TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK KAPUR SEBAGAI SUBTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON DENGAN METODE RAWATAN PERENDAMAN DAN KARUNG GONI

(*UTILIZATION OF RICE HUSK ASH AND LIME POWDER AS PARTIAL SUBSTITUTION OF CEMENT ON COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND FLEXIBLE STRENGTH OF CONCRETE WITH SOAKING AND GUNNY SACK TREATMENT METHODS*)

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

Conan Dencis Fayakun

20511226

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN SERBUK KAPUR SEBAGAI SUBTITUSI SEBAGIAN SEMEN TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR BETON DENGAN METODE RAWATAN PERENDAMAN DAN KARUNG GONI

(UTILIZATION OF RICE HUSK ASH AND LIME POWDER AS PARTIAL SUBSTITUTION OF CEMENT ON COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND FLEXIBLE STRENGTH OF CONCRETE WITH SOAKING AND GUNNY SACK TREATMENT METHODS)

Disusun Oleh

Conan Dencis Fayakun

20511226

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan

Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 18 Juni 2025

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
30.06.25	2/7 25	1/7 2025
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng	**Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM.**	**Anggit Mas Arifudin S.T., M. T.**
NIK: 165111301	**NIK: 095110101**	**NIK: 185111304**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

2/7 25

Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM.

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat unuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penilusan 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, 10 Juni 2025

Yang membuat pernyataan



Conan Dencis Fayakun

(20511226)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia – Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi dan Serbuk Kapur Sebagai Substitusi Sebagian Semen Terhadap Kuaat Tekan, Modulus Elastisitas dan Kuat Lentur Beton Dengan Metode Rawatan Perendaman dan Karung Goni" dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tentu saja cukup banyak hambatan yang di lalui oleh penulis. Namun atas dukungan, semangat, saran dan motivasi dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, dengan segala Ikhlas penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang terlibat.

1. Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D.(Eng).,IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. IPM. dan Anggit Mas Arifudin S.T., M. T. selaku dosen penguji Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberi arahan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.

4. Ibu Susiyani dan Bapak Sugiyarto, kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Gayasi Denise Kirana, selaku saudara kandung penulis yang selalu penulis jadikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Keluarga Besar, yang telah memberikan dukungan dan do'a.
7. Abiyan Prihantoro Hadi, Naufal Septa Aji, Audia Ardi Nugraha dan Al Kaffah Isard selaku teman penulis yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Kepada pemiliki NIM 20021057 yang telah memberikan semangat dan menjadi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. 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 sebagai tambahan referensi untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dibidang Teknik Sipil. Demikianlah yang dapat disampaikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR LAMPIRAN xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xiii
ABSTRAK xiv
ABSTRACT xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 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 Tinjauan umum 5
2.2 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Perbandingan 9
BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 Beton 14
3.2 Bahan Penyusun Beton 15
3.3 Bahan Tambah 19
3.4 Metode Rawatan Beton 21
3.5 Perencanaan Campuran Beton 22
3.6 Kuat Tekan Beton 31
3.7 Kuat Lentur 32
3.8 Modulus Elastisitas 33
BAB IV METODE PENELITIAN 36
4.1 Umum 36

4.2 Variabel Penelitian 36
4.3 Bahan yang Digunakan 36
4.4 Alat yang Digunakan..... 37
4.5 Benda Uji 39
4.6 Pelaksanaan Penelitian..... 46
4.6.1 Persiapan 47
4.6.2 Pemeriksaan Agregat..... 47
4.6.3 Perencanaan Campuran..... 47
4.6.4 Pembuatan Benda Uji..... 48
4.6.5 Pengujian Slump 49
4.6.6 Perawatan Benda Uji..... 50
4.6.7 Pengujian Beton 51
4.6.8 Analisis Data 52
4.6.9 Pembahasan..... 52
4.6.10 Kesimpulan dan Saran..... 53
4.7 Bagan Alir Tahapan Penelitian..... 53
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN..... 56
5.1 Tinjauan Umum..... 56
5.2 Hasil Pemeriksaan Material Penyusun Beton 56
5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus..... 56
5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar..... 65
5.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)..... 73
5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial* Beton Normal 83
5.5 Hasil Pengujian Slump..... 84
5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 86
5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 93
5.8 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton 107
5.9 Pembahasan Secara Keseluruhan.....113
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 115
6.1 Kesimpulan 115
6.2 Saran.....116
DAFTAR PUSTAKA.....118
LAMPIRAN..... 121

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan 10
Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Kasar 16
Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Halus 17
Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi 19
Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar 23
Tabel 3. 5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas = 0,5 24
Tabel 3. 6 Penetapan Nilai *Slump* Berdasarkan Pemakaian Beton 26
Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas Kg/m3 26
Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus 27
Tabel 3.9 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton 31
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji Perendaman 39
Tabel 4. 2 Rincian Benda Uji Penyelimutan Karung Goni 43
Tabel 4. 2 Mutu Pekerjaan 48
Tabel 5. 1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus 57
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 1 59
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 2 60
Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Agregat Halus 61
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus 63
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Halus 64
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 65
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 66
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 1 68
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 2 68
Tabel 5. 11 Batas Gradasi Agregat Kasar 70
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Kasar 72
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Kasar 72
Tabel 5. 14 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan fas 0,5 dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia 74
Tabel 5. 15 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton 75

Tabel 5. 16 Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus 76
Tabel 5. 17 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton..... 80
Tabel 5. 18 Proporsi Campuran Untuk Beton Normal 25 MPa 83
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial..... 84
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Nilai Slump 85
Tabel 5. 21 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton metode perendaman.. 87
Tabel 5. 22 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton metode ditutup karung goni 88
Tabel 5. 23 Persentase Nilai Kuat Tekan Untuk Metode Rawatan Perendaman Terhadap Beton Normal..... 91
Tabel 5. 24 Persentase Nilai Kuat Tekan Untuk Metode Rawatan Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal..... 92
Tabel 5. 25 Persentase Nilai kuat Tekan Beton Metode Perendaman Terhadap Metode Ditutup Karung Goni..... 93
Tabel 5. 26 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Perendaman 95
Tabel 5. 27 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Karung Goni..... 97
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan Perendaman.. 102
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan ditutup karung goni 103
Tabel 5. 30 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Terhadap Beton Normal 105
Tabel 5. 31 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal..... 106
Tabel 5. 32 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Dengan Metode Ditutup Karung Goni..... 106
Tabel 5. 33 Rekapituilasi hasil perhitungan kuat lentur beton 108
Tabel 5. 34 Persentase Nilai Kuat Lentur Untuk Metode Rawatan Perendaman Terhadap Beton Normal.....110
Tabel 5. 35 Persentase Nilai Kuat Lentur Untuk Metode Rawatan Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal.....111
Tabel 5. 36 Persentase Nilai Kuat Lentur Beton Metode Perendaman Dengan Metode Ditutup Karung Goni.....112

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Abu Sekam Padi 20
Gambar 3. 2 Serbuk Kapur..... 21
Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder dengan Diameter 150 mm xTinggi 300 mm) .. 25
Gambar 3. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm..... 29
Gambar 3. 5 Grafik Persen Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Maksimum 40 mm..... 29
Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Beton segar yang Telah Selesai Dipadatkan 30
Gambar 3. 7 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton 32
Gambar 3. 8 Sketsa pengujian kuat lentur beton 33
Gambar 3. 9 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton 34
Gambar 3. 10 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton..... 34
Gambar 3. 11 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas 35
Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian..... 54
Gambar 5. 1 Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1 62
Gambar 5. 2 Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2 62
Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1 70
Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2 71
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen (FAS) 75
Gambar 5. 6 Grafik persen agregat halus terhadap kadar total yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm 77
Gambar 5. 7 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan 78
Gambar 5. 8 Grafik Pengujian Nilai Slump Pada Tiap Variasi 85
Gambar 5. 9 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap perawatan dan varian 90
Gambar 5. 10 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan perendaman sampel 1 99
Gambar 5. 11 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan ditutup karung goni sampel 1 100
Gambar 5. 12 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan perendaman..... 104
Gambar 5. 14 Nilai modulus elastisitas pada setiap variasi metode perawatan karung goni 104

Gambar 5. 15 Grafik nilai kuat lentur beton pada setiap metode rawatan dan variasi.....110
Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Antara Modulus Elastisitas Dengan Kuat Tekan 113
Gambar L-9. 1 Proses Pencetakan Sampel 280
Gambar L-9. 2 Proses Perawatan Ditutup Karung Goni..... 280
Gambar L-9. 3 Proses Perawatan Perendaman 281
Gambar L-10. 1 Saringan Agregat Halus..... 282
Gambar L-10. 2 Saringan Agregat Kasar..... 282
Gambar L-10. 3 Piknometer..... 282
Gambar L-10. 4 Timbangan digital..... 283
Gambar L-10. 5 Mesin Pengguncang Agregat Kasar..... 283
Gambar L-10. 6 Oven 283
Gambar L-10. 7 Compression Testing Machine 284
Gambar L-10. 8 Dial gauge..... 284
Gambar L-10. 9 Alat capping..... 284
Gambar L-10. 10 Universal testing machine 285
Gambar L-10. 11 Cetakan beton 285
Gambar L-10. 12 Ember 285
Gambar L-10. 13 Alat uji *slump*..... 286
Gambar L-10. 14 Sekop 286
Gambar L-10. 15 Concrete *mixer*..... 286
Gambar L-10. 16 Pan 287

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 *Time Schedule* 122
Lampiran 2 Laporan Hasil Pemeriksaan Agregat 123
Lampiran 4 Laporan Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa 138
Lampiran 5 Data Hasil Campuran Beton dengan Serbuk Kapur dan Abu SekamPadi Setiap Variasi 140
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Slump Beton 141
Lampiran 7 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**Error! Bookmark not defined.**
Lampiran 8 Pengujian Modulus Elastisitas..... 146
Lampiran 8 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas 273
Lampiran 9 Laporan Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton 275
Lampiran 10 Dokumentasi Benda Uji..... 276

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

PCC = *Portland Composite Cement*

MPa = Megapascal

Fas = 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 = Saturated Surface

ASP = Abu Sekam Padi

SK = Serbuk Kapur

ABSTRAK

Pembangunan berkelanjutan mendorong pengurangan penggunaan sumber daya alam, semen merupakan salah satu bahan bangunan yang membutuhkan banyak energi dalam produksinya yang sebagian besar berasal dari batu bara. Upaya mengurangi penggunaan semen dalam campuran beton melalui penerapan pembangunan berkelanjutan dan menghemat energi, limbah seperti abu sekam padi dan serbuk kapur dapat dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu sekam padi dan serbuk kapur sebagai bahan substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur dengan menggunakan dua metode perawatan yaitu perendaman dan penutupan dengan karung goni. Pada penelitian ini, bahan substitusi serbuk kapur digunakan dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen, sedangkan abu sekam padi sebesar 10%. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Perhitungan mix design dilakukan menggunakan SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 25 MPa. Jumlah sampel yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak 64 buah sampel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode penutupan karung goni menghasilkan kuat tekan dan modulus elastisitas lebih tinggi pada variasi 0%, 5%, dan 10% dibandingkan metode perendaman. Kuat tekan maksimal pada metode perendaman terdapat pada variasi 0% sebesar 25,11 MPa, dan pada metode karung goni sebesar 29,56 MPa. Modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469 juga tercapai pada variasi 0%, yaitu 23777,20 MPa perendaman dan 26063,03 MPa ditutup karung goni.Sementara itu, kuat lentur maksimal pada perendaman dicapai pada variasi 5% sebesar 3,794 MPa, sedangkan pada metode ditutup karung goni diperoleh pada variasi 0% sebesar 3,268 MPa.

Kata kunci: Substitusi semen, Metode perawatan, Kuat Tekan, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

Sustainable development encourages the reduction of natural resource usage, cement is one of the building materials that requires a lot of energy in its production, most of which comes from coal. Efforts to reduce the use of cement in concrete mixtures through the implementation of sustainable development and saving energy, waste such as rice husk ash and lime powder can be utilized as cement substitute materials in concrete mixtures. This study aims to determine the effect of using rice husk ash and lime powder as partial cement substitute materials on compressive strength, elastic modulus, and flexural strength using two treatment methods, namely soaking and covering with burlap sacks. In this study, lime powder substitute materials were used with variations of 0%, 5%, 10%, and 15% of the weight of cement, while rice husk ash was 10%. Testing was carried out at a concrete age of 28 days. Mix design calculations were carried out using SNI 2834-2000 with a planned quality of 25 MPa. The number of samples made in this study was 64 samples.

The results showed that the burlap sack covering method produced higher compressive strength and modulus of elasticity at variations of 0%, 5%, and 10% compared to the immersion method. The maximum compressive strength in the immersion method was found at a variation of 0% of 25.11 MPa, and in the burlap sack method of 29.56 MPa. The modulus of elasticity based on ASTM C-469 was also achieved at a variation of 0%, namely 23777.20 MPa immersion and 26063.03 MPa covered with burlap sack. Meanwhile, the maximum flexural strength at immersion was achieved at a variation of 5% of 3.794 MPa, while in the burlap sack covering method it was obtained at a variation of 0% of 3.268 MPa.

***Keywords**: Cement substitution, Curing method, Compressive Strength, Modulus of Elasticit*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah campuran yang terdiri dari semen portland atau jenis semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, baik dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*). Beton memiliki berbagai keunggulan, seperti kemampuan untuk dibentuk sesuai kebutuhan, memiliki kekuatan tekan yang tinggi, dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Kelebihan-kelebihan ini menjadikan beton sangat populer dalam dunia konstruksi. Namun, untuk mencapai kekuatan yang diinginkan ada beberapa faktor harus diperhatikan seperti kualitas bahan penyusun beton, proses pencampuran, pemadatan, dan perawatan beton.

Konsep pembangunan berkelanjutan yang bertujuan mengurangi pemakaian sumber daya alam telah menjadi topik populer di seluruh dunia dalam beberapa tahun terakhir. Tidak dapat dipungkiri bahwa semen merupakan salah satu bahan bangunan yang membutuhkan banyak energi dalam produksinya yang sebagian besar berasal dari batu bara. Upaya penurunan kadar semen pada beton melalui teknologi beton berkontribusi pada konsep keberlanjutan karena upaya tersebut akan menghemat sumber energi di Indonesia.

Bahan-bahan limbah di sekitar lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton, salah satunya adalah abu sekam padi. Beberapa penelitian terdahulu menyatakan abu sekam padi mengandung unsur-unsur yang bermanfaat dalam meningkatkan kuat tekan pada beton. Selain itu, serbuk kapur juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian dari semen untuk meningkatkan efisiensi material di industri konstruksi.

Abu sekam padi didapatkan dari hasil pembakaran limbah sekam pertanian padi yang mempunyai kandungan silika mencapai 87%-97% dari berat kondisi kering (Handayani, Nurjanah, & Rengga, 2014). Abu sekam padi termasuk jenis material bersifat pozolan yang dapat bermanfaat untuk meningkatkan sifat-sifat beton. Material tersebut sangat berlimpah di Indonesia karena Indonesia termasuk

negara dengan hasil padi yang besar dimana jumlah produksi mencapai kurang lebih 54 juta ton (Bhandari & Gaese, 2008). Pemanfaatan sekam padi dapat mengurangi limbah hasil penggilingan padi.

Berdasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Farhan dkk(2023) menyebutkan bahwa variasi penambahan abu sekam padi yang optimal bernilai 10% dari semen. Sedangkan, pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hardiyati dkk (2023) juga menyebutkan bahwa variasi penambahan abu sekam padi yang optimal bernilai 10% sedangkan pada campuran 15% mengalami penurunan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putra (2024) menyebutkan bahwa beton menggunakan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen dengan metode rawatan yang berbeda dapat meningkatkan mutu beton dengan presentase tertentu. Untuk metode rawatan ditutup dengan karung goni hasil penelitian menunjukan semakin banyak persentase kapur yang ditambahkan, semakin meningkat mutu beton. Hasil penelitian ini bertolak belakang dengan penelitian yang dilakukan oleh Taurano (2021) mengenai pengaruh kapur dalam campuran beton. Hasil dari penelitian Taurano (2021) menunjukan penurunan kuat tekan pada umur ke-21 dan 28 hari, dengan metode rawatan perendaman.

Dalam penelitian ini, penulis akan menambahkan abu sekam padi dan serbuk kapur sebagai pengganti sebagian semen yang digunakan dalam pembuatan beton, untuk mencari dan menguji nilai kuat tekan optimal pada beton dengan variasi abu sekam padi 10% berdasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Farhan dkk(2023) dan penelitian Hardiyati dkk (2023). Serbuk kapur yang akan digunakan 5%, 10% dan 15% berdasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Putra (2024). Metode rawatan yang digunakan direncanakan menggunakan dua metode yaitu perendaman dan karung goni, untuk melihat pengaruh metode perawatan terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

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

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui bagaimana pengaruh abu sekam abu padi dan serbuk kapur sebagai subtitusi semen dengan pengaruh variasi rawatan beton 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 variasi rawatan beton dengan campuran abu sekam padi 10% dan serbuk kapur pada variasi 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan dan informasi mengenai pembuatan beton dengan bahan tambah abu sekam padi dan kapur sebagai bahan pengganti semen
2. Menjadi acuan untuk penerapan beton normal dengan penambahan serbuk kapur dan abu sekam padi dalam konstruksi nasional.
3. Sebagai acuan bagi peneliti selanjutnya mengenai pengaruh variasi rawatan beton dengan campuran serbuk kapur dan abu sekam padi terhadap nilai kuat tekan, kuat belah, dan modulus elastisitas

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton rencana sebesar 25 MPa

2. Serbuk kapur sebagai bahan campuran dengan perbandingan persentase 5%, 10%, dan 15% dari semen berdasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Putra (2024).
3. Subtitusi abu sekam padi sebesar 10% dari semen berdasarkan pada penelitian sebelumnya oleh Farhan dkk(2023) dan penelitian Hardiyati dkk (2023).
4. Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini lolos saringan No. 30
5. Metode Mix Design menggunakan SNI 2834-2000.
6. Semen yang dipakai adalah semen Tiga Roda Type I.
7. Agregat kasar yang digunakan berupa agregat kasar batu pecah dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dengan ukuran maksimum 20 mm yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.
8. Agregat halus dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia yang berasal dari Progo, Kulon Progo.
9. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
10. Perawatan beton dilakukan dengan metode pererendam dan ditutup karung goni dengan waktu perawatan 28 hari.
11. 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 Tinjauan umum

Tinjauan terhadap penelitian terdahulu bertujuan untuk mengidentifikasi hal-hal yang relevan atau berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Melalui tinjauan ini, penulis dapat membandingkan atau mengkomparasi objek penelitian, sehingga mencegah terjadinya pengulangan penelitian yang akan dilakukan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Adapun Peneliti terdahulu yang dapat dipakai sebagai acuan untuk tinjauan Pustaka pada penelitian yang akan dilaksanakan oleh peneliti. Terdapat 5 (lima) Penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang memilih hasil sebagai berikut.

1. Analisis Kuat Tekan Beton K175 Dengan Campuran Serbuk Kapur Dan Sertbuk Batu Bata Untuk Penghematan Semen Sebagai Bahan Pengikat Dasar. (Cruz, 2020)

   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. Benda uji yang akan dipakai dalam pengujian ini berupa benda uji kubus 15x15x15 cm. Metode perhitungan mix desain yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode SNI 03-1974-1990 (Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal). Dasi hasil penelitian diatas beton dengan campuran 10%

kapur dan bubuk bata merah dapat digunakan sebagai bahan untuk banguan struktural karene memiliki kuat tekan yang optimal dibanding dengan beton normal. Beton dengan campuran tambahan kapur dan bata merah sebesar 20% juga dapat digunakan sebagai bahan bangunan struktural nilai kuat tekan dari beton tersebut masi berada di atas kuat tekan beton normal.

2. Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton. (Farhan, 2023)

   Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambahan dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Sampel yang digunakan berupa beton berbentuk silinder dengan mutu-rencana beton fc' 20 MPa. Penelitian ini menggunakan variasi penambahan abu-sekam padi pada beton sebanyak 0%, 6%, 8%, 10%, dan 12% terhadap berat semen. Uji kuat tekan beton dilakukan pada benda uji dengan umur 28 hari. Berdasarkan pengujian kekuatan tekan beton, didapatkan besar kuat tekan beton rata-rata pada sampel beton variasi abu sekam padi 0% sebesar 23,38 MPa, beton dengan variasi penambahan 6% sebesar 25,83 MPa, beton variasi penambahan 8% sebesar 27,42 MPa, beton dengan variasi penambahan 10% sebesar 29,32 MPa, dan beton dengan variasi penambahan 12% sebesar 27,48 MPa. Peningkatan nilai kuat tekan beton terjadi pada penambahan campuran 6%, 8%, dan 10% abu sekam padi. Kekuatan tekan beton optimal didapatkan pada beton variasi penambahan abu sekam padi 10%, yaitu sebesar 29,32 MPa.

3. Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pembuatan Beton Normal Di Kabupaten Manokwari Selatan. (Hardiyat, 2023),

   Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton normal dengan menggunakan campuran limbah abu sekam padi, mengetahui komposisi perbandingan penambahan abu sekam padi yang menghasilkan kuat tekan optimal pada beton normal dan mengetahui pengaruh abu sekam padi sebagai bahan pengganti sebagian semen pada pembuatan beton normal. Penelitian untuk mempelajari campuran limbah abu sekam padi dengan variasi konsentrasi 0%, 5%, 10% dan 15% sebagai bahan pengganti sebagian

semen. Analisis data dilakukan pada penelitian ini yaitu kuat tekan beton, pengujian dilakukan pada saat beton berumur 28 hari. Untuk standar uji kuat tekan beton digunakan SNI 1974-2011. Dari hasil penelitian diatas didapatkan nilai kuat tekan beton normal dengan menggunakan campuran limbah abu sekam padi yaitu sampel beton normal menggunakan pasir pantai tanpa campuran 0% abu sekam padi (T1) memiliki nilai rata-rata sebesar 24,16 MPa, beton normal variasi sebagian semen dengan campuran 5% abu sekam padi (T2) memiliki nilai rata-rata sebesar 28,03 MPa, beton normal variasi sebagian semen dengan campuran 10% abu sekam padi (T3) memiliki nilai rata-rata sebesar 29,06 MPa dan beton normal variasi sebagian semen dengan campuran 15% abu sekam padi (T4) memiliki nilai rata-rata sebesar 28,69 MPa. Berdasarkan nilai kuat tekan yang diperoleh, yang mencapai kuat tekan optimal yaitu pada variasi T3 dikarenakan nilai berat jenis yang rendah yaitu 2361,14 kg/m^3 dan memiliki kuat tekan yang tinggi yaitu 29,06 MPa.

4. Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton. (Devi, 2024)

   Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan abu sekam padi dan limbah granit terhadap karakteristik beton. Metode penelitian yang digunakan adalah metode uji coba atau eksperimental. Tahapan awal adalah mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, selanjutnya melakukan uji karakteristik material penyusun berupa uji agregat halus dan agregat kasar berupa batu pecah dan limbah granit, kemudian melakukan pembuatan benda uji, pengujian beton segar berupa slump dan *setting time*, kemudian dilanjutkan dengan pencetakan benda uji menggunakan cetakan silinder 10 cm x 20 cm, perawatan (*curing*) benda uji, serta pengujian beton yang telah mengeras yaitu uji berat jenis dan kuat tekan beton. Penggunaan abu sekam padi sebanyak 5%, 10%, dan 15% sebagai subtitusi semen dan subtitusi agregat kasar berupa limbah keramik granit sebanyak 5%, 7,5%, 10%. Pengujian berat jenis dan kuat tekan setelah proses curing dan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis beton normal adalah sebesar 2292,99 kg/m^3 . Beton dengan variasi subtitusi abu

sekam padi dan variasi subtitusi granit termasuk kedalam beton normal dikarenakan memiliki berat jenis beton normal yang sesuai standar SNI 03-2834-2000 yaitu 2200-2500 kg/m^3 . Limbah granit memiliki nilai berat jenis yang lebih besar dibandingkan batu pecah oleh karena itu limbah granit yang digunakan dalam campuran beton membuat beton menjadi sedikit lebih berat. Penggunaan abu sekam padi dengan subtitusi 10% dan limbah keramik granit subtirusi 7,5% mengasilkan berat jenis beton tertinggi yaitu 2496,82 kg/m^3 . Berdasarkan uji kuat tekan beton tanpa campuran subtitusi A0-G0 memiliki kuat tekan 25,44 MPa. Beton yang menggunkan abu sekam padi dapat mempengaruhi hasil kuat tekan beton. Penggunaan abu sekam padi yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi adalah sebesar 10% dengan hasil kuat tekan 28,07 MPa. Maka abu sekam padi dan limbah granit dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dengan optimum penggunaan abu sekam padi sebagai subtitusi semen adalah sebesar 10% dan limbah granit sebesar 7,5%.

5. Perbandingan Metode Rawatan Beton Menggunakan Campuran Serbuk Kapur Terhadap Kuat Tekan Beton. (Putra, 2024)

   Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh metode rawatan beton pada beton dengan kandungan serbuk kapur sebagai pengganti semen. *Mix design* menggunakan SNI 2834-2000 dengan kuat tekan beton yaitu 25 MPa, dengan benda uji silinder berdiameter 15 x 30 cm. Hasil perencanaan campuran beton dengan angka penyusutan 25% setiap 1m^3. Variasi campuran serbuk kapur sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dengan metode perendaman dan ditutup karung goni. Berdasarkan hasil pengujian pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan pada metode perendaman optimal di variasi 10% dengan kuat tekan 31,77 MPa dan pada metode ditutup karung goni variasi 15% dengan kuat tekan 25,80 MPa. penelitian ini, diketahui pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi metode perawatan beton, tetapi secara umum kuat tekan dengan metode perendaman lebih tinggi dibanding dengan metode ditutup karung goni.

2.2 Perbandingan

Perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang dapat dilihat di halaman selanjutnya.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penulis (2025)
Peneliti	**Johanes da Cruz (2020)**	**Muhammad Farhan (2023)**	**Candra Hardiyati (2023)**	**Debby Sinta Devi (2024)**	**Reza Risnanda Suyudi Putra (2024)**	
Judul Penelitian	Analisis Kuat Tekan Beton K175 Dengan Campuran Serbuk Kapur Dan Sertbuk Batu Bata Untuk Penghematan Semen Sebagai Bahan Pengikat Dasar	Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pembuatan Beton Normal Di Kabupaten Manokwari Selatan	Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton	Perbandingan Metode Rawatan Beton Menggunakan Campuran Serbuk Kapur Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi dan Serbuk Kapur Sebagai Subtitusi Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur Beton Dengan Metode Rawatan Perendaman dan Karung Goni
Tujuan Penelitian	Tujuan penelitian ini untuk melakukan analisa terhadap kuat tekan beton normal yang dibandingkan dengan kuat tekan beton yang dicampur	Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan abu sekam padi sebagai bahan tambahan dapat mempengaruhi	Tujuan dari penelitian ini yaitu agar mengetahui nilai kuat tekan optimal pada beton dengan variasi abu sekam padi.	Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penggunaan abu sekam padi dan limbah granit terhadap karakteristik beton.	Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh metode rawatan beton pada beton dengan kandungan serbuk kapur sebagai pengganti semen.	Mengetahui bagaimana pengaruh abu sekam abu padi dan kapur sebagai subtitusi semen dengan pengaruh rawatan beton terhadap nilai kuat tekan, kuat lentur dan modulus elastisitas pada usia 28 hari.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penulis (2025)
Peneliti	**Johanes da Cruz (2020)**	**Muhammad Farhan (2023)**	**Candra Hardiyati (2023)**	**Debby Sinta Devi (2024)**	**Reza Risnanda Suyudi Putra (2024)**	
	dengan serbuk kapur dan serbuk batu bata.	nilai kuat tekan beton.				
Parameter Uji	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Berat jenis dan kuat tekan	Kuat tekan beton	Kuat Tekan Beton, Modulus Elastisitas, dan Kuat Tarik Dengan Metode Rawatan Perendaman dan Karung Goni
Varian Penelitian	Variasi prosentase yang digunakan adalah sebesar 5%, %, 10%, 20%, terhadap berat semen	penambahan abu-sekam padi pada beton sebanyak 0%, 6%, 8%, 10%, dan 12% terhadap berat semen	Penambahann limbah abu sekam padi dengan variasi konsentrasi 0%, 5%, 10% dan 15%	Penggunaan abu sekam padi sebanyak 5%, 10%, dan 15% dan subtitusi agregat kasar berupa limbah keramik granit sebanyak 5%, 7,5%, 10%.	Serbuk kapur sebesar 5%, 10%, 15% sebagai subtitusi semen dengan metode rawatan	abu sekam padi 10% dan serbuk kapur pada variasi 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penulis (2025)
Peneliti	**Johanes da Cruz (2020)**	**Muhammad Farhan (2023)**	**Candra Hardiyati (2023)**	**Debby Sinta Devi (2024)**	**Reza Risnanda Suyudi Putra (2024)**	
Bahan Tambah	Serbuk Kapur Dan Serbuk Batu Bata	Abu-Sekam Padi	Abu-Sekam Padi	Abu sekam padi dan keramik	Abu sekam padi dan serbuk bata ringan	Abu Sekam Padi dan Serbuk Kapur
Hasil Penelitian	hasil penelitian diatas beton dengan campuran 10% kapur dan bubuk bata merah dapat digunakan sebagai bahan untuk banguan struktural karene memiliki kuat tekan yang optimal dibanding dengan beton normal.	Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan beton terjadi pada penambahan campuran 6%, 8%, dan 10% abu sekam padi. Kekuatan tekan beton optimal didapatkan pada beton variasi penambahan abu sekam	Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai kuat tekan beton meningkat pada penambahan campuran 5% dan 10% dengan nilai optimal diangka campuran 10% sedangkan pada campuran 15% mengalami penurunan.	Penggunaan abu sekam padi dengan subtitusi 10% dan limbah keramik granit subtirusi 7,5% mengasilkan berat jenis beton tertinggi yaitu 2496,82 kg/m3. Penggunaan abu sekam padi yang menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi adalah sebesar 10% dengan hasil kuat tekan 28,07 Mpa.	Hasil pengujian pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan pada metode perendaman optimal di variasi 10% dengan kuat tekan 31,77 MPa dan pada metode ditutup karung goni variasi 15% dengan kuat tekan 25,80 MPa.	

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Penelitian Terdahulu						Penulis (2025)
Peneliti	**Johanes da Cruz (2020)**	**Muhammad Farhan (2023)**	**Candra Hardiyati (2023)**	**Debby Sinta Devi (2024)**	**Reza Risnanda Suyudi Putra (2024)**	
	Beton dengan campuran tambahan kapur dan bata merah sebesar 20% juga dapat digunakan sebagai bahan bangunan struktural nilai kuat tekan dari beton tersebut masi berada di atas kuat tekan beton normal.	padi 10%, yaitu sebesar 29,32 MPa.				

