,3000	0,0053	12,795	2436,339	
		SG4-D	0,1503	0,3000	0,0053	12,850	2414,369	
		SG5-D	0,1507	0,3000	0,0054	12,675	2369,117	

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas diperoleh nilai berat volume beton rata rata (kg/m^3) sebagai berikut.

1. Berat volume rata rata beton normal perendaman $2404,138 kg/m^3$.
2. Berat volume rata rata beton 5% kapur metode rawatan perendaman $2411,528 kg/m^3$.
3. Berat volume rata rata beton 10% kapur metode rawatan perendaman $2410,116 kg/m^3$.
4. Berat volume rata rata beton 15% kapur metode rawatan perendaman $2417,703 kg/m^3$.
5. Berat volume rata rata beton normal metode rawatan ditutup karung goni basah $2263,388 kg/m^3$.
6. Berat volume rata rata beton 5% kapur metode rawatan ditutup karung goni basah $2260,671 kg/m^3$.
7. Berat volume rata rata beton 10% kapur metode rawatan ditutup karung goni basah $2264,025 kg/m^3$.
8. Berat volume rata rata beton 15% kapur metode rawatan ditutup karung goni basah $2266,147 kg/m^3$.

Berdasarkan nilai berat volume rata rata setiap metode dan variasi dapat di plot menjadi grafik seperti pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Hubungan Antara Berat Volume dengan metode rawatan dan Variasi

Berdasarkan Gambar 5.9 di atas, dapat diketahui selisih berat volume beton dengan perawatan perendaman dan ditutup karung goni. Adapun contoh perhitungan dan rekapitulasinya disajikan pada Tabel 5.22, 5.23, dan 5.24 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\ &= \frac{2411,528 - 2404,138}{2404,138} \times 100\% \\ &= 0,307\%\end{aligned}$$

Tabel 5. 24 Persentase selisih nilai berat volume metode perendaman

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Berat Volume Beton
1	0% Kapur	0,000%
2	5% Kapur	0,307%
3	10% Kapur	0,307%
4	15% Kapur	0,564%

Berdasarkan Tabel 5.22 dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan perendaman variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar 0,307%, 0,307%, dan 0,564% hal ini dikarenakan adanya sifat kapur yang mudah menyerap air sehingga pada variasi 15% menunjukkan peningkatan paling besar untuk menyerap air.

2. Persentase metode ditutup karung goni dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGB} - \text{rerata SGA}}{\text{rerata SGA}} \times 100\% \\ &= \frac{2370,516 - 2364,430}{2364,430} \times 100\% \\ &= 0,257\%\end{aligned}$$

Tabel 5. 25 Persentase selisih nilai berat volume metode ditutup karung goni

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Berat Volume Beton
1	0% Kapur	0,000%
2	5% Kapur	0,257%
3	10% Kapur	0,357%
4	15% Kapur	0,505%

Berdasarkan Tabel 5.23 dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan ditutup karung goni variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar 0,257%, 0,357%, dan 0,505% hal ini dikarenakan adanya sifat kapur yang mudah menyerap air sehingga pada variasi 15% menunjukkan peningkatan paling besar untuk menyerap air.

3. Persentase metode perendaman dengan metode ditutup karung goni dengan tolak ukur metode perendaman

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\ &= \frac{2364,430 - 2404,138}{2404,138} \times 100\% \\ &= 1,679\%\end{aligned}$$

Tabel 5. 26 Persentase selisih nilai berat volume metode perendaman dengan ditutup karung goni

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Berat Volume Beton
1	0% Kapur	1.679%
2	5% Kapur	1.730%
3	10% Kapur	1.711%
4	15% Kapur	1.740%

Berdasarkan Tabel 5.24 dapat diketahui bahwa metode rawatan ditutup karung goni dengan metode perendaman sebagai perbandingan, maka beton variasi 0% 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar 1,679%, 1,730%, 1,711%, dan 1,640% hal ini metode perendaman memiliki air yang lebih banyak air dibandingkan metode ditutup karung goni dan nilai paling tinggi berada pada variasi 15% yang menunjukkan peningkatan paling besar untuk menyerap air.

5.6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan pada beton usia 28 hari, setelah melewati proses perawatan yaitu direndam dalam air dan diangkat 1 hari sebelum pengujian dilaksanakan. Dengan kuat tekan rencana (f'_{cr}) sebesar 37 MPa. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan alat uji compression testing machine dengan jumlah sampel 40 silinder. Sebelum pengujian, dilakukan capping pada permukaan atas sampel beton dengan belerang, tujuannya agar permukaan atas sampel beton rata sehingga beban dari compression testing machine dapat merata pada permukaan beton. Pengujian dilakukan hingga benda uji tidak dapat lagi menahan beban yang diberikan mesin uji. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan kuat tekan beton tiap variasi pada sampel 1.

1. Metode perendaman

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan} &= \frac{P (N)}{A (mm)} \\ &= \frac{482000}{0,25 \times \pi \times 150,067^2} \\ &= 27,251 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Metode ditutup karung goni

$$\begin{aligned}\text{Kuat tekan} &= \frac{P (N)}{A (mm)} \\ &= \frac{385000}{0,25 \times \pi \times 149,333^2} \\ &= 21,982 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dihitung juga kuat tekan beton untuk sampel-sampel lainnya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.24 dibawah ini.

Tabel 5. 27 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (cm ³)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Perendaman	28	S1-AP	150,067	301,333	17687,178	482	27,251	30,84
		S2-AP	149,344	301,500	17517,230	487	27,801	
		S3-AP	148,800	302,333	17389,846	519	29,845	
		S4-AP	149,333	301,850	17514,650	594	33,914	
		S5-AP	148,555	302,445	17332,629	613	35,367	
		S1-BP	149,333	301,545	17514,650	706	40,309	31,31
		S2-BP	148,250	301,885	17261,530	484	28,039	
		S3-BP	149,500	302,388	17553,845	528	30,079	
		S4-BP	148,500	301,225	17319,797	550	31,756	
		S5-BP	150,000	301,555	17671,459	625	35,368	
		S1-CP	151,333	301,772	17986,935	544	30,244	31,77
		S2-CP	148,851	302,122	17401,769	546	31,376	
		S3-CP	150,455	301,331	17778,828	616	34,648	
		S4-CP	150,212	301,598	17721,445	624	35,212	
		S5-CP	149,775	301,788	17618,484	482	27,358	
		S1-DP	148,500	301,832	17319,797	491	28,349	28,83
		S2-DP	149,333	301,433	17514,650	494	28,205	
		S3-DP	148,333	302,152	17280,864	495	28,644	
		S4-DP	148,500	302,221	17319,797	532	30,716	
		S5-DP	150,000	301,355	17671,459	499	28,238	

Tabel 5. 28 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton

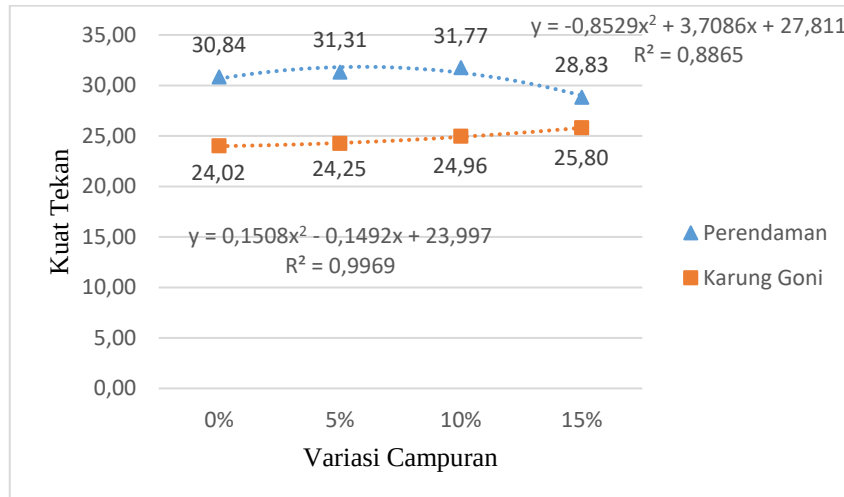
Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (cm ³)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Ditutup Karung Goni	28	S1-AG	149,333	301,433	17514,650	385	21,982	24,02
		S2-AG	148,250	302,152	17261,530	444	25,722	
		S3-AG	149,500	302,221	17553,845	394	22,445	
		S4-AG	148,500	301,355	17319,797	461	26,617	
		S5-AG	150,000	301,433	17671,459	412	23,314	
		S1-BG	148,500	302,152	17319,797	351	20,266	24,25
		S2-BG	149,333	301,772	17514,650	440	25,122	
		S3-BG	148,333	302,122	17280,864	472	27,313	
		S4-BG	148,500	301,331	17319,797	440	25,404	
		S5-BG	150,551	301,598	17801,523	412	23,144	
		S1-CG	150,230	301,225	17725,693	427	24,089	24,96
		S2-CG	149,500	301,555	17553,845	472	26,889	
		S3-CG	149,050	301,772	17448,329	396	22,696	
		S4-CG	149,333	301,433	17514,650	475	27,120	
		S5-CG	148,555	302,152	17332,629	416	24,001	
		S1-DG	150,415	302,221	17769,376	527	29,658	25,80
		S2-DG	150,575	301,645	17807,200	440	24,709	
		S3-DG	149,333	301,535	17514,650	428	24,437	
		S4-DG	150,333	302,333	17750,007	440	24,789	
		S5-DG	150,725	301,221	17842,696	453	25,389	

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.25 dapat diketahui bahwa metode perendaman memiliki hasil yang lebih baik dikarenakan proses hidrasi beton terpenuhi sedangkan, untuk metode ditutup karung goni masih memiliki celah pada permukaan beton atau dikatakan beton tidak tertutup sempurna. Oleh karena itu, bisa jadi proses hidrasi beton terganggu.

Pada variasi 5% metode perendaman beton dengan kode sampel S1-BP dengan kuat tekan 40,309 MPa, tidak dimasukan ke dalam rata-rata dari variasi tersebut. Dikarenakan hasilnya yang terlalu tinggi sehingga dapat menyebabkan adanya perubahan nilai yang dominan. Oleh karena itu pada variasi 5% metode perendaman hanya menggunakan beton dengan kode sampel S2-BP, S3-BP, S4-BP, dan S5-BP. Sehingga diperoleh nilai kuat tekan beton (f'_c) rata-rata (MPa) sebagai berikut.

1. Perendaman
 - a. Beton Normal = 30,84 MPa
 - b. Beton 5% Kapur = 31,31 MPa
 - c. Beton 10% Kapur = 31,77 MPa
 - d. Beton 15% Kapur = 28,83 MPa
2. Ditutup karung goni
 - a. Beton Normal = 24,02 MPa
 - b. Beton 5% Kapur = 24,25 MPa
 - c. Beton 10% Kapur = 24,96 MPa
 - d. Beton 15% Kapur = 25,80 MPa

Berdasarkan nilai kuat tekan rata rata setiap metode dan varian dapat diplot menjadi grafik nilai kuat tekan beton pada setiap metode rawatan dan varian. Dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap perawatan dan varian

Berdasarkan Gambar 5.10 pada variasi 15% dengan metode perendaman mengalami penurunan sedangkan pada metode ditutup karung goni pada variasi 15% masih mengalami peningkatan, hal ini disebabkan karena perbedaan metode perawatan yang mungkin menyebabkan adanya perbedaan.

Penurunan yang terjadi pada variasi 15% metode perendaman dilakukan persamaan polynomial dengan hasil R^2 untuk metode perendaman sebesar 0,8865 dan R^2 untuk metode ditutup karung goni sebesar 0,9969. Jika dilakukan analisis lanjutan dari persamaan yang didapat pada metode perendaman maka nilai X_{max} didapatkan sebesar 2,232 dan Y_{max} sebesar 34,187. Dapat dikatakan secara analisis kuadratik, kadar serbuk kapur optimal berada di 2,232% dan diprediksi menghasilkan nilai kuat tekan optimal sebesar 34,187 MPa. Sedangkan untuk metode ditutup karung goni tidak dilakukan analisis lanjutan karena masih mengalami peningkatan dan belum diketahui penurunan dari variasi

Adapun persentase selisih nilai tersebut dapat dilihat pada contoh perhitungan dan rekapitulasinya disajikan pada Tabel 5.26, 5.27, dan 5.28 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{31,31 - 30,84}{30,84} \times 100\% \\
 &= 1,539\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 29 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode perendaman

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
1	0% Kapur	0,000%
2	5% Kapur	1,539%
3	10% Kapur	3,022%
4	15% Kapur	-6,503%

Berdasarkan Tabel 5.27 dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan perendaman variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar 1,539%, 3,022%, dan -6,503%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat namun, pada variasi 15% nilai minus menunjukkan adanya penurunan kuat tekan.

2. Persentase metode ditutup karung goni dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGB} - \text{rerata SGA}}{\text{rerata SGA}} \times 100\% \\
 &= \frac{24,25 - 24,02}{24,02} \times 100\% \\
 &= 0,974\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 30 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode ditutup karung goni

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
1	0% Kapur	0,000%
2	5% Kapur	0,974%
3	10% Kapur	3,926%
4	15% Kapur	7,412%

Berdasarkan Tabel 5.28 dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan ditutup karung goni variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar 0,974%, 3,926%, dan 7,412%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat.

3. Persentase metode perendaman dengan metode ditutup karung goni

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGA} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{24,02 - 30,84}{30,84} \times 100\% \\
 &= -28,397\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 31 Persentase selisih nilai kuat tekan beton metode perendaman dengan ditutup karung goni

No	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
1	0% Kapur	-28,397%
2	5% Kapur	-29,115%
3	10% Kapur	-27,279%
4	15% Kapur	-11,763%

Berdasarkan tabel 5.29 dapat diketahui bahwa metode rawatan ditutup karung goni dengan metode perendaman sebagai perbandingan, maka beton variasi 0% 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar -28,397%, 29,115%, 27,279%, dan 11,763% hal ini dikarenakan metode perendaman dapat membantu memperkuat kekuatan beton dengan menguatkan ikatan antara partikel-partikel beton. Ini dapat membantu meningkatkan daya tahan beton terhadap tekanan, gesekan, dan gaya-gaya eksternal lainnya.

5.7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian Modulus Elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 4169-1996. Pengujian ini berlaku terhadap semua variasi campuran dan perawatan pada sampel silinder, sehingga jumlah keseluruhan adalah 40 sampel silinder dengan rincian 5 sampel variasi 0% campuran metode perendaman, 5 sampel variasi 5% campuran metode perendaman, 5 sampel variasi 10% campuran metode perendaman, 5 sampel variasi 15% campuran metode perendaman, 5 sampel variasi 0% campuran metode ditutup karung goni, 5 sampel variasi 5% campuran metode ditutup karung goni, 5 sampel variasi 10% campuran metode ditutup karung goni, 5 sampel variasi 15% campuran metode ditutup karung goni. Pengujian modulus elastisitas dilakukan untuk mengetahui nilai dari tegangan

dan regangan beton. Sehingga data yang harus diperiksa terlebih dahulu adalah luas penampang benda uji (A) dan panjang awal kompresometer (L_0). Untuk melanjutkan pengujian mendapatkan data berupa beban setiap 10 kN menggunakan mesin uji tekan dan data penurunan silinder beton ($\Delta L'$) setiap penambahan 10 kN menggunakan *handheld data logger*. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban mencapai 10 kN untuk setiap metode perawatan.

1. Perendaman

$$\begin{aligned} \text{a. } \Delta L' &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{5}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,003 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L'}{L_0} \\ &= \frac{0,003}{200} \\ &= 0,00000125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{20000}{17671} \\ &= 1,132 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Ditutup karung goni

$$\begin{aligned} \text{a. } \Delta L' &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{4}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,002 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L'}{L_0} \\ &= \frac{0,002}{200} \\ &= 0,000001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{20000}{17507} \\ &= 0,571 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan selanjutnya dengan cara yang sama seperti di atas. Sehingga, didapatkan nilai regangan dan regangan pada setiap penambahan beban 10 kN. Berikut merupakan hasil perhitungan tegangan dan regangan pada sampel 1 setiap metode perawatan dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan 5.31.

Tabel 5. 32 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode perendaman

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0,000	0,000%	0,566	0,000
20	20000	5	0,003	0,001%	1,132	0,013
30	30000	10	0,005	0,003%	1,698	0,025
40	40000	15	0,008	0,004%	2,264	0,038
50	50000	20	0,010	0,005%	2,829	0,050
60	60000	25	0,013	0,006%	3,395	0,063
70	70000	31	0,016	0,008%	3,961	0,078
80	80000	39	0,020	0,010%	4,527	0,098
90	90000	44	0,022	0,011%	5,093	0,110
100	100000	49	0,025	0,012%	5,659	0,123
110	110000	55	0,028	0,014%	6,225	0,138
120	120000	60	0,030	0,015%	6,791	0,150
130	130000	68	0,034	0,017%	7,356	0,170
140	140000	75	0,038	0,019%	7,922	0,188
150	150000	80	0,040	0,020%	8,488	0,200
160	160000	88	0,044	0,022%	9,054	0,220
170	170000	95	0,048	0,024%	9,620	0,238
180	180000	101	0,051	0,025%	10,186	0,253
190	190000	110	0,055	0,028%	10,752	0,275
200	200000	115	0,058	0,029%	11,318	0,288
210	210000	122	0,061	0,031%	11,884	0,305
220	220000	130	0,065	0,033%	12,449	0,325
230	230000	140	0,070	0,035%	13,015	0,350
240	240000	145	0,073	0,036%	13,581	0,363
250	250000	153	0,077	0,038%	14,147	0,383
260	260000	161	0,081	0,040%	14,713	0,403
270	270000	171	0,086	0,043%	15,279	0,428

Lanjutan Tabel 5. 33 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode perendaman

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
280	280000	179	0,090	0,045%	15,845	0,448
290	290000	185	0,093	0,046%	16,411	0,463
300	300000	193	0,097	0,048%	16,977	0,483
310	310000	203	0,102	0,051%	17,542	0,508
320	320000	210	0,105	0,053%	18,108	0,525
330	330000	220	0,110	0,055%	18,674	0,550
340	340000	230	0,115	0,058%	19,240	0,575
350	350000	240	0,120	0,060%	19,806	0,600
360	360000	250	0,125	0,063%	20,372	0,625
370	370000	261	0,131	0,065%	20,938	0,653
380	380000	272	0,136	0,068%	21,504	0,680
390	390000	285	0,143	0,071%	22,069	0,713
400	400000	298	0,149	0,075%	22,635	0,745
410	410000	310	0,155	0,078%	23,201	0,775
420	420000	325	0,163	0,081%	23,767	0,813
430	430000	340	0,170	0,085%	24,333	0,850
440	440000	360	0,180	0,090%	24,899	0,900
450	450000	380	0,190	0,095%	25,465	0,950
460	460000	399	0,200	0,100%	26,031	0,998
470	470000	425	0,213	0,106%	26,597	1,063
480	480000	470	0,235	0,118%	27,162	1,175
482	482000	490	0,245	0,123%	27,276	1,225
480	480000	510	0,255	0,128%	27,162	1,275
470	470000	550	0,275	0,138%	26,597	1,375
460	460000	590	0,295	0,148%	26,031	1,475
450	450000	670	0,335	0,168%	25,465	1,675

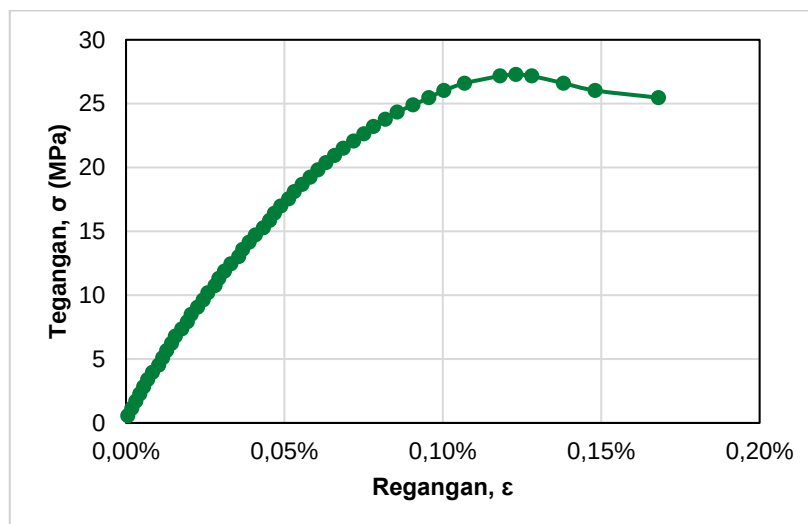
Tabel 5. 34 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode ditutup karung goni

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
10	10000	4	0,002	0,001%	0,57	0,01
20	20000	12	0,006	0,003%	1,14	0,03
30	30000	21	0,0105	0,005%	1,71	0,05
40	40000	30	0,015	0,008%	2,28	0,08
50	50000	40	0,02	0,010%	2,86	0,10
60	60000	49	0,0245	0,012%	3,43	0,12
70	70000	58	0,029	0,015%	4,00	0,15
80	80000	68	0,034	0,017%	4,57	0,17
90	90000	78	0,039	0,020%	5,14	0,20
100	100000	86	0,043	0,022%	5,71	0,22
110	110000	98	0,049	0,025%	6,28	0,25
120	120000	110	0,055	0,028%	6,85	0,28
130	130000	120	0,06	0,030%	7,43	0,30
140	140000	130	0,065	0,033%	8,00	0,33
150	150000	142	0,071	0,036%	8,57	0,36
160	160000	154	0,077	0,039%	9,14	0,39
170	170000	165	0,0825	0,041%	9,71	0,41
180	180000	177	0,0885	0,044%	10,28	0,44
190	190000	188	0,094	0,047%	10,85	0,47
200	200000	202	0,101	0,051%	11,42	0,51
210	210000	213	0,1065	0,053%	12,00	0,53
220	220000	223	0,1115	0,056%	12,57	0,56
230	230000	236	0,118	0,059%	13,14	0,59
240	240000	247	0,1235	0,062%	13,71	0,62
250	250000	261	0,1305	0,065%	14,28	0,65
260	260000	275	0,1375	0,069%	14,85	0,69
270	270000	289	0,1445	0,072%	15,42	0,72
280	280000	302	0,151	0,076%	15,99	0,76
290	290000	315	0,1575	0,079%	16,56	0,79
300	300000	330	0,165	0,083%	17,14	0,83
310	310000	345	0,1725	0,086%	17,71	0,86
320	320000	361	0,1805	0,090%	18,28	0,90
330	330000	379	0,1895	0,095%	18,85	0,95

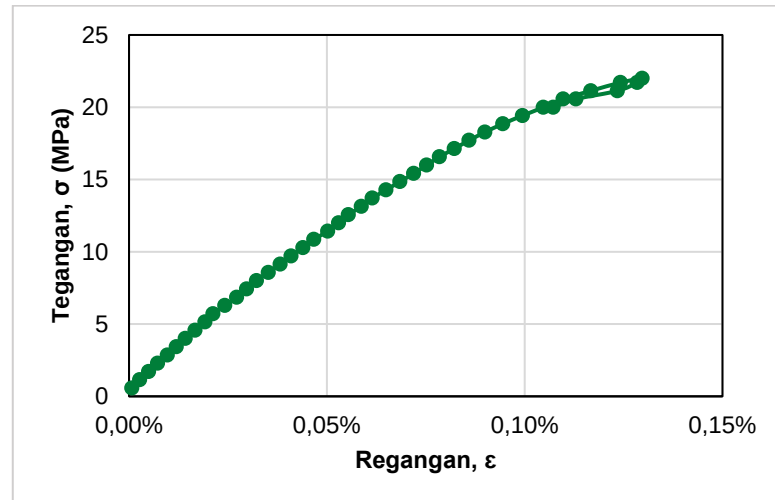
Lanjutan Tabel 5. 35 Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton metode ditutup karung goni

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
340	340000	399	0,1995	0,100%	19,42	1,00
350	350000	420	0,21	0,105%	19,99	1,05
360	360000	440	0,22	0,110%	20,56	1,10
370	370000	468	0,234	0,117%	21,13	1,17
380	380000	498	0,249	0,125%	21,71	1,25
385	385000	520	0,26	0,130%	21,99	1,30
380	380000	515	0,2575	0,129%	21,71	1,29
370	370000	495	0,2475	0,124%	21,13	1,24
360	360000	453	0,2265	0,113%	20,56	1,13
350	350000	430	0,215	0,108%	19,99	1,08

Berdasarkan nilai tegangan dan regangan pada tabel di atas, dapat dibuatkan grafik hubungan tegangan dan regangan beton untuk setiap variasi dan metode perawatan. Adapun grafik hubungan regangan dan regangan beton metode perawatan perendaman sampel 1 dan metode perawatan ditutup karung goni sampel 1 dapat dilihat secara berturut-turut pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan perendaman sampel 1



Gambar 5. 12 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan ditutup karung goni sampel 1

Nilai modulus elastisitas beton diperoleh dari kemiringan kurva linier pada daerah elastis. Persamaan untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton dari hasil pengujian menggunakan persamaan 3.11. ASTM C-469 (1994), mensyaratkan nilai regangan 1 (ϵ_1) adalah sebesar 0,000015, maka nilai tegangan 1 (S_1) diperoleh dengan mengolah data tegan dan regangan menggunakan software AutoCad 2024. Setelah didapatkan nilai tegangan 1 (S_1), maka modulus elastisitas beton dapat dihitung sebagai berikut.

1. Perendaman

a. $S_1 = 0,000015$

$S_2 = 6,791$

$\epsilon_1 = 0,0000287$

$\epsilon_2 = 11,318$

b.
$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$= \frac{11,318 - 6,791}{0,000015 - 0,0000287}$$

$$= 32924,17 \text{ MPa}$$

2. Ditutup karung goni

a. $S_1 = 0,000015$

$S_2 = 4,00$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= 0,000077 \\
\varepsilon_2 &= 9,14 \\
\text{b. } E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\
&= \frac{9,14 - 4,00}{0,000077 - 0,000015} \\
&= 21420,11 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Nilai modulus elastisitas juga dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan empiris SNI 2847-2019. Adapun perhitungan nilai modulus elastisitas menggunakan rumus pendekatan empiris sesuai persamaan 3.12 dan persamaan 3.13 adalah sebagai berikut.

1. Perendaman

$$\begin{aligned}
\text{a. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \\
&= 2401,330_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{27,28} \\
&= 26426,13 \text{ MPa} \\
\text{b. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
&= 4700 \times \sqrt{27,28} \\
&= 24546,25 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

2. Ditutup karung goni

$$\begin{aligned}
\text{a. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \\
&= 2346,845_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{21,99} \\
&= 22925,60 \text{ MPa} \\
\text{b. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
&= 4700 \times \sqrt{21,99} \\
&= 22040,60 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk semua sampel setiap variasi dan metode perawatan dapat dilihat pada tabel 5.30 dan tabel 5.31 dibawah ini.

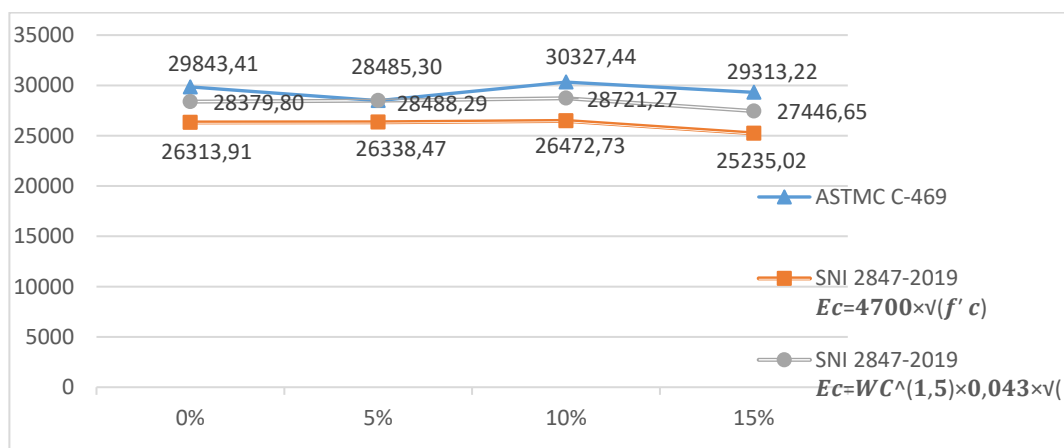
Tabel 5. 36 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan Perendaman

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat Tekan (Mpa)	ASTMC C-469 $(E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	Rerata	SNI 2847-2019 $(E_c = \frac{4700 \times \sqrt{f'c}}{1})$	Rerata	SNI 2847-2019 $(E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	Rerata
Perendaman	28 Hari	S1-AP	149,333	301,433	2401,330	27,251	27436,81	29362,78	22040,60	23015,68	26426,13	28177,57
		S2-AP	148,250	302,152	2405,194	27,801	30674,85		23828,86		26716,04	
		S3-AP	149,500	302,221	2414,717	29,845	31476,32		22266,90		27874,29	
		S4-AP	148,500	301,355	2381,303	33,914	29695,51		24248,06		29008,61	
		S5-AP	150,000	301,433	2418,143	35,367	27530,42		22693,96		30862,77	
		S1-BP	148,500	302,152	2421,755	40,309	31028,31	28993,90	21158,26	23119,46	32561,72	29302,98
		S2-BP	149,333	301,772	2449,063	28,039	27474,76		23562,40		27587,04	
		S3-BP	148,333	302,122	2379,975	30,079	31001,69		24568,73		27659,06	
		S4-BP	148,500	301,331	2380,478	31,756	27170,54		23689,33		28143,28	
		S5-BP	150,551	301,598	2426,368	35,368	28294,21		22618,56		30563,79	
		S1-CP	150,230	301,225	2358,263	30,244	32360,82	30327,44	23072,62	23471,64	27087,72	28721,27
		S2-CP	149,500	301,555	2445,755	31,376	38336,55		24371,53		29156,49	
		S3-CP	149,050	301,772	2426,016	34,648	25879,46		22398,26		30255,65	
		S4-CP	149,333	301,433	2412,783	35,212	26048,23		24481,61		30242,88	
		S5-CP	148,555	302,152	2424,521	27,358	29012,15		23034,20		26863,60	
		S1-DP	150,415	302,221	2424,746	28,349	27993,89	29313,22	25598,26	23857,52	27336,14	27446,65
		S2-DP	150,575	301,645	2422,559	28,205	29079,43		23359,00		27235,71	
		S3-DP	149,333	301,535	2443,894	28,644	27243,88		23238,87		27810,48	
		S4-DP	150,333	302,333	2412,935	30,716	30217,70		23405,63		28246,93	
		S5-DP	150,725	301,221	2384,383	28,238	32031,18		23685,84		26603,98	

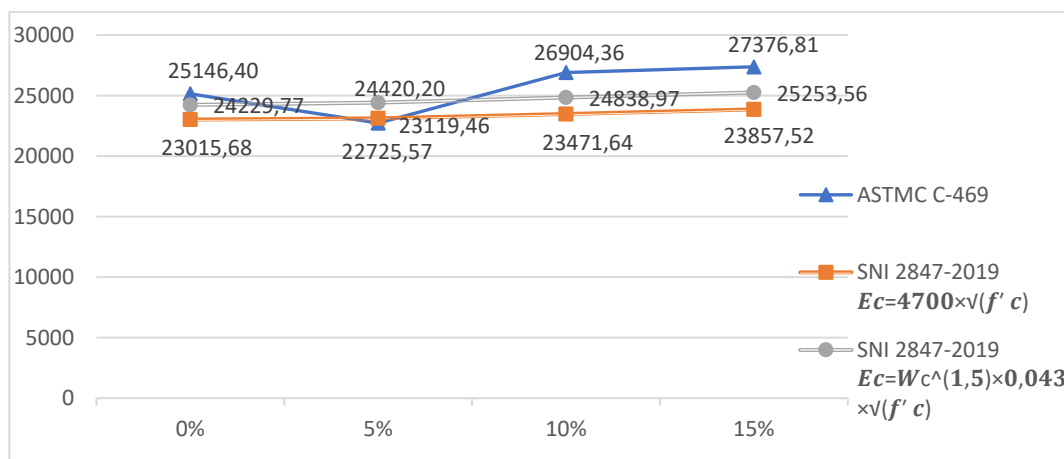
Lanjutan Tabel 5. 37 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan ditutup karung goni

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat Tekan (Mpa)	ASTMC C-469 ($E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$)	Rerata	SNI 2847-2019 ($E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)	Rerata
Ditutup karung goni	28 Hari	SG1-A	150,067	301,333	2346,845	21,982	21420,11	25146,40	22040,60	23015,68	22925,60	24229,77
		SG2-A	149,344	301,500	2430,913	25,722	25730,33		23828,86		26129,31	
		SG3-A	148,800	302,333	2344,645	22,445	27584,30		22266,90		23128,42	
		SG4-A	149,333	301,850	2387,882	26,617	27170,54		24248,06		25886,11	
		SG5-A	148,555	302,445	2311,866	23,314	23826,70		22693,96		23079,42	
		SG1-B	149,333	301,545	2367,471	20,266	21271,67	22725,57	21158,26	23119,46	22298,60	24420,20
		SG2-B	148,250	301,885	2390,640	25,122	23433,97		23562,40		25197,73	
		SG3-B	149,500	302,388	2365,085	27,313	25170,97		24568,73		25853,75	
		SG4-B	148,500	301,225	2404,057	25,404	20082,57		23689,33		25547,03	
		SG5-B	150,000	301,555	2325,324	23,144	23668,65		22618,56		23203,90	
		SG1-C	151,333	301,772	2403,569	24,089	25800,15	26904,36	23072,62	23471,64	24874,39	24838,97
		SG2-C	148,851	302,122	2409,431	26,889	28483,79		24371,53		26370,90	
		SG3-C	150,455	301,331	2357,677	22,696	30586,96		22398,26		23459,10	
		SG4-C	150,212	301,598	2404,731	27,120	25963,77		24481,61		26412,54	
		SG5-C	149,775	301,788	2288,946	24,001	23687,14		23034,20		23077,94	
		SG1-D	148,500	301,832	2246,950	29,658	25731,58	27376,81	25598,26	23857,52	24944,30	25253,56
		SG2-D	149,333	301,433	2415,042	24,709	26197,93		23359,00		25363,66	
		SG3-D	148,333	302,152	2436,339	24,437	27759,40		23238,87		25567,74	
		SG4-D	148,500	302,221	2414,369	24,789	30284,46		23405,63		25403,66	
		SG5-D	150,000	301,355	2369,117	25,389	26910,69		23685,84		24988,44	

Berdasarkan Tabel 5.31 Pada variasi 5% metode perendaman beton dengan kode sampel S1-BP dengan kuat tekan 40,309 MPa, tidak dimasukkan ke dalam rata-rata dari variasi tersebut. Dikarenakan hasilnya yang terlalu tinggi sehingga dapat menyebabkan adanya perubahan nilai yang dominan. Oleh karena itu pada variasi 5% metode perendaman hanya menggunakan beton dengan kode sampel S2-BP, S3-BP, S4-BP, dan S5-BP. Nilai modulus elastisitas yang dihitung menggunakan persamaan pada Tabel 5.31, dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.13 dan 5.14.