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Berdasarkan SNI 2847:2013 definisi beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana (f'c) pada usia 28 hari. Beton normal yaitu elemen yang sangat berat, berat jenisnya mencapai 2400 kg/m^3. Beton adalah bahan bangunan yang dibentuk oleh pergeseran campuran antara semen Portland, air, agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah, udara dan bahan campuran tambahan atau additive memakai batu apung dan silica fume. Campuran yang masih plastis selanjutnya dihitung kedalam cetakan dan diberikan perawatan menggunakan cara perendam dalam air atau pembahasan menggunakan air pada permukaannya.

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:

1. Kelebihan
    a. Memiliki harga relatif murah karena material penyusunnya mudah didapat.
    b. Beton tahan terhadap panas dan karat sehingga hanya membutuhkan sedikit biaya perawatan
    c. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi, apabila dikombinasikan dengan baja yang memiliki kuat lentur tinggi maka akan menjadi suatu kesatuan struktur yang tahan tekan maupun tarik.

d. Pengerjaan mudah karena beton dapat dicetak dan dibentuk sesuai dengan keinginan.

2. Kekurangan
   a. Beton memiliki beberapa kelas kekuatan sehingga harus direncanakan sesuai dengan kebutuhannya.
   b. Material penyusun beton agregat halus maupun kasar bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga cara pengerjaannya juga bermacam-macam.
   c. Beton memiliki kuat Tarik yang rendah sehingga mudah retak, rapuh, dan getas.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Material penyusun beton terdiri atas agregat kasar, agregat halus, semen, air, maupun bahan tambah lainnya. Berikut ini uraian masing-masing material.

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan hasil dari batu-batuan alami atau berupa hasil mesin pemecah batu-batuan dengan memecah batu alam. Pada dasarnya beton biasanya terdapat sekitar 70-80 dan volume agregat terhadap volume keseluruhan beton, maka dari agregat itu sendiri mempunyai peranan penting dalam komposisi suatu beton (Mindesset dkk., 2003).

Ada 2 jenis agregat, yaitu: agregat halus dan agregat kasar. Deskripsi masing-masing agregat sebagai berikut.

1. Agregat kasar

Menurut SNI 03-1969-2008, agregat kasar adalah kerikil yang terbentuk secara alami dari hasil peluruhan batuan atau dapat berupa batu pecah hasil proses penghancuran batu industri. Ukuran partikel agregat kasar antara 4,75 mm sampai 50 mm. Agregat kasar dalam campuran beton harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

   a. Agregat kasar terdiri dari partikel-partikel keras yang tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butiran pipih dapat digunakan jika proporsi butiran pipih tidak melebihi 20% dari berat total agregat.

Bahkan agregat kasar pun tidak akan pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.

b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. jika kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.
c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan apapun yang dapat merusak beton.
d. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali boleh dipakai bersama semen yang memiliki kadar alkali Natrium Oksida terjadinya pemuaian yang dapat membahayakan karena reaksi dari alkali-agregat.
e. Agregat kasar terdiri atas partikel-partikel dengan berbagai ukuran dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
    1) Sisa pada saringan 31,5 mm, harus mengandung agregat 0%.
    2) Sisa pada saringan 4 mm hendaknya kira-kira 90% sampai 98% dari berat agregat.
    3) Selisih sisa yang terakumulasi pada dua saringan berturut-turut maksimum 60% dan agregat minimum 10%.
f. Ukuran partikel maksimum agregat kasar tidak boleh melebihi persyaratan sebagai berikut.
    1) 1/5 dari jarak cetak minimum.
    2) 1/3 tebal pelat.
    3) 3/4 jarak minimum antar batang atau balok tulangan.

Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	**Persentase berat bagian yang lewat ayakan**	
	Ukuran nominal agregat (mm)	
	40 mm	10 mm
40	95-100	100
20	37-70	95-100
10	10-40	30-60
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 03-1969-2008

2. Agregat halus

Menurut SNI 03-1970-2008, agregat halus (pasir) adalah mineral alam yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran beton dengan ukuran partikel kurang dari 4,8 mm atau lolos dari ayakan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200. Agregat halus biasanya dihasilkan dari disintegrasi alami batuan alam atau pasir yang diperoleh dari alat pemecah batu pemecah batu (*stone crusher*). Pasir yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

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 di antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persentase 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

3.2.2 Semen

Semen portland adalah bahan berbentuk bubuk halus yang berfungsi sebagai perekat antara agregat kasar dan halus. Ketika bubuk ini dicampur dengan air, ia akan bereaksi dan mengeras, membentuk pengikat hidrolis. Saat semen dicampur dengan air, hasilnya adalah pasta semen. Jika agregat halus seperti pasir dicampurkan ke dalam pasta semen, maka terbentuklah mortar. Selanjutnya, ketika agregat kasar seperti kerikil ditambahkan ke dalam mortar, campuran ini berubah menjadi beton. Dalam proses ini, semen dan air bertindak sebagai komponen aktif, sementara pasir dan kerikil berperan sebagai bahan pengisi.

Semen terbagi lagi menjadi dua jenis yaitu semen hidrolik dan semen non hidrolik. Semen hidrolik adalah semen yang mengikat dan mengeras di dalam air. Sedangkan semen non hidrolik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, melainkan mengeras di udara.

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), jenis semen Portland yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Semen Tipe I adalah semen untuk keperluan konstruksi umum dan tidak mempunyai persyaratan khusus seperti jenis lainnya.
2. Semen Tipe II adalah semen untuk keperluan konstruksi yang mempunyai ketahanan sedang terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Semen Tipe III adalah semen untuk keperluan konstruksi yang memerlukan kekuatan awal yang tinggi.
4. Semen Tipe IV adalah semen yang digunakan dalam konstruksi dengan persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Semen Tipe V adalah semen yang digunakan dalam konstruksi asalkan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air berperan penting dalam proses pembuatan beton, terutama untuk mencapai kelecakan yang diperlukan saat beton dituangkan. Air dalam pembuatan beton sangat berperan besar karena dapat bereaksi dengan semen untuk membentuk pasta ikatan agregat. Menurut SNI 03-2847-2002, air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi beberapa kriteria, termasuk aman untuk

diminum, tidak memiliki rasa, tidak berbau, dan bebas dari bahan-bahan yang dapat merusak beton atau tulangannya, seperti minyak, asam, alkali, dan bahan berbahaya lainnya. (SNI 03-2847-2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung).

Selain berfungsi dalam pengikatan semen untuk membentuk pasta yang mengikat agregat, air juga digunakan dalam proses perawatan beton (*curing*) setelah beton dituangkan. Air yang digunakan untuk perawatan ini harus memenuhi standar yang lebih ketat dibandingkan dengan air untuk pencampuran beton, dengan persyaratan bahwa pH air tidak boleh lebih dari 6 dan sebaiknya mengandung sedikit kapur.

3.3 Bahan Tambah

3.3.1 Abu Sekam Padi

Abu Sekam Padi (ASP) adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembakaran sekam padi. Material ini memiliki sifat pozzolanic, yang berarti kandungan utamanya adalah silika, sehingga cocok untuk digunakan dalam campuran pozzolan kapur yaitu mengikat kapur bebas yang timbul pada waktu hidrasi semen. Pembakaran sekam padi pada suhu antara 400°-500° C menghasilkan silika amorphous, sementara pembakaran pada suhu di atas 1000° C menghasilkan silika kristalin. Silika amorphous yang dihasilkan dari ASP dianggap sebagai sumber potensial untuk produksi silikon murni, karbid silikon, dan tepung nitrid silikon. Komposisi Abu Sekam Padi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

Komponen	Persentase (%)
SiO_2	86,90 – 97,30
K_2O	0,58 – 2,58
NA_2O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe_2O_3	0,00 – 0,54

Lanjutan Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi

Komponen	Persentase (%)
P_2O_5	0,20 – 2,84
SO_3	0,10 – 1,13
CI	0,00 – 0,42

Sumber: Rochmah (2022)

Penelitian terdahulu Farhan dkk(2023) menyebutkan bahwa variasi penambahan abu sekam padi yang optimal bernilai 10% dari semen. Sedangkan, pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hardiyati dkk (2023) juga menyebutkan bahwa variasi penambahan abu sekam padi yang optimal bernilai 10% sedangkan pada campuran 15% mengalami penurunan. Maka pada penelitian ini digunakan 10% abu sekam padi sebagai subtitusi semen.



Gambar 3. 1 Abu Sekam Padi

(Sumber: Dokumen pribadi)

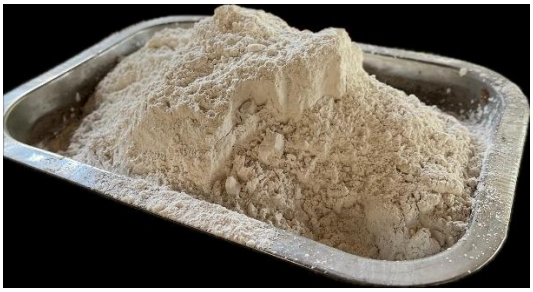
3.3.2 Serbuk Kapur

Serbuk kapur berasal dari batuan sedimen yang kaya akan mineral kalsium, dengan tiga senyawa utamanya yaitu kalsium karbonat, kalsium oksida, dan kalsium hidroksida. Serbuk kapur adalah salah satu komponen utama dalam proses produksi semen. Penambahan serbuk kapur dalam campuran semen juga berfungsi untuk mengatur rasio kalsium dan menstabilkan komposisi kimia dari semen, sehingga memastikan kualitas semen yang konsisten.

Serbuk kapur merupakan bahan yang sangat berguna dalam segala bentuk aktivitas manusia dan harganya relatif murah. Serbuk ini sering digunakan dalam berbagai kegiatan manusia, terutama di bidang konstruksi dan pertanian. 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.

Putra (2024) menyebutkan bahwa beton menggunakan campuran serbuk kapur sebagai substitusi semen dengan metode rawatan yang berbeda dapat meningkatkan mutu beton dengan presentase tertentu. Untuk metode rawatan ditutup dengan karung goni hasil penelitian menunjukan semakin banyak persentase kapur yang ditambahkan, semakin meningkat mutu beton. Hasil penelitian ini bertolak belakang dengan penelitian yang dilakukan oleh Taurano (2021) mengenai pengaruh kapur dalam campuran beton. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji temuan dari penelitian sebelumnya dengan menerapkan substitusi serbuk kapur sebanyak 5%, 10%, dan 15%.



Gambar 3. 2 Serbuk Kapur

(Sumber: Dokumen pribadi)

3.4 Metode Rawatan Beton

Perawatan beton ialah suatu tahap akhir pekerjaan pembetonan, yaitu menjaga agar permukaan beton segar selalu lembab, sejak dipadatkan sampai proses hidrasi cukup sempurna (kira-kira selama 28 hari). Kelembaban permukaan beton itu harus dijaga agar air didalam beton segar tidak keluar. Hal ini untuk menjamin proses hidrasi semen (reaksi semen dan air) berlangsung dengan sempurna. Bila hal ini tidak dilakukan, maka oleh udara panas akan terjadi proses penguapan air dari permukaan beton segar, sehingga air dari dalam beton segar mengalir keluar, dan beton segar kekurangan air untuk hidrasi, sehingga timbul retak-retak pada permukaan betonya. (Tjokrodimuljo, 2007).

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 metupakan 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.

3.5 Perencanaan Campuran Beton

Beton berkualitas tinggi dan sesuai dengan spesifikasi perencanaan merupakan hasil dari proses perencanaan campuran (*mix design*) yang cermat. Tujuan utama dari perencanaan campuran ini adalah untuk menentukan proporsi yang tepat dari setiap material yang digunakan, seperti semen, agregat, air, dan bahan tambahan lainnya, sehingga beton yang dihasilkan memiliki karakteristik yang diinginkan, seperti kekuatan, durabilitas, dan *workability*. Metode perencanaan campuran (*mix design*) yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000. Pemilihan standar ini dilakukan karena penelitian bertujuan untuk mengukur kekuatan beton normal. Berikut ini adalah tahapan–tahapan mix desain yang dilakukan.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan. Pada penelitian ini digunakan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa.
2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (SD). Untuk menentukan nilai deviasi standar dapat dilakukan dengan melihat tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Catatan: Jika jumlah benda uji yang digunakan 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.

   $M = 1{,}64 \times Sr$ (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 ditargetkan (f'cr)

   Untuk mengetahui kuat tekan rata-rata yang ditargetkan menggunakan persamaan 3.2 berikut.

   $f'cr = f'c + M$ (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. Menetapkan Jenis Semen Jenis semen dapat memengaruhi faktor air semen. Dalam penelitian ini digunakan semen tipe I dengan merek dagang Tiga Roda.
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus

   Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus diklasifikasikan ke dalam empat kategori berdasarkan gradasinya, yaitu pasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Sedangkan agregat kasar dibagi menjadi dua jenis, yaitu kerikil alam dan kerikil hasil pecahan batu.
7. Menentukan Faktor Air Semen (Fas)

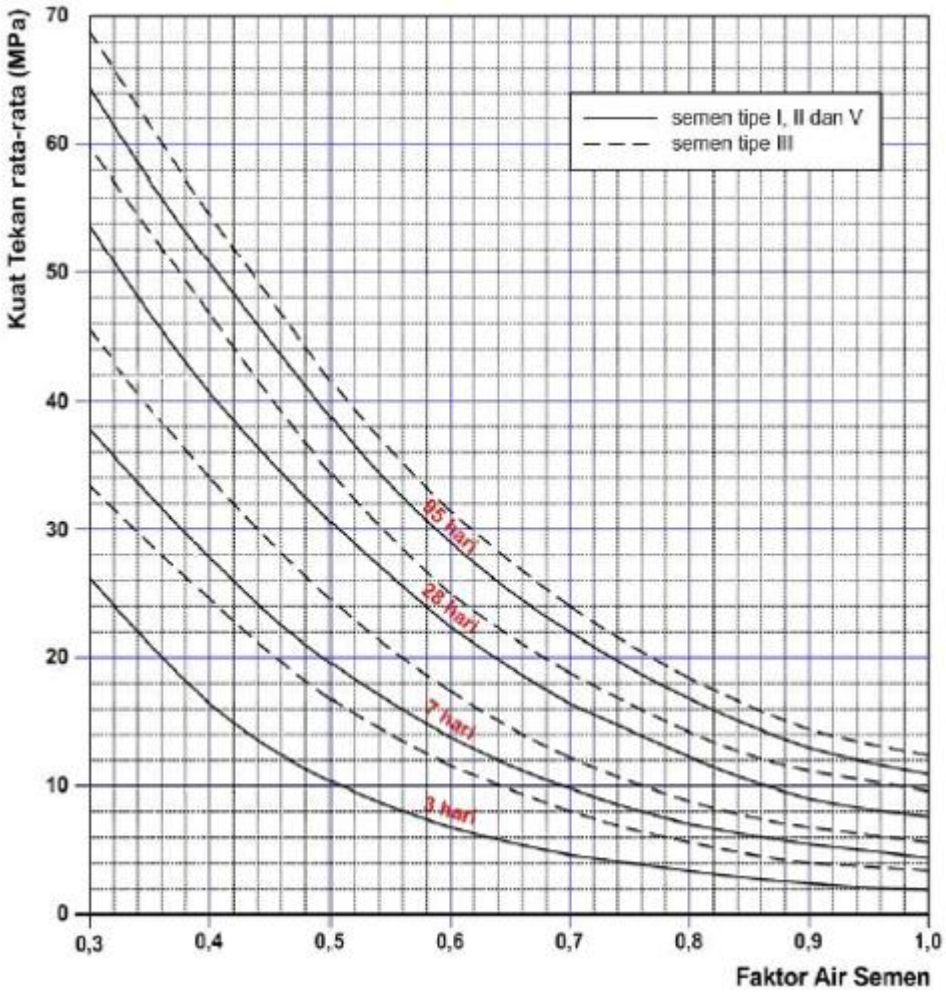
   Perbandingan antara berat air dan berat semen pada campuran beton disebut faktor air semen (fas). Nilai fas ini memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas beton yang dihasilkan, di mana terdapat hubungan berbanding terbalik dimana semakin tinggi nilai fas maka semakin rendah kekuatan beton yang dihasilkan, semakin rendah nilai fas maka semakin tinggi kekuatan beton yang diperoleh. Untuk menentukan faktor air semen dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.1 berikut.

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

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		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, IV	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	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 3.5, terlihat informasi mengenai jenis-jenis semen, jenis agregat kasar, bentuk benda uji, dan umur rencana yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Hal ini dapat membantu mengetahui nilai kuat tekan maksimum yang didapat dicapai dengan nilai fas 0,5. Sementara itu, untuk menentukan kurva lengkung yang menggambarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh dari Tabel 3.5 dengan faktor air-semen sebesar 0,5, dapat merujuk pada Gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder dengan Diameter 150 mm xTinggi 300 mm)

Sumber: SNI 03-2834-2000

8. Menentukan Nilai *Slump*

   Nilai *slump* adalah parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kelecakan beton yang akan mempengaruhi kemudahan dalam pengerjaan (*workability*). Penentuan nilai slump yang sesuai dengan penggunaan beton dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3. 6 Penetapan Nilai *Slump* Berdasarkan Pemakaian Beton

Pemakaian Beton	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, Pelat pondasi, dan Pondasi Tapak	125	50
Pondasi Tapak tidak bertulang, kaison dan struktur dibawah tanah	90	25
Pelat, balok, kolom dan dinding	150	75
Pengerasan Jalan	75	75
Pembetonan Masal	75	25

Sumber: SNI 03-2834-2000

9. Menentukan nilai kadar air bebas

   Kadar air bebas ditentukan pada Tabel 3.7 dan persamaan 3.3 berikut ini.

Tabel 3. 7 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 dipecah	150	180	203	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

W = 2/3 Wh + 1/3 Wk (3.3)

Dengan Keterangan sebagai berikut.

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

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

Wk = 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.

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

Dengan keterangan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (Kg/m^3)

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

fas = Faktor air semen (Kg/m^3)

11. Menentukan kadar air semen minimum

Kadar semen minimum di tetapkan pada Tabel 3.8 berikut ini.

Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan 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 korosi	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

Lanjutan Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah semen Minimum per m^3 beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah: a. Mengalami keadaan basah dan kering b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan: a. Air Tawar b. Air Laut		Tabel 6

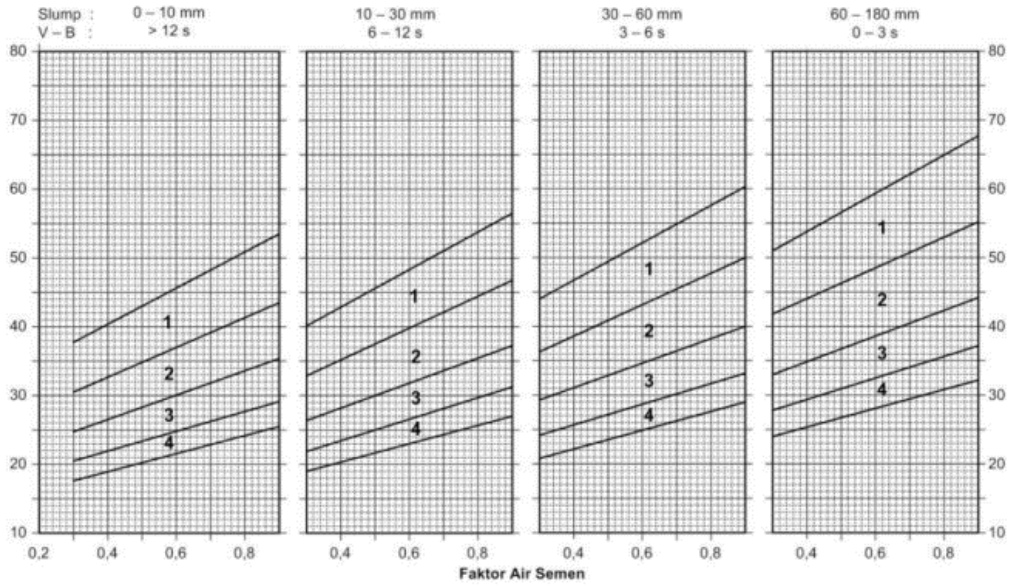
Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Menentukan besar butir agregat maksimum

    Dalam menentukan susunan butir agregat halus, langkah pertama yang dilakukan adalah uji analisis saringan untuk menentukan gradasi yang akan digunakan pada agregat halus tersebut.

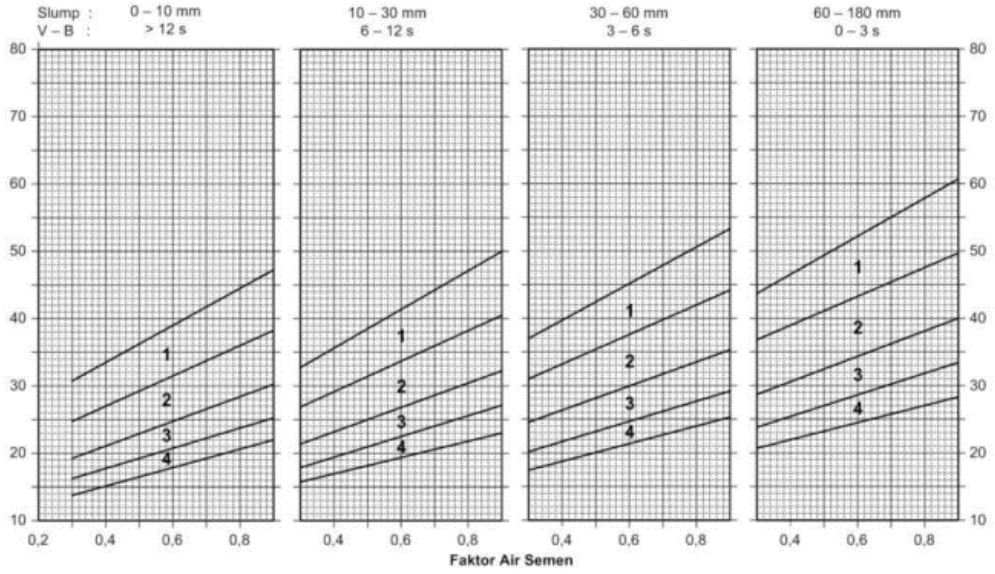
13. Menentukan berat jenis agregat halus dan agregat kasar

    Penentuan berat jenis agregat halus dan kasar dimulai dengan melakukan uji berat jenis untuk memperoleh nilai berat jenis agregat, dengan menggunakan berat jenis SSD sebagai acuannya. Persentase agregat halus dan kasar kemudian ditentukan menggunakan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan 3. 5 berikut.



Gambar 3. 4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3. 5 Grafik Persen Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Maksimum 40 mm

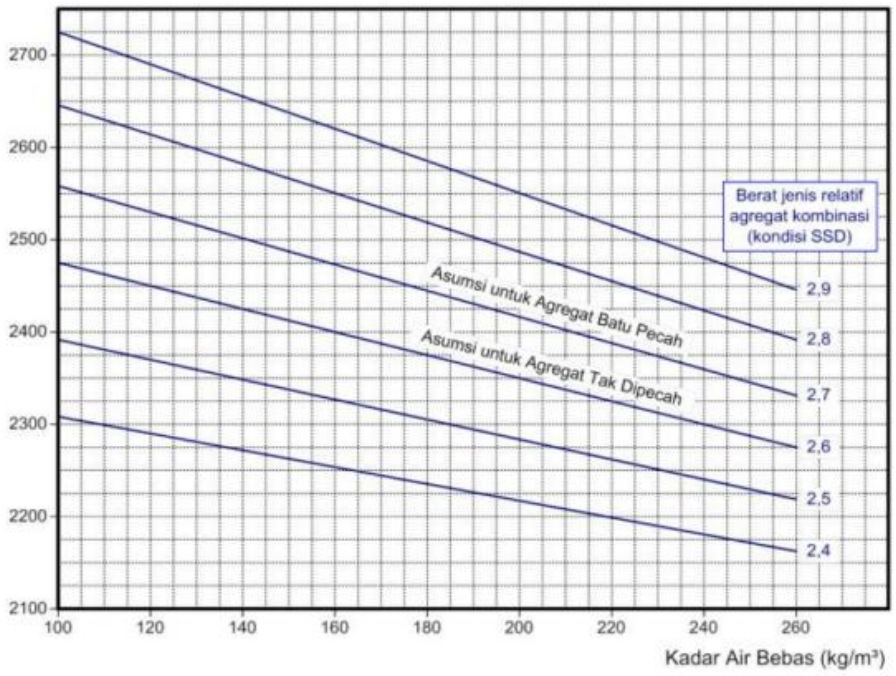
Sumber: SNI 03-2834-2000

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

a. Pada Gambar 3. 4 dan Gambar 3. 5 di atas, pemilihan grafik yang akan digunakan sesuai pada ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang telah direncanakan.
b. Tarik garis vertikal ke atas hingga mencapai kurva di atas antara 2 kurva yang menunjukan daerah gradasi pasir.
c. Setelah itu, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas ataupun batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilai yang didapatkan.
d. Hitung rata-rata nilai dari kedua nilai yang didapat dari grafik diatas.

Nilai persentase agregat kasar = 100% - persentase agregat halus

14. Berat jenis agregat yang diperoleh dihitung berdasarkan data dari hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung dengan menggunakan rumus 3.5 yang tertera di bawah ini.
15. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik pada gambar 3. 6 berikut ini.



Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Beton segar yang Telah Selesai Dipadatkan

Sumber: SNI 03-2834-2000

16. Gabungan kandungan agregat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6 dibawah ini.

    Kadar agregat total = Berat isi beton – Kadar semen – Kadar air bebas (3.6)

17. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 dibawah ini.

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

18. Kandungan gregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8 berikiut ini.

    Kadar agregat kasar = $\frac{\%\ Agregat\ Kasar}{100} \times Kadar\ agregat\ gabungan$ (3.8)

19. Menghitung kadar serbuk kapur dan abu sekam padi sebagai substitusi semen berat total agregat beton.

3.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan rasio antara besar beban dengan luas permukaan yang menyebabkan benda uji beton hancur ketika diberikan beban dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut Mulyono (2006), kuat tekan beton menunjukkan mutu struktur, di mana semakin tinggi kekuatan struktur yang diberikan, semakin baik mutu beton yang dihasilkan. Berdasarkan PBI (1971), kuat tekan standar diukur pada usia beton 28 hari, karena pada usia ini beton mencapai 100% kekuatannya. Kekuatan beton berdasarkan usia beton dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 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.

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

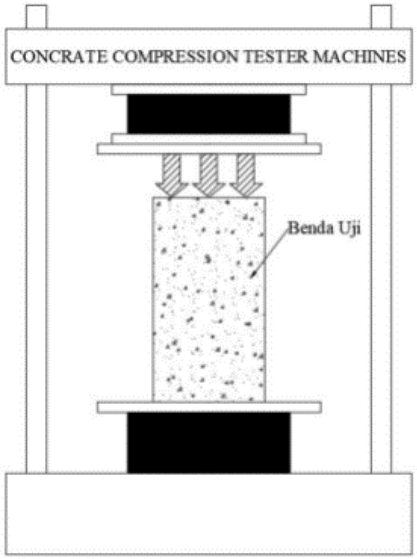
Dengan keterangan sebagai berikut.

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang yang menerima beban (mm^3)

Berikut adalah sketsa dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3. 7.



Gambar 3. 7 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

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)

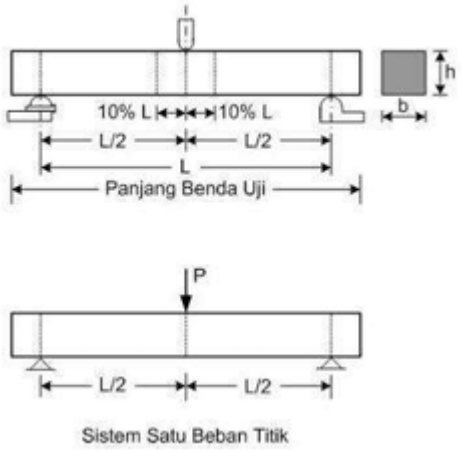
P = Beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji (N)

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. 8.



Gambar 3. 8 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.

$$Ec = \frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1} \quad (3.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

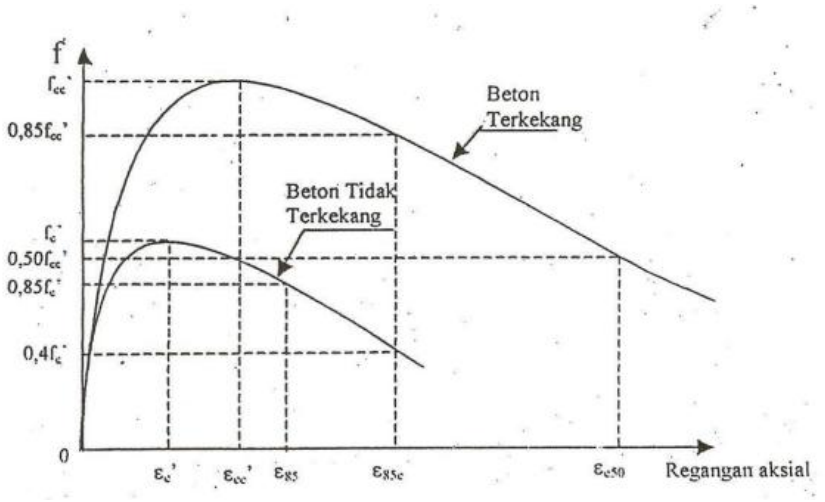
Ec = Modulus elastisitas (MPa)

$S2$ = Tegangan ketika 40% dari beban maksimum (MPa)

$S1$ = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa)

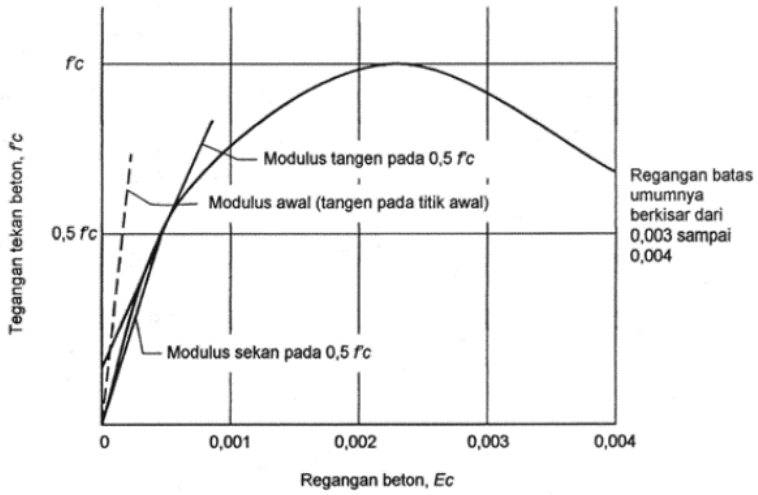
$\varepsilon 2$ = Regangan akibat Tegangan $S2$

$\varepsilon 1$ = 0,000050



Gambar 3. 9 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton

Kurva tersebut merupakan garis lurus pada pembebanan awal, maka modulus elastisitas kurva bersinggungan dengan kurva tegangan-regangan dari titik pusat. Kemiringan garis singgung didefinisikan sebagai koefisien modulus awal. Jika dibuat tangen pada titik pusat dengan tegangan kira-kira 0,4 x 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

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

   Ec = Wc 1,5 × 0,043 × $\sqrt{f'c}$ (3.12)

   Dengan keterangan sebagai berikut.