Gambar 5. 13 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan perendaman



Gambar 5. 14 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan karung goni

Pada Grafik 5.13 dan 5.14 dapat diketahui terdapat selisih modulus elastisitas beton dengan metode perendaman dan metode ditutup karung goni. Adapun perhitungan persentase dan rekapitulasinya disajikan pada tabel 5.35, Tabel 5.36, dan 5.37 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{a. Persentase selisih} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{2899,90 - 29362,78}{29362,78} \times 100\% \\
 &= -1,256\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 38 Persentase modulus elastisitas beton metode perendaman

Kadar Campuran Kapur	ASTMC C-469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
0% kapur	0,000%	0,000%	0,000%
5% kapur	-1,256%	3,510%	3,994%
10% kapur	3,285%	1,325%	1,930%
15% kapur	-0,169%	-3,412%	-2,594%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan perendaman variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar -1,256%, 3,285%, dan -0,169%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat namun, pada variasi 15% nilai minus menunjukkan adanya penurunan nilai modulus elastisitas.

2. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGB} - \text{rerata SGA}}{\text{rerata SGA}} \times 100\% \\
 &= \frac{22725,57 - 25146,40}{25146,40} \times 100\% \\
 &= -9,627\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 39 Persentase modulus elastisitas beton metode ditutup karung goni

Kadar Campuran Kapur	ASTMC C-469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
0% kapur	0,000%	0,000%	0,000%
5% kapur	-9,627%	0,451%	0,786%
10% kapur	6,991%	1,981%	2,514%
15% kapur	8,870%	3,658%	4,225%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan ditutup karung goni variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar -9,627%, 6,991%, dan 8,870%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat.

3. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{25146,40 - 29362,78}{29362,78} \times 100\% \\
 &= 14,36\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 40 Persentase modulus elastisitas metode perendaman dengan ditutup karung goni

Kadar Campuran	ASTM C-469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
0% Kapur	-14,36%	-11,91%	-14,01%
5% Kapur	-21,62%	-14,51%	-16,66%
10% Kapur	-11,29%	-11,34%	-13,52%
15% Kapur	-6,61%	-5,46%	-7,99%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan ditutup karung goni dengan metode perendaman sebagai perbandingan, maka beton variasi 0% 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar -14,36%, -21,62%, -11,29%, dan -6,61% hal ini dikarenakan metode perendaman dapat

membantu memperkuat kekuatan beton dengan menguatkan ikatan antara partikel-partikel beton. Ini dapat membantu meningkatkan daya tahan beton terhadap tekanan, gesekan, dan gaya-gaya eksternal lainnya.

5.8. Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan dengan sistem pembebanan 1 titik pada benda uji balok dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm. Pengujian benda uji dilakukan ketika benda uji telah berumur 28 hari berdasarkan SNI 4154-2014. Sistem pembebanan 1 titik terletak pada bagian tengah bentang memberikan beban secara tegak lurus sumbu benda uji hingga diperoleh beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji. Berikut merupakan contoh perhitungan kuat lentur beton.

1. Perendaman

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \times (1000 \times 9,81) \times 300}{2 \times 99,95 \times 99,86^2} \\ &= 4,4738 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Ditutup karung goni basah

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{3PL}{2bd^2} \\ &= \frac{3 \times (940 \times 9,81) \times 300}{2 \times 100,95 \times 100,21^2} \\ &= 4,0933 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan selanjutnya dengan cara yang sama seperti di atas, sehingga akan didapatkan nilai kuat lentur pada setiap varian. Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan kuat lentur pada setiap varian. Berikut merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan kuat lentur setiap metode rawatan dan varian.

Tabel 5. 41 Rekapituilasi hasil perhitungan kuat lentur beton

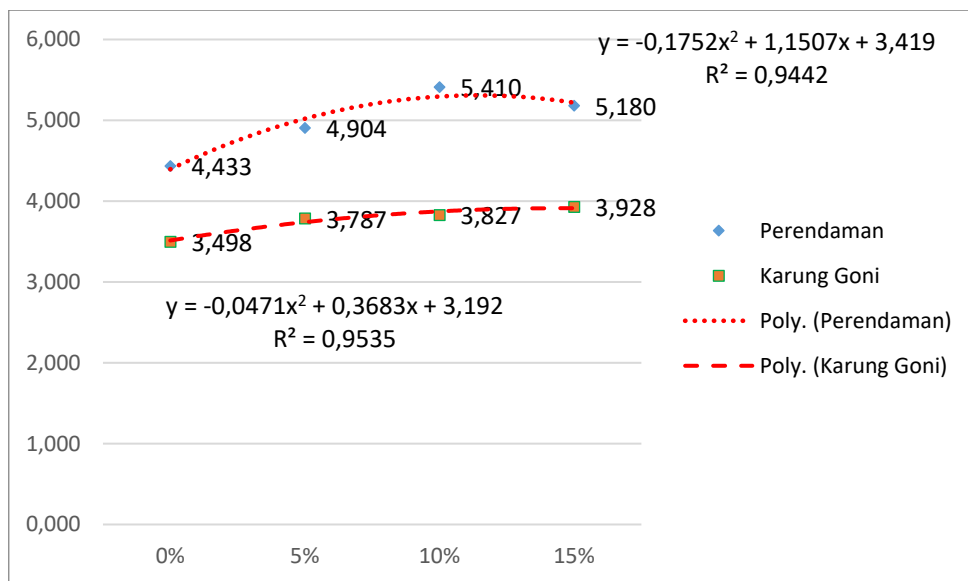
Metode Rawatan	Umur Uji	Persentase Campuran	No. Sampel	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rerata (Mpa)
Perendaman	28 Hari	0%	1	4,4739	4,433
			2	4,1788	
			3	4,6460	
		5%	1	5,5851	4,904
			2	4,7881	
			3	4,3395	
		10%	1	5,2266	5,410
			2	5,4729	
			3	5,5292	
		15%	1	4,3685	5,180
			2	4,7742	
			3	6,3978	
Karung Goni	28 Hari	0%	1	4,0934	3,498
			2	3,3368	
			3	3,0635	
		5%	1	3,1770	3,787
			2	4,0914	
			3	4,0914	
		10%	1	3,5249	3,827
			2	3,5383	
			3	4,4185	
		15%	1	4,1165	3,928
			2	3,6956	
			3	3,9711	

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas diperoleh nilai kuat tekan lentur beton ($f'c$) rata-rata (MPa) sebagai berikut.

1. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi beton 0% kapur = 4,433
2. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi beton 5% kapur = 4,904
3. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi beton 10% kapur = 5,410
4. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi beton 15% kapur = 5,180
5. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi beton 0% kapur = 3,498
6. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi beton 5% kapur = 3,787

7. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi beton 10% kapur = 3,827
8. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi beton 15% kapur = 3,928

Berdasarkan nilai kuat lentur rata-rata setiap metode perawatan dan variasi dapat diplot menjadi grafik nilai kuat lentur beton pada setiap metode perawatan dan variasi. Berikut dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 15 Grafik nilai kuat lentur beton pada setiap metode rawatan dan variasi

Berdasarkan Gambar 5.15 pada variasi 15% dengan metode perendaman mengalami penurunan sedangkan pada metode ditutup karung goni pada variasi 15% masih mengalami peningkatan, hal ini disebabkan karena perbedaan metode perawatan yang mungkin menyebabkan adanya perbedaan.

Penurunan yang terjadi pada variasi 15% metode perendaman dilakukan persamaan polynomial dengan hasil R2 untuk metode perendaman sebesar 0,9442 dan R2 untuk metode ditutup karung goni sebesar 0,9535. Jika dilakukan analisis lanjutan dari persamaan yang didapat pada metode perendaman maka nilai X_{max} didapatkan sebesar 3,283 dan Y_{max} sebesar 6,622. Dapat dikatakan secara analisis kuadrat, kadar serbuk kapur optimal berada di 3,283% dan diprediksi menghasilkan nilai kuat tekan optimal sebesar 6,622 MPa. Sedangkan untuk metode

ditutup karung goni tidak dilakukan analisis lanjutan karena masih mengalami peningkatan dan belum diketahui penurunan dari variasi

. Adapun perhitungan persentase dan rekapitulasinya disajikan pada tabel 5.26, tabel 5.27, dan tabel 5.28 berikut.

1. Persentase metode ditutup karung goni dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\ &= \frac{4,904 - 4,433}{4,433} \times 100\% \\ &= 10,63\%\end{aligned}$$

Tabel 5. 42 Persentase nilai kuat lentur untuk metode rawatan perendaman

No.	Variasi Campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
1	0% Kapur	0,00%
2	5% Kapur	10,63%
3	10% Kapur	22,03%
4	15% Kapur	16,86%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan perendaman variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar 10,63%, 22,03%, dan 16,86%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat namun, pada variasi 15% nilai minus menunjukkan adanya penurunan kuat tekan.

2. Persentase metode ditutup karung goni dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGB} - \text{rerata SGA}}{\text{rerata SGA}} \times 100\% \\ &= \frac{3,787 - 3,498}{3,498} \times 100\% \\ &= 8,25\%\end{aligned}$$

Tabel 5. 43 Persentase nilai kuat lentur untuk metode rawatan karung goni

No.	Variasi Campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
1	0% Kapur	0,00%
2	5% Kapur	8,25%
3	10% Kapur	9,42%
4	15% Kapur	12,29%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan dengan ditutup karung goni variasi 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih kuat tekan terhadap beton normal berturut-turut sebesar 8,25%, 9,42%, dan 12,29%. Hal ini dikarenakan serbuk kapur dapat mengisi pori-pori kecil dalam pasta semen, menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat.

3. Persentase metode ditutup karung goni dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SGA} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{3,489 - 4,433}{4,433} \times 100\% \\
 &= -26,73\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 44 Persentase nilai kuat lentur untuk metode perendaman dengan ditutup karung goni

No.	Variasi Campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
1	0% Kapur	-26,73%
2	5% Kapur	-29,52%
3	10% Kapur	-41,34%
4	15% Kapur	-31,89%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode rawatan ditutup karung goni dengan metode perendaman sebagai perbandingan, maka beton variasi 0% 5%, 10%, dan 15% kapur memiliki perbedaan selisih berat volume terhadap beton normal berturut-turut sebesar -26,73%, 29,52%, 41,34%, dan 31,89% hal ini dikarenakan metode perendaman dapat membantu memperkuat kekuatan beton dengan menguatkan ikatan antara partikel-partikel beton. Ini dapat membantu meningkatkan daya tahan beton terhadap tekanan, gesekan, dan gaya-gaya eksternal lainnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode perawatan berpengaruh terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton. Adapun persentase selisih nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur pada setiap variasi dengan perawatan ditutup karung goni terhadap beton perawatan perendaman adalah sebagai berikut.

- a. Kuat Tekan

Berdasarkan penelitian ini, diketahui pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi metode perawatan beton. Pada metode perawatan perendaman terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 10% kapur, sedangkan pada metode perawatan ditutup karung goni terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 15% kapur. Pada metode perawatan perendaman nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 10% sebesar 31,77 MPa. Pada metode perawatan ditutup karung goni nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 15% sebesar 25,80 MPa.

- b. Modulus Elastisitas

Berdasarkan penelitian ini, diketahui pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi metode perawatan beton. Pada metode perawatan perendaman terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 10% kapur, sedangkan pada metode perawatan ditutup karung goni terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 15% kapur. Pada metode perawatan perendaman nilai modulus elastisitas optimal menggunakan persamaan ASTM C-469 didapatkan pada variasi 10% sebesar 30327,44. Pada metode perawatan perendaman nilai modulus elastisitas optimal menggunakan persamaan ASTM C-469 didapatkan pada variasi 15% sebesar 27376,81.

c. Kuat Lentur

Berdasarkan penelitian ini, diketahui pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi metode perawatan beton. Pada metode perawatan perendaman terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 10% kapur, sedangkan pada metode perawatan ditutup karung goni terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 15% kapur. Pada metode perawatan perendaman nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 10% sebesar 5,410 MPa. Pada metode perawatan ditutup karung goni nilai kuat tekan optimal didapatkan pada variasi 15% sebesar 3,928.

2. Berdasarkan penelitian ini, nilai yang dihasilkan oleh metode perawatan perendaman memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada nilai yang dihasilkan oleh metode perawatan ditutup karung goni. Namun, untuk metode perawatan yang dapat diaplikasikan di lapangan adalah metode perawatan ditutup karung goni. Hasil dari metode perawatan perendaman nilai paling optimal didapatkan pada variasi 10% kapur, sedangkan metode perawatan ditutup karung goni nilai paling optimal didapatkan pada variasi 15% kapur.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hasil berikut ini dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya mengenai pengaruh metode perawatan beton dengan campuran serbuk kapur terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur beton dengan metode perawatan lain yang mungkin diaplikasikan di lapangan.
2. Perlu dikaji lebih lanjut mengenai kandungan kimia yang ada dalam kapur.
3. Dapat dilakukan penelitian mengenai pengaruh metode perawatan terhadap mutu beton dengan variasi usia beton ataupun variasi kandungan kapur lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adya Taurano, G., Abda, J., Fernando, R., & Bhakti Utama, A. (2021). *Analisis Uji Kuat Tekan Beton Dengan Substitusi Kapur dan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Semen. 1.*
- American Standard Testing and Material. (1994). *ASTM C-469-1994 Modulus of Elasticity.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI-2847-2019-Persyaratan-Beton-Struktural-Untuk-Bangunan-Gedung.*
- Badan Standarisasi Nasional. (1990). *SNI-03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 03-1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.*
- Badan Standarisasi Nasional. (2011a). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kueat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.* www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2011b). *SNI 2493-2011 Tat Cara Pembuatan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.* www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung Badan Standardisasi Nasional.* www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2014). *SNI 4154-2014 Metode Uji Kuat Lentur Beton.* www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 1969-2016 Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.* www.bsn.go.id
- Chusna, I. A., Wildan Ilyasa, M., Aditya, R., Cahyadi, T. A., & Suharyadi, H. (2020). *Analisis Pemanfaatan Limbah B3 Batubara dan Gamping Serbuk sebagai Bahan Tambah Semen terhadap Kekuatan Beton.* 285–290. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>

- Da Cruz, J., & Supriatna, Y. (2020). Analisis Kuat Tekan Beton K175 Dengan Campuran Serbuk Kapur dan Serbuk Bata Untuk Penghematan Semen Sebagai Bahan Pengikat Dasar. In *CRANE: Civil Engineering Research Journal* (Vol. 1). <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/crane>
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 78–84. <https://doi.org/10.21063/JTS.2020.V702.05>
- Rochmah, N., & Sarya, G. (2019). Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil Pengaruh Serbuk Batu Kapur terhadap Uji Tekan Beton. In *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Desember* (Vol. 5, Issue 4).

LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI 1970-2016)

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata - rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	482	485	484
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	952	1005	979
Berat piknometer berisi air, gram (B)	658	691	675
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,340	2,608	2,474
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,427	2,688	2,558
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,564	2,836	2,700
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	3,73%	3,09%	3,41%

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA
SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	3	0,15	0,15	99,85
2,40	2	0,10	0,25	99,75
1,20	5	0,25	0,50	99,50
0,60	275	13,75	14,25	85,75
0,30	1216	60,80	75,05	24,95
0,15	474	23,70	98,75	1,25
Sisa	25	1,250	100,000	0
Jumlah	2000	100	188,950	411,050

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{188,950}{100} \\ &= 1,890\end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

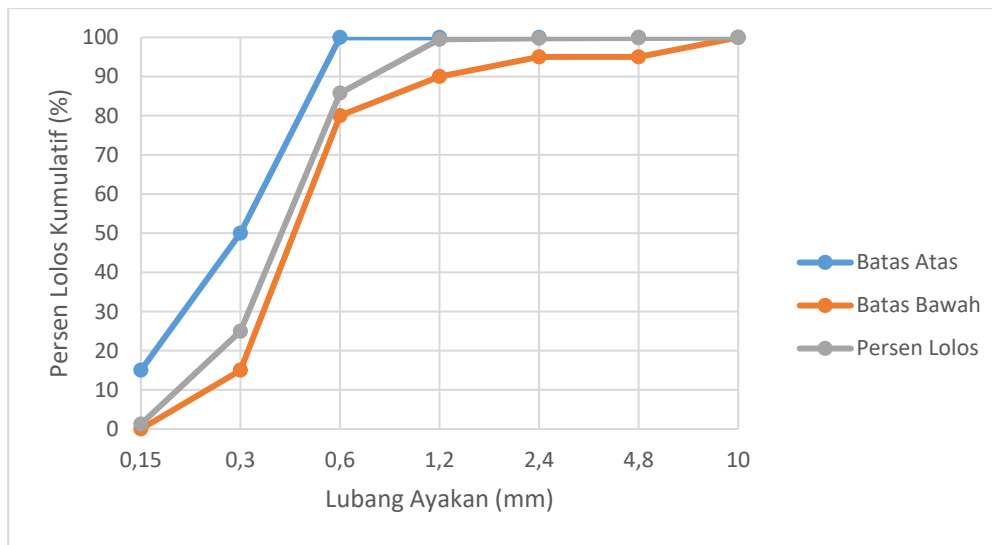
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan

Pasir Masuk Daerah : Daerah IV

Jenis Pasir : Pasir Halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA
SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4,80	2	0,10	0,10	99,90
2,40	2	0,10	0,20	99,80
1,20	6	0,30	0,50	99,50
0,60	201	10,05	10,55	89,45
0,30	1282	64,10	74,65	25,35
0,15	480	24,00	98,65	1,35
Sisa	27	1,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	184,650	415,350

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{184,650}{100} \\ &= 1,847\end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

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

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

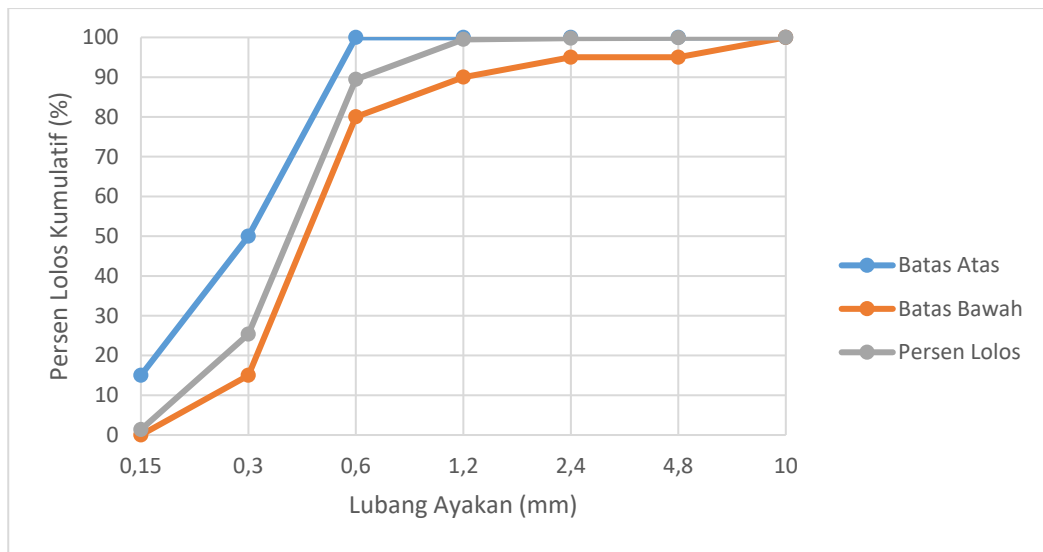
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan

Pasir Masuk Daerah : Daerah IV

Jenis Pasir : Pasir Halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT HALUS
(SNI 4804-1998)

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	14,950 cm
Tinggi Silinder	30,100 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	10928	10825	10876,5
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19012	18952	18982
Berat Agregat (W3)	8084	8127	8105,5
Diameter Tabung (d)	14,950	14,950	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,1	30,1
Volume Tabung (V)	5283,707	5283,707	5283,707
Berat Volume Gembur	1,530	1,538	1,534

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8105,5}{5283,707} \\
 &= 1,534 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
 Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT HALUS
(SNI 4804-1998)

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	14,950 cm
Tinggi Silinder	30,110 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	10928	10852	10890
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18376	18192	18284
Berat Agregat (W3)	7448	7340	7394
Diameter Tabung (d)	14,950	14,950	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat Volume Padat	1,409	1,389	1,399

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7394}{5285,463} \\
 &= 1,399 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
 Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200/UJI
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
AGREGAT HALUS
(SNI 4142-1996)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	492	488	490
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,60	2,40	2,00

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR
(SNI 1969-2016)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat Kerikil Mutlak (Bk), gram	4942	4891	4916,5
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3082	3095	3088,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,577	2,567	2,572
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,607	2,625	2,616
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,657	2,723	2,690
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,17%	2,23%	1,701%

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA
SARINGAN
AGREGAT KASAR
(SNI 1968-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

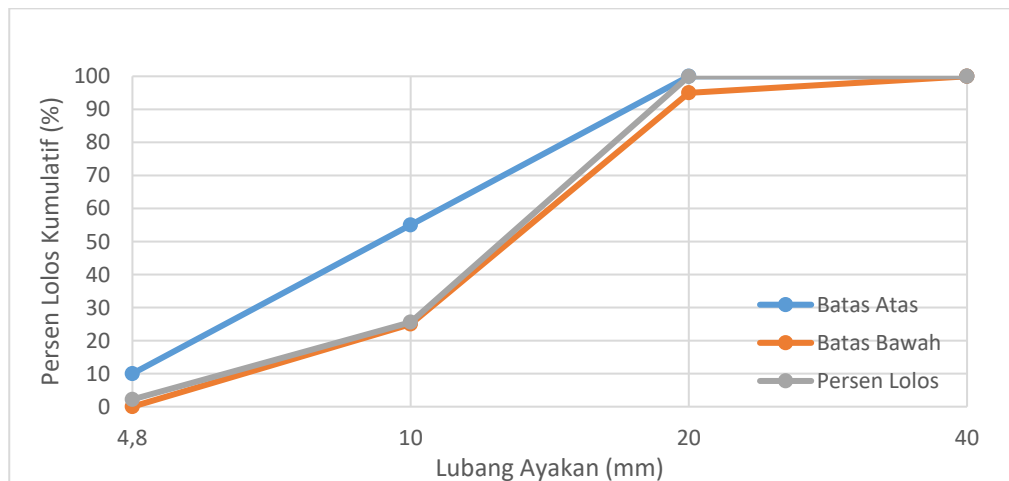
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	2	0,04	0,04	99,96
10,00	3719	74,38	74,42	25,58
4,80	1169	23,38	97,8	2,20
2,40	9	0,18	97,98	2,02
1,20	6	0,12	98,1	1,90
0,60	0	0	98,1	1,90
Sisa	95	1,9	100	0,00
Jumlah	5000	100	662,64	237,36

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{653,26}{100} \\ &= 6,532\end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan	Persentase Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA
SARINGAN
AGREGAT KASAR
(SNI 1968-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

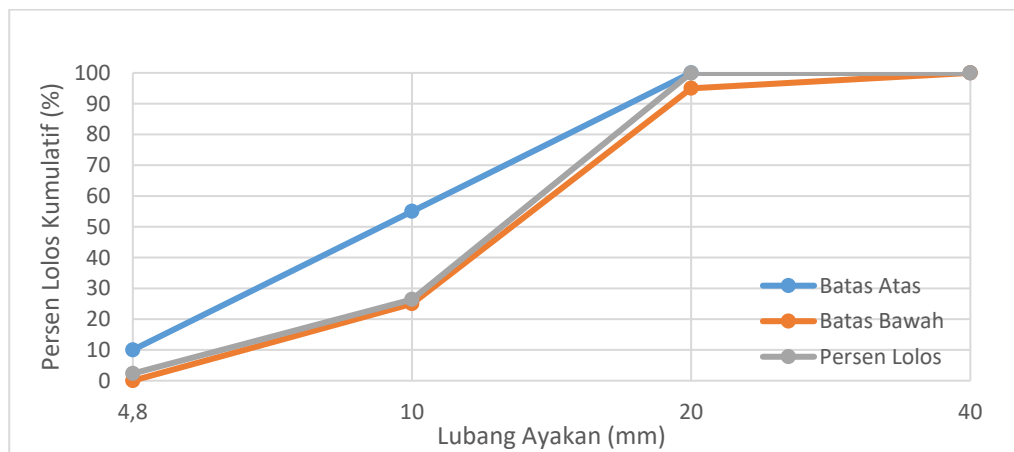
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
20,00	2	0,04	0,04	99,96
10,00	3678	73,56	73,6	26,40
4,80	1204	24,08	97,68	2,32
2,40	15	0,3	97,98	2,02
1,20	6	0,12	98,1	1,90
0,60	0	0	98,1	1,90
Sisa	95	1,9	100	0,00
Jumlah	5000	100	661,7	238,30

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{661,7}{100} \\ &= 6,617\end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan	Persentase Butiran Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBER
AGREGAT KASAR
(SNI 4804-1998)

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	14,950 cm
Tinggi Silinder	30,110 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11191	10693	10942
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18421	17912	18166,5
Berat Agregat (W3)	7230	7219	7224,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285.463
Berat Volume Gembur	1,368	1,366	1,367

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7224,5}{5285,463} \\
 &= 1,367 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
 Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT KASAR
(SNI 4804-1998)

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	14,950 cm
Tinggi Silinder	30,110 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	11213	10701	10957
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19321	18995	19158
Berat Agregat (W3)	8108	8294	8201
Diameter Tabung (d)	14,9500	14,9500	14.95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,463	5285,463	5285,463
Berat Volume Padat	1,534	1,569	1,552

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8201}{5285,463} \\
 &= 1,552 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 01 Mei 2024

Diperiksa oleh :
 Laboran

Dikerjakan oleh :

(.....)

(Reza Risnanda Suyudi Putra)

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan	25	MPa
2	Deviasi Standar	7	
3	Nilai Tambah	11,48	MPa
	Dibulatkan	12	MPa
4	Kuat tekan rata rata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
8	Faktor Air Semen	0,55	
9	Kuat Tekan yang ditargetkan	42	MPa
10	FAS bebas	0,5	
11	FAS Maksimum	0,6	
12	Jumlah Semen Minimum	275	kg/m3
13	FAS yang digunakan	0,5	
14	Nilai Slump ditetapkan	60-100	mm
15	Ukuran Agregat Maksimum	20	cm
16	Kadar Air Bebas	205	kg/m3
17	Kadar Semen	401,961	kg/m3
18	Kadar Semen maksimum	-	-
19	Kadar Semen minimum	205	kg/m3
20	Kadar Semen digunakan	401,961	kg/m3
21	Faktor Air Semen Disesuaikan	0,5	
22	Susunan Besar Butir Agregat Halus	Gradasi IV	
23	Berat Jenis Agregat Halus (SSD)	2,558	
24	Berat Jenis Agregat Kasar (SSD)	2,616	
25	Persen Agregat Halus	45,5%	batas atas
		36,5%	batas bawah
		41%	rata-rata
26	Persen Agregat Kasar	59%	
27	Berat Jenis Agregat Gabungan	2.592	
28	Berat Isi Beton	2375	kg/m3
29	Kadar Agregat Gabungan	1768,04	kg/m3
30	Kadar Agregat Halus	724,896	kg/m3
31	Kadar Agregat kasar	1043,143	kg/m3
32	Kadar Semen dengan angka penyusutan	502,451	kg/m3
33	Kadar Agregat Halus dengan angka penyusutan	256,250	kg/m3
34	Kadar Agregat Halus dengan angka penyusutan	906,120	kg/m3
35	Kadar Air dengan angka penyusutan	1303,929	kg/m3

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Berat Volume Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Perendaman	28 Hari	S1-A	0,1500	0,3023	0,0053	12,823	2401,330	2404,138
		S2-A	0,1495	0,3015	0,0053	12,723	2405,194	
		S3-A	0,1488	0,3023	0,0053	12,689	2414,717	
		S4-A	0,1493	0,3018	0,0053	12,581	2381,303	
		S5-A	0,1486	0,3024	0,0052	12,668	2418,143	
		S1-B	0,1493	0,3015	0,0053	12,782	2421,755	2411,528
		S2-B	0,1483	0,3018	0,0052	12,752	2449,063	
		S3-B	0,1495	0,3023	0,0053	12,623	2379,975	
		S4-B	0,1485	0,3012	0,0052	12,412	2380,478	
		S5-B	0,1500	0,3015	0,0053	12,921	2426,368	
		S1-C	0,1513	0,3017	0,0054	12,791	2358,263	2413,468
		S2-C	0,1489	0,3021	0,0053	12,851	2445,755	
		S3-C	0,1505	0,3013	0,0054	12,989	2426,016	
		S4-C	0,1502	0,3015	0,0053	12,885	2412,783	
		S5-C	0,1498	0,3017	0,0053	12,881	2424,521	
		S1-D	0,1485	0,3018	0,0052	12,668	2424,746	2417,703
		S2-D	0,1493	0,3014	0,0053	12,782	2422,559	
		S3-D	0,1483	0,3021	0,0052	12,752	2443,894	
		S4-D	0,1485	0,3022	0,0052	12,623	2412,935	
		S5-D	0,1500	0,3013	0,0053	12,689	2384,383	

Lanjutan Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Berat Volume Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m ³)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Ditutup karung goni	28 Hari	SG1-A	0,1493	0,3000	0,0053	12,325	2346,845	2364,430
		SG2-A	0,1483	0,3000	0,0052	12,582	2430,913	
		SG3-A	0,1495	0,3000	0,0053	12,341	2344,645	
		SG4-A	0,1485	0,3000	0,0052	12,401	2387,882	
		SG5-A	0,1500	0,3000	0,0053	12,250	2311,866	
		SG1-B	0,1485	0,3000	0,0052	12,295	2367,471	2370,516
		SG2-B	0,1493	0,3000	0,0053	12,555	2390,640	
		SG3-B	0,1483	0,3000	0,0052	12,255	2365,085	
		SG4-B	0,1485	0,3000	0,0052	12,485	2404,057	
		SG5-B	0,1506	0,3000	0,0053	12,412	2325,324	
		SG1-C	0,1502	0,3000	0,0053	12,775	2403,569	2372,871
		SG2-C	0,1495	0,3000	0,0053	12,682	2409,431	
		SG3-C	0,1491	0,3000	0,0052	12,335	2357,677	
		SG4-C	0,1493	0,3000	0,0053	12,629	2404,731	
		SG5-C	0,1486	0,3000	0,0052	11,896	2288,946	
		SG1-D	0,1504	0,3000	0,0053	11,972	2246,950	2376,363
		SG2-D	0,1506	0,3000	0,0053	12,895	2415,042	
		SG3-D	0,1493	0,3000	0,0053	12,795	2436,339	
		SG4-D	0,1503	0,3000	0,0053	12,850	2414,369	
		SG5-D	0,1507	0,3000	0,0054	12,675	2369,117	

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (cm ³)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Perendaman	28	S1-A	150,067	301,333	17687,178	482	27,251	30,84
		S2-A	149,344	301,500	17517,230	487	27,801	
		S3-A	148,800	302,333	17389,846	519	29,845	
		S4-A	149,333	301,850	17514,650	594	33,914	
		S5-A	148,555	302,445	17332,629	613	35,367	
		S1-B	149,333	301,545	17514,650	706	40,309	31,31
		S2-B	148,250	301,885	17261,530	484	28,039	
		S3-B	149,500	302,388	17553,845	528	30,079	
		S4-B	148,500	301,225	17319,797	550	31,756	
		S5-B	150,000	301,555	17671,459	625	35,368	
		S1-C	151,333	301,772	17986,935	544	30,244	31,77
		S2-C	148,851	302,122	17401,769	546	31,376	
		S3-C	150,455	301,331	17778,828	616	34,648	
		S4-C	150,212	301,598	17721,445	624	35,212	
		S5-C	149,775	301,788	17618,484	482	27,358	
		S1-D	148,500	301,832	17319,797	491	28,349	28,83
		S2-D	149,333	301,433	17514,650	494	28,205	
		S3-D	148,333	302,152	17280,864	495	28,644	
		S4-D	148,500	302,221	17319,797	532	30,716	
		S5-D	150,000	301,355	17671,459	499	28,238	