   Untuk Wc dengan rentang 1400-2560 kg/m^3

   Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)

   W = Berat volume beton normal (kg/m^3)

   f'c = Kuat tekan beton (MPa)

2. Jika tidak diketahui berat volumenya

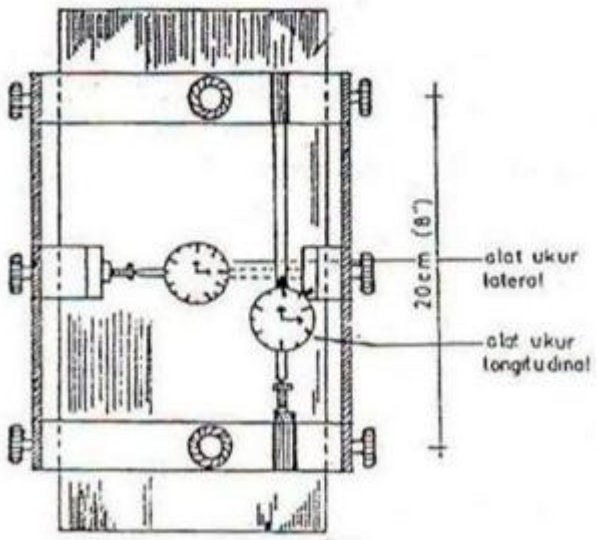
   Ec = 4700 × $\sqrt{f'c}$ (3.13)

   Dengan keterangan sebagai berikut.

   Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)

   f'c = Kuat tekan beton (MPa)

   Sketsa pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 3.11 sebagai berikut



Gambar 3. 11 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu sebuah metode penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara satu atau lebih variabel dengan cara memanipulasi variabel bebas dalam kondisi tertentu. Penelitian ini mencakup empat tahap utama, yaitu pengujian agregat, perencanaan campuran beton (*mix design*), pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh rawatan beton dengan bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kapur dan abu sekam padi. Abu sekam padi digunakan sebagai substitusi semen sebesar 10%, sesuai dengan nilai optimum yang ditemukan pada penelitian sebelumnya. Sedangkan, serbuk kapur digunakan sebagai pengganti semen dengan kadar 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

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 dan abu sekam padi 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 dan agregat kasar yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipi dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3. Air

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

4. Abu Sekam Padi

   Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sisa proses pembakaran batu bata Yogyakarta.

5. Serbuk Kapur

   Serbuk kapur yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Padalarang, Bandung Barat, Jawa Barat.

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. Catakan 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

   Pada penelitian ini bak penampung/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 higga 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. Pengujian dengan variasi campuran serbuk kapur saja tidak dilakukan karena berdasarkan penelitian terdahulu, seluruh variasi campuran menunjukkan peningkatan pada rentan nilai seperti penilitian yang akan dilakukan. Sementara itu, pengujian dengan campuran abu sekam padi saja juga tidak dilakukan karena nilai optimumnya telah diperoleh dari penelitian sebelumnya dengan persentase 10%. 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 Elastis	Silinder	Perendaman	SK 0%-ASP 0%	S1-A	5
				S2-A	
				S3-A	

Lanjutan Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
				S4-A	
				S5-A	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Perendaman	SK 5%-ASP 10%	S1-B	5
				S2-B	
				S3-B	
				S4-B	
				S5-B	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Perendaman	SK 10%-ASP 10%	S1-C	5
				S2-C	
				S3-C	
				S4-C	
				S5-C	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Perendaman	SK 15%-ASP 10%	S1-D	5
				S2-D	
				S3-D	
				S4-D	
				S5-D	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	SK 0%-ASP 0%	B1-A	3
				B2-A	
				B3-A	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	SK 5%-ASP 10%	B1-B	3
				B2-B	
				B3-B	
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	SK 10%-ASP 10%	B1-C	3
				B2-C	
				B3-C	

Lanjutan Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Lentur	Balok	Perendaman	SK 15%- ASP 10%	B1-D	3
				B2-D	
				B3-D	
Total Sampel					32

Keterangan:

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

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

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

S4-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan perendaman.

S5-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan perendaman.

S1-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S2-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S3-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S4-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S5-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

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

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

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

S4-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S5-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S1-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S2-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S3-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S4-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

S5-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

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

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

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

B1-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

B2-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

B3-B = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

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

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

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

B1-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

B2-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

B3-D = Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan perendaman.

Tabel 4. 2 Rincian Benda Uji Penyelimutan Karung Goni

Jenis Pengujian	Benda Uji	Metode Perawatan	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Penyelimutan karung goni	SK 0%- ASP 0%	SG1-A	5
				SG2-A	
				SG3-A	
				SG4-A	
				SG5-A	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Penyelimutan karung goni	SK 5%- ASP 10%	SG1-B	5
				SG2-B	
				SG3-B	
				SG4-B	
				SG5-B	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastis	Silinder	Penyelimutan karung goni	SK 10%- ASP 10%	SG1-C	5
				SG2-C	
				SG3-C	
				SG4-C	
				SG5-C	

Lanjutan Tabel 4. 2 Rincian Benda Uji

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

Keterangan:

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

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

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

SG4-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG5-A = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG1-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG4-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG5-B = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

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

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

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

SG4-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG5-C = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG1-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG2-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG3-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG4-D = Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 4, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

SG5-D= Uji Kuat Tekan + modulus elastisitas, sampel silinder 5, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG1-A= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG2-A= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG3-A= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 0%- ASP 0%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG1-B= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG2-B= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG3-B= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 5%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG1-C= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG2-C= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG3-C= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 10%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG1-D= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 1, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG2-D= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 2, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.
BG3-D= Uji Kuat Lentur, sampel silinder 3, kandungan campuran SK 15%- ASP 10%, metode rawatan penyelimutan karung goni.

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

4.6.1 Persiapan

Tahap persiapan merupakan langkah awal bagi penulis untuk merencanakan langkah-langkah yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Pada tahap ini, penulis melakukan studi literatur dari penelitian sebelumnya, buku, serta jurnal untuk dijadikan acuan dan menambah wawasan dalam melakukan penelitian. Selain itu, penyiapan terhadap bahan dan alat juga dilakukan demi kelancaran selama penelitian berlangsung.

4.6.2 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat merupakan pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar yang bertujuan untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat sebelum dilakukan perencanaan campuran beton (*mix desain*). Adapun macam-macam pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar beserta standar yang digunakan sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 03- 1970-2008)
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada (SNI 03- 1969-2008)
3. Pengujian analisa saringan agregat halus menggunakan SNI 03-1968-1990)
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar menggunakan (SNI 03-1968-1990)
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan (SNI 03-4804-1998)
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan (SNI 03-4804-1998)
7. Pengujian lolos saringan no.200 / kandungan lumpur mengacu pada (SNI 4142- 1996)

4.6.3 Perencanaan Campuran

Mix design (desain campuran) adalah proses menentukan proporsi yang tepat dari bahan-bahan penyusun beton, seperti semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah), air, serta bahan tambahan lainnya, agar

menghasilkan beton dengan kualitas, kekuatan, dan durabilitas yang sesuai dengan kebutuhan atau standar yang diinginkan. Tahapan mix desain yang menjadi acuan standar yaitu berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana 25 MPa. Adapun Langkah-langkah perencanaan campuran beton diterangkan sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton (f'c) rencana ditetapkan pada umur beton 28 hari. Kuat tekan beton direncanakan sebesar 25 MPa pada umur 28 hari
2. Nilai deviasi standar (S) ditetapkan berdasarkan Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

Sumber: SNI 03-2834-2000

Perhitungan deviasi standar didasarkan pada volume beton yang akan dibuat dan mutu pekerjaan. Dalam perencanaan campuran beton dan pada penelitian menggunakan nilai deviasi standar 7 MPa dengan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dianggap jelek, hal ini karena tidak memiliki pengalaman sebelumnya.

4.6.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur penelitian adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar dan agregat halus dikondisikan dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*) agar dalam pengerjaan pembuatan adukan beton tidak butuh menambah atau mereduksi penggunaan air.

2. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan campuran beton (*mix desain*) serta ditambahkan 10% - 20% setiap bahan untuk antisipasi bahan kurang akibat dari menempelkan bahan di mixer dan lainnya.
3. Setiap cetakan silinder diolesi pelumas seperti oli dan ditimbang beratnya.
4. Mesin pengaduk dihidupkan, dalam kondisi mesin berputar agregat halus dan agregat kasar dimasukkan, lalu semen. Serbuk kapur dan abu sekam padi diikuti air secara bertahap.
5. Pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.
6. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang lembab dan segera dilaksanakan pengujian slump.
7. Apabila nilai slump telah sesuai rencana, beton segar segera dimasukkan kedalam cetakan silinder yang telah disiapkan. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan juga dipukul-pukul bagian dinding cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat dan tanpa rongga udara.
8. Permukaan beton diratakan dengan mistar Perata dan diberi tanda setiap cetakannya.
9. Setelah satu jam air dalam permukaan beton (*water bleeding*) dipindahkan kedalam gelas ukur menggunakan pipet.

4.6.5 Pengujian Slump

Pengujian nilai slump diuji berdasarkan acuan SNI 1972-2008. Pengujian slump bertujuan untuk menentukan kekentalan/kelecakan beton segar agar mendapatkan nilai slump yang baik dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu beton rencana. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Kerucut abrams dibasahi terlebih dahulu dan diletakkan diatas permukaan yang datar, kaku, tidak menyerap air, lembab. Cetakan ditahan dengan kokoh oleh operator dan di bagian injakan cetakan selama pengisian beton segar.
2. Kerucut abram diisi dalam tiga lapis, untuk setiap lapisnya sepertiga dari volume cetakan.

3. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang penusuk. penusukan dilakukan secara merata di permukaan lapisan dan lapisan bawah pada bagian miring kerucut abram penusukan dilakukan secara miring. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan.
4. Pengisian adukan beton segar lapisan bagian atas diisi secara berlebih kemudian ditusuk 25 kali. Adukan beton ditambahkan kalau pemadatan menghasilkan beton segar turun di bawah ujung atas kerucut abram.
5. Permukaan beton segar diratakan di bagian atas kerucut dengan metode batang penusuk digelindingkan di atasnya.
6. Kerucut dilepaskan segera dari beton segar dengan mengangkat ke arah vertikal secara hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5±2 detik tanpa gerakan lateral dan torsional. Seluruh pekerjaan pengujian slump diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 ½ menit.
7. Setelah beton menunjukkan terjadi penurunan pada permukaan, tingginya diukur bandingkan tinggi kerucut dan catat hasil pengukurannya.

4.6.6 Perawatan Benda Uji

Untuk perawatan benda uji 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 perendalam 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.
2. Metode penyelimutan karung goni dilakukan dengan cara menyelimuti 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.

4.6.7 Pengujian Beton

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. Meletakan benda uji ke dalam dudukan mesin tekan dan pastikan dial beban menunjukan angka 0, ketika dial tidak menunjukan 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. Pedungjian 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 ektensiometer pada benda uji, kemudian pasang alat pengukur deformasi.
   d. Letakkan benda uji dalam mesin uji tekan, lalu jalankan mesin uji hidraulik akan menekan benda uji perlahan.

e. Lakukan pembacaan dan catat deformasi setiap peningkatan beban 10 kN.
f. Pembacaan selesai ketik 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.
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 menyentuk 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.

4.6.8 Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan perbandingan berdasarkan kategori variabel tertentu untuk memperoleh nilai yang terjadi seperti hubungan sebab akibat yang berkaitan dengan uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur serta perbedaan antara variasi bahan tambah yang digunakan terhadap mutu beton normal.

4.6.9 Pembahasan

Pembahasan merupakan tahapan dimana penulis membahas hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan jawaban terhadap

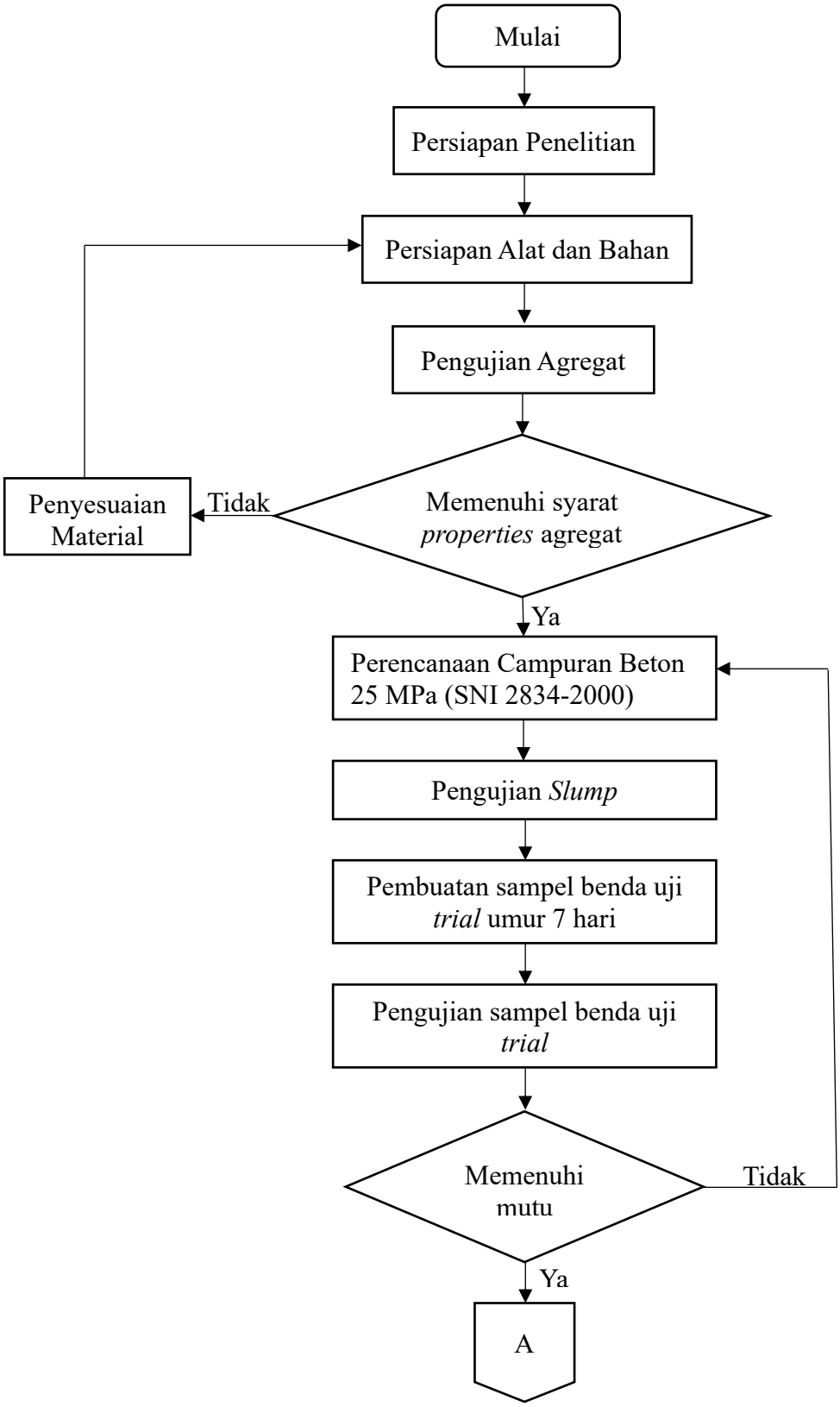
perbedaan yang ditemukaan pada saat melakukan perbandingan hasil pengujian pada tahap analisis pengujian.

4.6.10 Kesimpulan dan Saran

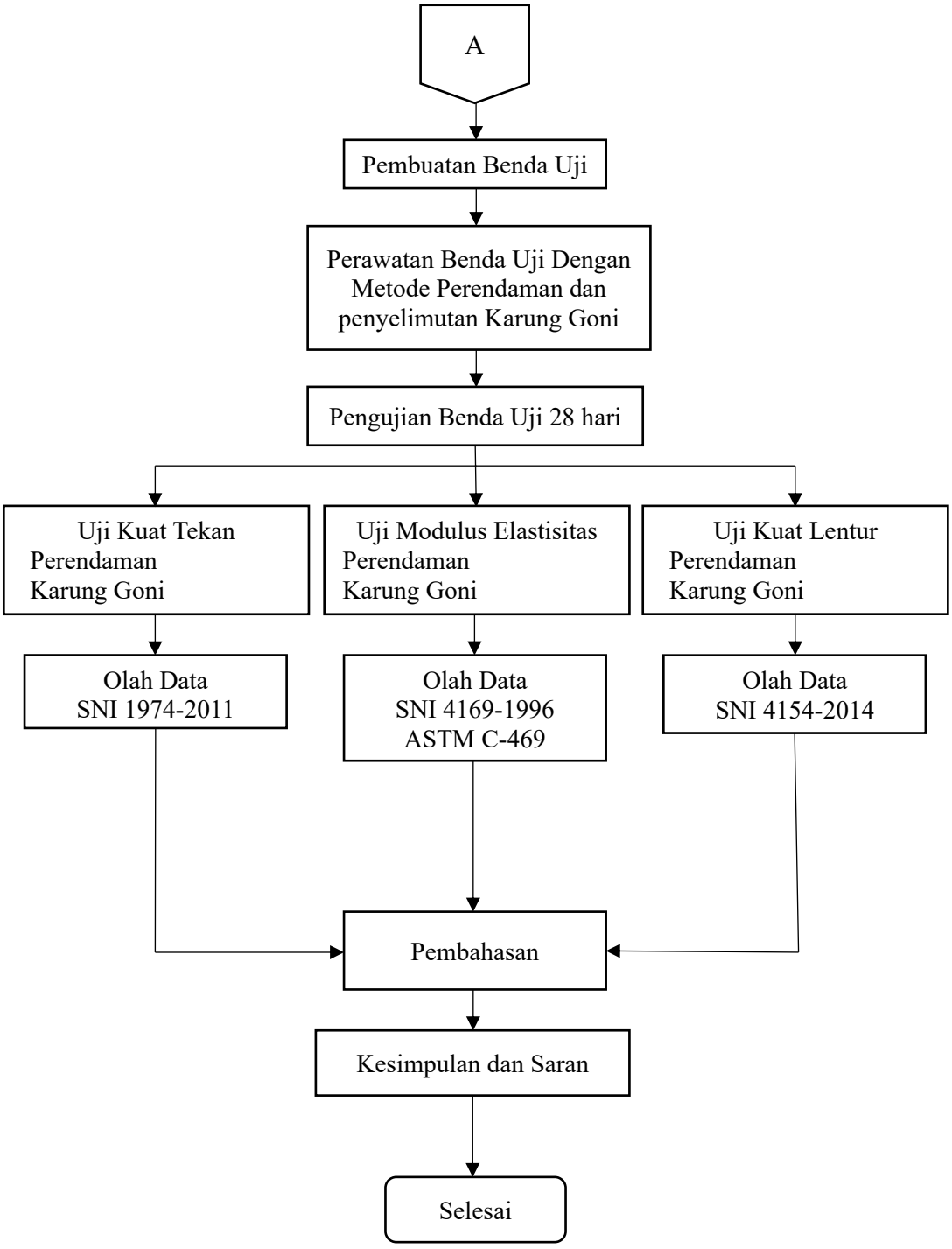
Kesimpulan dibuat sesuai dengan pembahasan dari hasil analisis pengujian yang dikaitkan dengan tujuan dari penelitian yang dilakukan, selain itu pada tahapan ini akan diberikan saran-saran yang dapat digunakan untuk pengujian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang telah dibuat.

4.7 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan selama proses penelitian. Bagan alir dapat membantu dalam melakukan evaluasi terhadap prosedur penelitian. Bagan alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 3 Diagram Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Data penelitian perlu dianalisis dan dibahas secara mendalam untuk mencapai tujuan yang telah dirumuskan dalam penelitian. Dalam bab ini, dijelaskan secara rinci hasil penelitian yang dilaksanakan oleh penulis di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT). Proses penelitian dimulai dengan pemeriksaan terhadap setiap komponen penyusun beton, seperti agregat halus, agregat kasar, semen, dan bahan tambahan lainnya. Tahap berikutnya adalah perencanaan campuran beton (mix design), di mana perbandingan proporsi bahan-bahan tersebut dihitung untuk menghasilkan beton dengan kualitas dan kekuatan yang diinginkan. Setelah perencanaan, dilakukan proses pencampuran bahan-bahan penyusun beton sesuai dengan perhitungan yang telah dibuat. Tahap akhir dari penelitian ini adalah pengujian terhadap beton yang telah diproduksi, dengan tujuan untuk mengevaluasi kualitas, kekuatan, dan performa beton yang dihasilkan berdasarkan parameter-parameter yang ditetapkan sebelumnya. Hasil dari seluruh rangkaian kegiatan ini akan menjadi dasar untuk menjawab pertanyaan penelitian dan mencapai tujuan penelitian secara keseluruhan.

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 pemeriksaaan material penyusun beton dibagi menjadi 2 yaitu pemeriksanaan 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 papdat 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

   Pelaksanaan pengujian ini digunakan dari SNI 03-1970-2008. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

   a. Berat Jenis Curah $= \frac{Bk}{\mathrm{B+500-Bt}}$

   $= \frac{490}{650+500-958}$

   $= 2{,}552$

   b. Berat Jenis (SSD) $= \frac{500}{\mathrm{B+500-Bt}}$

   $= \frac{500}{650+500-958}$

   $= 2{,}604$

   c. Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{\mathrm{B+Bk-Bt}}$

   $= \frac{490}{650+490-958}$

   $= 2{,}692$

   d. Penyerapan Air $= \frac{500-Bk}{\mathrm{Bk}}$ x 100%

   $= \frac{500-490}{490}$ x 100%

   $= 2{,}04\%$

   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)	490	488	489

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

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	

Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	958	948	953
Berat piknometer berisi air, gram (B)	650	650	650
Berat Jenis Curah, Bk / (B+500-Bt)	2,552	2,416	2,484
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), 500 / (B+500-Bt)	2,604	2,475	2,540
Berat Jenis semu, Bk / (B+Bk-Bt)	2,692	2,568	2,630
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	2,04%	2,46%	2,25%

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

a. Berat jenis jenuh kering muka (SSD) rata-rata = 2,540
b. Penyerapan air rata-rata = 2,25%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 03-1968-1990. 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.

a. Persentase berat tertinggal

1) Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{0}{1998} \; x \; 100\%$ = 0%
2) Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{40}{1998} \; x \; 100\%$ = 2,00%
3) Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{307}{1998} \; x \; 100\%$ = 15,37%
4) Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{680}{1998} \; x \; 100\%$ = 34,03%
5) Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{572}{1998} \; x \; 100\%$ = 28,63%
6) Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{319}{1998} \; x \; 100\%$ = 15,97%
7) Pan $= \frac{80}{1998} \; x \; 100\%$ = 4,00%

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

1) Lubang ayakan 4,8 mm = 0%

2) Lubang ayakan 2,4 mm = 0% + 2,00% = 2,00%
3) Lubang ayakan 1,2 mm = 2,00% + 15,37% = 17,37%
4) Lubang ayakan 0,6 mm = 17.37% + 34,03% = 51,40%
5) Lubang ayakan 0,3 mm = 51.40% + 28,63% = 80,03%
6) Lubang ayakan 0,15 mm = 80.03% + 15,97% = 96,00%
7) Pan = 96.00% + 4,00% = 100%

c. Persentase lolos kumulatif

1) Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 0% = 100%
2) Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 2,00% = 98,00%
3) Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 17,37% = 82,63%
4) Lubang ayakan 0,6 mm = 100% - 51,40% = 48,60%
5) Lubang ayakan 0,3 mm = 100% - 80,03% = 19,97%
6) Lubang ayakan 0,15 mm = 100% - 96,00% = 4,00%
7) Pan = 100% - 100% = 0%

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 1 sama seperti perhitungan sampel 2. Sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100
20,00	0	0,00	0,00	100
10,00	0	0,00	0,00	100
4,80	0	0,00	0,00	100
2,40	40	2,00	2,00	98,00
1,20	307	15,37	17,37	82,63
0,60	680	34,03	51,40	48,60

Lanjutan Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,30	572	28,63	80,03	19,97
0,15	319	15,97	96,00	4,00
Sisa	80	4,00	100	0,00
Jumlah	1998	100	247	
MHB				2,47

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	0	0,00	0,00	100,00
2,40	50	2,50	2,50	97,50
1,20	399	19,95	22,45	77,55
0,60	714	35,70	58,15	41,85
0,30	515	25,75	83,90	16,10
0,15	255	12,75	96,65	3,35
Sisa	67	3,35	100	0,00
Jumlah	2000	100	264	
MHB				2,64

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

a. Modulus halus butir 1 (MHB1) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{247}{100}$

$= 2{,}47$

b. Modulus halus butir 2 (MHB2) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{264}{100}$

$= 2{,}64$

c. MHB rata-rata $= \frac{MHB1+MHB2}{2}$

$= \frac{2{,}47+2{,}64}{2}$

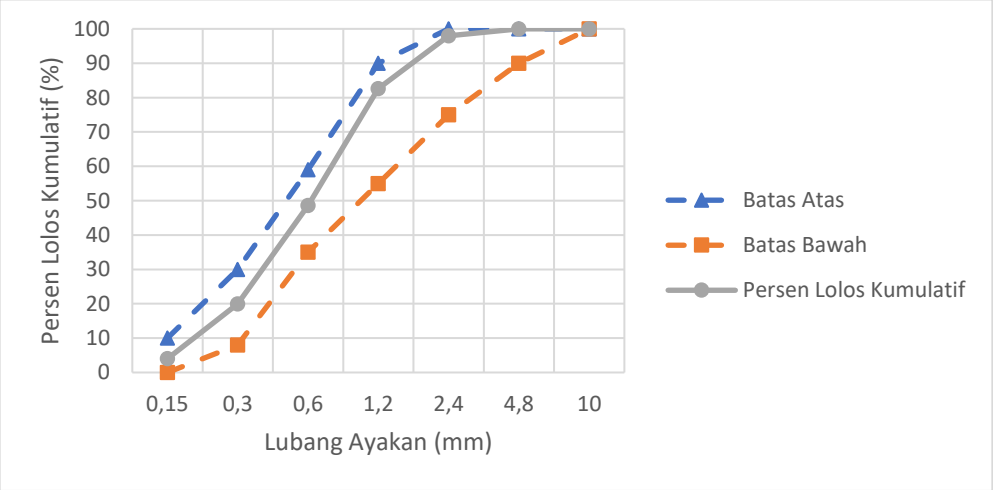
$= 2{,}55$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Pada dasarnya agregat halus memiliki modulus halus butir pada rentang 1,5-3,8 Menurut (Tjokrodimuljo, 2007). Pada pengujian ini didapatkan dari pengujian modulus halus butir tersebut didapatkan rata-rata 2,55 yang berarti agregat halus memenuhi syarat. Pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat halus. Daerah gradasi yang diperoleh dari pengujian modulus halus butir berada pada daerah gradasi 2. Daerah agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

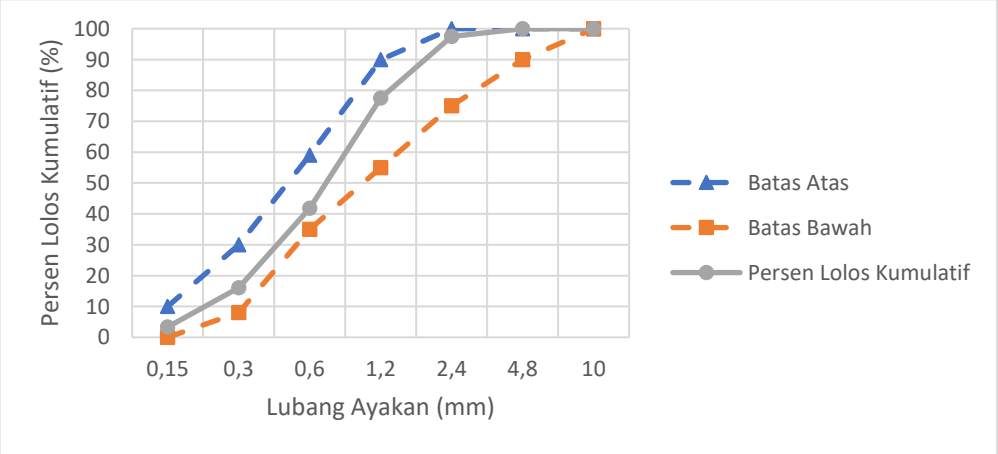
Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Agregat Halus

Gradasi 1		**Gradasi 2**		**Gradasi 3**		**Gradasi 4**	
Batas atas	**Batas bawah**	**Batas atas**	**Batas bawah**	**Batas atas**	**Batas bawah**	**Batas atas**	**Batas 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

Berdasarkan Tabel 5.4, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi II yaitu jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dan lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan gambar 5.2



Gambar 5. 1 Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5. 2 Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilaksanakan berdasarkan metode SNI 03-4804-1998 untuk menentukan berat volume padat dan gembur pada sampel 1 agregat halus. Proses pengujian mencakup pengukuran berat material dalam kondisi gembur (tanpa pemadatan) dan padat (setelah dipadatkan). Perhitungan dan hasil pengujian berat volume padat dan gembur sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

1) Berat Agregat (W3) = W2 – W1
= 17406 – 10729
= 6677 gram

2) Volume Tabung $= \frac{1}{4} \; x \; \pi \; x \; d^2 x \; t$

$= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$

$= 5301{,}4376\ cm^3$

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

$= \frac{6677}{5301{,}4376}$

$= 1{,}2595\ gram/cm^3$

b. Berat Volume Padat

1) Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18778 – 10729

= 8049 gram

2) Volume Tabung $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$

$= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$

$= 5301{,}4376\ cm^3$

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

$= \frac{8049}{5301{,}4376}$

$= 1{,}5183\ gram/cm^3$

Pada sampel ke 2 dilakukan perhitungan seperti diatas, sehingga didapatkan hasil rekapitulasi pengujian volume gembur dan padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus

Uraian	**Hasil Pengamatan**			**Satuan**
	Sampel 1	**Sampel 2**	**Rata - Rata**	
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17406	16970	17188	gram
Berat Agregat (W3)	6677	6893	6785	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	15,30	15,15	cm

LanjutanTabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30	cm
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266	cm^3
Berat Volume Gembur	1,2595	1,2497	1,2546	$gram/cm^3$

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18778	18489	18633,5	gram
Berat Agregat (W3)	8049	8412	8230,5	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	15,30	15,15	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30	cm
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266	cm^3
Berat Volume Gembur	1,5183	1,5251	1,5217	$gram/cm^3$

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 diatas, hasil analisis perhitungan berat volume gembur agregat halus sebesar 1,2546 $gram/cm^3$ dan rata-rata berat nilai volume padat agregat halus adalah 1,5217 $gram/cm^3$.