Lanjutan Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (cm ³)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Berat Volume Rerata (kg/m ³)
Ditutup Karung Goni	28	S1-A	149,333	301,433	17514,650	385	21,982	24,02
		S2-A	148,250	302,152	17261,530	444	25,722	
		S3-A	149,500	302,221	17553,845	394	22,445	
		S4-A	148,500	301,355	17319,797	461	26,617	
		S5-A	150,000	301,433	17671,459	412	23,314	
		S1-B	148,500	302,152	17319,797	351	20,266	24,25
		S2-B	149,333	301,772	17514,650	440	25,122	
		S3-B	148,333	302,122	17280,864	472	27,313	
		S4-B	148,500	301,331	17319,797	440	25,404	
		S5-B	150,551	301,598	17801,523	412	23,144	
		S1-C	150,230	301,225	17725,693	427	24,089	24,96
		S2-C	149,500	301,555	17553,845	472	26,889	
		S3-C	149,050	301,772	17448,329	396	22,696	
		S4-C	149,333	301,433	17514,650	475	27,120	
		S5-C	148,555	302,152	17332,629	416	24,001	
		S1-D	150,415	302,221	17769,376	527	29,658	25,80
		S2-D	150,575	301,645	17807,200	440	24,709	
		S3-D	149,333	301,535	17514,650	428	24,437	
		S4-D	150,333	302,333	17750,007	440	24,789	
		S5-D	150,725	301,221	17842,696	453	25,389	

Lampiran 7 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

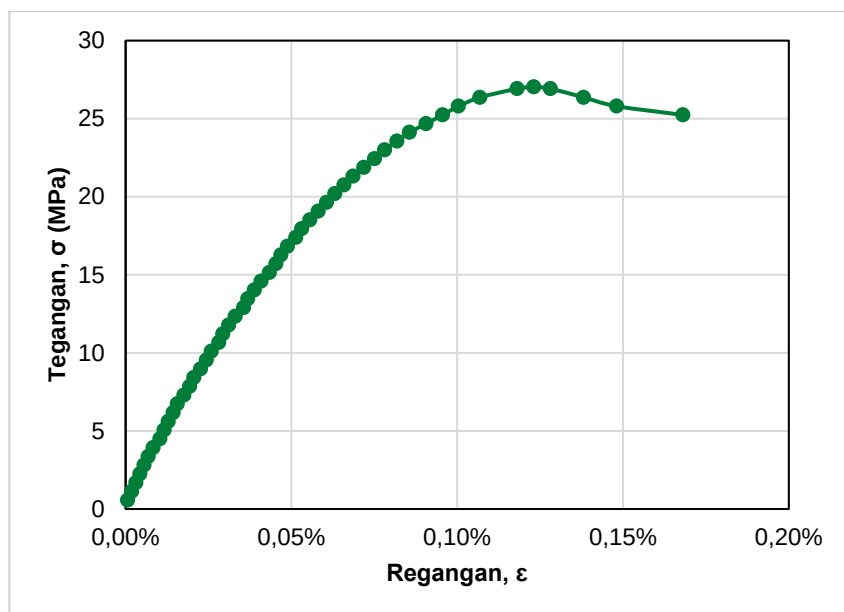
Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	27,03	Mpa
Diameter	150,67	mm
Tinggi	301,33	mm
Luas	17830	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0,000	0,000%	0,561	0,000
20	20000	5	0,003	0,001%	1,122	0,013
30	30000	10	0,005	0,003%	1,683	0,025
40	40000	15	0,008	0,004%	2,243	0,038
50	50000	20	0,010	0,005%	2,804	0,050
60	60000	25	0,013	0,006%	3,365	0,063
70	70000	31	0,016	0,008%	3,926	0,078
80	80000	39	0,020	0,010%	4,487	0,098
90	90000	44	0,022	0,011%	5,048	0,110
100	100000	49	0,025	0,012%	5,609	0,123
110	110000	55	0,028	0,014%	6,169	0,138
120	120000	60	0,030	0,015%	6,730	0,150
130	130000	68	0,034	0,017%	7,291	0,170
140	140000	75	0,038	0,019%	7,852	0,188
150	150000	80	0,040	0,020%	8,413	0,200
160	160000	88	0,044	0,022%	8,974	0,220
170	170000	95	0,048	0,024%	9,535	0,238
180	180000	101	0,051	0,025%	10,096	0,253
190	190000	110	0,055	0,028%	10,656	0,275

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
200	200000	115	0,058	0,029%	11,217	0,288
210	210000	122	0,061	0,031%	11,778	0,305
220	220000	130	0,065	0,033%	12,339	0,325
230	230000	140	0,070	0,035%	12,900	0,350
240	240000	145	0,073	0,036%	13,461	0,363
250	250000	153	0,077	0,038%	14,022	0,383
260	260000	161	0,081	0,040%	14,582	0,403
270	270000	171	0,086	0,043%	15,143	0,428
280	280000	179	0,090	0,045%	15,704	0,448
290	290000	185	0,093	0,046%	16,265	0,463
300	300000	193	0,097	0,048%	16,826	0,483
310	310000	203	0,102	0,051%	17,387	0,508
320	320000	210	0,105	0,053%	17,948	0,525
330	330000	220	0,110	0,055%	18,508	0,550
340	340000	230	0,115	0,058%	19,069	0,575
350	350000	240	0,120	0,060%	19,630	0,600
360	360000	250	0,125	0,063%	20,191	0,625
370	370000	261	0,131	0,065%	20,752	0,653
380	380000	272	0,136	0,068%	21,313	0,680
390	390000	285	0,143	0,071%	21,874	0,713
400	400000	298	0,149	0,075%	22,435	0,745
410	410000	310	0,155	0,078%	22,995	0,775
420	420000	325	0,163	0,081%	23,556	0,813
430	430000	340	0,170	0,085%	24,117	0,850
440	440000	360	0,180	0,090%	24,678	0,900
450	450000	380	0,190	0,095%	25,239	0,950
460	460000	399	0,200	0,100%	25,800	0,998
470	470000	425	0,213	0,106%	26,361	1,063
480	480000	470	0,235	0,118%	26,921	1,175
482	482000	490	0,245	0,123%	27,034	1,225
480	480000	510	0,255	0,128%	26,921	1,275
470	470000	550	0,275	0,138%	26,361	1,375
460	460000	590	0,295	0,148%	25,800	1,475
450	450000	670	0,335	0,168%	25,239	1,675

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27193,34	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24437,10	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26308,62	MPa

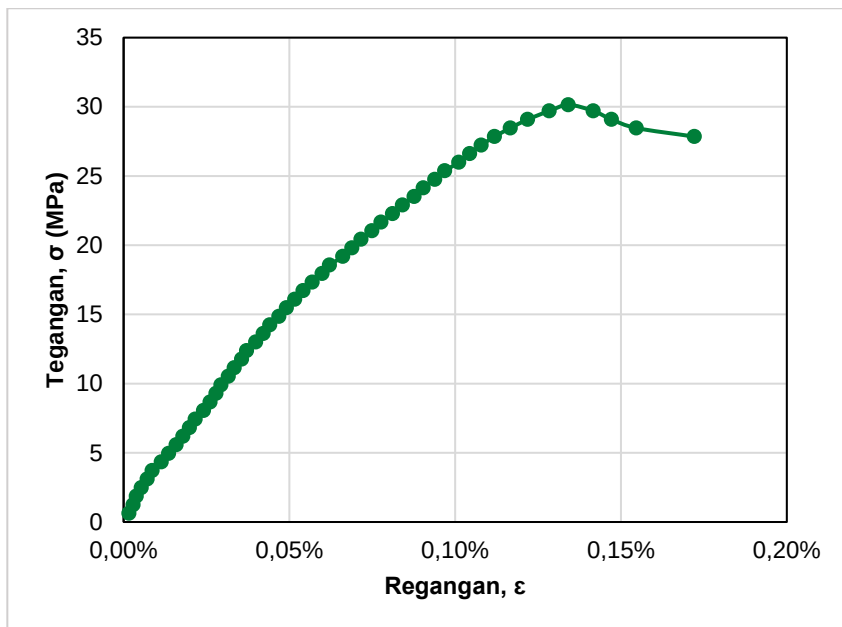
Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	30,14	Mpa
Diameter	143,44	mm
Tinggi	301,5	mm
Luas	16160	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,62	0,00
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,24	0,01
30	30000	9	0,0045	0,002%	1,86	0,02
40	40000	15	0,0075	0,004%	2,48	0,04
50	50000	22	0,011	0,006%	3,09	0,06
60	60000	28	0,014	0,007%	3,71	0,07
70	70000	39	0,0195	0,010%	4,33	0,10
80	80000	48	0,024	0,012%	4,95	0,12
90	90000	57	0,0285	0,014%	5,57	0,14
100	100000	65	0,0325	0,016%	6,19	0,16
110	110000	73	0,0365	0,018%	6,81	0,18
120	120000	80	0,04	0,020%	7,43	0,20
130	130000	90	0,045	0,023%	8,04	0,23
140	140000	98	0,049	0,025%	8,66	0,25
150	150000	105	0,0525	0,026%	9,28	0,26
160	160000	111	0,0555	0,028%	9,90	0,28
170	170000	120	0,06	0,030%	10,52	0,30
180	180000	127	0,0635	0,032%	11,14	0,32
190	190000	136	0,068	0,034%	11,76	0,34
200	200000	142	0,071	0,036%	12,38	0,36
210	210000	153	0,0765	0,038%	13,00	0,38

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	153	0,0765	0,038%	13,00	0,38
220	220000	162	0,081	0,041%	13,61	0,41
230	230000	170	0,085	0,043%	14,23	0,43
240	240000	181	0,0905	0,045%	14,85	0,45
250	250000	190	0,095	0,048%	15,47	0,48
260	260000	200	0,1	0,050%	16,09	0,50
270	270000	210	0,105	0,053%	16,71	0,53
280	280000	221	0,1105	0,055%	17,33	0,55
290	290000	233	0,1165	0,058%	17,95	0,58
300	300000	242	0,121	0,061%	18,56	0,61
310	310000	258	0,129	0,065%	19,18	0,65
320	320000	269	0,1345	0,067%	19,80	0,67
330	330000	280	0,14	0,070%	20,42	0,70
340	340000	293	0,1465	0,073%	21,04	0,73
350	350000	304	0,152	0,076%	21,66	0,76
360	360000	318	0,159	0,080%	22,28	0,80
370	370000	330	0,165	0,083%	22,90	0,83
380	380000	344	0,172	0,086%	23,52	0,86
390	390000	355	0,1775	0,089%	24,13	0,89
400	400000	369	0,1845	0,092%	24,75	0,92
410	410000	381	0,1905	0,095%	25,37	0,95
420	420000	398	0,199	0,100%	25,99	1,00
430	430000	411	0,2055	0,103%	26,61	1,03
440	440000	425	0,2125	0,106%	27,23	1,06
450	450000	441	0,2205	0,110%	27,85	1,10
460	460000	460	0,23	0,115%	28,47	1,15
470	470000	481	0,2405	0,120%	29,08	1,20
480	480000	507	0,2535	0,127%	29,70	1,27
487	487000	530	0,2650	0,133%	30,14	1,33
480	480000	560	0,2800	0,140%	29,70	1,40
470	470000	582	0,2910	0,146%	29,08	1,46
460	460000	612	0,3060	0,153%	28,47	1,53
450	450000	682	0,3410	0,171%	27,85	1,71

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	33321,48	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25801,63	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27844,73	MPa

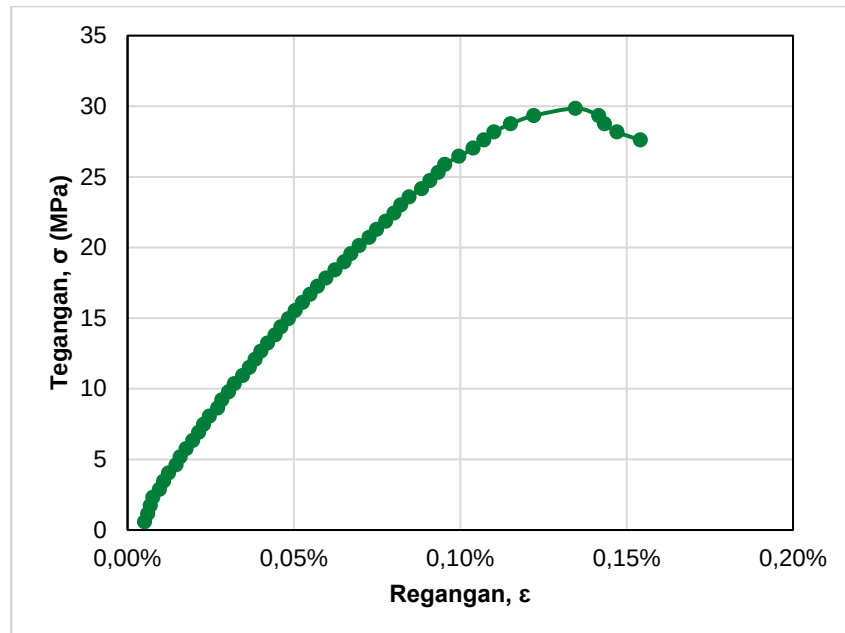
Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	29,85	Mpa
Diameter	148,8	mm
Tinggi	302,3	mm
Luas	17390	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,575	0,005
20	20000	6	0,003	0,002%	1,150	0,015
30	30000	9	0,005	0,002%	1,725	0,023
40	40000	12	0,006	0,003%	2,300	0,030
50	50000	20	0,010	0,005%	2,875	0,050
60	60000	25	0,013	0,006%	3,450	0,063
70	70000	31	0,016	0,008%	4,025	0,078
80	80000	40	0,020	0,010%	4,600	0,100
90	90000	45	0,023	0,011%	5,175	0,113
100	100000	52	0,026	0,013%	5,750	0,130
110	110000	60	0,030	0,015%	6,326	0,150
120	120000	67	0,034	0,017%	6,901	0,168
130	130000	73	0,037	0,018%	7,476	0,183
140	140000	80	0,040	0,020%	8,051	0,200
150	150000	90	0,045	0,023%	8,626	0,225
160	160000	95	0,048	0,024%	9,201	0,238
170	170000	103	0,052	0,026%	9,776	0,258
180	180000	110	0,055	0,028%	10,351	0,275
190	190000	120	0,060	0,030%	10,926	0,300
200	200000	128	0,064	0,032%	11,501	0,320
210	210000	135	0,068	0,034%	12,076	0,338

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	142	0,071	0,036%	12,651	0,355
230	230000	150	0,075	0,038%	13,226	0,375
240	240000	159	0,080	0,040%	13,801	0,398
250	250000	166	0,083	0,042%	14,376	0,415
260	260000	175	0,088	0,044%	14,951	0,438
270	270000	183	0,092	0,046%	15,526	0,458
280	280000	192	0,096	0,048%	16,101	0,480
290	290000	201	0,101	0,050%	16,676	0,503
300	300000	210	0,105	0,053%	17,251	0,525
310	310000	220	0,110	0,055%	17,826	0,550
320	320000	231	0,116	0,058%	18,402	0,578
330	330000	242	0,121	0,061%	18,977	0,605
340	340000	250	0,125	0,063%	19,552	0,625
350	350000	260	0,130	0,065%	20,127	0,650
360	360000	272	0,136	0,068%	20,702	0,680
370	370000	281	0,141	0,070%	21,277	0,703
380	380000	292	0,146	0,073%	21,852	0,730
390	390000	302	0,151	0,076%	22,427	0,755
400	400000	310	0,155	0,078%	23,002	0,775
410	410000	320	0,160	0,080%	23,577	0,800
420	420000	335	0,168	0,084%	24,152	0,838
430	430000	345	0,173	0,086%	24,727	0,863
440	440000	355	0,178	0,089%	25,302	0,888
450	450000	363	0,182	0,091%	25,877	0,908
460	460000	380	0,190	0,095%	26,452	0,950
470	470000	397	0,199	0,099%	27,027	0,993
480	480000	410	0,205	0,103%	27,602	1,025
490	490000	422	0,211	0,106%	28,177	1,055
500	500000	442	0,221	0,111%	28,752	1,105
510	510000	470	0,235	0,118%	29,327	1,175
519	519000	520	0,260	0,130%	29,845	1,300
510	510000	548	0,274	0,137%	29,327	1,370
500	500000	555	0,278	0,139%	28,752	1,388
490	490000	570	0,285	0,143%	28,177	1,425
480	480000	598	0,299	0,150%	27,602	1,495

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	31476,32	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25676,37	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27874,29	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 4

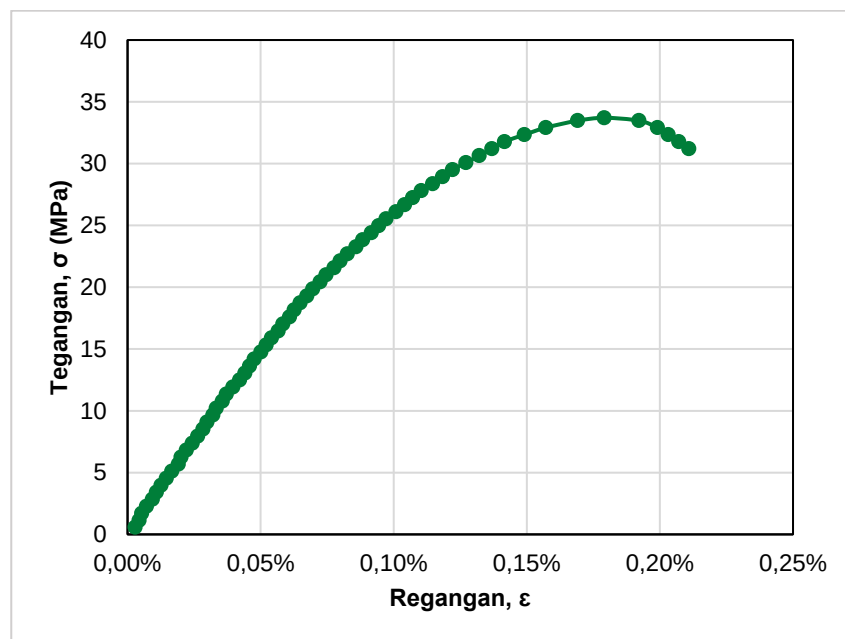
Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	33,70	Mpa
Diameter	149,8	mm
Tinggi	301,8	mm
Luas	17624	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,57	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,13	0,02
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,70	0,03
40	40000	20	0,0100	0,005%	2,27	0,05
50	50000	29	0,0145	0,007%	2,84	0,07
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,40	0,09
70	70000	42	0,0210	0,011%	3,97	0,11
80	80000	50	0,0250	0,013%	4,54	0,13
90	90000	58	0,0290	0,015%	5,11	0,15
100	100000	68	0,0340	0,017%	5,67	0,17
110	110000	72	0,0360	0,018%	6,24	0,18
120	120000	80	0,0400	0,020%	6,81	0,20
130	130000	89	0,0445	0,022%	7,38	0,22
140	140000	97	0,0485	0,024%	7,94	0,24
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,51	0,26
160	160000	111	0,0555	0,028%	9,08	0,28
170	170000	120	0,0600	0,030%	9,65	0,30
180	180000	125	0,0625	0,031%	10,21	0,31
190	190000	134	0,0670	0,034%	10,78	0,34
200	200000	140	0,0700	0,035%	11,35	0,35
210	210000	150	0,0750	0,038%	11,92	0,38

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	160	0,0800	0,040%	12,48	0,40
230	230000	168	0,0840	0,042%	13,05	0,42
240	240000	175	0,0875	0,044%	13,62	0,44
250	250000	182	0,0910	0,046%	14,18	0,46
260	260000	192	0,0960	0,048%	14,75	0,48
270	270000	200	0,1000	0,050%	15,32	0,50
280	280000	208	0,1040	0,052%	15,89	0,52
290	290000	218	0,1090	0,055%	16,45	0,55
300	300000	225	0,1125	0,056%	17,02	0,56
310	310000	235	0,1175	0,059%	17,59	0,59
320	320000	242	0,1210	0,061%	18,16	0,61
330	330000	251	0,1255	0,063%	18,72	0,63
340	340000	261	0,1305	0,065%	19,29	0,65
350	350000	270	0,1350	0,068%	19,86	0,68
360	360000	281	0,1405	0,070%	20,43	0,70
370	370000	290	0,1450	0,073%	20,99	0,73
380	380000	302	0,1510	0,076%	21,56	0,76
390	390000	311	0,1555	0,078%	22,13	0,78
400	400000	322	0,1610	0,081%	22,70	0,81
410	410000	335	0,1675	0,084%	23,26	0,84
420	420000	345	0,1725	0,086%	23,83	0,86
430	430000	358	0,1790	0,090%	24,40	0,90
440	440000	369	0,1845	0,092%	24,97	0,92
450	450000	380	0,1900	0,095%	25,53	0,95
460	460000	395	0,1975	0,099%	26,10	0,99
470	470000	408	0,2040	0,102%	26,67	1,02
480	480000	420	0,2100	0,105%	27,24	1,05
490	490000	433	0,2165	0,108%	27,80	1,08
500	500000	450	0,2250	0,113%	28,37	1,13
510	510000	465	0,2325	0,116%	28,94	1,16
520	520000	480	0,2400	0,120%	29,50	1,20
530	530000	500	0,2500	0,125%	30,07	1,25
540	540000	520	0,2600	0,130%	30,64	1,30
550	550000	539	0,2695	0,135%	31,21	1,35
560	560000	558	0,2790	0,140%	31,77	1,40

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
570	570000	588	0,2940	0,147%	32,34	1,47
580	580000	620	0,3100	0,155%	32,91	1,55
590	590000	668	0,3340	0,167%	33,48	1,67
594	594000	708	0,3540	0,177%	33,70	1,77
590	590000	760	0,3800	0,190%	33,48	1,90
580	580000	788	0,3940	0,197%	32,91	1,97
570	570000	804	0,4020	0,201%	32,34	2,01
560	560000	820	0,4100	0,205%	31,77	2,05
550	550000	835	0,4175	0,209%	31,21	2,09

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	29695,51	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	27285,65	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	29008,61	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	5	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	36,43	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	302,44	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

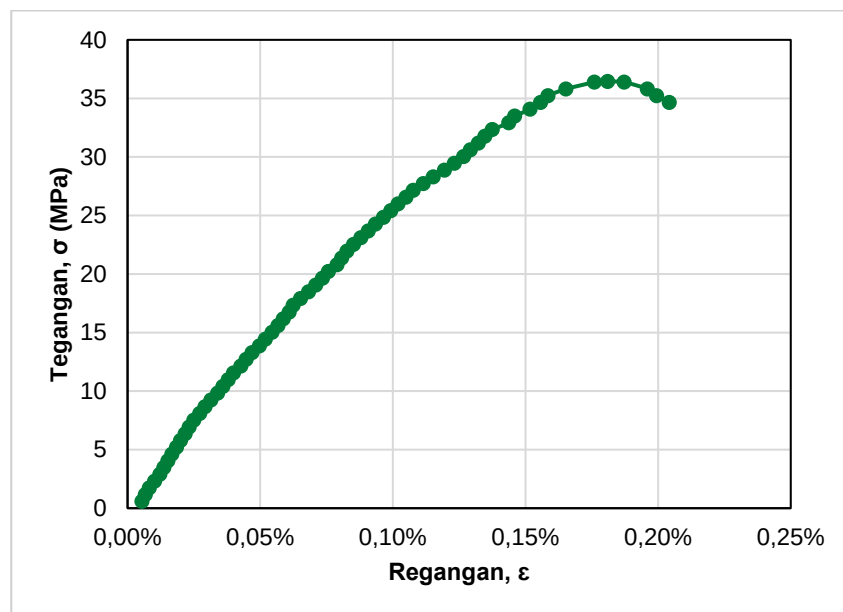
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,58	0,01
20	20000	8	0,004	0,002%	1,15	0,02
30	30000	14	0,007	0,004%	1,73	0,04
40	40000	22	0,011	0,006%	2,31	0,06
50	50000	30	0,015	0,008%	2,89	0,08
60	60000	36	0,018	0,009%	3,46	0,09
70	70000	42	0,021	0,011%	4,04	0,11
80	80000	48	0,024	0,012%	4,62	0,12
90	90000	55	0,0275	0,014%	5,20	0,14
100	100000	61	0,0305	0,015%	5,77	0,15
110	110000	68	0,034	0,017%	6,35	0,17
120	120000	74	0,037	0,019%	6,93	0,19
130	130000	81	0,0405	0,020%	7,51	0,20
140	140000	90	0,045	0,023%	8,08	0,23
150	150000	98	0,049	0,025%	8,66	0,25
160	160000	107	0,0535	0,027%	9,24	0,27
170	170000	117	0,0585	0,029%	9,82	0,29
180	180000	125	0,0625	0,031%	10,39	0,31
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,97	0,33
200	200000	141	0,0705	0,035%	11,55	0,35
210	210000	152	0,076	0,038%	12,12	0,38

Beban (P)		Ekstensiomete r	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	160	0,08	0,040%	12,70	0,40
230	230000	169	0,0845	0,042%	13,28	0,42
240	240000	180	0,09	0,045%	13,86	0,45
250	250000	189	0,0945	0,047%	14,43	0,47
260	260000	199	0,0995	0,050%	15,01	0,50
270	270000	208	0,104	0,052%	15,59	0,52
280	280000	216	0,108	0,054%	16,17	0,54
290	290000	225	0,1125	0,056%	16,74	0,56
300	300000	231	0,1155	0,058%	17,32	0,58
310	310000	242	0,121	0,061%	17,90	0,61
320	320000	254	0,127	0,064%	18,48	0,64
330	330000	265	0,1325	0,066%	19,05	0,66
340	340000	275	0,1375	0,069%	19,63	0,69
350	350000	284	0,142	0,071%	20,21	0,71
360	360000	297	0,1485	0,074%	20,79	0,74
370	370000	304	0,152	0,076%	21,36	0,76
380	380000	312	0,156	0,078%	21,94	0,78
390	390000	322	0,161	0,081%	22,52	0,81
400	400000	333	0,1665	0,083%	23,09	0,83
410	410000	344	0,172	0,086%	23,67	0,86
420	420000	355	0,1775	0,089%	24,25	0,89
430	430000	367	0,1835	0,092%	24,83	0,92
440	440000	378	0,189	0,095%	25,40	0,95
450	450000	389	0,1945	0,097%	25,98	0,97
460	460000	401	0,2005	0,100%	26,56	1,00
470	470000	412	0,206	0,103%	27,14	1,03
480	480000	427	0,2135	0,107%	27,71	1,07
490	490000	442	0,221	0,111%	28,29	1,11
500	500000	459	0,2295	0,115%	28,87	1,15
510	510000	474	0,237	0,119%	29,45	1,19
520	520000	488	0,244	0,122%	30,02	1,22
530	530000	498	0,249	0,125%	30,60	1,25
540	540000	510	0,255	0,128%	31,18	1,28
550	550000	520	0,26	0,130%	31,76	1,30
560	560000	531	0,2655	0,133%	32,33	1,33
570	570000	556	0,278	0,139%	32,91	1,39

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
580	580000	565	0,2825	0,141%	33,49	1,41
590	590000	588	0,294	0,147%	34,07	1,47
600	600000	604	0,302	0,151%	34,64	1,51
610	610000	615	0,3075	0,154%	35,22	1,54
620	620000	642	0,321	0,161%	35,80	1,61
630	630000	685	0,3425	0,171%	36,37	1,71
631	631000	705	0,3525	0,176%	36,43	1,76
630	630000	730	0,365	0,183%	36,37	1,83
620	620000	765	0,3825	0,191%	35,80	1,91
610	610000	779	0,3895	0,195%	35,22	1,95
600	600000	798	0,399	0,200%	34,64	2,00

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 0% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27530,42	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24437,10	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	30862,77	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 1

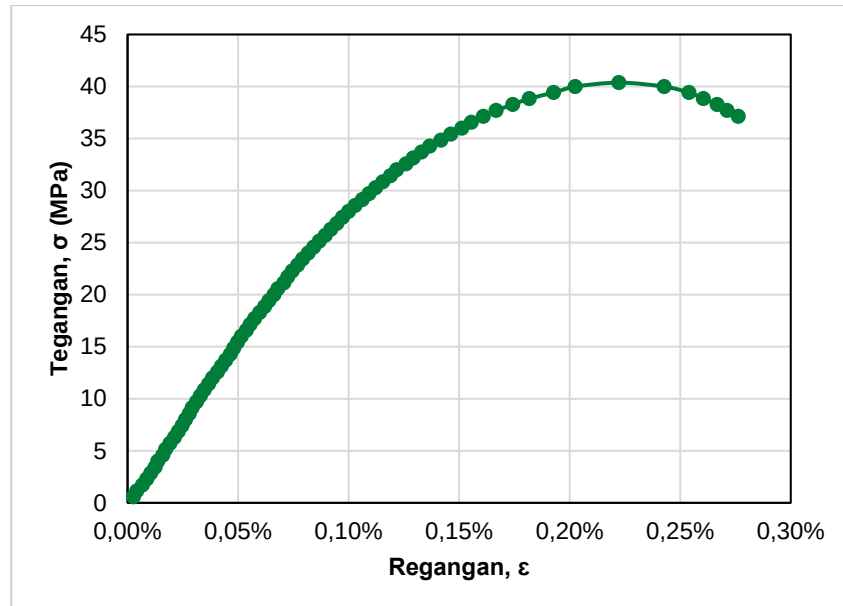
Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	40,37	Mpa
Diameter	149,3	mm
Tinggi	301,54	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	4	0,002	0,001%	0,57	0,01
20	20000	10	0,005	0,003%	1,14	0,03
30	30000	20	0,01	0,005%	1,71	0,05
40	40000	28	0,014	0,007%	2,28	0,07
50	50000	35	0,0175	0,009%	2,86	0,09
60	60000	43	0,0215	0,011%	3,43	0,11
70	70000	48	0,024	0,012%	4,00	0,12
80	80000	57	0,0285	0,014%	4,57	0,14
90	90000	62	0,031	0,016%	5,14	0,16
100	100000	70	0,035	0,018%	5,71	0,18
110	110000	78	0,039	0,020%	6,28	0,20
120	120000	85	0,0425	0,021%	6,85	0,21
130	130000	92	0,046	0,023%	7,43	0,23
140	140000	98	0,049	0,025%	8,00	0,25
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,57	0,26
160	160000	110	0,055	0,028%	9,14	0,28
170	170000	118	0,059	0,030%	9,71	0,30
180	180000	125	0,0625	0,031%	10,28	0,31
190	190000	132	0,066	0,033%	10,85	0,33
200	200000	140	0,07	0,035%	11,42	0,35
210	210000	147	0,0735	0,037%	12,00	0,37

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	156	0,078	0,039%	12,57	0,39
230	230000	163	0,0815	0,041%	13,14	0,41
240	240000	171	0,0855	0,043%	13,71	0,43
250	250000	179	0,0895	0,045%	14,28	0,45
260	260000	185	0,0925	0,046%	14,85	0,46
270	270000	192	0,096	0,048%	15,42	0,48
280	280000	199	0,0995	0,050%	15,99	0,50
290	290000	208	0,104	0,052%	16,56	0,52
300	300000	215	0,1075	0,054%	17,14	0,54
310	310000	223	0,1115	0,056%	17,71	0,56
320	320000	232	0,116	0,058%	18,28	0,58
330	330000	241	0,1205	0,060%	18,85	0,60
340	340000	249	0,1245	0,062%	19,42	0,62
350	350000	258	0,129	0,065%	19,99	0,65
360	360000	265	0,1325	0,066%	20,56	0,66
370	370000	276	0,138	0,069%	21,13	0,69
380	380000	283	0,1415	0,071%	21,71	0,71
390	390000	291	0,1455	0,073%	22,28	0,73
400	400000	301	0,1505	0,075%	22,85	0,75
410	410000	310	0,155	0,078%	23,42	0,78
420	420000	320	0,16	0,080%	23,99	0,80
430	430000	330	0,165	0,083%	24,56	0,83
440	440000	340	0,17	0,085%	25,13	0,85
450	450000	351	0,1755	0,088%	25,70	0,88
460	460000	361	0,1805	0,090%	26,28	0,90
470	470000	372	0,186	0,093%	26,85	0,93
480	480000	382	0,191	0,096%	27,42	0,96
490	490000	393	0,1965	0,098%	27,99	0,98
500	500000	405	0,2025	0,101%	28,56	1,01
510	510000	418	0,209	0,105%	29,13	1,05
520	520000	430	0,215	0,108%	29,70	1,08
530	530000	442	0,221	0,111%	30,27	1,11
540	540000	455	0,2275	0,114%	30,84	1,14

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
550	550000	469	0,2345	0,117%	31,42	1,17
560	560000	480	0,24	0,120%	31,99	1,20
570	570000	497	0,2485	0,124%	32,56	1,24
580	580000	510	0,255	0,128%	33,13	1,28
590	590000	525	0,2625	0,131%	33,70	1,31
600	600000	540	0,27	0,135%	34,27	1,35
610	610000	560	0,28	0,140%	34,84	1,40
620	620000	578	0,289	0,145%	35,41	1,45
630	630000	598	0,299	0,150%	35,99	1,50
640	640000	615	0,3075	0,154%	36,56	1,54
650	650000	637	0,3185	0,159%	37,13	1,59
660	660000	660	0,33	0,165%	37,70	1,65
670	670000	690	0,345	0,173%	38,27	1,73
680	680000	720	0,36	0,180%	38,84	1,80
690	690000	764	0,382	0,191%	39,41	1,91
700	700000	803	0,4015	0,201%	39,98	2,01
706	706800	882	0,441	0,221%	40,37	2,21
700	700000	964	0,482	0,241%	39,98	2,41
690	690000	1009	0,5045	0,252%	39,41	2,52
680	680000	1035	0,5175	0,259%	38,84	2,59
670	670000	1060	0,53	0,265%	38,27	2,65
660	660000	1078	0,539	0,270%	37,70	2,70
650	650000	1098	0,549	0,275%	37,13	2,75

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$	31028,31	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	29863,55	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	32561,72	MPa

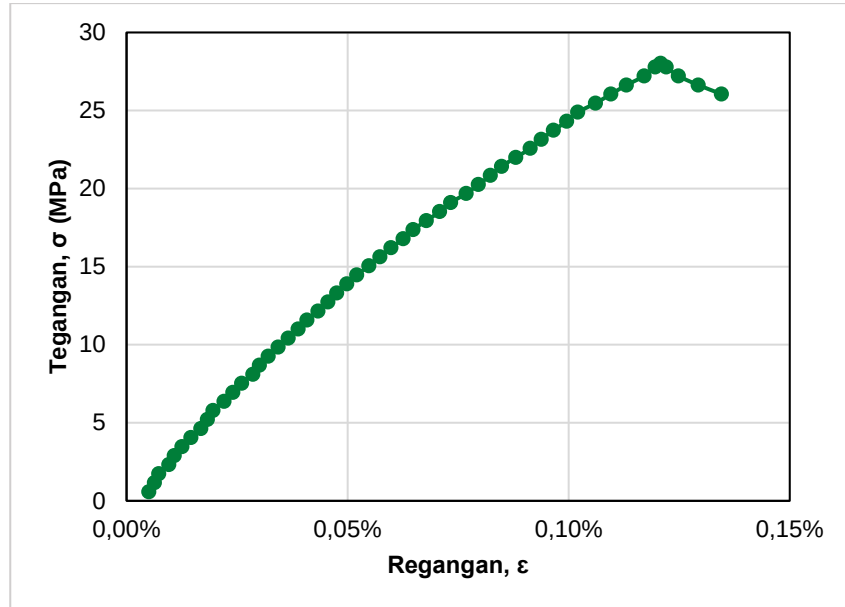
Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	28,02	Mpa
Diameter	148,3	mm
Tinggi	301,8	mm
Luas	17273	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,58	0,01
20	20000	7	0,0035	0,002%	1,16	0,02
30	30000	11	0,0055	0,003%	1,74	0,03
40	40000	20	0,01	0,005%	2,32	0,05
50	50000	25	0,0125	0,006%	2,89	0,06
60	60000	32	0,016	0,008%	3,47	0,08
70	70000	40	0,02	0,010%	4,05	0,10
80	80000	49	0,0245	0,012%	4,63	0,12
90	90000	55	0,0275	0,014%	5,21	0,14
100	100000	60	0,03	0,015%	5,79	0,15
110	110000	70	0,035	0,018%	6,37	0,18
120	120000	78	0,039	0,020%	6,95	0,20
130	130000	86	0,043	0,022%	7,53	0,22
140	140000	96	0,048	0,024%	8,11	0,24
150	150000	102	0,051	0,026%	8,68	0,26
160	160000	110	0,055	0,028%	9,26	0,28
170	170000	119	0,0595	0,030%	9,84	0,30
180	180000	128	0,064	0,032%	10,42	0,32
190	190000	137	0,0685	0,034%	11,00	0,34
200	200000	145	0,0725	0,036%	11,58	0,36

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	155	0,0775	0,039%	12,16	0,39
220	220000	164	0,082	0,041%	12,74	0,41
230	230000	172	0,086	0,043%	13,32	0,43
240	240000	181	0,0905	0,045%	13,89	0,45
250	250000	190	0,095	0,048%	14,47	0,48
260	260000	201	0,1005	0,050%	15,05	0,50
270	270000	211	0,1055	0,053%	15,63	0,53
280	280000	221	0,1105	0,055%	16,21	0,55
290	290000	232	0,116	0,058%	16,79	0,58
300	300000	241	0,1205	0,060%	17,37	0,60
310	310000	253	0,1265	0,063%	17,95	0,63
320	320000	265	0,1325	0,066%	18,53	0,66
330	330000	275	0,1375	0,069%	19,10	0,69
340	340000	289	0,1445	0,072%	19,68	0,72
350	350000	300	0,15	0,075%	20,26	0,75
360	360000	311	0,1555	0,078%	20,84	0,78
370	370000	321	0,1605	0,080%	21,42	0,80
380	380000	334	0,167	0,084%	22,00	0,84
390	390000	347	0,1735	0,087%	22,58	0,87
400	400000	357	0,1785	0,089%	23,16	0,89
410	410000	368	0,184	0,092%	23,74	0,92
420	420000	380	0,19	0,095%	24,32	0,95
430	430000	390	0,195	0,098%	24,89	0,98
440	440000	406	0,203	0,102%	25,47	1,02
450	450000	420	0,21	0,105%	26,05	1,05
460	460000	434	0,217	0,109%	26,63	1,09
470	470000	450	0,225	0,113%	27,21	1,13
480	480000	460	0,23	0,115%	27,79	1,15
484	484000	465	0,2325	0,116%	28,02	1,16
480	480000	470	0,235	0,118%	27,79	1,18
470	470000	481	0,2405	0,120%	27,21	1,20
460	460000	499	0,2495	0,125%	26,63	1,25
450	450000	520	0,26	0,130%	26,05	1,30

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27474,76	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24879,09	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27587,04	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 3

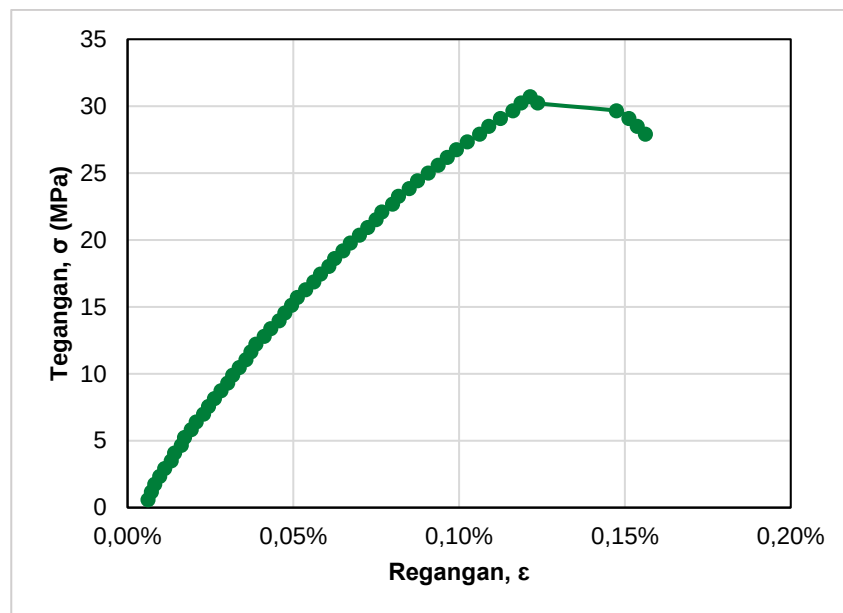
Data Sampel		
Metode Perawatan		Perendaman
Umur Uji		28 Hari
No Sampel		3
Mutu Beton Rencana		25 Mpa
Mutu Beton Hasil Uji		30,69 Mpa
Diameter		149,5 mm
Tinggi		302,3 mm
Luas		17203 mm ²
L0		200,0 mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,58	0,00
20	20000	4	0,002	0,001%	1,16	0,01
30	30000	8	0,004	0,002%	1,74	0,02
40	40000	14	0,007	0,004%	2,33	0,04
50	50000	20	0,01	0,005%	2,91	0,05
60	60000	28	0,014	0,007%	3,49	0,07
70	70000	32	0,016	0,008%	4,07	0,08
80	80000	40	0,02	0,010%	4,65	0,10
90	90000	44	0,022	0,011%	5,23	0,11
100	100000	52	0,026	0,013%	5,81	0,13
110	110000	58	0,029	0,015%	6,39	0,15
120	120000	67	0,0335	0,017%	6,98	0,17
130	130000	73	0,0365	0,018%	7,56	0,18
140	140000	80	0,04	0,020%	8,14	0,20
150	150000	88	0,044	0,022%	8,72	0,22
160	160000	96	0,048	0,024%	9,30	0,24
170	170000	102	0,051	0,026%	9,88	0,26
180	180000	110	0,055	0,028%	10,46	0,28
190	190000	118	0,059	0,030%	11,04	0,30
200	200000	124	0,062	0,031%	11,63	0,31
210	210000	130	0,065	0,033%	12,21	0,33

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	140	0,07	0,035%	12,79	0,35
230	230000	148	0,074	0,037%	13,37	0,37
240	240000	158	0,079	0,040%	13,95	0,40
250	250000	165	0,0825	0,041%	14,53	0,41
260	260000	173	0,0865	0,043%	15,11	0,43
270	270000	180	0,09	0,045%	15,69	0,45
280	280000	190	0,095	0,048%	16,28	0,48
290	290000	200	0,1	0,050%	16,86	0,50
300	300000	208	0,104	0,052%	17,44	0,52
310	310000	218	0,109	0,055%	18,02	0,55
320	320000	225	0,1125	0,056%	18,60	0,56
330	330000	235	0,1175	0,059%	19,18	0,59
340	340000	244	0,122	0,061%	19,76	0,61
350	350000	255	0,1275	0,064%	20,34	0,64
360	360000	265	0,1325	0,066%	20,93	0,66
370	370000	275	0,1375	0,069%	21,51	0,69
380	380000	282	0,141	0,071%	22,09	0,71
390	390000	295	0,1475	0,074%	22,67	0,74
400	400000	302	0,151	0,076%	23,25	0,76
410	410000	315	0,1575	0,079%	23,83	0,79
420	420000	325	0,1625	0,081%	24,41	0,81
430	430000	338	0,169	0,085%	25,00	0,85
440	440000	350	0,175	0,088%	25,58	0,88
450	450000	361	0,1805	0,090%	26,16	0,90
460	460000	372	0,186	0,093%	26,74	0,93
470	470000	385	0,1925	0,096%	27,32	0,96
480	480000	400	0,2	0,100%	27,90	1,00
490	490000	411	0,2055	0,103%	28,48	1,03
500	500000	425	0,2125	0,106%	29,06	1,06
510	510000	440	0,2200	0,110%	29,65	1,10
520	520000	450	0,2250	0,113%	30,23	1,13
528	528000	461	0,2305	0,115%	30,69	1,15
520	520000	470	0,2350	0,118%	30,23	1,18
510	510000	565	0,2825	0,141%	29,65	1,41
500	500000	580	0,2900	0,145%	29,06	1,45

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	31001,69	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	26038,03	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27659,06	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 4

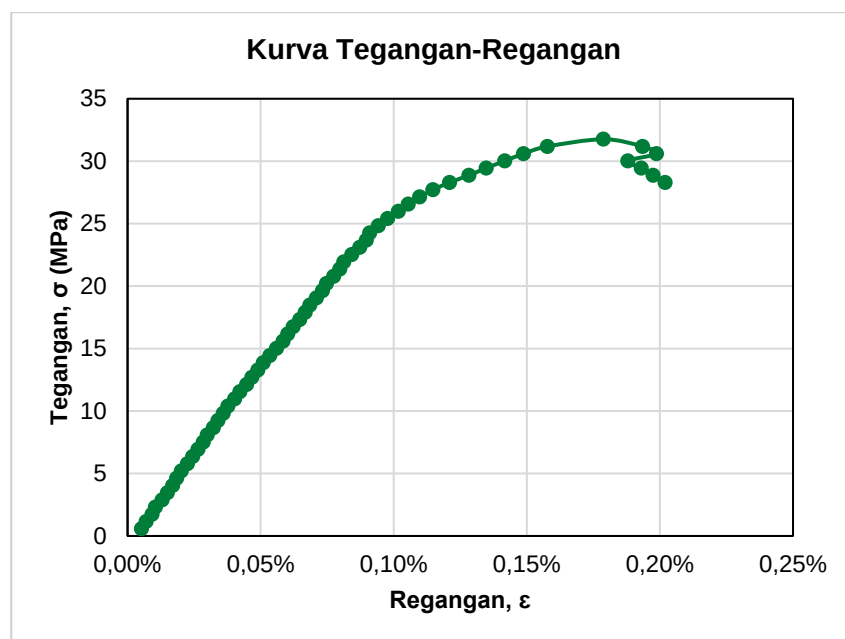
Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	31,76	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	301,22	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,0010	0,001%	0,58	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,15	0,02
30	30000	18	0,0090	0,005%	1,73	0,05
40	40000	23	0,0115	0,006%	2,31	0,06
50	50000	33	0,0165	0,008%	2,89	0,08
60	60000	41	0,0205	0,010%	3,46	0,10
70	70000	49	0,0245	0,012%	4,04	0,12
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,62	0,14
90	90000	62	0,0310	0,016%	5,20	0,16
100	100000	71	0,0355	0,018%	5,77	0,18
110	110000	79	0,0395	0,020%	6,35	0,20
120	120000	87	0,0435	0,022%	6,93	0,22
130	130000	95	0,0475	0,024%	7,51	0,24
140	140000	101	0,0505	0,025%	8,08	0,25
150	150000	110	0,0550	0,028%	8,66	0,28
160	160000	117	0,0585	0,029%	9,24	0,29
170	170000	125	0,0625	0,031%	9,82	0,31
180	180000	132	0,0660	0,033%	10,39	0,33
190	190000	142	0,0710	0,036%	10,97	0,36
200	200000	150	0,0750	0,038%	11,55	0,38
210	210000	160	0,0800	0,040%	12,12	0,40

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	168	0,0840	0,042%	12,70	0,42
230	230000	177	0,0885	0,044%	13,28	0,44
240	240000	185	0,0925	0,046%	13,86	0,46
250	250000	195	0,0975	0,049%	14,43	0,49
260	260000	205	0,1025	0,051%	15,01	0,51
270	270000	215	0,1075	0,054%	15,59	0,54
280	280000	222	0,1110	0,056%	16,17	0,56
290	290000	230	0,1150	0,058%	16,74	0,58
300	300000	240	0,1200	0,060%	17,32	0,60
310	310000	248	0,1240	0,062%	17,90	0,62
320	320000	255	0,1275	0,064%	18,48	0,64
330	330000	265	0,1325	0,066%	19,05	0,66
340	340000	274	0,1370	0,069%	19,63	0,69
350	350000	280	0,1400	0,070%	20,21	0,70
360	360000	291	0,1455	0,073%	20,79	0,73
370	370000	300	0,1500	0,075%	21,36	0,75
380	380000	306	0,1530	0,077%	21,94	0,77
390	390000	318	0,1590	0,080%	22,52	0,80
400	400000	330	0,1650	0,083%	23,09	0,83
410	410000	340	0,1700	0,085%	23,67	0,85
420	420000	345	0,1725	0,086%	24,25	0,86
430	430000	358	0,1790	0,090%	24,83	0,90
440	440000	372	0,1860	0,093%	25,40	0,93
450	450000	388	0,1940	0,097%	25,98	0,97
460	460000	403	0,2015	0,101%	26,56	1,01
470	470000	420	0,2100	0,105%	27,14	1,05
480	480000	440	0,2200	0,110%	27,71	1,10
490	490000	465	0,2325	0,116%	28,29	1,16
500	500000	494	0,2470	0,124%	28,87	1,24
510	510000	520	0,2600	0,130%	29,45	1,30
520	520000	548	0,2740	0,137%	30,02	1,37
530	530000	576	0,2880	0,144%	30,60	1,44

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
540	540000	612	0,3060	0,153%	31,18	1,53
550	550000	696	0,3480	0,174%	31,76	1,74
540	540000	755	0,3775	0,189%	31,18	1,89
530	530000	776	0,3880	0,194%	30,60	1,94
520	520000	733	0,3665	0,183%	30,02	1,83
510	510000	753	0,3765	0,188%	29,45	1,88
500	500000	771	0,3855	0,193%	28,87	1,93
490	490000	789	0,3945	0,197%	28,29	1,97

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27170,54	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	26485,48	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	28143,28	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 5

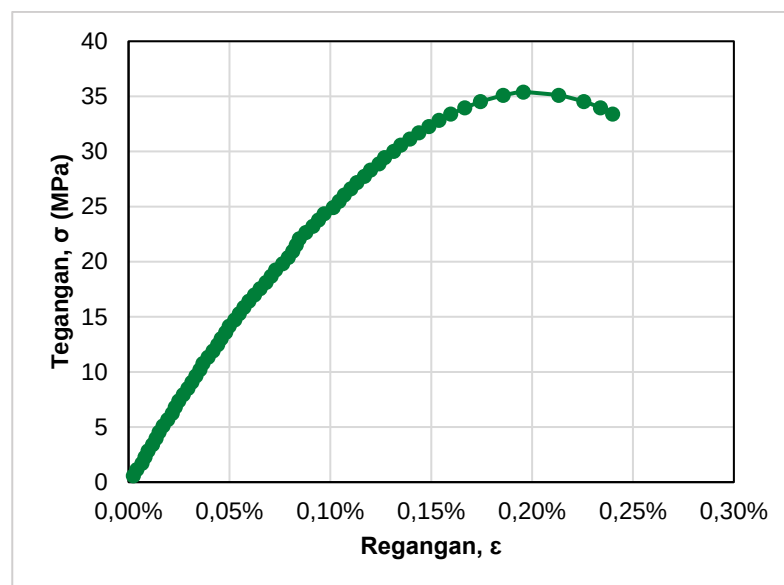
Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	5	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	35,37	Mpa
Diameter	150,00	mm
Tinggi	301,55	mm
Luas	17671	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,57	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,13	0,02
30	30000	19	0,0095	0,005%	1,70	0,05
40	40000	25	0,0125	0,006%	2,26	0,06
50	50000	31	0,0155	0,008%	2,83	0,08
60	60000	40	0,02	0,010%	3,40	0,10
70	70000	47	0,0235	0,012%	3,96	0,12
80	80000	53	0,0265	0,013%	4,53	0,13
90	90000	61	0,0305	0,015%	5,09	0,15
100	100000	70	0,035	0,018%	5,66	0,18
110	110000	79	0,0395	0,020%	6,22	0,20
120	120000	85	0,0425	0,021%	6,79	0,21
130	130000	92	0,046	0,023%	7,36	0,23
140	140000	101	0,0505	0,025%	7,92	0,25
150	150000	110	0,055	0,028%	8,49	0,28
160	160000	118	0,059	0,030%	9,05	0,30
170	170000	126	0,063	0,032%	9,62	0,32
180	180000	134	0,067	0,034%	10,19	0,34
190	190000	140	0,07	0,035%	10,75	0,35
200	200000	150	0,075	0,038%	11,32	0,38
210	210000	160	0,08	0,040%	11,88	0,40

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	169	0,0845	0,042%	12,45	0,42
230	230000	176	0,088	0,044%	13,02	0,44
240	240000	185	0,0925	0,046%	13,58	0,46
250	250000	192	0,096	0,048%	14,15	0,48
260	260000	203	0,1015	0,051%	14,71	0,51
270	270000	212	0,106	0,053%	15,28	0,53
280	280000	221	0,1105	0,055%	15,84	0,55
290	290000	231	0,1155	0,058%	16,41	0,58
300	300000	242	0,121	0,061%	16,98	0,61
310	310000	253	0,1265	0,063%	17,54	0,63
320	320000	265	0,1325	0,066%	18,11	0,66
330	330000	275	0,1375	0,069%	18,67	0,69
340	340000	284	0,142	0,071%	19,24	0,71
350	350000	298	0,149	0,075%	19,81	0,75
360	360000	309	0,1545	0,077%	20,37	0,77
370	370000	318	0,159	0,080%	20,94	0,80
380	380000	325	0,1625	0,081%	21,50	0,81
390	390000	331	0,1655	0,083%	22,07	0,83
400	400000	344	0,172	0,086%	22,64	0,86
410	410000	358	0,179	0,090%	23,20	0,90
420	420000	369	0,1845	0,092%	23,77	0,92
430	430000	380	0,19	0,095%	24,33	0,95
440	440000	398	0,199	0,100%	24,90	1,00
450	450000	410	0,205	0,103%	25,46	1,03
460	460000	420	0,21	0,105%	26,03	1,05
470	470000	433	0,2165	0,108%	26,60	1,08
480	480000	445	0,2225	0,111%	27,16	1,11
490	490000	460	0,23	0,115%	27,73	1,15
500	500000	472	0,236	0,118%	28,29	1,18
510	510000	489	0,2445	0,122%	28,86	1,22
520	520000	500	0,25	0,125%	29,43	1,25
530	530000	518	0,259	0,130%	29,99	1,30
540	540000	532	0,266	0,133%	30,56	1,33
550	550000	550	0,275	0,138%	31,12	1,38

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
560	560000	568	0,284	0,142%	31,69	1,42
570	570000	588	0,294	0,147%	32,26	1,47
580	580000	608	0,304	0,152%	32,82	1,52
590	590000	631	0,3155	0,158%	33,39	1,58
600	600000	659	0,3295	0,165%	33,95	1,65
610	610000	690	0,345	0,173%	34,52	1,73
620	620000	735	0,3675	0,184%	35,08	1,84
625	625000	775	0,3875	0,194%	35,37	1,94
620	620000	845	0,4225	0,211%	35,08	2,11
610	610000	895	0,4475	0,224%	34,52	2,24
600	600000	928	0,464	0,232%	33,95	2,32
590	590000	952	0,476	0,238%	33,39	2,38

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 5% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	28294,21	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	27951,28	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	30563,79	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 10% Kapur

Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	30,26	Mpa
Diameter	151,3	mm
Tinggi	301,77	mm
Luas	17979	mm ²
L0	200,0	mm

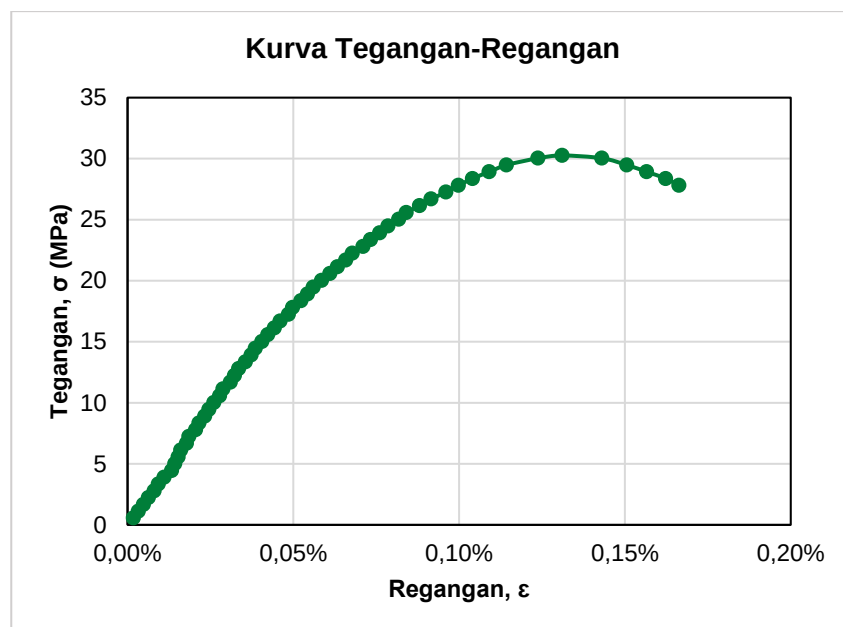
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,11	0,02
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,67	0,04
40	40000	21	0,0105	0,005%	2,22	0,05
50	50000	28	0,014	0,007%	2,78	0,07
60	60000	33	0,0165	0,008%	3,34	0,08
70	70000	40	0,02	0,010%	3,89	0,10
80	80000	49	0,0245	0,012%	4,45	0,12
90	90000	53	0,0265	0,013%	5,01	0,13
100	100000	57	0,0285	0,014%	5,56	0,14
110	110000	60	0,03	0,015%	6,12	0,15
120	120000	67	0,0335	0,017%	6,67	0,17
130	130000	70	0,035	0,018%	7,23	0,18
140	140000	78	0,039	0,020%	7,79	0,20
150	150000	82	0,041	0,021%	8,34	0,21
160	160000	89	0,0445	0,022%	8,90	0,22
170	170000	94	0,047	0,024%	9,46	0,24
180	180000	100	0,05	0,025%	10,01	0,25
190	190000	107	0,0535	0,027%	10,57	0,27
200	200000	111	0,0555	0,028%	11,12	0,28
210	210000	120	0,06	0,030%	11,68	0,30

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	125	0,0625	0,031%	12,24	0,31
230	230000	130	0,065	0,033%	12,79	0,33
240	240000	138	0,069	0,035%	13,35	0,35
250	250000	145	0,0725	0,036%	13,91	0,36
260	260000	150	0,075	0,038%	14,46	0,38
270	270000	158	0,079	0,040%	15,02	0,40
280	280000	165	0,0825	0,041%	15,57	0,41
290	290000	173	0,0865	0,043%	16,13	0,43
300	300000	180	0,09	0,045%	16,69	0,45
310	310000	190	0,095	0,048%	17,24	0,48
320	320000	195	0,0975	0,049%	17,80	0,49
330	330000	205	0,1025	0,051%	18,35	0,51
340	340000	213	0,1065	0,053%	18,91	0,53
350	350000	220	0,11	0,055%	19,47	0,55
360	360000	230	0,115	0,058%	20,02	0,58
370	370000	240	0,12	0,060%	20,58	0,60
380	380000	249	0,1245	0,062%	21,14	0,62
390	390000	259	0,1295	0,065%	21,69	0,65
400	400000	267	0,1335	0,067%	22,25	0,67
410	410000	280	0,14	0,070%	22,80	0,70
420	420000	289	0,1445	0,072%	23,36	0,72
430	430000	300	0,15	0,075%	23,92	0,75
440	440000	310	0,155	0,078%	24,47	0,78
450	450000	323	0,1615	0,081%	25,03	0,81
460	460000	332	0,166	0,083%	25,59	0,83
470	470000	348	0,174	0,087%	26,14	0,87
480	480000	362	0,181	0,091%	26,70	0,91
490	490000	380	0,19	0,095%	27,25	0,95
500	500000	395	0,1975	0,099%	27,81	0,99
510	510000	412	0,206	0,103%	28,37	1,03
520	520000	432	0,216	0,108%	28,92	1,08
530	530000	453	0,2265	0,113%	29,48	1,13
540	540000	491	0,2455	0,123%	30,03	1,23

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
544	544000	520	0,26	0,130%	30,26	1,30
540	540000	568	0,284	0,142%	30,03	1,42
530	530000	598	0,299	0,150%	29,48	1,50
520	520000	622	0,311	0,156%	28,92	1,56
510	510000	645	0,3225	0,161%	28,37	1,61
500	500000	661	0,3305	0,165%	27,81	1,65

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 10% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	32360,82	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25853,15	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27087,72	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 10% Kapur

Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	31,43	Mpa
Diameter	148,8	mm
Tinggi	302,12	mm
Luas	17390	mm ²
L0	200,0	mm

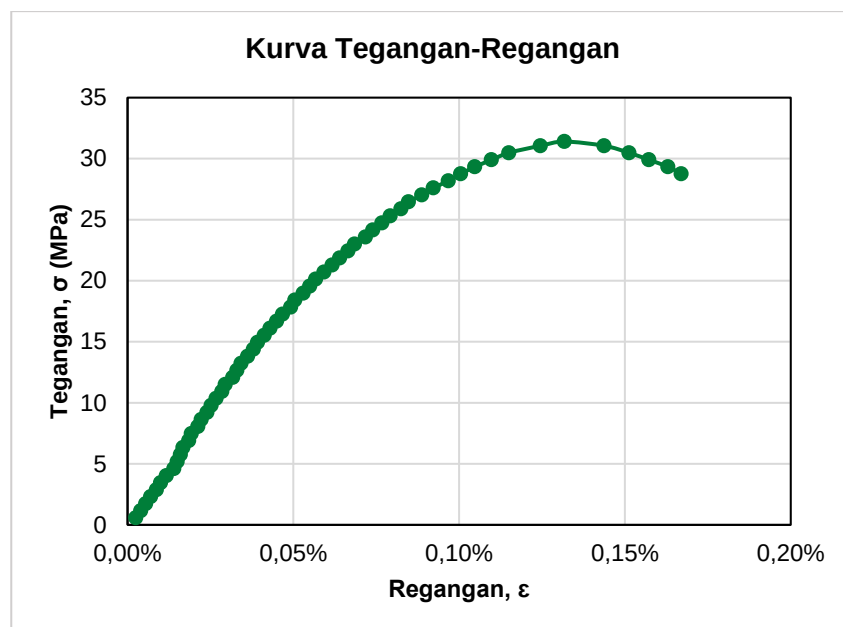
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,58	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,15	0,02
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,73	0,04
40	40000	21	0,0105	0,005%	2,30	0,05
50	50000	28	0,0140	0,007%	2,88	0,07
60	60000	33	0,0165	0,008%	3,45	0,08
70	70000	40	0,0200	0,010%	4,03	0,10
80	80000	49	0,0245	0,012%	4,60	0,12
90	90000	53	0,0265	0,013%	5,18	0,13
100	100000	57	0,0285	0,014%	5,75	0,14
110	110000	60	0,0300	0,015%	6,33	0,15
120	120000	67	0,0335	0,017%	6,90	0,17
130	130000	70	0,0350	0,018%	7,48	0,18
140	140000	78	0,0390	0,020%	8,05	0,20
150	150000	82	0,0410	0,021%	8,63	0,21
160	160000	89	0,0445	0,022%	9,20	0,22
170	170000	94	0,0470	0,024%	9,78	0,24
180	180000	100	0,0500	0,025%	10,35	0,25
190	190000	107	0,0535	0,027%	10,93	0,27
200	200000	111	0,0555	0,028%	11,50	0,28
210	210000	120	0,0600	0,030%	12,08	0,30

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	125	0,0625	0,031%	12,65	0,31
230	230000	130	0,0650	0,033%	13,23	0,33
240	240000	138	0,0690	0,035%	13,80	0,35
250	250000	145	0,0725	0,036%	14,38	0,36
260	260000	150	0,0750	0,038%	14,95	0,38
270	270000	158	0,0790	0,040%	15,53	0,40
280	280000	165	0,0825	0,041%	16,10	0,41
290	290000	173	0,0865	0,043%	16,68	0,43
300	300000	180	0,0900	0,045%	17,25	0,45
310	310000	190	0,0950	0,048%	17,83	0,48
320	320000	195	0,0975	0,049%	18,40	0,49
330	330000	205	0,1025	0,051%	18,98	0,51
340	340000	213	0,1065	0,053%	19,55	0,53
350	350000	220	0,1100	0,055%	20,13	0,55
360	360000	230	0,1150	0,058%	20,70	0,58
370	370000	240	0,1200	0,060%	21,28	0,60
380	380000	249	0,1245	0,062%	21,85	0,62
390	390000	259	0,1295	0,065%	22,43	0,65
400	400000	267	0,1335	0,067%	23,00	0,67
410	410000	280	0,1400	0,070%	23,58	0,70
420	420000	289	0,1445	0,072%	24,15	0,72
430	430000	300	0,1500	0,075%	24,73	0,75
440	440000	310	0,1550	0,078%	25,30	0,78
450	450000	323	0,1615	0,081%	25,88	0,81
460	460000	332	0,1660	0,083%	26,45	0,83
470	470000	348	0,1740	0,087%	27,03	0,87
480	480000	362	0,1810	0,091%	27,60	0,91
490	490000	380	0,1900	0,095%	28,18	0,95
500	500000	395	0,1975	0,099%	28,75	0,99
510	510000	412	0,2060	0,103%	29,33	1,03
520	520000	432	0,2160	0,108%	29,90	1,08
530	530000	453	0,2265	0,113%	30,48	1,13
540	540000	491	0,2455	0,123%	31,05	1,23

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
546	546000	520	0,2600	0,130%	31,40	1,30
540	540000	568	0,2840	0,142%	31,05	1,42
530	530000	598	0,2990	0,150%	30,48	1,50
520	520000	622	0,3110	0,156%	29,90	1,56
510	510000	645	0,3225	0,161%	29,33	1,61
500	500000	661	0,3305	0,165%	28,75	1,65

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 10% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	38336,55	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	26347,84	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	29156,49	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 10% Kapur

Sampel 3

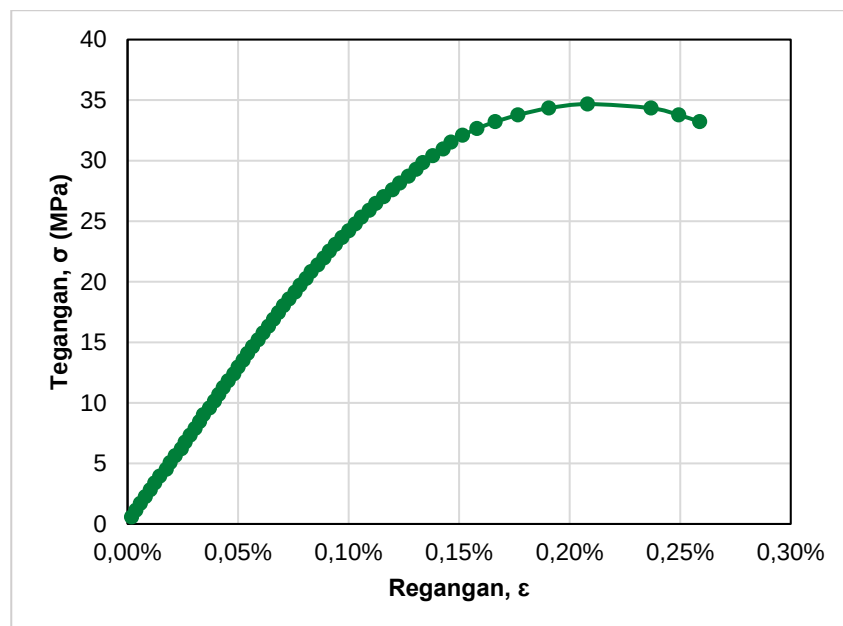
Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	34,67	Mpa
Diameter	150,4	mm
Tinggi	301,33	mm
Luas	17766	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	5	0,003	0,001%	0,563	0,013
20	20000	13	0,007	0,003%	1,126	0,033
30	30000	21	0,011	0,005%	1,689	0,053
40	40000	30	0,015	0,008%	2,252	0,075
50	50000	39	0,020	0,010%	2,814	0,098
60	60000	47	0,024	0,012%	3,377	0,118
70	70000	56	0,028	0,014%	3,940	0,140
80	80000	68	0,034	0,017%	4,503	0,170
90	90000	75	0,038	0,019%	5,066	0,188
100	100000	84	0,042	0,021%	5,629	0,210
110	110000	95	0,048	0,024%	6,192	0,238
120	120000	102	0,051	0,026%	6,755	0,255
130	130000	111	0,056	0,028%	7,317	0,278
140	140000	120	0,060	0,030%	7,880	0,300
150	150000	128	0,064	0,032%	8,443	0,320
160	160000	135	0,068	0,034%	9,006	0,338
170	170000	146	0,073	0,037%	9,569	0,365
180	180000	155	0,078	0,039%	10,132	0,388
190	190000	163	0,082	0,041%	10,695	0,408
200	200000	171	0,086	0,043%	11,258	0,428
210	210000	180	0,090	0,045%	11,820	0,450