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

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 4142 1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Kandungan lumpur $= \frac{W1-W2}{W1}$

$= \frac{500-485}{500}\ x\ 100\%$

$= 3\%$

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata	Satuan
	Sampel 1	Sampe 2		
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	500	500	gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2)	485	498	491,5	gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3,0%	0,4%	1,7	%

Berdasarkan hasil pengujian lolos saringan No. 200, diperoleh rata-rata kadar lumpur sebesar 1,7%. Mengacu pada standar PUBI-1982 yang tercantum dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia, kandungan lumpur pada agregat halus tidak boleh melebihi batas maksimum 5%. Kandungan lumpur yang berlebihan dapat mengurangi daya rekat antara agregat halus dan pasta semen. Hal ini disebabkan oleh keberadaan lumpur yang mengisi ruang pada ikatan pasta dan agregat, sehingga menghambat interaksi antara semen dan agregat halus. Dengan kadar lumpur yang memenuhi syarat <5%, agregat halus ini dinyatakan layak untuk digunakan dalam pencampuran beton.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar berasal dari Lab.BKT Universitas Islam Indonesia digunakan dalam penelitian ini. Penulis melakukan uji berat jenis, penyerapan air kasar, uji analisa saringan, dan uji berat volume padat dan berat volume gembur.

1. Hasil Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 03-1969-2008. Penguji memperoleh data pengujian seperti pada contoh perhitungan pada sampel 1.

a. Berat Jenis Curah $= \frac{Bk}{\text{Bj}-\text{Ba}}$

$= \frac{4963}{5000-3073}$

$= 2{,}576$

b. Berat Jenis (SSD) $= \frac{Bj}{\text{Bj}-\text{Ba}}$

$$= \frac{5000}{5000-3073}$$

$$= 2{,}595$$

c. Berat Jenis Semu $= \frac{Bk}{\text{Bk}-\text{Ba}}$

$$= \frac{4963}{4963-3073}$$

$$= 2{,}626$$

d. Penyerapan Air $= \frac{Bj-Bk}{\text{Bk}} \; x \; 100\%$

$$= \frac{5000-4963}{4963} \; x \; 100\%$$

$$= 0{,}746\%$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2 untuk kemudian didapatkan nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut. Hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4963	4952	4957.5
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3073	3069	3071
Berat Jenis Curah, Bk / (Bj-Ba)	2,576	2,564	2,570
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), Bj / (Bj-Ba)	2,595	2,589	2,592
Berat Jenis semu, Bk / (Bk-Ba)	2,626	2,630	2,628
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	0,746%	0,969%	0,86%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, diperoleh rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan sebesar 2,628 gram/m³ dan rata-rata penyerapan air sebesar 0,86%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar tergolong dalam kategori agregat normal dan telah memenuhi persyaratan. Hal ini sesuai dengan ketentuan bahwa berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) untuk agregat

kasar berada dalam rentang 2,5–2,7, sebagaimana dinyatakan dalam penelitian Tjokrodimuljo (2007).

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini berdasarkan pada SNI 03-1968-1990. 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. Data yang diperoleh dapat dilihat pada 5.10 dan 5.11. Berikut adalah contoh perhitungan sampel 1.

a. Persentase berat tertinggal

1) Lubang ayakan 20 mm $= \frac{124}{5000}\ x\ 100\%$ = 2,48%
2) Lubang ayakan 10 mm $= \frac{2700}{5000}\ x\ 100\%$ = 54%
3) Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{2061}{5000}\ x\ 100\%$ = 41,22%
4) Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{68}{5000}\ x\ 100\%$ = 1,36%
5) Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{2}{5000}\ x\ 100\%$ = 0,04%
6) Pan $= \frac{45}{5000}\ x\ 100\%$ = 0,90%

b. Persentase berat tertinggal kumulatif

1) Lubang ayakan 20 mm = 2,48%
2) Lubang ayakan 10 mm = 2,48% + 54% = 56,48%
3) Lubang ayakan 4,8 mm = 54,48% + 41,22% = 97,70%
4) Lubang ayakan 2,4 mm = 97,70% + 1,36% = 99,06%
5) Lubang ayakan 1,2 mm = 99,06% + 0,04% = 99,10%
6) Pan = 99,10% + 0,90% = 100%

c. Persentase lolos kumulatif

1) Lubang ayakan 20 mm = 100% - 2,48% = 97,52%
2) Lubang ayakan 10 mm = 100% - 56,48% = 43,52%
3) Lubang ayakan 4,8 mm = 100% - 97,70% = 2,30%
4) Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 99,06% = 0,94%
5) Lubang ayakan 1,2 mm = 100% - 99,10% = 0,90%
6) Pan = 100% - 100% = 0%

Proses perhitungan pada sampel 2 dilakukan dengan metode yang sama seperti pada sampel 1. Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai rata-rata untuk hasil pengujian analisis saringan agregat kasar. Data hasil pengujian analisis saringan agregat halus disajikan pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	124	2,48	2,48	97,52
10,00	2700	54,00	56,48	43,52
4,80	2061	41,22	97,70	2,30
2,40	68	1,36	99,06	0,94
1,20	2	0,04	99,10	0,90
0,60	0	0,00	99,10	0,90
0,30	0	0,00	99,10	0,90
0,15	0	0,00	99,10	0,90
Sisa	45	0,90	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	652	
MHB				6,52

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	275	5,50	5,50	94,50
10,00	2616	52,33	57,83	42,17
4,80	2011	40,23	98,06	1,94
2,40	54	1,08	99,14	0,86
1,20	3	0,06	99,20	0,80
0,60	0	0,00	99,20	0,80
0,30	0	0,00	99,20	0,80

Lanjutan Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,15	0	0,00	99,20	0,80
Sisa	40	0,80	100,00	0,00
Jumlah	4999	100	657	
MHB				6,57

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

a. Modulus halus butir 1 (MHB1) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{652}{100}$

$= 6{,}52$

b. Modulus halus butir 2 (MHB2) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{657}{100}$

$= 6{,}57$

c. MHB rata-rata $= \frac{MHB1 + MHB2}{2}$

$= \frac{6{,}521 + 6{,}573}{2}$

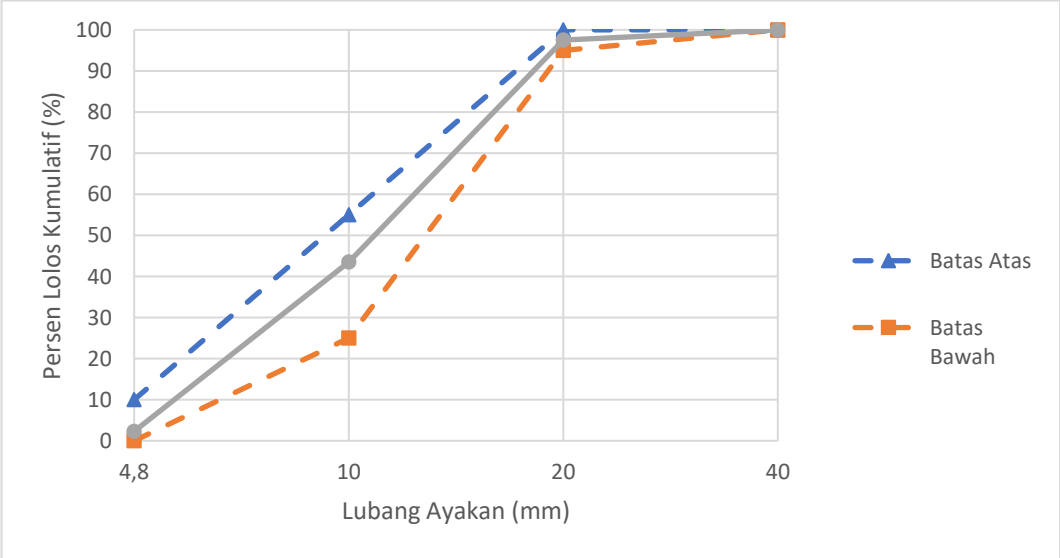
$= 6{,}55$

Menurut SNI 03-1968 (1990), nilai modulus butir untuk agregat kasar harus berada dalam rentang 5–8. Berdasarkan penelitian ini, nilai modulus butir agregat kasar yang diperoleh telah memenuhi persyaratan spesifikasi tersebut. Analisis saringan juga dilakukan untuk menentukan gradasi agregat, yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.11. Berdasarkan tabel tersebut, kurva gradasi agregat kasar ditampilkan pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.

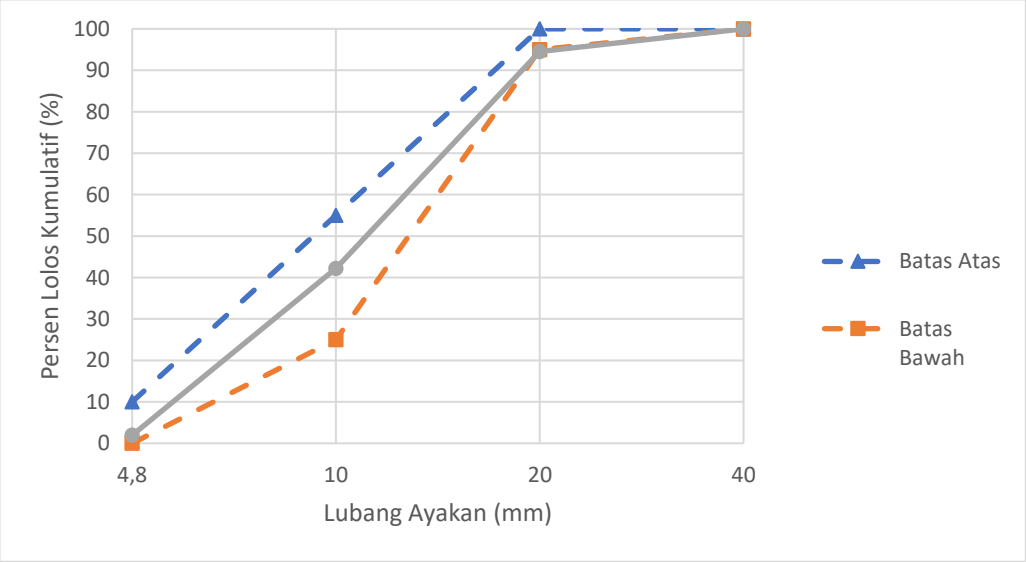
Tabel 5. 11 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40mm	20mm	10mm
40,00	95-100	100	-
20,00	37-70	95-100	100
10,00	10-40	30-60	55-85
4,80	0-5	0-10	0-10

Dari Tabel 5.11 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan agregat dengan diameter agregat maksimum 20 mm, dan agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan dengan mencapai agregat kasar 20 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase bahan butiran yang melewati saringan dapat dilihat pada Gambar 5.3 dam Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

3. Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Dan Berat Volume Padat

   Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat kasar dilakukan menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan berat volume padat dan berat volume gembur untuk sampel 1 adalah sebagai berikut.

   a. Berat Volume Gembur

      1) Berat Agregat (W3) = W2 – W1
         = 17618 – 10729
         = 6889 gram

      2) Volume Tabung $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$
         $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$
         $= 5301{,}4376\ cm^3$

      3) Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$
         $= \frac{6889}{5301{,}4376}$
         $= 1{,}2995\ gram/cm^3$

   b. Berat Volume Padat

      1) Berat Agregat (W3) = W2 – W1

= 18334 – 10729

= 7605 gram

2) Volume Tabung $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ t$

$= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ 15^2 x\ 30$

= 5301,4376 cm^3

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

$= \frac{7605}{5301,4376}$

= 1,4345 $gram/cm^3$

Pada sampel ke 2 dilakukan perhitungan seperti diatas, sehingga didapatkan hasil rekapitulasi pengujian volume gembur dan padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17618	17215	17416,5	gram
Berat Agregat (W3)	6889	7138	7013,5	gram
Diameter Tabung (d)	15	15,3	15,15	cm
Tinggi Tabung (t)	30	30	30	cm
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266	cm^3
Berat Volume Gembur	1,2995	1,2941	1,2968013	$gram/cm^3$

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403	gram

Lanjutan Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata	
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18334	17850	18092	gram
Berat Agregat (W3)	7605	7773	7689	gram
Diameter Tabung (d)	15	15,3	15,15	cm
Tinggi Tabung (t)	30	30	30	cm
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266	cm^3
Berat Volume Gembur	1,4345	1,4093	1,4219	$gram/cm^3$

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 diatas, hasil analisis perhitungan berat volume gembur agregat halus sebesar 1,2968 $gram/cm^3$ dan rata-rata berat nilai volume padat agregat halus adalah 1,4219 $gram/cm^3$.

5.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Pada penelitian ini digunakan perencanaan campuran sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Tujuan perencanaan beton adalah untuk mendapatkan perbandingan campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton yang direncanakan. Pada perencana beton ini direncanakan memiliki nilai kuat tekan sebesar 25 MPa. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'c) sebesar 25 MPa dan benda uji dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Nilai deviasi standar 7 MPa diambil dari nilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
3. Semen yang digunakan adalah semen PCC tipe I merk Tiga Roda.
4. Agregat yang digunakan berupa agregat halus dan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm dari Lab. BKT.
5. Nilai tambah atau *margin* (M) adalah 12 Mpa, didapatkan dari rumus,

   M = 1,64 x S

   = 1,64 x 7

= 11,48 atau 12 MPa

6. Kekuatan beton rata-rata yang ditargetkan, dengan rumus sebagai berikut.

   F'cr = f'c + M

   = 25 + 12

   = 37 MPa

7. 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

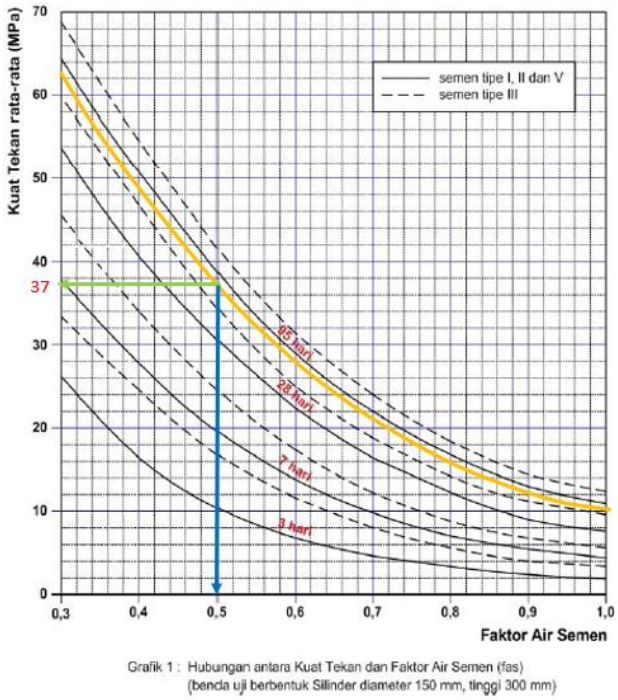
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (Hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe 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

a. 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.

b. 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.

c. 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)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan Dan Faktor Air Semen (FAS)