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	190	0,095	0,048%	12,383	0,475
230	230000	198	0,099	0,050%	12,946	0,495
240	240000	207	0,104	0,052%	13,509	0,518
250	250000	215	0,108	0,054%	14,072	0,538
260	260000	224	0,112	0,056%	14,635	0,560
270	270000	234	0,117	0,059%	15,198	0,585
280	280000	243	0,122	0,061%	15,761	0,608
290	290000	253	0,127	0,063%	16,323	0,633
300	300000	262	0,131	0,066%	16,886	0,655
310	310000	271	0,136	0,068%	17,449	0,678
320	320000	280	0,140	0,070%	18,012	0,700
330	330000	290	0,145	0,073%	18,575	0,725
340	340000	301	0,151	0,075%	19,138	0,753
350	350000	310	0,155	0,078%	19,701	0,775
360	360000	321	0,161	0,080%	20,264	0,803
370	370000	330	0,165	0,083%	20,826	0,825
380	380000	342	0,171	0,086%	21,389	0,855
390	390000	353	0,177	0,088%	21,952	0,883
400	400000	363	0,182	0,091%	22,515	0,908
410	410000	374	0,187	0,094%	23,078	0,935
420	420000	386	0,193	0,097%	23,641	0,965
430	430000	398	0,199	0,100%	24,204	0,995
440	440000	410	0,205	0,103%	24,767	1,025
450	450000	421	0,211	0,105%	25,330	1,053
460	460000	435	0,218	0,109%	25,892	1,088
470	470000	447	0,224	0,112%	26,455	1,118
480	480000	461	0,231	0,115%	27,018	1,153
490	490000	477	0,239	0,119%	27,581	1,193
500	500000	490	0,245	0,123%	28,144	1,225
510	510000	506	0,253	0,127%	28,707	1,265
520	520000	520	0,260	0,130%	29,270	1,300
530	530000	532	0,266	0,133%	29,833	1,330
540	540000	550	0,275	0,138%	30,395	1,375

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
550	550000	569	0,285	0,142%	30,958	1,423
560	560000	583	0,292	0,146%	31,521	1,458
570	570000	604	0,302	0,151%	32,084	1,510
580	580000	630	0,315	0,158%	32,647	1,575
590	590000	663	0,332	0,166%	33,210	1,658
600	600000	704	0,352	0,176%	33,773	1,760
610	610000	760	0,380	0,190%	34,336	1,900
616	616000	830	0,415	0,208%	34,673	2,075
610	610000	945	0,473	0,236%	34,336	2,363
600	600000	995	0,498	0,249%	33,773	2,488
590	590000	1033	0,517	0,258%	33,210	2,583

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 10% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25879,46	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	27675,50	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	30255,65	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 10% Kapur

Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	35,22	Mpa
Diameter	150,2	mm
Tinggi	301,59	mm
Luas	17719	mm ²
L0	200,0	mm

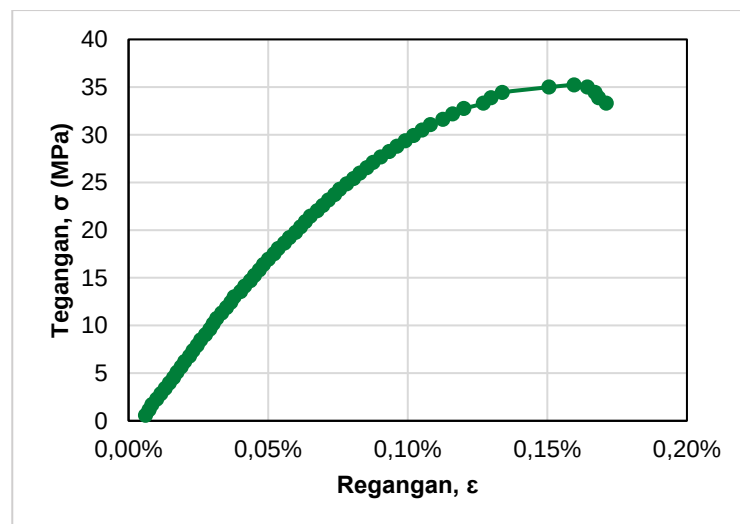
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	4	0,002	0,001%	0,56	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,13	0,02
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,69	0,03
40	40000	20	0,01	0,005%	2,26	0,05
50	50000	26	0,013	0,007%	2,82	0,07
60	60000	32	0,016	0,008%	3,39	0,08
70	70000	38	0,019	0,010%	3,95	0,10
80	80000	44	0,022	0,011%	4,52	0,11
90	90000	49	0,0245	0,012%	5,08	0,12
100	100000	55	0,0275	0,014%	5,64	0,14
110	110000	60	0,03	0,015%	6,21	0,15
120	120000	67	0,0335	0,017%	6,77	0,17
130	130000	72	0,036	0,018%	7,34	0,18
140	140000	78	0,039	0,020%	7,90	0,20
150	150000	83	0,0415	0,021%	8,47	0,21
160	160000	90	0,045	0,023%	9,03	0,23
170	170000	96	0,048	0,024%	9,59	0,24
180	180000	101	0,0505	0,025%	10,16	0,25
190	190000	106	0,053	0,027%	10,72	0,27
200	200000	113	0,0565	0,028%	11,29	0,28
210	210000	120	0,06	0,030%	11,85	0,30

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	126	0,063	0,032%	12,42	0,32
230	230000	131	0,0655	0,033%	12,98	0,33
240	240000	140	0,07	0,035%	13,55	0,35
250	250000	146	0,073	0,037%	14,11	0,37
260	260000	154	0,077	0,039%	14,67	0,39
270	270000	160	0,08	0,040%	15,24	0,40
280	280000	167	0,0835	0,042%	15,80	0,42
290	290000	173	0,0865	0,043%	16,37	0,43
300	300000	180	0,09	0,045%	16,93	0,45
310	310000	188	0,094	0,047%	17,50	0,47
320	320000	194	0,097	0,049%	18,06	0,49
330	330000	203	0,1015	0,051%	18,62	0,51
340	340000	210	0,105	0,053%	19,19	0,53
350	350000	219	0,1095	0,055%	19,75	0,55
360	360000	226	0,113	0,057%	20,32	0,57
370	370000	233	0,1165	0,058%	20,88	0,58
380	380000	240	0,12	0,060%	21,45	0,60
390	390000	250	0,125	0,063%	22,01	0,63
400	400000	258	0,129	0,065%	22,58	0,65
410	410000	266	0,133	0,067%	23,14	0,67
420	420000	275	0,1375	0,069%	23,70	0,69
430	430000	282	0,141	0,071%	24,27	0,71
440	440000	292	0,146	0,073%	24,83	0,73
450	450000	302	0,151	0,076%	25,40	0,76
460	460000	311	0,1555	0,078%	25,96	0,78
470	470000	321	0,1605	0,080%	26,53	0,80
480	480000	330	0,165	0,083%	27,09	0,83
490	490000	341	0,1705	0,085%	27,65	0,85
500	500000	353	0,1765	0,088%	28,22	0,88
510	510000	364	0,182	0,091%	28,78	0,91
520	520000	376	0,188	0,094%	29,35	0,94
530	530000	388	0,194	0,097%	29,91	0,97
540	540000	400	0,2	0,100%	30,48	1,00

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
550	550000	412	0,206	0,103%	31,04	1,03
560	560000	430	0,215	0,108%	31,61	1,08
570	570000	444	0,222	0,111%	32,17	1,11
580	580000	460	0,23	0,115%	32,73	1,15
590	590000	488	0,244	0,122%	33,30	1,22
600	600000	499	0,2495	0,125%	33,86	1,25
610	610000	515	0,2575	0,129%	34,43	1,29
620	620000	582	0,291	0,146%	34,99	1,46
624	624000	618	0,309	0,155%	35,22	1,55
620	620000	637	0,3185	0,159%	34,99	1,59
610	610000	648	0,324	0,162%	34,43	1,62
600	600000	653	0,3265	0,163%	33,86	1,63
590	590000	664	0,332	0,166%	33,30	1,66

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 10% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	26048,23	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	27891,72	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	30242,88	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 10% Kapur

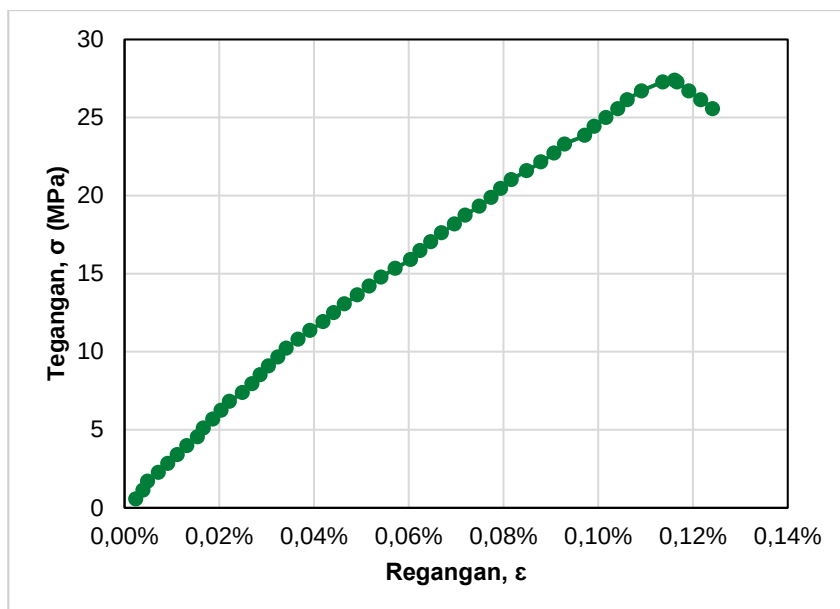
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan		Perendaman
Umur Uji		28 Hari
No Sampel		5
Mutu Beton Rencana		25 Mpa
Mutu Beton Hasil Uji		27,39 Mpa
Diameter		149,7 mm
Tinggi		301,78 mm
Luas		17601 mm ²
L0		200,0 mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,57	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,14	0,02
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,70	0,03
40	40000	22	0,011	0,006%	2,27	0,06
50	50000	30	0,015	0,008%	2,84	0,08
60	60000	38	0,019	0,010%	3,41	0,10
70	70000	46	0,023	0,012%	3,98	0,12
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,55	0,14
90	90000	60	0,03	0,015%	5,11	0,15
100	100000	68	0,034	0,017%	5,68	0,17
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,25	0,19
120	120000	82	0,041	0,021%	6,82	0,21
130	130000	93	0,0465	0,023%	7,39	0,23
140	140000	101	0,0505	0,025%	7,95	0,25
150	150000	108	0,054	0,027%	8,52	0,27
160	160000	115	0,0575	0,029%	9,09	0,29
170	170000	123	0,0615	0,031%	9,66	0,31
180	180000	130	0,065	0,033%	10,23	0,33
190	190000	140	0,07	0,035%	10,79	0,35
200	200000	150	0,075	0,038%	11,36	0,38

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	161	0,0805	0,040%	11,93	0,40
220	220000	170	0,085	0,043%	12,50	0,43
230	230000	179	0,0895	0,045%	13,07	0,45
240	240000	190	0,095	0,048%	13,64	0,48
250	250000	200	0,1	0,050%	14,20	0,50
260	260000	210	0,105	0,053%	14,77	0,53
270	270000	222	0,111	0,056%	15,34	0,56
280	280000	235	0,1175	0,059%	15,91	0,59
290	290000	243	0,1215	0,061%	16,48	0,61
300	300000	252	0,126	0,063%	17,04	0,63
310	310000	261	0,1305	0,065%	17,61	0,65
320	320000	272	0,136	0,068%	18,18	0,68
330	330000	281	0,1405	0,070%	18,75	0,70
340	340000	293	0,1465	0,073%	19,32	0,73
350	350000	303	0,1515	0,076%	19,89	0,76
360	360000	311	0,1555	0,078%	20,45	0,78
370	370000	320	0,16	0,080%	21,02	0,80
380	380000	333	0,1665	0,083%	21,59	0,83
390	390000	345	0,1725	0,086%	22,16	0,86
400	400000	356	0,178	0,089%	22,73	0,89
410	410000	365	0,1825	0,091%	23,29	0,91
420	420000	382	0,191	0,096%	23,86	0,96
430	430000	390	0,195	0,098%	24,43	0,98
440	440000	400	0,2	0,100%	25,00	1,00
450	450000	410	0,205	0,103%	25,57	1,03
460	460000	418	0,209	0,105%	26,14	1,05
470	470000	430	0,215	0,108%	26,70	1,08
480	480000	448	0,224	0,112%	27,27	1,12
482	482000	458	0,229	0,115%	27,39	1,15
480	480000	460	0,23	0,115%	27,27	1,15
470	470000	470	0,235	0,118%	26,70	1,18
460	460000	480	0,24	0,120%	26,14	1,20
450	450000	490	0,245	0,123%	25,57	1,23

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 10% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	29012,15	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24595,44	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26863,60	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 15% Kapur

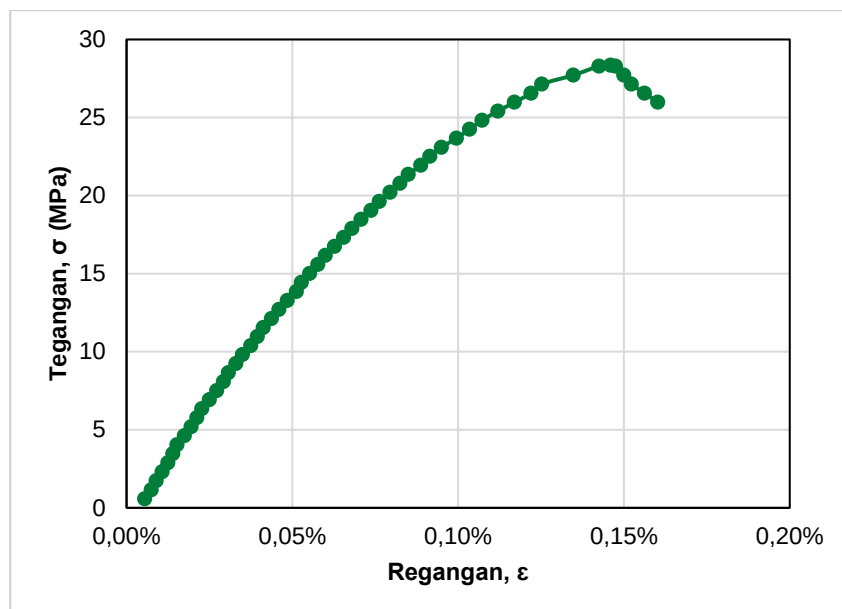
Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	28,35	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	301,83	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,577	0,005
20	20000	10	0,005	0,003%	1,155	0,025
30	30000	16	0,008	0,004%	1,732	0,040
40	40000	23	0,012	0,006%	2,309	0,058
50	50000	30	0,015	0,008%	2,887	0,075
60	60000	36	0,018	0,009%	3,464	0,090
70	70000	41	0,021	0,010%	4,042	0,103
80	80000	50	0,025	0,013%	4,619	0,125
90	90000	58	0,029	0,015%	5,196	0,145
100	100000	65	0,033	0,016%	5,774	0,163
110	110000	71	0,036	0,018%	6,351	0,178
120	120000	80	0,040	0,020%	6,928	0,200
130	130000	89	0,045	0,022%	7,506	0,223
140	140000	97	0,049	0,024%	8,083	0,243
150	150000	103	0,052	0,026%	8,661	0,258
160	160000	112	0,056	0,028%	9,238	0,280
170	170000	120	0,060	0,030%	9,815	0,300
180	180000	130	0,065	0,033%	10,393	0,325
190	190000	138	0,069	0,035%	10,970	0,345
200	200000	145	0,073	0,036%	11,547	0,363
210	210000	155	0,078	0,039%	12,125	0,388

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	164	0,082	0,041%	12,702	0,410
230	230000	174	0,087	0,044%	13,280	0,435
240	240000	185	0,093	0,046%	13,857	0,463
250	250000	191	0,096	0,048%	14,434	0,478
260	260000	201	0,101	0,050%	15,012	0,503
270	270000	211	0,106	0,053%	15,589	0,528
280	280000	220	0,110	0,055%	16,166	0,550
290	290000	231	0,116	0,058%	16,744	0,578
300	300000	242	0,121	0,061%	17,321	0,605
310	310000	252	0,126	0,063%	17,899	0,630
320	320000	263	0,132	0,066%	18,476	0,658
330	330000	275	0,138	0,069%	19,053	0,688
340	340000	285	0,143	0,071%	19,631	0,713
350	350000	298	0,149	0,075%	20,208	0,745
360	360000	310	0,155	0,078%	20,785	0,775
370	370000	320	0,160	0,080%	21,363	0,800
380	380000	335	0,168	0,084%	21,940	0,838
390	390000	346	0,173	0,087%	22,518	0,865
400	400000	360	0,180	0,090%	23,095	0,900
410	410000	378	0,189	0,095%	23,672	0,945
420	420000	394	0,197	0,099%	24,250	0,985
430	430000	409	0,205	0,102%	24,827	1,023
440	440000	428	0,214	0,107%	25,404	1,070
450	450000	448	0,224	0,112%	25,982	1,120
460	460000	468	0,234	0,117%	26,559	1,170
470	470000	481	0,241	0,120%	27,137	1,203
480	480000	519	0,260	0,130%	27,714	1,298
490	490000	550	0,275	0,138%	28,291	1,375
491	491000	564	0,282	0,141%	28,349	1,410
490	490000	570	0,285	0,143%	28,291	1,425
480	480000	580	0,290	0,145%	27,714	1,450
470	470000	589	0,295	0,147%	27,137	1,473
460	460000	605	0,303	0,151%	26,559	1,513
450	450000	621	0,311	0,155%	25,982	1,553

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 15% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27993,89	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25024,60	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27336,14	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 15% Kapur

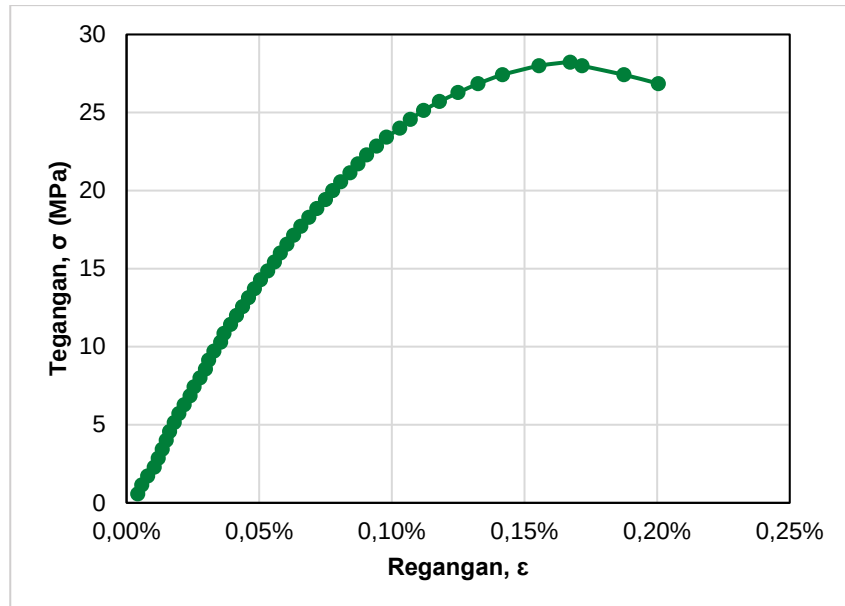
Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	28,22	Mpa
Diameter	149,33	mm
Tinggi	301,43	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,57	0,01
20	20000	11	0,0055	0,003%	1,14	0,03
30	30000	20	0,01	0,005%	1,71	0,05
40	40000	30	0,015	0,008%	2,28	0,08
50	50000	36	0,018	0,009%	2,86	0,09
60	60000	42	0,021	0,011%	3,43	0,11
70	70000	48	0,024	0,012%	4,00	0,12
80	80000	53	0,0265	0,013%	4,57	0,13
90	90000	60	0,03	0,015%	5,14	0,15
100	100000	67	0,0335	0,017%	5,71	0,17
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,28	0,19
120	120000	84	0,042	0,021%	6,85	0,21
130	130000	90	0,045	0,023%	7,43	0,23
140	140000	99	0,0495	0,025%	8,00	0,25
150	150000	107	0,0535	0,027%	8,57	0,27
160	160000	112	0,056	0,028%	9,14	0,28
170	170000	120	0,06	0,030%	9,71	0,30
180	180000	130	0,065	0,033%	10,28	0,33
190	190000	135	0,0675	0,034%	10,85	0,34
200	200000	145	0,0725	0,036%	11,42	0,36

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	154	0,077	0,039%	12,00	0,39
220	220000	163	0,0815	0,041%	12,57	0,41
230	230000	172	0,086	0,043%	13,14	0,43
240	240000	181	0,0905	0,045%	13,71	0,45
250	250000	190	0,095	0,048%	14,28	0,48
260	260000	201	0,1005	0,050%	14,85	0,50
270	270000	211	0,1055	0,053%	15,42	0,53
280	280000	220	0,11	0,055%	15,99	0,55
290	290000	230	0,115	0,058%	16,56	0,58
300	300000	240	0,12	0,060%	17,14	0,60
310	310000	251	0,1255	0,063%	17,71	0,63
320	320000	263	0,1315	0,066%	18,28	0,66
330	330000	275	0,1375	0,069%	18,85	0,69
340	340000	288	0,144	0,072%	19,42	0,72
350	350000	299	0,1495	0,075%	19,99	0,75
360	360000	311	0,1555	0,078%	20,56	0,78
370	370000	325	0,1625	0,081%	21,13	0,81
380	380000	337	0,1685	0,084%	21,71	0,84
390	390000	350	0,175	0,088%	22,28	0,88
400	400000	365	0,1825	0,091%	22,85	0,91
410	410000	380	0,19	0,095%	23,42	0,95
420	420000	400	0,2	0,100%	23,99	1,00
430	430000	416	0,208	0,104%	24,56	1,04
440	440000	436	0,218	0,109%	25,13	1,09
450	450000	460	0,23	0,115%	25,70	1,15
460	460000	488	0,244	0,122%	26,28	1,22
470	470000	518	0,259	0,130%	26,85	1,30
480	480000	555	0,2775	0,139%	27,42	1,39
490	490000	610	0,305	0,153%	27,99	1,53
494	494000	657	0,3285	0,164%	28,22	1,64
490	490000	675	0,3375	0,169%	27,99	1,69
480	480000	738	0,369	0,185%	27,42	1,85
470	470000	790	0,395	0,198%	26,85	1,98
460	460000	838	0,419	0,210%	26,28	2,10
450	450000	898	0,449	0,225%	25,70	2,25

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 15% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	29079,43	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24966,44	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27235,71	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 15% Kapur

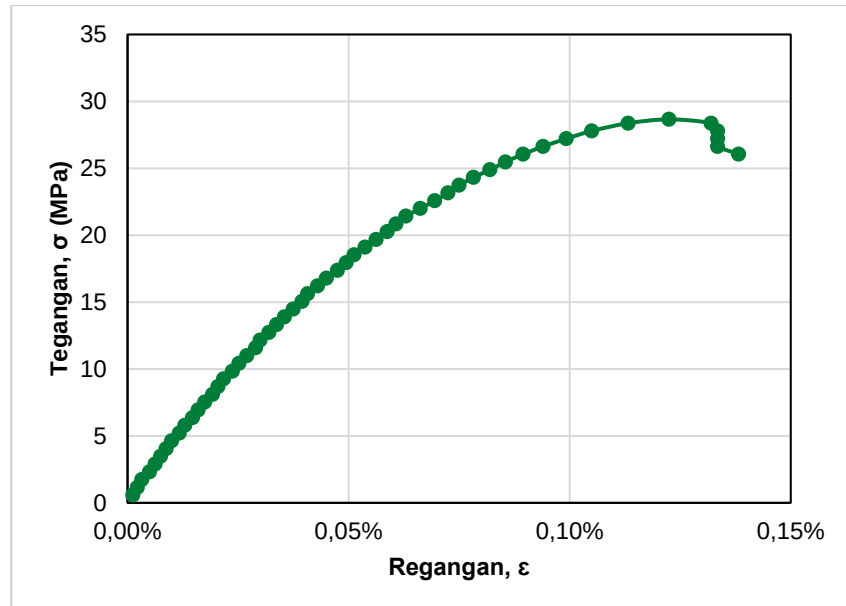
Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	28,66	Mpa
Diameter	148,33	mm
Tinggi	302,10	mm
Luas	17273	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,58	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,16	0,02
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,74	0,03
40	40000	20	0,01	0,005%	2,32	0,05
50	50000	25	0,0125	0,006%	2,89	0,06
60	60000	30	0,015	0,008%	3,47	0,08
70	70000	35	0,0175	0,009%	4,05	0,09
80	80000	40	0,02	0,010%	4,63	0,10
90	90000	47	0,0235	0,012%	5,21	0,12
100	100000	52	0,026	0,013%	5,79	0,13
110	110000	59	0,0295	0,015%	6,37	0,15
120	120000	64	0,032	0,016%	6,95	0,16
130	130000	70	0,035	0,018%	7,53	0,18
140	140000	77	0,0385	0,019%	8,11	0,19
150	150000	82	0,041	0,021%	8,68	0,21
160	160000	87	0,0435	0,022%	9,26	0,22
170	170000	95	0,0475	0,024%	9,84	0,24
180	180000	101	0,0505	0,025%	10,42	0,25
190	190000	108	0,054	0,027%	11,00	0,27
200	200000	116	0,058	0,029%	11,58	0,29
210	210000	120	0,06	0,030%	12,16	0,30

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
220	220000	128	0,064	0,032%	12,74	0,32
230	230000	135	0,0675	0,034%	13,32	0,34
240	240000	142	0,071	0,036%	13,89	0,36
250	250000	150	0,075	0,038%	14,47	0,38
260	260000	158	0,079	0,040%	15,05	0,40
270	270000	163	0,0815	0,041%	15,63	0,41
280	280000	172	0,086	0,043%	16,21	0,43
290	290000	180	0,09	0,045%	16,79	0,45
300	300000	190	0,095	0,048%	17,37	0,48
310	310000	198	0,099	0,050%	17,95	0,50
320	320000	205	0,1025	0,051%	18,53	0,51
330	330000	215	0,1075	0,054%	19,10	0,54
340	340000	225	0,1125	0,056%	19,68	0,56
350	350000	235	0,1175	0,059%	20,26	0,59
360	360000	243	0,1215	0,061%	20,84	0,61
370	370000	252	0,126	0,063%	21,42	0,63
380	380000	265	0,1325	0,066%	22,00	0,66
390	390000	278	0,139	0,070%	22,58	0,70
400	400000	290	0,145	0,073%	23,16	0,73
410	410000	300	0,15	0,075%	23,74	0,75
420	420000	313	0,1565	0,078%	24,32	0,78
430	430000	328	0,164	0,082%	24,89	0,82
440	440000	342	0,171	0,086%	25,47	0,86
450	450000	358	0,179	0,090%	26,05	0,90
460	460000	376	0,188	0,094%	26,63	0,94
470	470000	397	0,1985	0,099%	27,21	0,99
480	480000	420	0,21	0,105%	27,79	1,05
490	490000	453	0,2265	0,113%	28,37	1,13
495	495000	490	0,245	0,123%	28,66	1,23
490	490000	528	0,264	0,132%	28,37	1,32
480	480000	534	0,267	0,134%	27,79	1,34
470	470000	534	0,267	0,134%	27,21	1,34
460	460000	534	0,267	0,134%	26,63	1,34
450	450000	553	0,2765	0,138%	26,05	1,38

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 15% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27243,88	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25160,22	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	27810,48	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 15% Kapur

Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	30,72	Mpa
Diameter	148,500	mm
Tinggi	302,20	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

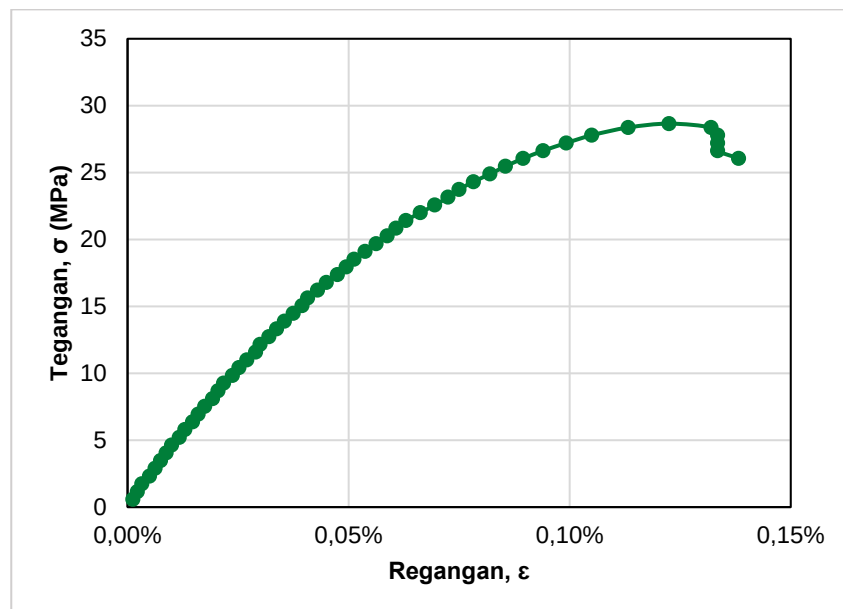
Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	8	0,004	0,002%	0,58	0,02
20	20000	16	0,008	0,004%	1,15	0,04
30	30000	24	0,012	0,006%	1,73	0,06
40	40000	31	0,0155	0,008%	2,31	0,08
50	50000	38	0,019	0,010%	2,89	0,10
60	60000	44	0,022	0,011%	3,46	0,11
70	70000	52	0,026	0,013%	4,04	0,13
80	80000	60	0,03	0,015%	4,62	0,15
90	90000	65	0,0325	0,016%	5,20	0,16
100	100000	70	0,035	0,018%	5,77	0,18
110	110000	79	0,0395	0,020%	6,35	0,20
120	120000	85	0,0425	0,021%	6,93	0,21
130	130000	92	0,046	0,023%	7,51	0,23
140	140000	100	0,05	0,025%	8,08	0,25
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,66	0,26
160	160000	111	0,0555	0,028%	9,24	0,28
170	170000	120	0,06	0,030%	9,82	0,30
180	180000	128	0,064	0,032%	10,39	0,32
190	190000	135	0,0675	0,034%	10,97	0,34
200	200000	141	0,0705	0,035%	11,55	0,35
210	210000	150	0,075	0,038%	12,12	0,38

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
220	220000	159	0,0795	0,040%	12,70	0,40
230	230000	165	0,0825	0,041%	13,28	0,41
240	240000	172	0,086	0,043%	13,86	0,43
250	250000	181	0,0905	0,045%	14,43	0,45
260	260000	190	0,095	0,048%	15,01	0,48
270	270000	200	0,1	0,050%	15,59	0,50
280	280000	210	0,105	0,053%	16,17	0,53
290	290000	215	0,1075	0,054%	16,74	0,54
300	300000	225	0,1125	0,056%	17,32	0,56
310	310000	232	0,116	0,058%	17,90	0,58
320	320000	242	0,121	0,061%	18,48	0,61
330	330000	251	0,1255	0,063%	19,05	0,63
340	340000	262	0,131	0,066%	19,63	0,66
350	350000	271	0,1355	0,068%	20,21	0,68
360	360000	280	0,14	0,070%	20,79	0,70
370	370000	293	0,1465	0,073%	21,36	0,73
380	380000	305	0,1525	0,076%	21,94	0,76
390	390000	315	0,1575	0,079%	22,52	0,79
400	400000	328	0,164	0,082%	23,09	0,82
410	410000	339	0,1695	0,085%	23,67	0,85
420	420000	350	0,175	0,088%	24,25	0,88
430	430000	362	0,181	0,091%	24,83	0,91
440	440000	378	0,189	0,095%	25,40	0,95
450	450000	391	0,1955	0,098%	25,98	0,98
460	460000	405	0,2025	0,101%	26,56	1,01
470	470000	420	0,21	0,105%	27,14	1,05
480	480000	433	0,2165	0,108%	27,71	1,08
490	490000	451	0,2255	0,113%	28,29	1,13
500	500000	471	0,2355	0,118%	28,87	1,18
510	510000	498	0,2490	0,125%	29,45	1,25
520	520000	524	0,2620	0,131%	30,02	1,31
530	530000	675	0,3375	0,169%	30,60	1,69
532	532000	700	0,3500	0,175%	30,72	1,75

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
530	530000	720	0,3600	0,180%	30,60	1,80
520	520000	818	0,4090	0,205%	30,02	2,05
510	510000	898	0,4490	0,225%	29,45	2,25
500	500000	950	0,4750	0,238%	28,87	2,38
490	490000	995	0,4975	0,249%	28,29	2,49
480	480000	1030	0,5150	0,258%	27,71	2,58

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Variasi 15% Kapur Sampel 4



Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Variasi 15% Kapur

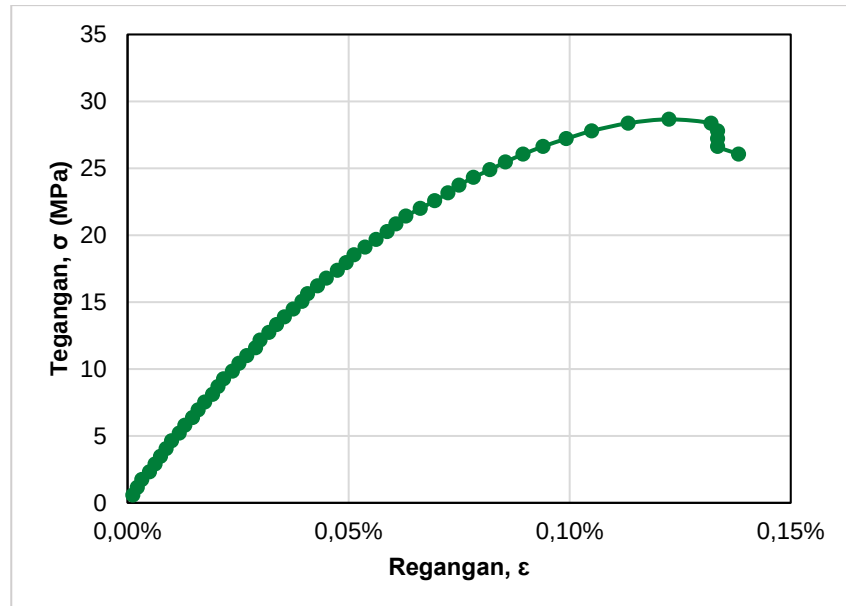
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Perendaman	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	5	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	28,24	Mpa
Diameter	150,00	mm
Tinggi	301,35	mm
Luas	17671	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	9	0,0045	0,002%	0,57	0,02
20	20000	18	0,009	0,005%	1,13	0,05
30	30000	25	0,0125	0,006%	1,70	0,06
40	40000	34	0,017	0,009%	2,26	0,09
50	50000	41	0,0205	0,010%	2,83	0,10
60	60000	50	0,025	0,013%	3,40	0,13
70	70000	58	0,029	0,015%	3,96	0,15
80	80000	66	0,033	0,017%	4,53	0,17
90	90000	74	0,037	0,019%	5,09	0,19
100	100000	83	0,0415	0,021%	5,66	0,21
110	110000	90	0,045	0,023%	6,22	0,23
120	120000	96	0,048	0,024%	6,79	0,24
130	130000	103	0,0515	0,026%	7,36	0,26
140	140000	108	0,054	0,027%	7,92	0,27
150	150000	113	0,0565	0,028%	8,49	0,28
160	160000	117	0,0585	0,029%	9,05	0,29
170	170000	123	0,0615	0,031%	9,62	0,31
180	180000	128	0,064	0,032%	10,19	0,32
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,75	0,33
200	200000	140	0,07	0,035%	11,32	0,35

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	148	0,074	0,037%	11,88	0,37
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,45	0,39
230	230000	161	0,0805	0,040%	13,02	0,40
240	240000	169	0,0845	0,042%	13,58	0,42
250	250000	174	0,087	0,044%	14,15	0,44
260	260000	182	0,091	0,046%	14,71	0,46
270	270000	189	0,0945	0,047%	15,28	0,47
280	280000	196	0,098	0,049%	15,84	0,49
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,41	0,51
300	300000	211	0,1055	0,053%	16,98	0,53
310	310000	220	0,11	0,055%	17,54	0,55
320	320000	230	0,115	0,058%	18,11	0,58
330	330000	238	0,119	0,060%	18,67	0,60
340	340000	247	0,1235	0,062%	19,24	0,62
350	350000	257	0,1285	0,064%	19,81	0,64
360	360000	268	0,134	0,067%	20,37	0,67
370	370000	276	0,138	0,069%	20,94	0,69
380	380000	285	0,1425	0,071%	21,50	0,71
390	390000	295	0,1475	0,074%	22,07	0,74
400	400000	306	0,153	0,077%	22,64	0,77
410	410000	318	0,159	0,080%	23,20	0,80
420	420000	330	0,165	0,083%	23,77	0,83
430	430000	344	0,172	0,086%	24,33	0,86
440	440000	359	0,1795	0,090%	24,90	0,90
450	450000	374	0,187	0,094%	25,46	0,94
460	460000	388	0,194	0,097%	26,03	0,97
470	470000	408	0,204	0,102%	26,60	1,02
480	480000	431	0,2155	0,108%	27,16	1,08
490	490000	460	0,2300	0,115%	27,73	1,15
499	499000	525	0,2625	0,131%	28,24	1,31
490	490000	580	0,2900	0,145%	27,73	1,45
480	480000	605	0,3025	0,151%	27,16	1,51
470	470000	628	0,3140	0,157%	26,60	1,57
460	460000	650	0,3250	0,163%	26,03	1,63
450	450000	670	0,3350	0,168%	25,46	1,68

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Variasi 15% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	32031,18	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24975,37	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26603,98	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur

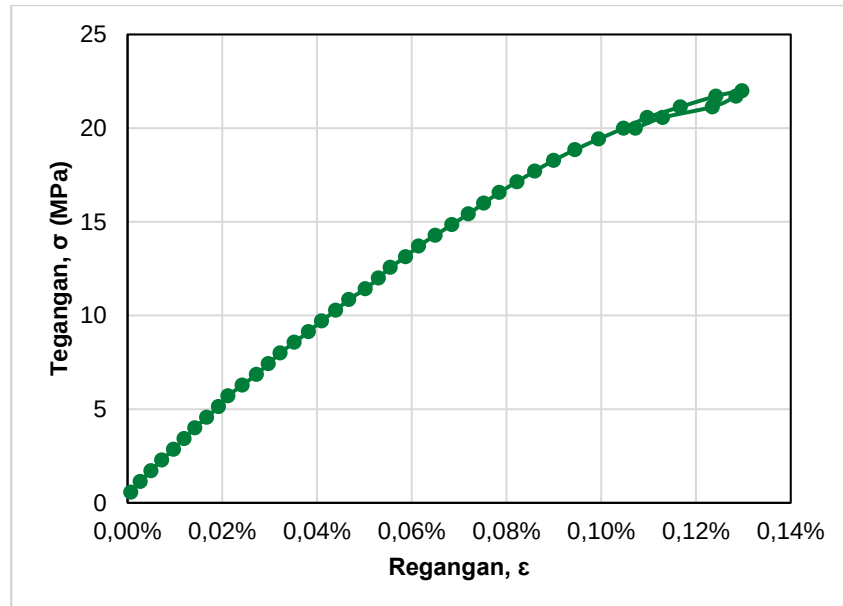
Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	21,99	Mpa
Diameter	149,3	mm
Tinggi	301,43	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	4	0,002	0,001%	0,57	0,01
20	20000	12	0,006	0,003%	1,14	0,03
30	30000	21	0,0105	0,005%	1,71	0,05
40	40000	30	0,015	0,008%	2,28	0,08
50	50000	40	0,02	0,010%	2,86	0,10
60	60000	49	0,0245	0,012%	3,43	0,12
70	70000	58	0,029	0,015%	4,00	0,15
80	80000	68	0,034	0,017%	4,57	0,17
90	90000	78	0,039	0,020%	5,14	0,20
100	100000	86	0,043	0,022%	5,71	0,22
110	110000	98	0,049	0,025%	6,28	0,25
120	120000	110	0,055	0,028%	6,85	0,28
130	130000	120	0,06	0,030%	7,43	0,30
140	140000	130	0,065	0,033%	8,00	0,33
150	150000	142	0,071	0,036%	8,57	0,36
160	160000	154	0,077	0,039%	9,14	0,39
170	170000	165	0,0825	0,041%	9,71	0,41
180	180000	177	0,0885	0,044%	10,28	0,44
190	190000	188	0,094	0,047%	10,85	0,47
200	200000	202	0,101	0,051%	11,42	0,51

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	213	0,1065	0,053%	12,00	0,53
220	220000	223	0,1115	0,056%	12,57	0,56
230	230000	236	0,118	0,059%	13,14	0,59
240	240000	247	0,1235	0,062%	13,71	0,62
250	250000	261	0,1305	0,065%	14,28	0,65
260	260000	275	0,1375	0,069%	14,85	0,69
270	270000	289	0,1445	0,072%	15,42	0,72
280	280000	302	0,151	0,076%	15,99	0,76
290	290000	315	0,1575	0,079%	16,56	0,79
300	300000	330	0,165	0,083%	17,14	0,83
310	310000	345	0,1725	0,086%	17,71	0,86
320	320000	361	0,1805	0,090%	18,28	0,90
330	330000	379	0,1895	0,095%	18,85	0,95
340	340000	399	0,1995	0,100%	19,42	1,00
350	350000	420	0,21	0,105%	19,99	1,05
360	360000	440	0,22	0,110%	20,56	1,10
370	370000	468	0,234	0,117%	21,13	1,17
380	380000	498	0,249	0,125%	21,71	1,25
385	385000	520	0,26	0,130%	21,99	1,30
380	380000	515	0,2575	0,129%	21,71	1,29
370	370000	495	0,2475	0,124%	21,13	1,24
360	360000	453	0,2265	0,113%	20,56	1,13
350	350000	430	0,215	0,108%	19,99	1,08

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	21420,11	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	22040,60	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	22925,60	MPa

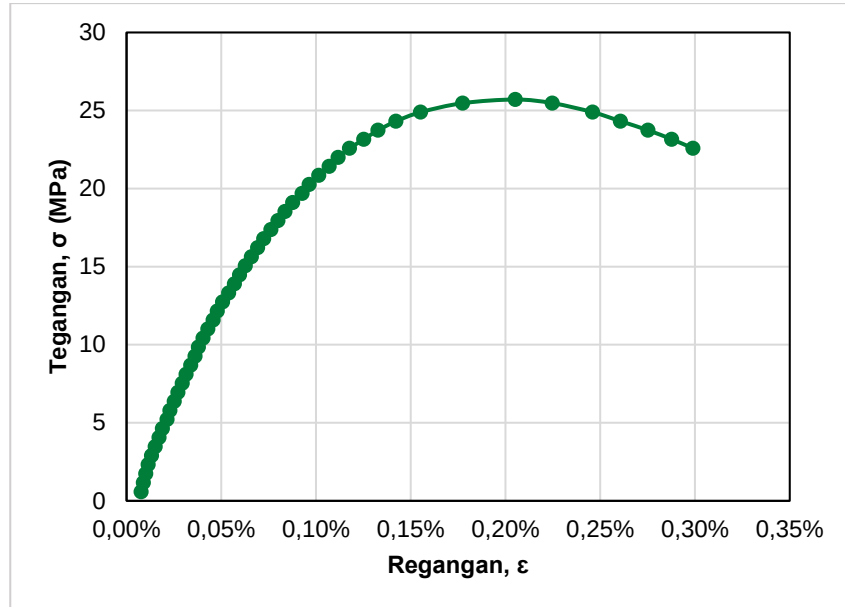
Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur
Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	25,70	Mpa
Diameter	148,3	mm
Tinggi	302,15	mm
Luas	17273	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,58	0,00
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,16	0,01
30	30000	10	0,005	0,003%	1,74	0,03
40	40000	15	0,0075	0,004%	2,32	0,04
50	50000	22	0,011	0,006%	2,89	0,06
60	60000	30	0,015	0,008%	3,47	0,08
70	70000	38	0,019	0,010%	4,05	0,10
80	80000	45	0,0225	0,011%	4,63	0,11
90	90000	55	0,0275	0,014%	5,21	0,14
100	100000	61	0,0305	0,015%	5,79	0,15
110	110000	70	0,035	0,018%	6,37	0,18
120	120000	78	0,039	0,020%	6,95	0,20
130	130000	87	0,0435	0,022%	7,53	0,22
140	140000	95	0,0475	0,024%	8,11	0,24
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,68	0,26
160	160000	114	0,057	0,029%	9,26	0,29
170	170000	121	0,0605	0,030%	9,84	0,30
180	180000	131	0,0655	0,033%	10,42	0,33
190	190000	141	0,0705	0,035%	11,00	0,35
200	200000	152	0,076	0,038%	11,58	0,38
210	210000	161	0,0805	0,040%	12,16	0,40

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
220	220000	172	0,086	0,043%	12,74	0,43
230	230000	185	0,0925	0,046%	13,32	0,46
240	240000	197	0,0985	0,049%	13,89	0,49
250	250000	208	0,104	0,052%	14,47	0,52
260	260000	220	0,11	0,055%	15,05	0,55
270	270000	233	0,1165	0,058%	15,63	0,58
280	280000	246	0,123	0,062%	16,21	0,62
290	290000	259	0,1295	0,065%	16,79	0,65
300	300000	274	0,137	0,069%	17,37	0,69
310	310000	289	0,1445	0,072%	17,95	0,72
320	320000	304	0,152	0,076%	18,53	0,76
330	330000	320	0,16	0,080%	19,10	0,80
340	340000	340	0,17	0,085%	19,68	0,85
350	350000	355	0,1775	0,089%	20,26	0,89
360	360000	375	0,1875	0,094%	20,84	0,94
370	370000	397	0,1985	0,099%	21,42	0,99
380	380000	416	0,208	0,104%	22,00	1,04
390	390000	440	0,22	0,110%	22,58	1,10
400	400000	470	0,235	0,118%	23,16	1,18
410	410000	500	0,25	0,125%	23,74	1,25
420	420000	538	0,269	0,135%	24,32	1,35
430	430000	590	0,295	0,148%	24,89	1,48
440	440000	679	0,3395	0,170%	25,47	1,70
444	444000	790	0,395	0,198%	25,70	1,98
440	440000	868	0,434	0,217%	25,47	2,17
430	430000	953	0,4765	0,238%	24,89	2,38
420	420000	1012	0,506	0,253%	24,32	2,53
410	410000	1070	0,535	0,268%	23,74	2,68
400	400000	1120	0,56	0,280%	23,16	2,80
390	390000	1165	0,5825	0,291%	22,58	2,91

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25730,33	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23828,86	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26129,31	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur

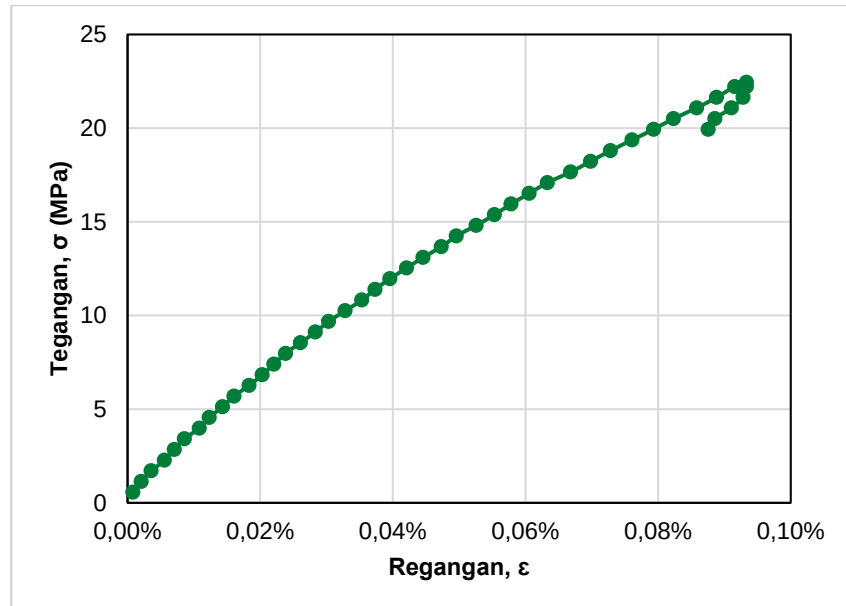
Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	22,45	Mpa
Diameter	149,5	mm
Tinggi	302,21	mm
Luas	17554	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,57	0,00
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,14	0,01
30	30000	11	0,0055	0,003%	1,71	0,03
40	40000	19	0,0095	0,005%	2,28	0,05
50	50000	25	0,0125	0,006%	2,85	0,06
60	60000	31	0,0155	0,008%	3,42	0,08
70	70000	40	0,02	0,010%	3,99	0,10
80	80000	46	0,023	0,012%	4,56	0,12
90	90000	54	0,027	0,014%	5,13	0,14
100	100000	61	0,0305	0,015%	5,70	0,15
110	110000	70	0,035	0,018%	6,27	0,18
120	120000	78	0,039	0,020%	6,84	0,20
130	130000	85	0,0425	0,021%	7,41	0,21
140	140000	92	0,046	0,023%	7,98	0,23
150	150000	101	0,0505	0,025%	8,55	0,25
160	160000	110	0,055	0,028%	9,11	0,28
170	170000	118	0,059	0,030%	9,68	0,30
180	180000	128	0,064	0,032%	10,25	0,32
190	190000	138	0,069	0,035%	10,82	0,35
200	200000	146	0,073	0,037%	11,39	0,37
210	210000	155	0,0775	0,039%	11,96	0,39

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	165	0,0825	0,041%	12,53	0,41
230	230000	175	0,0875	0,044%	13,10	0,44
240	240000	186	0,093	0,047%	13,67	0,47
250	250000	195	0,0975	0,049%	14,24	0,49
260	260000	207	0,1035	0,052%	14,81	0,52
270	270000	218	0,109	0,055%	15,38	0,55
280	280000	228	0,114	0,057%	15,95	0,57
290	290000	239	0,1195	0,060%	16,52	0,60
300	300000	250	0,125	0,063%	17,09	0,63
310	310000	264	0,132	0,066%	17,66	0,66
320	320000	276	0,138	0,069%	18,23	0,69
330	330000	288	0,144	0,072%	18,80	0,72
340	340000	301	0,1505	0,075%	19,37	0,75
350	350000	314	0,157	0,079%	19,94	0,79
360	360000	326	0,163	0,082%	20,51	0,82
370	370000	340	0,17	0,085%	21,08	0,85
380	380000	352	0,176	0,088%	21,65	0,88
390	390000	363	0,1815	0,091%	22,22	0,91
394	394000	370	0,185	0,093%	22,45	0,93
390	390000	370	0,185	0,093%	22,22	0,93
380	380000	368	0,184	0,092%	21,65	0,92
370	370000	361	0,1805	0,090%	21,08	0,90
360	360000	351	0,1755	0,088%	20,51	0,88
350	350000	347	0,1735	0,087%	19,94	0,87

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$	27584,30	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	22266,90	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	23128,42	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur

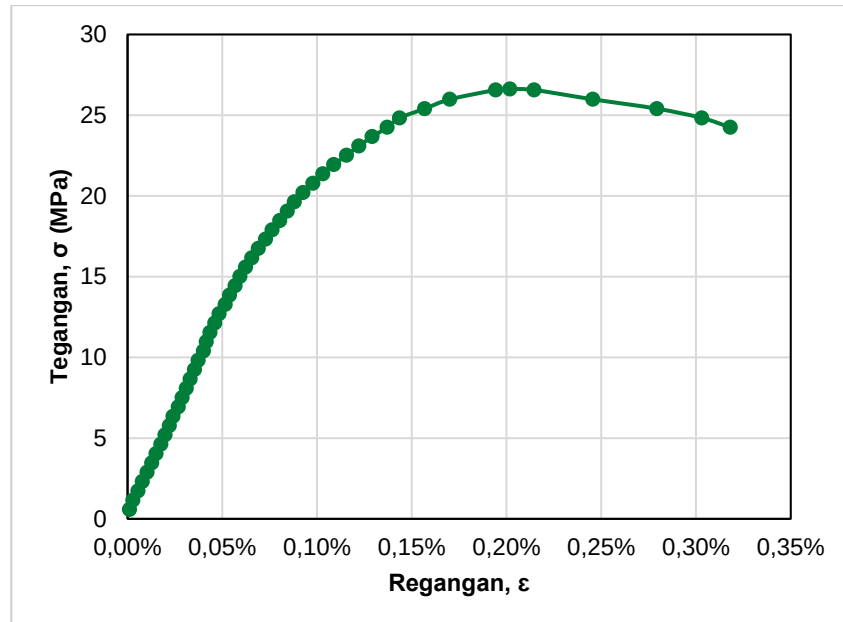
Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	26,62	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	301,35	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,577	0,005
20	20000	9	0,005	0,002%	1,155	0,023
30	30000	20	0,010	0,005%	1,732	0,050
40	40000	29	0,015	0,007%	2,309	0,073
50	50000	39	0,020	0,010%	2,887	0,098
60	60000	49	0,025	0,012%	3,464	0,123
70	70000	58	0,029	0,015%	4,042	0,145
80	80000	68	0,034	0,017%	4,619	0,170
90	90000	77	0,039	0,019%	5,196	0,193
100	100000	86	0,043	0,022%	5,774	0,215
110	110000	94	0,047	0,024%	6,351	0,235
120	120000	105	0,053	0,026%	6,928	0,263
130	130000	113	0,057	0,028%	7,506	0,283
140	140000	122	0,061	0,031%	8,083	0,305
150	150000	130	0,065	0,033%	8,661	0,325
160	160000	139	0,070	0,035%	9,238	0,348
170	170000	147	0,074	0,037%	9,815	0,368
180	180000	158	0,079	0,040%	10,393	0,395
190	190000	164	0,082	0,041%	10,970	0,410
200	200000	172	0,086	0,043%	11,547	0,430
210	210000	182	0,091	0,046%	12,125	0,455

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	191	0,096	0,048%	12,702	0,478
230	230000	204	0,102	0,051%	13,280	0,510
240	240000	213	0,107	0,053%	13,857	0,533
250	250000	225	0,113	0,056%	14,434	0,563
260	260000	235	0,118	0,059%	15,012	0,588
270	270000	247	0,124	0,062%	15,589	0,618
280	280000	260	0,130	0,065%	16,166	0,650
290	290000	274	0,137	0,069%	16,744	0,685
300	300000	289	0,145	0,072%	17,321	0,723
310	310000	303	0,152	0,076%	17,899	0,758
320	320000	319	0,160	0,080%	18,476	0,798
330	330000	335	0,168	0,084%	19,053	0,838
340	340000	350	0,175	0,088%	19,631	0,875
350	350000	368	0,184	0,092%	20,208	0,920
360	360000	389	0,195	0,097%	20,785	0,973
370	370000	410	0,205	0,103%	21,363	1,025
380	380000	433	0,217	0,108%	21,940	1,083
390	390000	460	0,230	0,115%	22,518	1,150
400	400000	486	0,243	0,122%	23,095	1,215
410	410000	514	0,257	0,129%	23,672	1,285
420	420000	546	0,273	0,137%	24,250	1,365
430	430000	572	0,286	0,143%	24,827	1,430
440	440000	625	0,313	0,156%	25,404	1,563
450	450000	678	0,339	0,170%	25,982	1,695
460	460000	775	0,388	0,194%	26,559	1,938
461	461000	805	0,403	0,201%	26,617	2,013
460	460000	856	0,428	0,214%	26,559	2,140
450	450000	980	0,490	0,245%	25,982	2,450
440	440000	1115	0,558	0,279%	25,404	2,788
430	430000	1210	0,605	0,303%	24,827	3,025
420	420000	1270	0,635	0,318%	24,250	3,175

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27170,54	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24248,06	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25886,11	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur

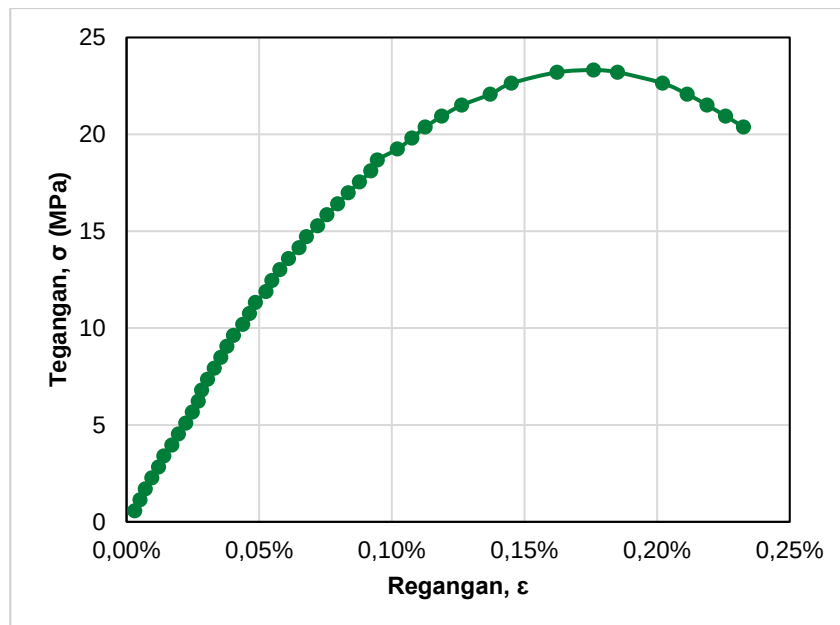
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	23,31	Mpa
Diameter	150	mm
Tinggi	301,43	mm
Luas	17671	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,0010	0,001%	0,57	0,01
20	20000	10	0,0050	0,003%	1,13	0,03
30	30000	18	0,0090	0,005%	1,70	0,05
40	40000	28	0,0140	0,007%	2,26	0,07
50	50000	38	0,0190	0,010%	2,83	0,10
60	60000	46	0,0230	0,012%	3,40	0,12
70	70000	58	0,0290	0,015%	3,96	0,15
80	80000	68	0,0340	0,017%	4,53	0,17
90	90000	79	0,0395	0,020%	5,09	0,20
100	100000	89	0,0445	0,022%	5,66	0,22
110	110000	98	0,0490	0,025%	6,22	0,25
120	120000	103	0,0515	0,026%	6,79	0,26
130	130000	112	0,0560	0,028%	7,36	0,28
140	140000	122	0,0610	0,031%	7,92	0,31
150	150000	132	0,0660	0,033%	8,49	0,33
160	160000	141	0,0705	0,035%	9,05	0,35
170	170000	151	0,0755	0,038%	9,62	0,38
180	180000	165	0,0825	0,041%	10,19	0,41
190	190000	175	0,0875	0,044%	10,75	0,44
200	200000	184	0,0920	0,046%	11,32	0,46
210	210000	200	0,1000	0,050%	11,88	0,50

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	209	0,1045	0,052%	12,45	0,52
230	230000	221	0,1105	0,055%	13,02	0,55
240	240000	234	0,1170	0,059%	13,58	0,59
250	250000	250	0,1250	0,063%	14,15	0,63
260	260000	261	0,1305	0,065%	14,71	0,65
270	270000	278	0,1390	0,070%	15,28	0,70
280	280000	292	0,1460	0,073%	15,84	0,73
290	290000	308	0,1540	0,077%	16,41	0,77
300	300000	324	0,1620	0,081%	16,98	0,81
310	310000	341	0,1705	0,085%	17,54	0,85
320	320000	358	0,1790	0,090%	18,11	0,90
330	330000	368	0,1840	0,092%	18,67	0,92
340	340000	398	0,1990	0,100%	19,24	1,00
350	350000	420	0,2100	0,105%	19,81	1,05
360	360000	440	0,2200	0,110%	20,37	1,10
370	370000	465	0,2325	0,116%	20,94	1,16
380	380000	495	0,2475	0,124%	21,50	1,24
390	390000	538	0,2690	0,135%	22,07	1,35
400	400000	570	0,2850	0,143%	22,64	1,43
410	410000	639	0,3195	0,160%	23,20	1,60
412	412000	694	0,3470	0,174%	23,31	1,74
410	410000	730	0,3650	0,183%	23,20	1,83
400	400000	798	0,3990	0,200%	22,64	2,00
390	390000	835	0,4175	0,209%	22,07	2,09
380	380000	865	0,4325	0,216%	21,50	2,16
370	370000	893	0,4465	0,223%	20,94	2,23
360	360000	920	0,4600	0,230%	20,37	2,30

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 0% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$	23826,70	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	22693,96	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	23079,42	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur

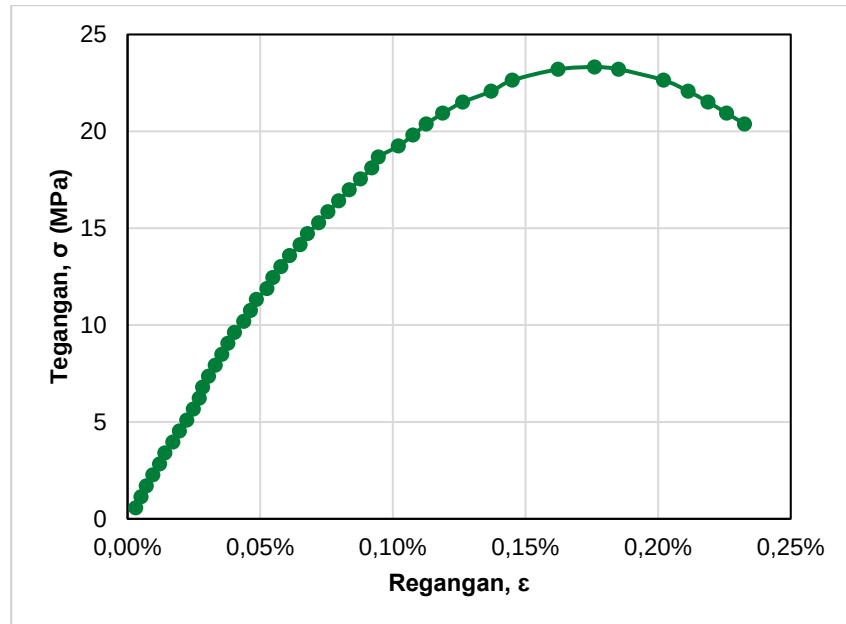
Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	1	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	20,27	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	302,15	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,58	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,15	0,02
30	30000	18	0,009	0,005%	1,73	0,05
40	40000	22	0,011	0,006%	2,31	0,06
50	50000	28	0,014	0,007%	2,89	0,07
60	60000	34	0,017	0,009%	3,46	0,09
70	70000	41	0,0205	0,010%	4,04	0,10
80	80000	44	0,022	0,011%	4,62	0,11
90	90000	50	0,025	0,013%	5,20	0,13
100	100000	58	0,029	0,015%	5,77	0,15
110	110000	65	0,0325	0,016%	6,35	0,16
120	120000	74	0,037	0,019%	6,93	0,19
130	130000	88	0,044	0,022%	7,51	0,22
140	140000	103	0,0515	0,026%	8,08	0,26
150	150000	120	0,06	0,030%	8,66	0,30
160	160000	135	0,0675	0,034%	9,24	0,34
170	170000	150	0,075	0,038%	9,82	0,38
180	180000	166	0,083	0,042%	10,39	0,42
190	190000	180	0,09	0,045%	10,97	0,45
200	200000	195	0,0975	0,049%	11,55	0,49

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	212	0,106	0,053%	12,12	0,53
220	220000	230	0,115	0,058%	12,70	0,58
230	230000	245	0,1225	0,061%	13,28	0,61
240	240000	262	0,131	0,066%	13,86	0,66
250	250000	280	0,14	0,070%	14,43	0,70
260	260000	297	0,1485	0,074%	15,01	0,74
270	270000	315	0,1575	0,079%	15,59	0,79
280	280000	331	0,1655	0,083%	16,17	0,83
290	290000	351	0,1755	0,088%	16,74	0,88
300	300000	372	0,186	0,093%	17,32	0,93
310	310000	397	0,1985	0,099%	17,90	0,99
320	320000	428	0,214	0,107%	18,48	1,07
330	330000	458	0,229	0,115%	19,05	1,15
340	340000	497	0,2485	0,124%	19,63	1,24
350	350000	554	0,277	0,139%	20,21	1,39
351	351000	576	0,288	0,144%	20,27	1,44
350	350000	589	0,2945	0,147%	20,21	1,47
340	340000	616	0,308	0,154%	19,63	1,54
330	330000	632	0,316	0,158%	19,05	1,58
320	320000	651	0,3255	0,163%	18,48	1,63
310	310000	676	0,338	0,169%	17,90	1,69
300	300000	705	0,3525	0,176%	17,32	1,76

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	21271,67	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	21158,26	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	22298,60	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur

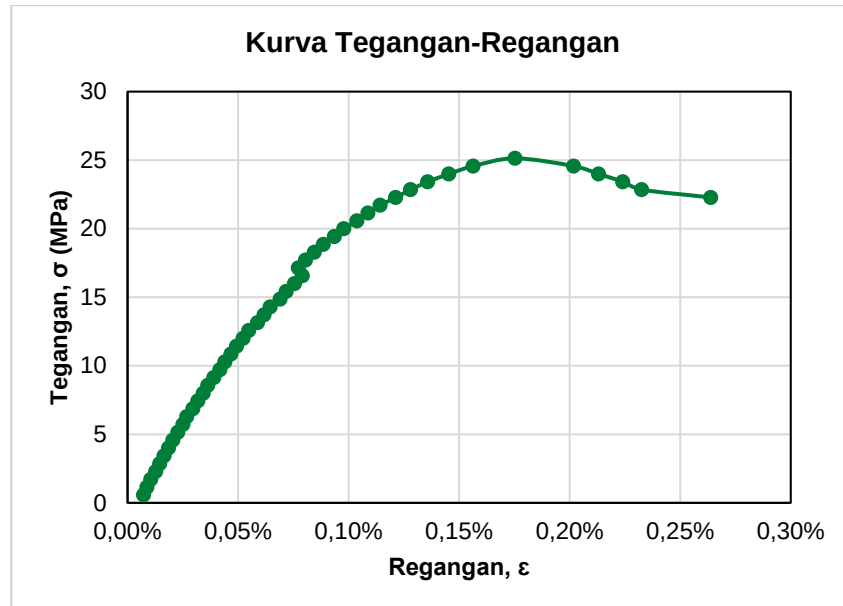
Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	25,13	Mpa
Diameter	149,3	mm
Tinggi	301,77	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,57	0,01
20	20000	8	0,004	0,002%	1,14	0,02
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,71	0,04
40	40000	24	0,012	0,006%	2,28	0,06
50	50000	31	0,0155	0,008%	2,86	0,08
60	60000	39	0,0195	0,010%	3,43	0,10
70	70000	47	0,0235	0,012%	4,00	0,12
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,57	0,14
90	90000	64	0,032	0,016%	5,14	0,16
100	100000	73	0,0365	0,018%	5,71	0,18
110	110000	80	0,04	0,020%	6,28	0,20
120	120000	91	0,0455	0,023%	6,85	0,23
130	130000	100	0,05	0,025%	7,43	0,25
140	140000	110	0,055	0,028%	8,00	0,28
150	150000	118	0,059	0,030%	8,57	0,30
160	160000	129	0,0645	0,032%	9,14	0,32
170	170000	140	0,07	0,035%	9,71	0,35
180	180000	149	0,0745	0,037%	10,28	0,37
190	190000	160	0,08	0,040%	10,85	0,40
200	200000	170	0,085	0,043%	11,42	0,43
210	210000	182	0,091	0,046%	12,00	0,46

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	192	0,096	0,048%	12,57	0,48
230	230000	208	0,104	0,052%	13,14	0,52
240	240000	220	0,11	0,055%	13,71	0,55
250	250000	231	0,1155	0,058%	14,28	0,58
260	260000	249	0,1245	0,062%	14,85	0,62
270	270000	260	0,13	0,065%	15,42	0,65
280	280000	275	0,1375	0,069%	15,99	0,69
290	290000	289	0,1445	0,072%	16,56	0,72
300	300000	282	0,141	0,071%	17,14	0,71
310	310000	295	0,1475	0,074%	17,71	0,74
320	320000	311	0,1555	0,078%	18,28	0,78
330	330000	327	0,1635	0,082%	18,85	0,82
340	340000	347	0,1735	0,087%	19,42	0,87
350	350000	364	0,182	0,091%	19,99	0,91
360	360000	388	0,194	0,097%	20,56	0,97
370	370000	408	0,204	0,102%	21,13	1,02
380	380000	430	0,215	0,108%	21,71	1,08
390	390000	458	0,229	0,115%	22,28	1,15
400	400000	485	0,2425	0,121%	22,85	1,21
410	410000	516	0,258	0,129%	23,42	1,29
420	420000	554	0,277	0,139%	23,99	1,39
430	430000	598	0,299	0,150%	24,56	1,50
440	440000	674	0,337	0,169%	25,13	1,69
430	430000	780	0,39	0,195%	24,56	1,95
420	420000	825	0,4125	0,206%	23,99	2,06
410	410000	869	0,4345	0,217%	23,42	2,17
400	400000	903	0,4515	0,226%	22,85	2,26
390	390000	1028	0,514	0,257%	22,28	2,57

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	23433,97	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23562,40	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25197,73	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur

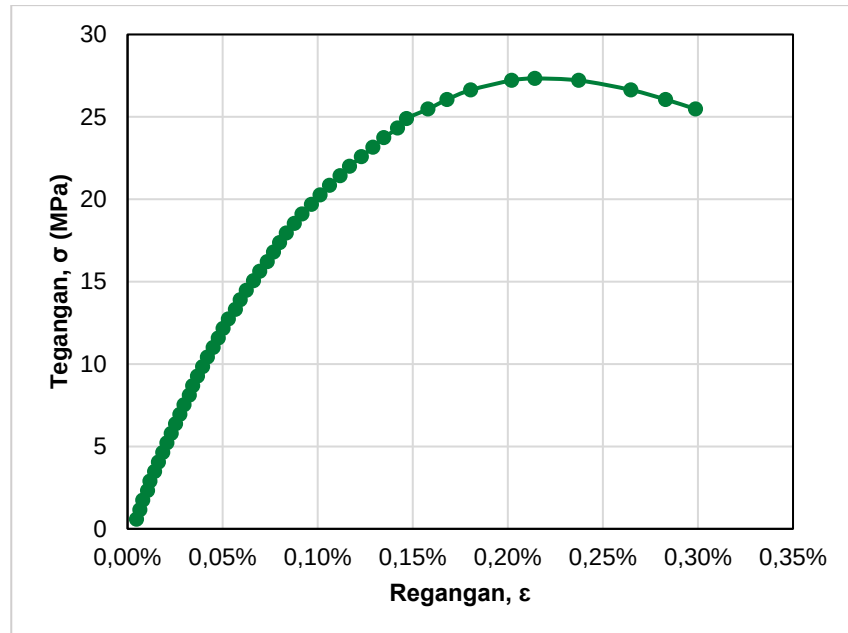
Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	27,33	Mpa
Diameter	148,3	mm
Tinggi	302,12	mm
Luas	17273	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,58	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,16	0,02
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,74	0,04
40	40000	25	0,0125	0,006%	2,32	0,06
50	50000	30	0,015	0,008%	2,89	0,08
60	60000	40	0,02	0,010%	3,47	0,10
70	70000	48	0,024	0,012%	4,05	0,12
80	80000	57	0,0285	0,014%	4,63	0,14
90	90000	66	0,033	0,017%	5,21	0,17
100	100000	75	0,0375	0,019%	5,79	0,19
110	110000	84	0,042	0,021%	6,37	0,21
120	120000	93	0,0465	0,023%	6,95	0,23
130	130000	102	0,051	0,026%	7,53	0,26
140	140000	113	0,0565	0,028%	8,11	0,28
150	150000	120	0,06	0,030%	8,68	0,30
160	160000	130	0,065	0,033%	9,26	0,33
170	170000	141	0,0705	0,035%	9,84	0,35
180	180000	151	0,0755	0,038%	10,42	0,38
190	190000	163	0,0815	0,041%	11,00	0,41
200	200000	174	0,087	0,044%	11,58	0,44
210	210000	184	0,092	0,046%	12,16	0,46

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
220	220000	195	0,0975	0,049%	12,74	0,49
230	230000	210	0,105	0,053%	13,32	0,53
240	240000	220	0,11	0,055%	13,89	0,55
250	250000	233	0,1165	0,058%	14,47	0,58
260	260000	248	0,124	0,062%	15,05	0,62
270	270000	261	0,1305	0,065%	15,63	0,65
280	280000	277	0,1385	0,069%	16,21	0,69
290	290000	290	0,145	0,073%	16,79	0,73
300	300000	303	0,1515	0,076%	17,37	0,76
310	310000	317	0,1585	0,079%	17,95	0,79
320	320000	334	0,167	0,084%	18,53	0,84
330	330000	350	0,175	0,088%	19,10	0,88
340	340000	370	0,185	0,093%	19,68	0,93
350	350000	388	0,194	0,097%	20,26	0,97
360	360000	408	0,204	0,102%	20,84	1,02
370	370000	430	0,215	0,108%	21,42	1,08
380	380000	450	0,225	0,113%	22,00	1,13
390	390000	475	0,2375	0,119%	22,58	1,19
400	400000	499	0,2495	0,125%	23,16	1,25
410	410000	522	0,261	0,131%	23,74	1,31
420	420000	551	0,2755	0,138%	24,32	1,38
430	430000	570	0,285	0,143%	24,89	1,43
440	440000	615	0,3075	0,154%	25,47	1,54
450	450000	655	0,3275	0,164%	26,05	1,64
460	460000	705	0,3525	0,176%	26,63	1,76
470	470000	791	0,3955	0,198%	27,21	1,98
472	472000	840	0,42	0,210%	27,33	2,10
470	470000	932	0,466	0,233%	27,21	2,33
460	460000	1042	0,521	0,261%	26,63	2,61
450	450000	1115	0,5575	0,279%	26,05	2,79
440	440000	1178	0,589	0,295%	25,47	2,95

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25170,97	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24568,73	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25853,75	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur

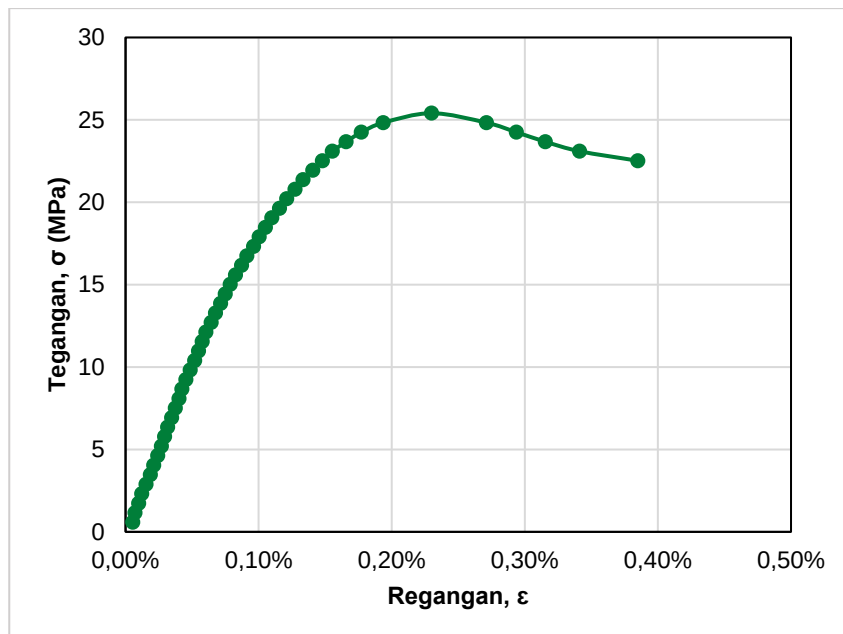
Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	25,40	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	301,33	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	2	0,001	0,001%	0,577	0,005
20	20000	9	0,005	0,002%	1,155	0,023
30	30000	20	0,010	0,005%	1,732	0,050
40	40000	29	0,015	0,007%	2,309	0,073
50	50000	42	0,021	0,011%	2,887	0,105
60	60000	55	0,028	0,014%	3,464	0,138
70	70000	65	0,033	0,016%	4,042	0,163
80	80000	77	0,039	0,019%	4,619	0,193
90	90000	88	0,044	0,022%	5,196	0,220
100	100000	98	0,049	0,025%	5,774	0,245
110	110000	107	0,054	0,027%	6,351	0,268
120	120000	119	0,060	0,030%	6,928	0,298
130	130000	130	0,065	0,033%	7,506	0,325
140	140000	141	0,071	0,035%	8,083	0,353
150	150000	150	0,075	0,038%	8,661	0,375
160	160000	162	0,081	0,041%	9,238	0,405
170	170000	175	0,088	0,044%	9,815	0,438
180	180000	188	0,094	0,047%	10,393	0,470
190	190000	200	0,100	0,050%	10,970	0,500
200	200000	211	0,106	0,053%	11,547	0,528
210	210000	222	0,111	0,056%	12,125	0,555

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
220	220000	238	0,119	0,060%	12,702	0,595
230	230000	251	0,126	0,063%	13,280	0,628
240	240000	266	0,133	0,067%	13,857	0,665
250	250000	280	0,140	0,070%	14,434	0,700
260	260000	295	0,148	0,074%	15,012	0,738
270	270000	311	0,156	0,078%	15,589	0,778
280	280000	329	0,165	0,082%	16,166	0,823
290	290000	345	0,173	0,086%	16,744	0,863
300	300000	365	0,183	0,091%	17,321	0,913
310	310000	382	0,191	0,096%	17,899	0,955
320	320000	401	0,201	0,100%	18,476	1,003
330	330000	420	0,210	0,105%	19,053	1,050
340	340000	443	0,222	0,111%	19,631	1,108
350	350000	465	0,233	0,116%	20,208	1,163
360	360000	490	0,245	0,123%	20,785	1,225
370	370000	514	0,257	0,129%	21,363	1,285
380	380000	543	0,272	0,136%	21,940	1,358
390	390000	572	0,286	0,143%	22,518	1,430
400	400000	602	0,301	0,151%	23,095	1,505
410	410000	643	0,322	0,161%	23,672	1,608
420	420000	689	0,345	0,172%	24,250	1,723
430	430000	755	0,378	0,189%	24,827	1,888
440	440000	900	0,450	0,225%	25,404	2,250
430	430000	1065	0,533	0,266%	24,827	2,663
420	420000	1155	0,578	0,289%	24,250	2,888
410	410000	1242	0,621	0,311%	23,672	3,105
400	400000	1345	0,673	0,336%	23,095	3,363
390	390000	1520	0,760	0,380%	22,518	3,800

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	20082,57	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23689,33	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25547,03	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur

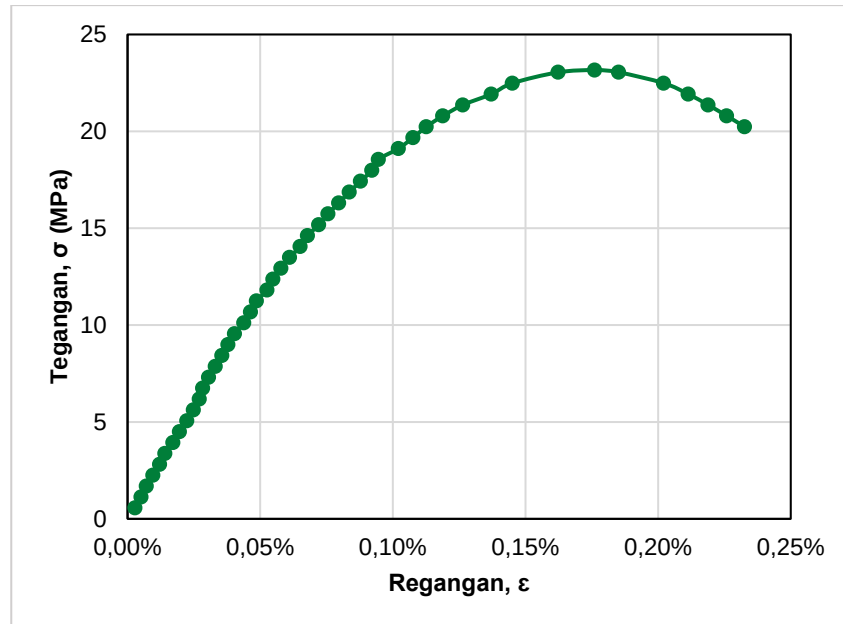
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	23,16	Mpa
Diameter	150,5	mm
Tinggi	301,59	mm
Luas	17789	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	1	0,0005	0,000%	0,56	0,00
20	20000	10	0,0050	0,003%	1,12	0,03
30	30000	18	0,0090	0,005%	1,69	0,05
40	40000	28	0,0140	0,007%	2,25	0,07
50	50000	38	0,0190	0,010%	2,81	0,10
60	60000	46	0,0230	0,012%	3,37	0,12
70	70000	58	0,0290	0,015%	3,93	0,15
80	80000	68	0,0340	0,017%	4,50	0,17
90	90000	79	0,0395	0,020%	5,06	0,20
100	100000	89	0,0445	0,022%	5,62	0,22
110	110000	98	0,0490	0,025%	6,18	0,25
120	120000	103	0,0515	0,026%	6,75	0,26
130	130000	112	0,0560	0,028%	7,31	0,28
140	140000	122	0,0610	0,031%	7,87	0,31
150	150000	132	0,0660	0,033%	8,43	0,33
160	160000	141	0,0705	0,035%	8,99	0,35
170	170000	151	0,0755	0,038%	9,56	0,38
180	180000	165	0,0825	0,041%	10,12	0,41
190	190000	175	0,0875	0,044%	10,68	0,44
200	200000	184	0,0920	0,046%	11,24	0,46

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	200	0,1000	0,050%	11,80	0,50
220	220000	209	0,1045	0,052%	12,37	0,52
230	230000	221	0,1105	0,055%	12,93	0,55
240	240000	234	0,1170	0,059%	13,49	0,59
250	250000	250	0,1250	0,063%	14,05	0,63
260	260000	261	0,1305	0,065%	14,62	0,65
270	270000	278	0,1390	0,070%	15,18	0,70
280	280000	292	0,1460	0,073%	15,74	0,73
290	290000	308	0,1540	0,077%	16,30	0,77
300	300000	324	0,1620	0,081%	16,86	0,81
310	310000	341	0,1705	0,085%	17,43	0,85
320	320000	358	0,1790	0,090%	17,99	0,90
330	330000	368	0,1840	0,092%	18,55	0,92
340	340000	398	0,1990	0,100%	19,11	1,00
350	350000	420	0,2100	0,105%	19,67	1,05
360	360000	440	0,2200	0,110%	20,24	1,10
370	370000	465	0,2325	0,116%	20,80	1,16
380	380000	495	0,2475	0,124%	21,36	1,24
390	390000	538	0,2690	0,135%	21,92	1,35
400	400000	570	0,2850	0,143%	22,49	1,43
410	410000	639	0,3195	0,160%	23,05	1,60
412	412000	694	0,3470	0,174%	23,16	1,74
410	410000	730	0,3650	0,183%	23,05	1,83
400	400000	798	0,3990	0,200%	22,49	2,00
390	390000	835	0,4175	0,209%	21,92	2,09
380	380000	865	0,4325	0,216%	21,36	2,16
370	370000	893	0,4465	0,223%	20,80	2,23
360	360000	920	0,4600	0,230%	20,24	2,30

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 5% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	23668,65	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	22618,56	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	23203,90	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditunggip Karung Goni Variasi 10% Kapur

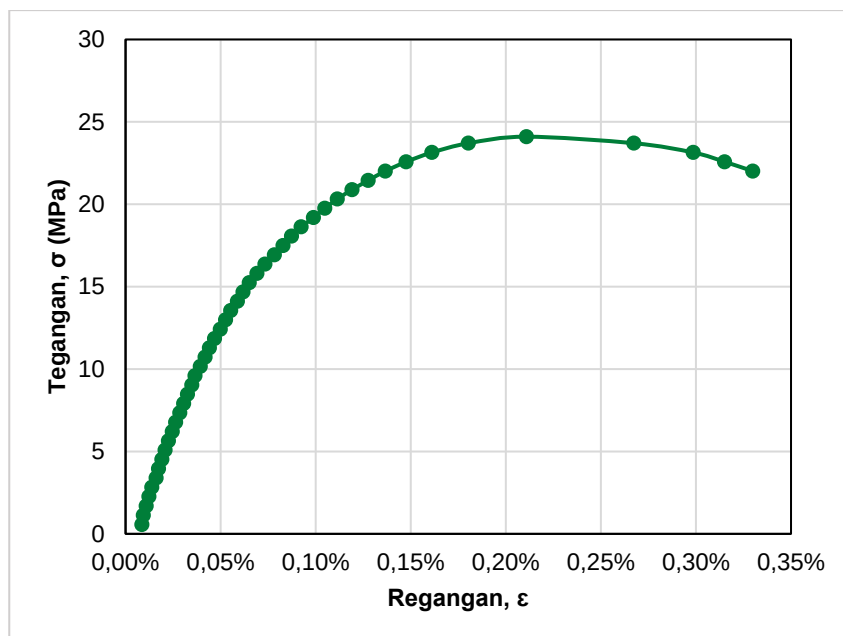
Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditunggip Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	24,10	Mpa
Diameter	150,2	mm
Tinggi	301,22	mm
Luas	17719	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,56	0,00
20	20000	3	0,0015	0,001%	1,13	0,01
30	30000	9	0,0045	0,002%	1,69	0,02
40	40000	15	0,0075	0,004%	2,26	0,04
50	50000	21	0,0105	0,005%	2,82	0,05
60	60000	30	0,015	0,008%	3,39	0,08
70	70000	35	0,0175	0,009%	3,95	0,09
80	80000	42	0,021	0,011%	4,52	0,11
90	90000	49	0,0245	0,012%	5,08	0,12
100	100000	56	0,028	0,014%	5,64	0,14
110	110000	64	0,032	0,016%	6,21	0,16
120	120000	71	0,0355	0,018%	6,77	0,18
130	130000	80	0,04	0,020%	7,34	0,20
140	140000	88	0,044	0,022%	7,90	0,22
150	150000	96	0,048	0,024%	8,47	0,24
160	160000	105	0,0525	0,026%	9,03	0,26
170	170000	112	0,056	0,028%	9,59	0,28
180	180000	123	0,0615	0,031%	10,16	0,31
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,72	0,33
200	200000	142	0,071	0,036%	11,29	0,36

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	153	0,0765	0,038%	11,85	0,38
220	220000	165	0,0825	0,041%	12,42	0,41
230	230000	176	0,088	0,044%	12,98	0,44
240	240000	187	0,0935	0,047%	13,55	0,47
250	250000	201	0,1005	0,050%	14,11	0,50
260	260000	213	0,1065	0,053%	14,67	0,53
270	270000	226	0,113	0,057%	15,24	0,57
280	280000	242	0,121	0,061%	15,80	0,61
290	290000	259	0,1295	0,065%	16,37	0,65
300	300000	279	0,1395	0,070%	16,93	0,70
310	310000	297	0,1485	0,074%	17,50	0,74
320	320000	315	0,1575	0,079%	18,06	0,79
330	330000	335	0,1675	0,084%	18,62	0,84
340	340000	361	0,1805	0,090%	19,19	0,90
350	350000	385	0,1925	0,096%	19,75	0,96
360	360000	411	0,2055	0,103%	20,32	1,03
370	370000	442	0,221	0,111%	20,88	1,11
380	380000	476	0,238	0,119%	21,45	1,19
390	390000	512	0,256	0,128%	22,01	1,28
400	400000	556	0,278	0,139%	22,58	1,39
410	410000	610	0,305	0,153%	23,14	1,53
420	420000	687	0,3435	0,172%	23,70	1,72
427	427000	809	0,4045	0,202%	24,10	2,02
420	420000	1035	0,5175	0,259%	23,70	2,59
410	410000	1160	0,58	0,290%	23,14	2,90
400	400000	1226	0,613	0,307%	22,58	3,07
390	390000	1285	0,6425	0,321%	22,01	3,21

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 10% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25800,15	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23072,62	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	24874,39	MPa

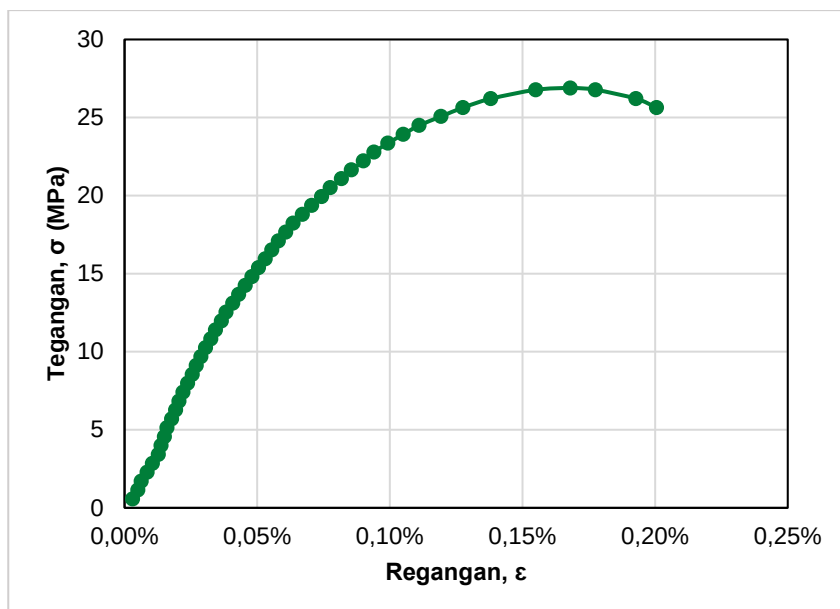
Modulus Elastisitas Beton Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 10% Kapur
Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditungkap Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	2	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	26,89	Mpa
Diameter	149,5	mm
Tinggi	301,55	mm
Luas	17554	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,57	0,00
20	20000	8	0,004	0,002%	1,14	0,02
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,71	0,03
40	40000	22	0,011	0,006%	2,28	0,06
50	50000	30	0,015	0,008%	2,85	0,08
60	60000	39	0,0195	0,010%	3,42	0,10
70	70000	43	0,0215	0,011%	3,99	0,11
80	80000	48	0,024	0,012%	4,56	0,12
90	90000	52	0,026	0,013%	5,13	0,13
100	100000	59	0,0295	0,015%	5,70	0,15
110	110000	65	0,0325	0,016%	6,27	0,16
120	120000	70	0,035	0,018%	6,84	0,18
130	130000	76	0,038	0,019%	7,41	0,19
140	140000	83	0,0415	0,021%	7,98	0,21
150	150000	90	0,045	0,023%	8,55	0,23
160	160000	96	0,048	0,024%	9,11	0,24
170	170000	103	0,0515	0,026%	9,68	0,26
180	180000	110	0,055	0,028%	10,25	0,28
190	190000	118	0,059	0,030%	10,82	0,30
200	200000	125	0,0625	0,031%	11,39	0,31
210	210000	134	0,067	0,034%	11,96	0,34

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
220	220000	141	0,0705	0,035%	12,53	0,35
230	230000	151	0,0755	0,038%	13,10	0,38
240	240000	160	0,08	0,040%	13,67	0,40
250	250000	170	0,085	0,043%	14,24	0,43
260	260000	180	0,09	0,045%	14,81	0,45
270	270000	190	0,095	0,048%	15,38	0,48
280	280000	200	0,1	0,050%	15,95	0,50
290	290000	210	0,105	0,053%	16,52	0,53
300	300000	220	0,11	0,055%	17,09	0,55
310	310000	231	0,1155	0,058%	17,66	0,58
320	320000	242	0,121	0,061%	18,23	0,61
330	330000	256	0,128	0,064%	18,80	0,64
340	340000	270	0,135	0,068%	19,37	0,68
350	350000	285	0,1425	0,071%	19,94	0,71
360	360000	298	0,149	0,075%	20,51	0,75
370	370000	315	0,1575	0,079%	21,08	0,79
380	380000	330	0,165	0,083%	21,65	0,83
390	390000	348	0,174	0,087%	22,22	0,87
400	400000	364	0,182	0,091%	22,79	0,91
410	410000	385	0,1925	0,096%	23,36	0,96
420	420000	408	0,204	0,102%	23,93	1,02
430	430000	432	0,216	0,108%	24,50	1,08
440	440000	465	0,2325	0,116%	25,07	1,16
450	450000	498	0,249	0,125%	25,64	1,25
460	460000	540	0,27	0,135%	26,21	1,35
470	470000	608	0,304	0,152%	26,77	1,52
472	472000	660	0,33	0,165%	26,89	1,65
470	470000	698	0,349	0,175%	26,77	1,75
460	460000	759	0,3795	0,190%	26,21	1,90
450	450000	790	0,395	0,198%	25,64	1,98

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 10% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	28483,79	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24371,53	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26370,90	MPa

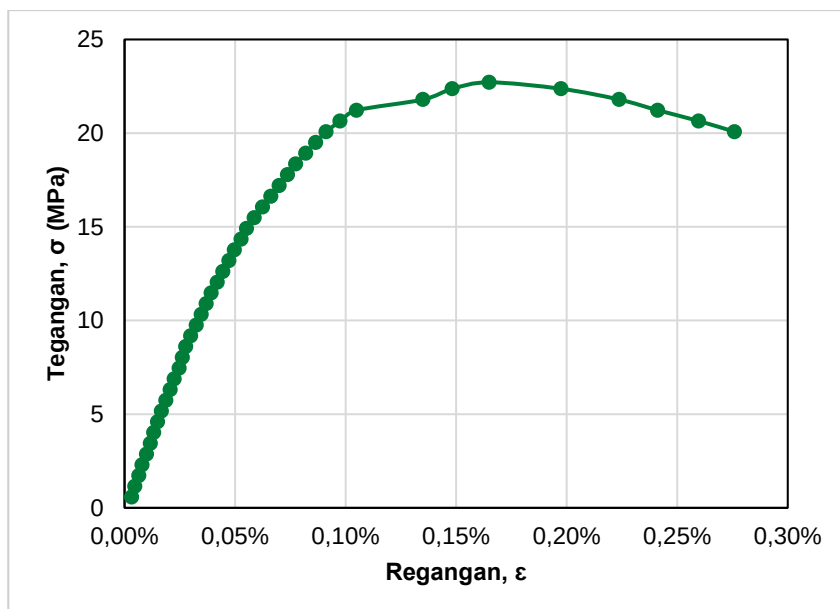
Modulus Elastisitas Beton Metode Ditunggip Karung Goni Variasi 10% Kapur
Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditunggip Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	22,71	Mpa
Diameter	149	mm
Tinggi	301,77	mm
Luas	17437	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,57	0,01
20	20000	9	0,0045	0,002%	1,15	0,02
30	30000	16	0,008	0,004%	1,72	0,04
40	40000	22	0,011	0,006%	2,29	0,06
50	50000	30	0,015	0,008%	2,87	0,08
60	60000	37	0,0185	0,009%	3,44	0,09
70	70000	43	0,0215	0,011%	4,01	0,11
80	80000	50	0,025	0,013%	4,59	0,13
90	90000	57	0,0285	0,014%	5,16	0,14
100	100000	65	0,0325	0,016%	5,74	0,16
110	110000	73	0,0365	0,018%	6,31	0,18
120	120000	80	0,04	0,020%	6,88	0,20
130	130000	89	0,0445	0,022%	7,46	0,22
140	140000	95	0,0475	0,024%	8,03	0,24
150	150000	101	0,0505	0,025%	8,60	0,25
160	160000	110	0,055	0,028%	9,18	0,28
170	170000	120	0,06	0,030%	9,75	0,30
180	180000	129	0,0645	0,032%	10,32	0,32
190	190000	138	0,069	0,035%	10,90	0,35
200	200000	147	0,0735	0,037%	11,47	0,37

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
210	210000	158	0,079	0,040%	12,04	0,40
220	220000	168	0,084	0,042%	12,62	0,42
230	230000	179	0,0895	0,045%	13,19	0,45
240	240000	189	0,0945	0,047%	13,76	0,47
250	250000	201	0,1005	0,050%	14,34	0,50
260	260000	211	0,1055	0,053%	14,91	0,53
270	270000	225	0,1125	0,056%	15,48	0,56
280	280000	240	0,12	0,060%	16,06	0,60
290	290000	255	0,1275	0,064%	16,63	0,64
300	300000	270	0,135	0,068%	17,21	0,68
310	310000	285	0,1425	0,071%	17,78	0,71
320	320000	300	0,15	0,075%	18,35	0,75
330	330000	318	0,159	0,080%	18,93	0,80
340	340000	336	0,168	0,084%	19,50	0,84
350	350000	355	0,1775	0,089%	20,07	0,89
360	360000	380	0,19	0,095%	20,65	0,95
370	370000	410	0,205	0,103%	21,22	1,03
380	380000	530	0,265	0,133%	21,79	1,33
390	390000	583	0,2915	0,146%	22,37	1,46
396	396000	650	0,325	0,163%	22,71	1,63
390	390000	780	0,39	0,195%	22,37	1,95
380	380000	885	0,4425	0,221%	21,79	2,21
370	370000	955	0,4775	0,239%	21,22	2,39
360	360000	1029	0,5145	0,257%	20,65	2,57
350	350000	1094	0,547	0,274%	20,07	2,74

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 10% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	30586,96	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	22398,26	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	23459,10	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 10% Kapur

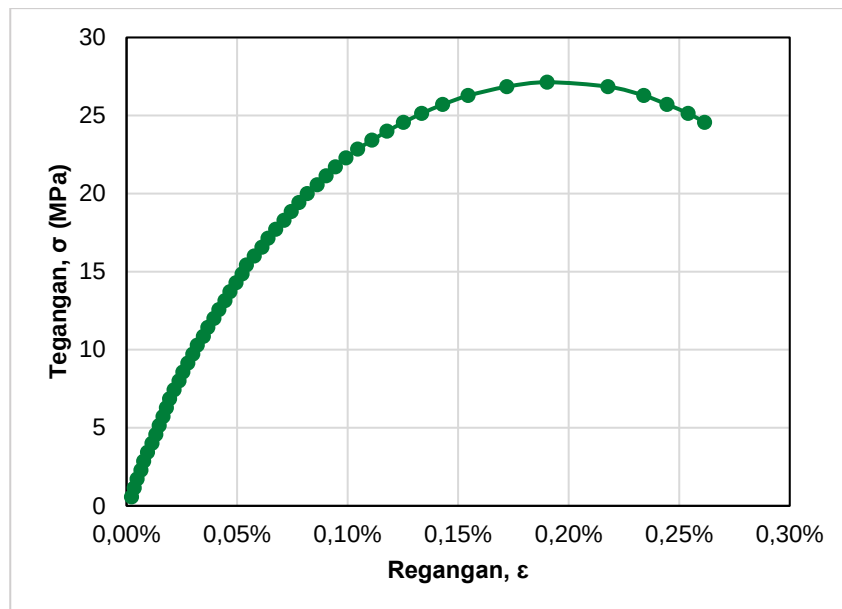
Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	4	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	27,13	Mpa
Diameter	149,3	mm
Tinggi	301,43	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	3	0,002	0,001%	0,571	0,008
20	20000	8	0,004	0,002%	1,142	0,020
30	30000	13	0,007	0,003%	1,714	0,033
40	40000	20	0,010	0,005%	2,285	0,050
50	50000	25	0,013	0,006%	2,856	0,063
60	60000	32	0,016	0,008%	3,427	0,080
70	70000	40	0,020	0,010%	3,998	0,100
80	80000	47	0,024	0,012%	4,570	0,118
90	90000	53	0,027	0,013%	5,141	0,133
100	100000	60	0,030	0,015%	5,712	0,150
110	110000	66	0,033	0,017%	6,283	0,165
120	120000	72	0,036	0,018%	6,854	0,180
130	130000	80	0,040	0,020%	7,426	0,200
140	140000	89	0,045	0,022%	7,997	0,223
150	150000	96	0,048	0,024%	8,568	0,240
160	160000	105	0,053	0,026%	9,139	0,263
170	170000	114	0,057	0,029%	9,710	0,285
180	180000	122	0,061	0,031%	10,282	0,305
190	190000	133	0,067	0,033%	10,853	0,333
200	200000	141	0,071	0,035%	11,424	0,353

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	152	0,076	0,038%	11,995	0,380
220	220000	161	0,081	0,040%	12,566	0,403
230	230000	172	0,086	0,043%	13,138	0,430
240	240000	181	0,091	0,045%	13,709	0,453
250	250000	192	0,096	0,048%	14,280	0,480
260	260000	203	0,102	0,051%	14,851	0,508
270	270000	211	0,106	0,053%	15,422	0,528
280	280000	225	0,113	0,056%	15,994	0,563
290	290000	239	0,120	0,060%	16,565	0,598
300	300000	250	0,125	0,063%	17,136	0,625
310	310000	264	0,132	0,066%	17,707	0,660
320	320000	279	0,140	0,070%	18,278	0,698
330	330000	292	0,146	0,073%	18,850	0,730
340	340000	306	0,153	0,077%	19,421	0,765
350	350000	321	0,161	0,080%	19,992	0,803
360	360000	339	0,170	0,085%	20,563	0,848
370	370000	355	0,178	0,089%	21,135	0,888
380	380000	372	0,186	0,093%	21,706	0,930
390	390000	391	0,196	0,098%	22,277	0,978
400	400000	412	0,206	0,103%	22,848	1,030
410	410000	438	0,219	0,110%	23,419	1,095
420	420000	465	0,233	0,116%	23,991	1,163
430	430000	495	0,248	0,124%	24,562	1,238
440	440000	528	0,264	0,132%	25,133	1,320
450	450000	566	0,283	0,142%	25,704	1,415
460	460000	612	0,306	0,153%	26,275	1,530
470	470000	682	0,341	0,171%	26,847	1,705
475	475000	755	0,378	0,189%	27,132	1,888
470	470000	865	0,433	0,216%	26,847	2,163
460	460000	930	0,465	0,233%	26,275	2,325
450	450000	972	0,486	0,243%	25,704	2,430
440	440000	1010	0,505	0,253%	25,133	2,525
430	430000	1040	0,520	0,260%	24,562	2,600

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 10% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25963,77	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	24481,61	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	26412,54	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 10% Kapur

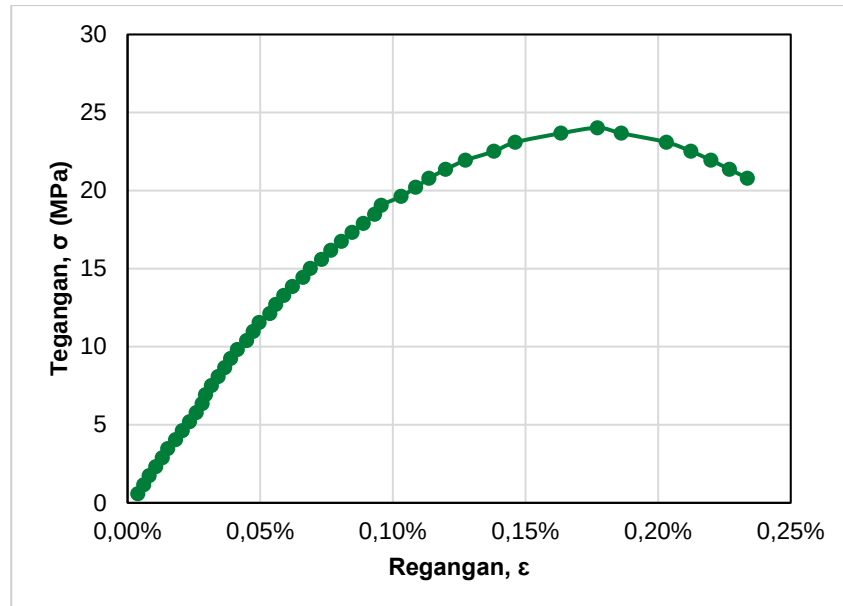
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditungkap Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	5	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	24,02	Mpa
Diameter	148,5	mm
Tinggi	302,15	mm
Luas	17320	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	1	0,0005	0,000%	0,58	0,00
20	20000	10	0,0050	0,003%	1,15	0,03
30	30000	18	0,0090	0,005%	1,73	0,05
40	40000	28	0,0140	0,007%	2,31	0,07
50	50000	38	0,0190	0,010%	2,89	0,10
60	60000	46	0,0230	0,012%	3,46	0,12
70	70000	58	0,0290	0,015%	4,04	0,15
80	80000	68	0,0340	0,017%	4,62	0,17
90	90000	79	0,0395	0,020%	5,20	0,20
100	100000	89	0,0445	0,022%	5,77	0,22
110	110000	98	0,0490	0,025%	6,35	0,25
120	120000	103	0,0515	0,026%	6,93	0,26
130	130000	112	0,0560	0,028%	7,51	0,28
140	140000	122	0,0610	0,031%	8,08	0,31
150	150000	132	0,0660	0,033%	8,66	0,33
160	160000	141	0,0705	0,035%	9,24	0,35
170	170000	151	0,0755	0,038%	9,82	0,38
180	180000	165	0,0825	0,041%	10,39	0,41
190	190000	175	0,0875	0,044%	10,97	0,44
200	200000	184	0,0920	0,046%	11,55	0,46

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	200	0,1000	0,050%	12,12	0,50
220	220000	209	0,1045	0,052%	12,70	0,52
230	230000	221	0,1105	0,055%	13,28	0,55
240	240000	234	0,1170	0,059%	13,86	0,59
250	250000	250	0,1250	0,063%	14,43	0,63
260	260000	261	0,1305	0,065%	15,01	0,65
270	270000	278	0,1390	0,070%	15,59	0,70
280	280000	292	0,1460	0,073%	16,17	0,73
290	290000	308	0,1540	0,077%	16,74	0,77
300	300000	324	0,1620	0,081%	17,32	0,81
310	310000	341	0,1705	0,085%	17,90	0,85
320	320000	358	0,1790	0,090%	18,48	0,90
330	330000	368	0,1840	0,092%	19,05	0,92
340	340000	398	0,1990	0,100%	19,63	1,00
350	350000	420	0,2100	0,105%	20,21	1,05
360	360000	440	0,2200	0,110%	20,79	1,10
370	370000	465	0,2325	0,116%	21,36	1,16
380	380000	495	0,2475	0,124%	21,94	1,24
390	390000	538	0,2690	0,135%	22,52	1,35
400	400000	570	0,2850	0,143%	23,09	1,43
410	410000	639	0,3195	0,160%	23,67	1,60
416	416000	694	0,3470	0,174%	24,02	1,74
410	410000	730	0,3650	0,183%	23,67	1,83
400	400000	798	0,3990	0,200%	23,09	2,00
390	390000	835	0,4175	0,209%	22,52	2,09
380	380000	865	0,4325	0,216%	21,94	2,16
370	370000	893	0,4465	0,223%	21,36	2,23
360	360000	920	0,4600	0,230%	20,79	2,30

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 10% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	23687,14	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23034,20	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	23077,94	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur

Sampel 1

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	29,66	Mpa
Diameter	150,4	mm
Tinggi	302,22	mm
Luas	17766	mm ²
L0	200,0	mm

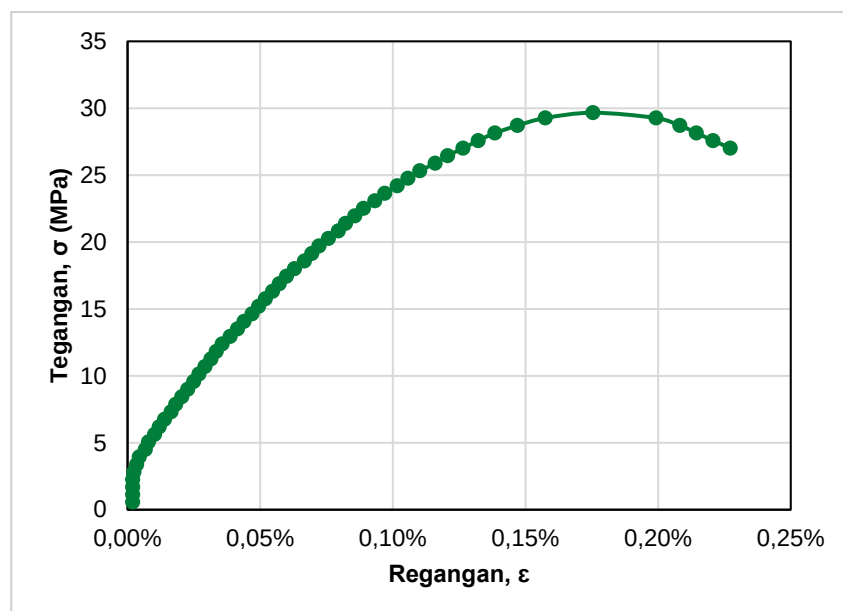
Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,56	0,00
20	20000	0	0	0,000%	1,13	0,00
30	30000	0	0	0,000%	1,69	0,00
40	40000	0	0	0,000%	2,25	0,00
50	50000	2	0,001	0,001%	2,81	0,01
60	60000	6	0,003	0,002%	3,38	0,02
70	70000	10	0,005	0,003%	3,94	0,03
80	80000	19	0,0095	0,005%	4,50	0,05
90	90000	24	0,012	0,006%	5,07	0,06
100	100000	33	0,0165	0,008%	5,63	0,08
110	110000	40	0,02	0,010%	6,19	0,10
120	120000	48	0,024	0,012%	6,75	0,12
130	130000	58	0,029	0,015%	7,32	0,15
140	140000	65	0,0325	0,016%	7,88	0,16
150	150000	74	0,037	0,019%	8,44	0,19
160	160000	83	0,0415	0,021%	9,01	0,21
170	170000	92	0,046	0,023%	9,57	0,23
180	180000	100	0,05	0,025%	10,13	0,25
190	190000	109	0,0545	0,027%	10,69	0,27
200	200000	118	0,059	0,030%	11,26	0,30

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
210	210000	126	0,063	0,032%	11,82	0,32
220	220000	135	0,0675	0,034%	12,38	0,34
230	230000	147	0,0735	0,037%	12,95	0,37
240	240000	158	0,079	0,040%	13,51	0,40
250	250000	168	0,084	0,042%	14,07	0,42
260	260000	180	0,09	0,045%	14,63	0,45
270	270000	190	0,095	0,048%	15,20	0,48
280	280000	200	0,1	0,050%	15,76	0,50
290	290000	211	0,1055	0,053%	16,32	0,53
300	300000	221	0,1105	0,055%	16,89	0,55
310	310000	232	0,116	0,058%	17,45	0,58
320	320000	244	0,122	0,061%	18,01	0,61
330	330000	259	0,1295	0,065%	18,57	0,65
340	340000	270	0,135	0,068%	19,14	0,68
350	350000	281	0,1405	0,070%	19,70	0,70
360	360000	295	0,1475	0,074%	20,26	0,74
370	370000	310	0,155	0,078%	20,83	0,78
380	380000	321	0,1605	0,080%	21,39	0,80
390	390000	335	0,1675	0,084%	21,95	0,84
400	400000	348	0,174	0,087%	22,52	0,87
410	410000	365	0,1825	0,091%	23,08	0,91
420	420000	380	0,19	0,095%	23,64	0,95
430	430000	399	0,1995	0,100%	24,20	1,00
440	440000	415	0,2075	0,104%	24,77	1,04
450	450000	433	0,2165	0,108%	25,33	1,08
460	460000	456	0,228	0,114%	25,89	1,14
470	470000	475	0,2375	0,119%	26,46	1,19
480	480000	498	0,249	0,125%	27,02	1,25
490	490000	521	0,2605	0,130%	27,58	1,30
500	500000	546	0,273	0,137%	28,14	1,37
510	510000	580	0,29	0,145%	28,71	1,45
520	520000	622	0,311	0,156%	29,27	1,56
527	527000	694	0,347	0,174%	29,66	1,74

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
520	520000	789	0,3945	0,197%	29,27	1,97
510	510000	825	0,4125	0,206%	28,71	2,06
500	500000	850	0,425	0,213%	28,14	2,13
490	490000	875	0,4375	0,219%	27,58	2,19
480	480000	901	0,4505	0,225%	27,02	2,25

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur Sampel 1



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	25731,58	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	25598,26	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	24944,30	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur

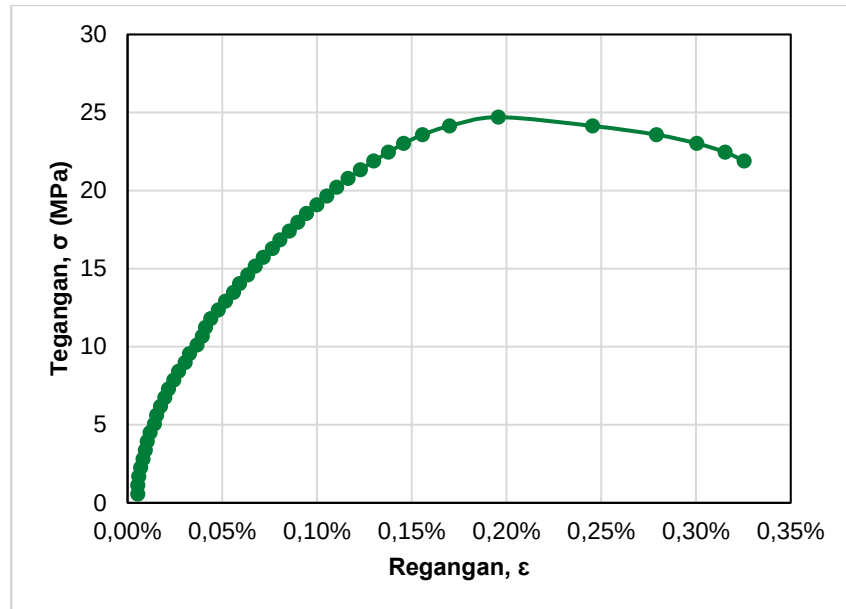
Sampel 2

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditutup Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	24,70	Mpa
Diameter	150,6	mm
Tinggi	301,64	mm
Luas	17813	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0,000	0,000%	0,561	0,000
20	20000	0	0,000	0,000%	1,123	0,000
30	30000	2	0,001	0,001%	1,684	0,005
40	40000	6	0,003	0,002%	2,246	0,015
50	50000	11	0,006	0,003%	2,807	0,028
60	60000	16	0,008	0,004%	3,368	0,040
70	70000	20	0,010	0,005%	3,930	0,050
80	80000	26	0,013	0,007%	4,491	0,065
90	90000	35	0,018	0,009%	5,052	0,088
100	100000	40	0,020	0,010%	5,614	0,100
110	110000	48	0,024	0,012%	6,175	0,120
120	120000	57	0,029	0,014%	6,737	0,143
130	130000	65	0,033	0,016%	7,298	0,163
140	140000	76	0,038	0,019%	7,859	0,190
150	150000	86	0,043	0,022%	8,421	0,215
160	160000	100	0,050	0,025%	8,982	0,250
170	170000	109	0,055	0,027%	9,544	0,273
180	180000	125	0,063	0,031%	10,105	0,313
190	190000	136	0,068	0,034%	10,666	0,340
200	200000	143	0,072	0,036%	11,228	0,358

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	154	0,077	0,039%	11,789	0,385
220	220000	170	0,085	0,043%	12,350	0,425
230	230000	185	0,093	0,046%	12,912	0,463
240	240000	202	0,101	0,051%	13,473	0,505
250	250000	215	0,108	0,054%	14,035	0,538
260	260000	232	0,116	0,058%	14,596	0,580
270	270000	248	0,124	0,062%	15,157	0,620
280	280000	265	0,133	0,066%	15,719	0,663
290	290000	284	0,142	0,071%	16,280	0,710
300	300000	300	0,150	0,075%	16,842	0,750
310	310000	320	0,160	0,080%	17,403	0,800
320	320000	338	0,169	0,085%	17,964	0,845
330	330000	356	0,178	0,089%	18,526	0,890
340	340000	378	0,189	0,095%	19,087	0,945
350	350000	399	0,200	0,100%	19,648	0,998
360	360000	420	0,210	0,105%	20,210	1,050
370	370000	444	0,222	0,111%	20,771	1,110
380	380000	470	0,235	0,118%	21,333	1,175
390	390000	498	0,249	0,125%	21,894	1,245
400	400000	529	0,265	0,132%	22,455	1,323
410	410000	561	0,281	0,140%	23,017	1,403
420	420000	601	0,301	0,150%	23,578	1,503
430	430000	658	0,329	0,165%	24,140	1,645
440	440000	761	0,381	0,190%	24,701	1,903
430	430000	960	0,480	0,240%	24,140	2,400
420	420000	1095	0,548	0,274%	23,578	2,738
410	410000	1180	0,590	0,295%	23,017	2,950
400	400000	1240	0,620	0,310%	22,455	3,100
390	390000	1280	0,640	0,320%	21,894	3,200

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 15% Kapur Sampel 2



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	26197,93	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23359,00	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25363,66	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditunggip Karung Goni Variasi 15% Kapur

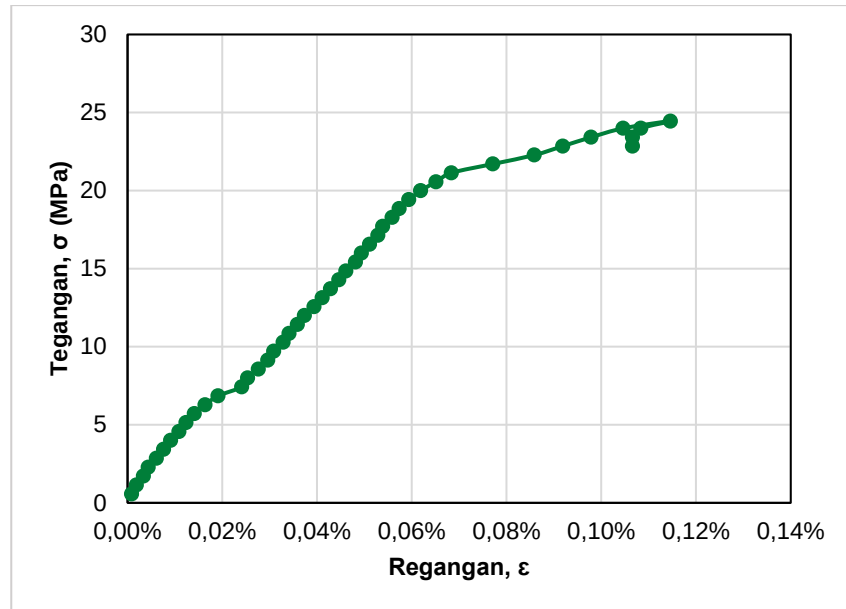
Sampel 3

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditunggip Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel	3	
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	24,45	Mpa
Diameter	149,3	mm
Tinggi	301,54	mm
Luas	17507	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,57	0,00
20	20000	4	0,002	0,001%	1,14	0,01
30	30000	10	0,005	0,003%	1,71	0,03
40	40000	14	0,007	0,004%	2,28	0,04
50	50000	21	0,0105	0,005%	2,86	0,05
60	60000	27	0,0135	0,007%	3,43	0,07
70	70000	33	0,0165	0,008%	4,00	0,08
80	80000	40	0,02	0,010%	4,57	0,10
90	90000	46	0,023	0,012%	5,14	0,12
100	100000	53	0,0265	0,013%	5,71	0,13
110	110000	62	0,031	0,016%	6,28	0,16
120	120000	73	0,0365	0,018%	6,85	0,18
130	130000	93	0,0465	0,023%	7,43	0,23
140	140000	98	0,049	0,025%	8,00	0,25
150	150000	107	0,0535	0,027%	8,57	0,27
160	160000	115	0,0575	0,029%	9,14	0,29
170	170000	120	0,06	0,030%	9,71	0,30
180	180000	128	0,064	0,032%	10,28	0,32
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,85	0,33
200	200000	140	0,07	0,035%	11,42	0,35

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa	
210	210000	146	0,073	0,037%	12,00	0,37
220	220000	154	0,077	0,039%	12,57	0,39
230	230000	161	0,0805	0,040%	13,14	0,40
240	240000	168	0,084	0,042%	13,71	0,42
250	250000	175	0,0875	0,044%	14,28	0,44
260	260000	181	0,0905	0,045%	14,85	0,45
270	270000	189	0,0945	0,047%	15,42	0,47
280	280000	194	0,097	0,049%	15,99	0,49
290	290000	201	0,1005	0,050%	16,56	0,50
300	300000	208	0,104	0,052%	17,14	0,52
310	310000	212	0,106	0,053%	17,71	0,53
320	320000	220	0,11	0,055%	18,28	0,55
330	330000	226	0,113	0,057%	18,85	0,57
340	340000	234	0,117	0,059%	19,42	0,59
350	350000	244	0,122	0,061%	19,99	0,61
360	360000	257	0,1285	0,064%	20,56	0,64
370	370000	270	0,135	0,068%	21,13	0,68
380	380000	305	0,1525	0,076%	21,71	0,76
390	390000	340	0,17	0,085%	22,28	0,85
400	400000	364	0,182	0,091%	22,85	0,91
410	410000	388	0,194	0,097%	23,42	0,97
420	420000	415	0,2075	0,104%	23,99	1,04
428	428000	455	0,2275	0,114%	24,45	1,14
420	420000	430	0,215	0,108%	23,99	1,08
410	410000	423	0,2115	0,106%	23,42	1,06
400	400000	423	0,2115	0,106%	22,85	1,06

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur Sampel 3



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	27759,40	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23238,87	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25567,74	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 15% Kapur

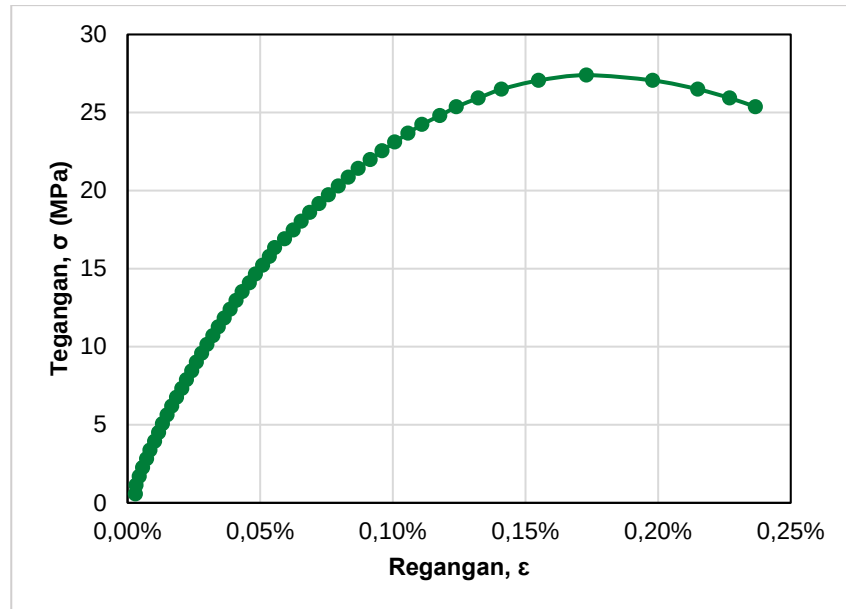
Sampel 4

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditungkap Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	24,80	Mpa
Diameter	150,3	mm
Tinggi	302,33	mm
Luas	17742	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)	Regangan (ε')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	0	0	0,000%	0,56	0,00
20	20000	1	0,0005	0,000%	1,13	0,00
30	30000	6	0,003	0,002%	1,69	0,02
40	40000	11	0,0055	0,003%	2,25	0,03
50	50000	17	0,0085	0,004%	2,82	0,04
60	60000	22	0,011	0,006%	3,38	0,06
70	70000	29	0,0145	0,007%	3,95	0,07
80	80000	35	0,0175	0,009%	4,51	0,09
90	90000	41	0,0205	0,010%	5,07	0,10
100	100000	48	0,024	0,012%	5,64	0,12
110	110000	55	0,0275	0,014%	6,20	0,14
120	120000	62	0,031	0,016%	6,76	0,16
130	130000	70	0,035	0,018%	7,33	0,18
140	140000	77	0,0385	0,019%	7,89	0,19
150	150000	85	0,0425	0,021%	8,45	0,21
160	160000	92	0,046	0,023%	9,02	0,23
170	170000	100	0,05	0,025%	9,58	0,25
180	180000	108	0,054	0,027%	10,15	0,27
190	190000	117	0,0585	0,029%	10,71	0,29
200	200000	125	0,0625	0,031%	11,27	0,31

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	134	0,067	0,034%	11,84	0,34
220	220000	143	0,0715	0,036%	12,40	0,36
230	230000	152	0,076	0,038%	12,96	0,38
240	240000	161	0,0805	0,040%	13,53	0,40
250	250000	172	0,086	0,043%	14,09	0,43
260	260000	181	0,0905	0,045%	14,65	0,45
270	270000	192	0,096	0,048%	15,22	0,48
280	280000	202	0,101	0,051%	15,78	0,51
290	290000	210	0,105	0,053%	16,35	0,53
300	300000	225	0,1125	0,056%	16,91	0,56
310	310000	238	0,119	0,060%	17,47	0,60
320	320000	250	0,125	0,063%	18,04	0,63
330	330000	263	0,1315	0,066%	18,60	0,66
340	340000	277	0,1385	0,069%	19,16	0,69
350	350000	291	0,1455	0,073%	19,73	0,73
360	360000	306	0,153	0,077%	20,29	0,77
370	370000	321	0,1605	0,080%	20,85	0,80
380	380000	336	0,168	0,084%	21,42	0,84
390	390000	354	0,177	0,089%	21,98	0,89
400	400000	372	0,186	0,093%	22,55	0,93
410	410000	391	0,1955	0,098%	23,11	0,98
420	420000	411	0,2055	0,103%	23,67	1,03
430	430000	432	0,216	0,108%	24,24	1,08
440	440000	459	0,2295	0,115%	24,80	1,15
450	450000	484	0,242	0,121%	25,36	1,21
460	460000	517	0,2585	0,129%	25,93	1,29
470	470000	552	0,276	0,138%	26,49	1,38
480	480000	608	0,304	0,152%	27,05	1,52
486	486000	680	0,34	0,170%	27,39	1,70
480	480000	780	0,39	0,195%	27,05	1,95
470	470000	848	0,424	0,212%	26,49	2,12
460	460000	896	0,448	0,224%	25,93	2,24
450	450000	935	0,4675	0,234%	25,36	2,34

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur Sampel 4



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	30284,46	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23405,63	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	25403,66	MPa

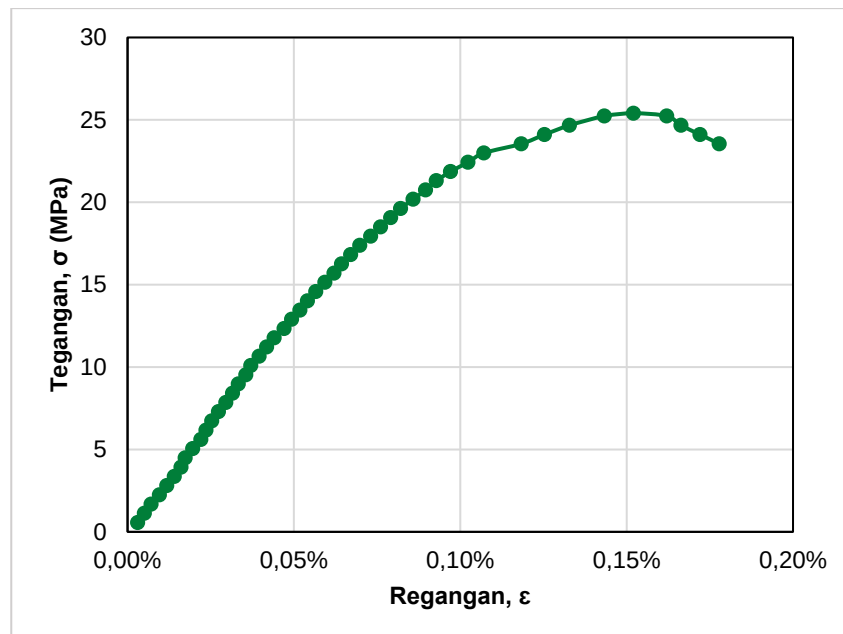
Modulus Elastisitas Beton Metode Ditungkap Karung Goni Variasi 15% Kapur
Sampel 5

Data Sampel		
Metode Perawatan	Ditungkap Karung Goni	
Umur Uji	28	Hari
No Sampel		
Mutu Beton Rencana	25	Mpa
Mutu Beton Hasil Uji	25,40	Mpa
Diameter	150,7	mm
Tinggi	301,22	mm
Luas	17837	mm ²
L0	200,0	mm

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa	
10	10000	4	0,0020	0,001%	0,56	0,01
20	20000	12	0,0060	0,003%	1,12	0,03
30	30000	20	0,0100	0,005%	1,68	0,05
40	40000	30	0,0150	0,008%	2,24	0,08
50	50000	39	0,0195	0,010%	2,80	0,10
60	60000	48	0,0240	0,012%	3,36	0,12
70	70000	56	0,0280	0,014%	3,92	0,14
80	80000	61	0,0305	0,015%	4,49	0,15
90	90000	70	0,0350	0,018%	5,05	0,18
100	100000	80	0,0400	0,020%	5,61	0,20
110	110000	86	0,0430	0,022%	6,17	0,22
120	120000	93	0,0465	0,023%	6,73	0,23
130	130000	101	0,0505	0,025%	7,29	0,25
140	140000	110	0,0550	0,028%	7,85	0,28
150	150000	118	0,0590	0,030%	8,41	0,30
160	160000	125	0,0625	0,031%	8,97	0,31
170	170000	134	0,0670	0,034%	9,53	0,34
180	180000	140	0,0700	0,035%	10,09	0,35
190	190000	150	0,0750	0,038%	10,65	0,38
200	200000	159	0,0795	0,040%	11,21	0,40

Beban (P)		Ekstensio meter	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)	Regangan (ϵ')
kN	N	$\dots \times 10^3$ mm	mm	%	MPa	
210	210000	168	0,0840	0,042%	11,77	0,42
220	220000	180	0,0900	0,045%	12,33	0,45
230	230000	189	0,0945	0,047%	12,89	0,47
240	240000	199	0,0995	0,050%	13,46	0,50
250	250000	208	0,1040	0,052%	14,02	0,52
260	260000	218	0,1090	0,055%	14,58	0,55
270	270000	229	0,1145	0,057%	15,14	0,57
280	280000	240	0,1200	0,060%	15,70	0,60
290	290000	249	0,1245	0,062%	16,26	0,62
300	300000	260	0,1300	0,065%	16,82	0,65
310	310000	271	0,1355	0,068%	17,38	0,68
320	320000	284	0,1420	0,071%	17,94	0,71
330	330000	296	0,1480	0,074%	18,50	0,74
340	340000	308	0,1540	0,077%	19,06	0,77
350	350000	320	0,1600	0,080%	19,62	0,80
360	360000	335	0,1675	0,084%	20,18	0,84
370	370000	350	0,1750	0,088%	20,74	0,88
380	380000	363	0,1815	0,091%	21,30	0,91
390	390000	380	0,1900	0,095%	21,86	0,95
400	400000	401	0,2005	0,100%	22,43	1,00
410	410000	420	0,2100	0,105%	22,99	1,05
420	420000	465	0,2325	0,116%	23,55	1,16
430	430000	493	0,2465	0,123%	24,11	1,23
440	440000	523	0,2615	0,131%	24,67	1,31
450	450000	565	0,2825	0,141%	25,23	1,41
453	453000	600	0,3000	0,150%	25,40	1,50
450	450000	640	0,3200	0,160%	25,23	1,60
440	440000	657	0,3285	0,164%	24,67	1,64
430	430000	680	0,3400	0,170%	24,11	1,70
420	420000	703	0,3515	0,176%	23,55	1,76

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Ditutup Karung Goni Variasi 15% Kapur Sampel 5



ASTM C-469	$(s_2 - s_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$	26910,69	MPa
SNI 2847-2019	$4700 \times \sqrt{f'_c}$	23685,84	MPa
	$W_c 1,5 \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	24988,44	MPa

Lampiran 8 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Lentur

Metode Rawatan	Umur Uji	Persentase Campuran	No. Sampel	Kuat Lentur (Mpa)	Kuat Lentur Rerata (Mpa)
Perendaman	28 Hari	Beton Normal	1	4,474	4,433
			2	4,179	
			3	4,646	
		Beton 5% Kapur	1	5,585	4,904
			2	4,788	
			3	4,340	
		Beton 10% Kapur	1	5,227	5,410
			2	5,473	
			3	5,529	
		Beton 15% Kapur	1	4,368	5,180
			2	4,774	
			3	6,398	
Karung Goni	28 Hari	Beton Normal	1	4,093	3,498
			2	3,337	
			3	3,064	
		Beton 5% Kapur	1	3,177	3,787
			2	4,091	
			3	4,091	
		Beton 10% Kapur	1	3,525	3,827
			2	3,538	
			3	4,418	
		Beton 15% Kapur	1	4,116	3,928
			2	3,696	
			3	3,971	

Lampiran 9 Dokumentasi Benda Uji



Gambar L-8. 1 Proses perawatan ditutup karung goni



Gambar L-8. 2 Proses perawatan perendaman



Gambar L-8. 3 Proses capping beton



Gambar L-8. 4 Kerusakan benda uji silinder setelah pengujian



Gambar L-8. 5 Proses pemberian batas pada benda uji balok



Gambar L-8. 6 Kerusakan benda uji balok setelah pengujian

Lampiran 10 Dokumentasi Pelaratan Penelitian



Gambar L-9. 1 Saringan Agregat



Gambar L-9. 2 Neraca Ohaus



Gambar L-9. 3 Piknometer



Gambar L-9. 4 Oven



Gambar L-9. 5 Mesin pengguncang Agregat halus



Gambar L-9. 6 Compression Testing Machine



Gambar L-9. 7 Dial gauge



Gambar L-9. 8 Universal testing machine



Gambar L-9. 9 Cetakan beton



Gambar L-9. 10 Ember



Gambar L-9. 11 Alat uji slump



Gambar L-9. 12 Timbangan digital



Gambar L-9. 13 Concrete mixer



Gambar L-9. 14 Alat capping



Gambar L-9. 15 Pan