8. Menentukan kadar air yang diperlukan.

   Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 15 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

Ukuran besar butir agregat	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	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 digunkan 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.

w $= \frac{2}{3} Wb + \frac{1}{3} Wk$

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

$= 205\ kg/m^3$

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

Tabel 5. 16 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 b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	275 325	0,60 0,52
Beton di luar bangunan : a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325 275	0,60 0,60
Beton masuk ke dalam tanah : a. Mengalami keadaan basah dan kering b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	325	0,55 Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

10. Menetapkan kadar semen yang digunakan.

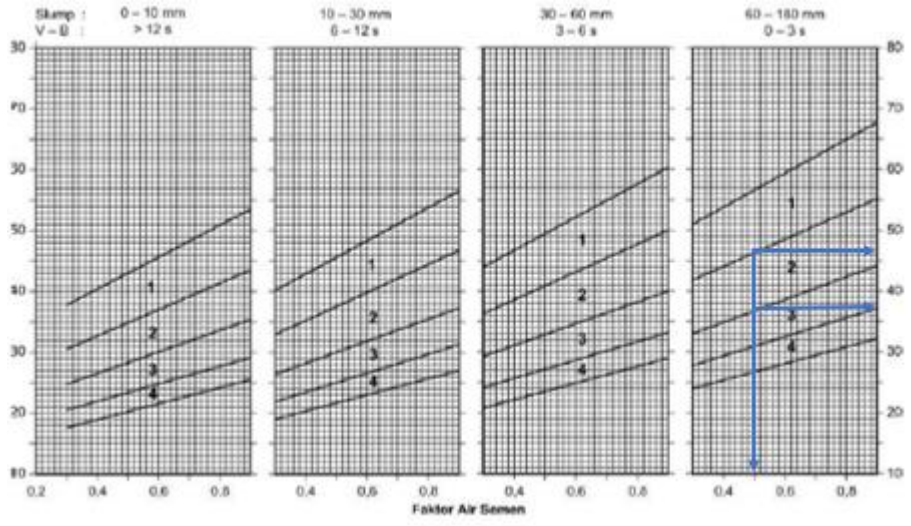
c $= \frac{w}{fas}$

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

$= 401,961\ kg/m^3$

Fas yang digunakan pada perhitungan adalah fas terkecil dimana 0,5 didapatkan dari gambar grafik 5.5 diatas. kemudian didapatkan nilai kadar semen perhitungan sebesar 410 kg/m^3 sedangkan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 325 kg/m^3. Sehinga kadar semen yang digunakan adalah sebesar 410 kg/m^3.

11. 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 hinggal 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

c. Persentase agregat halus rata-rata $= \frac{46,5+37}{2}$

$= 41,75\ \%$

d. Persentase agregat kasar = 100% - persentase agregat halus
= 100% - 41,75%
= 58,25%

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

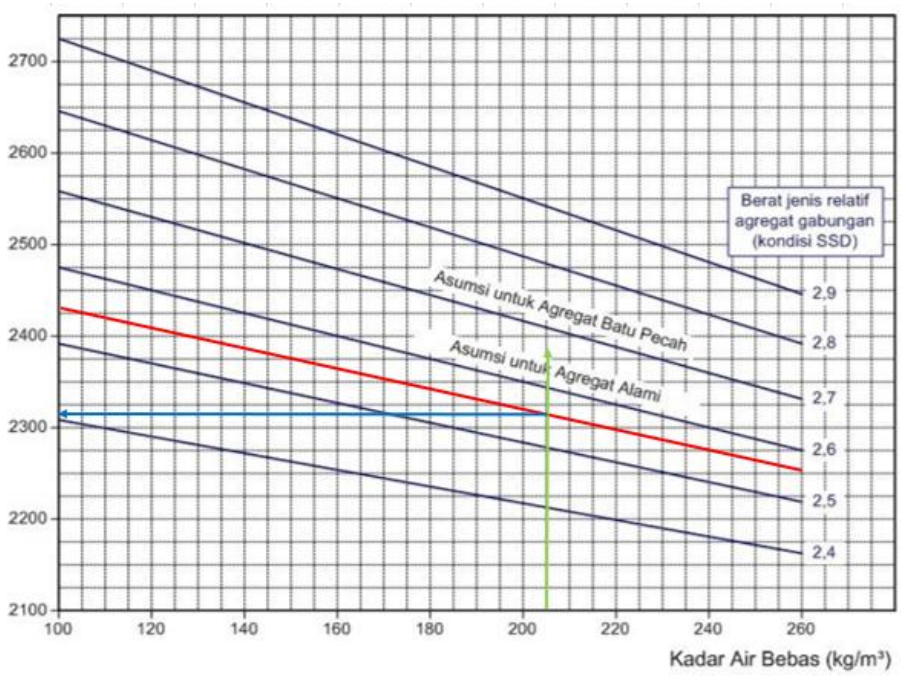
$BJ_{ag.Gab}$ = (% Ag. Halus x $BJ_{ag.Halus}$) + (% Ag. Kasar x $BJ_{ag.Kasar}$)
= (41,75% x 2,540) + (58,25% x 2,592)
= 2,570

13. Menetapkan berat isi/volume beton.

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

a. Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relative agregat gabungan 2,570. 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 perkitaan berat isi beton yaitu sebesar 2313 kg/m^3.



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

Sumber : SNI 2384 2000

14. Menghitung kadar agregat gabungan.

$W_{ag.Gab}$ = W_{beton} - W_{semen} $- w$

= 2313 – 410 – 205

= 1698 kg/m^3

15. Menghitung kadar agregat halus.

$W_{ag.halus}$ = $\%Ag\ halus \times W_{ag.Gab}$

= 41,75% x 1698

= 708,915 kg/m^3

16. Menghitung kadar agregat kasar.

$W_{ag.kasar}$ = $W_{ag.Gab} - W_{ag.halus}$

= 1698 – 708,915

= 989,085 kg/m^3

17. Proporsi dalam campuran per1 m3 beton. Dari hasil perencanaan campuran diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 m^3beton sebagai berikut.
    a. Semen = 410 Kg
    b. Air = 205 Kg
    c. Agregat halus = 708,915 Kg
    d. Agregat kasar = 989,085 Kg
18. Proporsi dalam campuran per1 m3 beton. Diambil nilai penyusutan 25%, sehingga diperoleh tiap material untuk setiap 1 m3 beton dengan angka penyusutan sebagai berikut.
    a. Semen = 410 Kg x 1,25
       = 512,5 Kg
    b. Air = 205 Kg x 1,25
       = 256,25 Kg
    c. Agregat halus = 708,915 Kg x 1,25
       = 886,14 Kg
    d. Agregat kasar = 989,085 Kg x 1,25
       = 1236,36 Kg
19. Hasil perencanaan campuran beton (Mix Design) dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (Silinder/Kubus)	25	MPa	
2	Deviasi Standar (s)	7		
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Tiga roda
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Lab. BKT
	Jenis Agregat Halus	Pasir Alami		Lab. BKT
7	Faktor air semen bebas	0,5		Grafik 1
	Faktor air semen maksimum	0,6		Tabel 4;5; atau 6
8	Faktor air semen digunakan	0,5		Fas minimum
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	
11	Kadar Air Bebas	205	Kg	
12	Kadar Semen	410	Kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325	Kg	tabel 4 SNI
15	Kadar Semen digunakan	410	Kg	kadar semen max
16	Faktor Air Semen disesuaikan	-		
17	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		Daerah Gradasi
18	Berat Jenis Agregat Halus	2,540		
	Berat Jenis Agregat Kasar	2,592		

Lanjutan Tabel 5. 17 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
19	Persen Agregat Halus	41,75	%	grafik 13/14/15
20	Berat Jenis relatif Agregat (gabungan) SSD	2,570		
21	Berat Isi Beton	2313	kg/m^3	grafik 16
22	Kadar Agregat Gabungan	1698	kg/m^3	
23	Kadar agregat halus	708,915	kg/m^3	
24	Kadar Agregat Kasar	989,085	kg/m^3	

20. 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 400 mm × 100 mm × 100 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 5 silinder dan satu kali mixing untuk 3 balok.

    Volume per mixing silinder $= 5\times\frac{1}{4}\times\pi\times d^2\times t$

    $= 5\times\frac{1}{4}\times\pi\times 15^2\times 0{,}3$

    $= 0{,}0265\ m^3$

    Volume per mixing balok $= 3\times p\times l\times t$

    $= 3\times 0{,}4\times 0{,}10\times 0{,}10$

    $= 0{,}0120\ m^3$

    Volume total tiap variasi $= 0{,}0265 + 0{,}0120$

    $= 0{,}0770\ m^3$

21. Proporsi campuran setiap mixing 5 silinder.

    a. Semen = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji

    = 512,5 x 0,0265

= 13,585 kg

b. Air = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 256,25 x 0,0265
= 6,792 kg

c. Agregat halus = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 886,14 x 0,0265
= 23,489 kg

d. Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 1236,36 x 0,0265
= 32,772 kg

22. Proporsi campuran setiap mixing 3 Balok.

a. Semen = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 512,5 x 0,0120
= 6,150 kg

b. Air = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 256,25 x 0,0120
= 3,075 kg

c. Agregat halus = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 886,14 x 0,0120
= 10,634 kg

d. Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m^3 x volume benda uji
= 1236,36 x 0,0120
= 14,836 kg

23. Kebutuhan abu sekam padi untuk setiap mixing 5 silinder dan 3 balok

a. Abu sekam padi 10% = total berat semen x 10%
= 19,735 x 10% = 1,9735 kg
= $\frac{1,9735}{2,75} = \frac{x}{2,90}$ = 2,081 kg

Keterangan :

2,75 = berat jenis semen oleh Piusaputri (2023)

2,9 = berat jenis abu sekam padi oleh Sandya (2019)

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

a. Serbuk kapur 5% = total berat semen x 5%

= 19,735 x 5% = 0,9867 kg

$= \frac{0,9867}{2,75} = \frac{x}{2,4}$ = 0,861 kg

b. Serbuk kapur 10% = total berat semen x 10%

= 19,735 x 10% = 1,9735 kg

$= \frac{1,9735}{2,75} = \frac{x}{2,4}$ = 1,722 kg

c. Serbuk kapur 15% = total berat semen x 15%

= 19,735 x 15% = 2,9603 kg

$= \frac{2,9603}{2,75} = \frac{x}{2,4}$ = 2,583 kg

Keterangan :

2,75 = berat jenis semen oleh Piusaputri (2023)

2,4 = berat jenis serbuk kapur oleh Piusaputri (2023)

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

Tabel 5. 18 Proporsi Campuran Untuk Beton Normal 25 MPa

Variasi	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Abu Sekam Padi (Kg)	Serbuk Kapur (Kg)
ASP 0% SK0%	19,735	9,867	34,123	47,609	0	0
ASP10%SK5%	16,793	9,867	34,123	47,609	2,081	0,861
ASP10%SK10%	15,931	9,867	34,123	47,609	2,081	1,722
ASP10%SK15%	15,070	9,867	34,123	47,609	2,081	2,583

5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial* Beton Normal

Berdasarkan rencana *mix design* yang telah disusun, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji untuk *trial* beton normal. Pembuatan benda uji *trial* ini bertujuan untuk mengevaluasi keakuratan rencana *mix design*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak tiga buah. Pengujian kuat tekan terhadap benda uji *trial* beton normal dilakukan pada usia 7 hari. Untuk menentukan nilai kuat tekan beton, hasil

pengujian perlu dikonversi menggunakan faktor umur uji. Perhitungan nilai kuat tekan beton *trial* adalah sebagai berikut.

1. Kuat Tekan Beton *trial* sampel 1

$$f'c_{aktual} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{335\ x\ 1000}{17454{,}183}$$

$$= 19{,}22 \text{ MPa}$$

$$f'c_{konversi} = f'c_{aktual}\ x\ \frac{1}{angka\ konversi}$$

$$= 19{,}22 \text{ x } \frac{1}{0{,}65}$$

$$= 29{,}564 \text{ MPa}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel 2 dan sampel 3. Hasil uji kuat tekan beton trial dapat dilihat pada Tabel 5. 19 berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban (kN)	Angka Konversi	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	31,00	14,91	17454,183	335	0,65	29,564	30,459
2	30,13	14,90	17436,6246	286	0,65	25,255	
3	30,05	15,21	18169,7231	432	0,65	36,557	

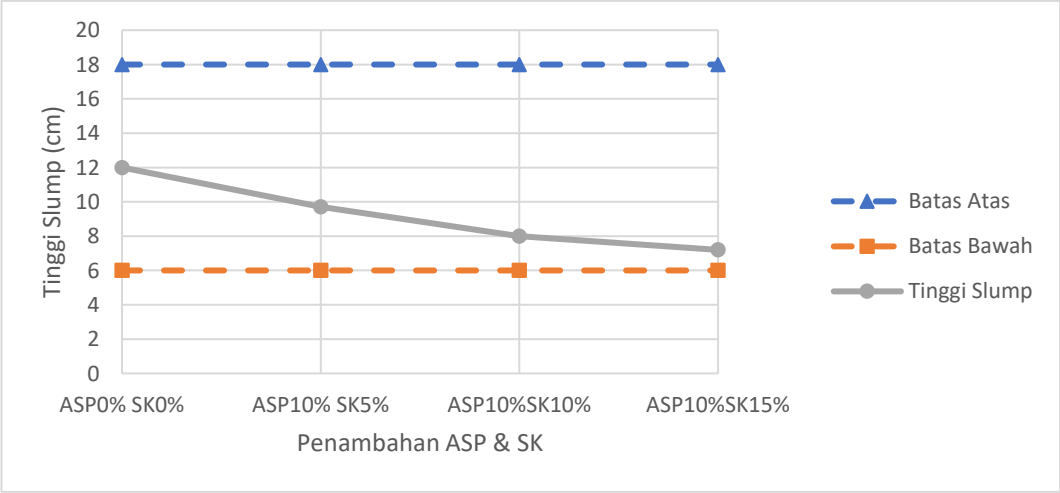
Berdasarkan Tabel 5.19, diperoleh hasil kuat tekan rata-rata beton *trial* sebesar 30,459 MPa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian beton *trial* telah memenuhi mutu rencana sebesar 25 MPa. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

5.5 Hasil Pengujian Slump

Pengujian nilai slump dilakukan ketika proses pengadukan campuran beton menggunakan mesin pengaduk sudah tercampur secara baik. Nilai slump yang digunakan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton. Hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 5. 20 dan gambar grafik 5. 8 sebagai berikut.

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Nilai Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump	Keterangan Nilai Slump (6-18cm)
	Abu Sekam Padi	Serbuk Kapur		
ASP0% SK0%	0%	0%	12	Memenuhi
ASP10% SK5%	10%	5%	9,7	Memenuhi
ASP10%SK10%	10%	10%	8	Memenuhi
ASP10%SK15%	10%	15%	7,2	Memenuhi



Gambar 5. 8 Grafik Pengujian Nilai Slump Pada Tiap Variasi

Berdasarkan Gambar 5. 8, nilai *slump* secara keseluruhan memenuhi persyaratan perencanaan yaitu 6–18 cm. Pada beton dengan persentase Abu Sekam Padi (ASP) 0% dan Serbuk Kapur (SK) 0%, diperoleh nilai *slump* sebesar 12 cm. Sementara itu, pada beton dengan persentase campuran yang lebih tinggi kadar ASP dan SK mengalami penurunan nilai *slump*. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan ASP dan SK dalam variasi beton menyebabkan penurunan nilai *slump*. Penurunan tersebut terjadi karena ASP dan SK memiliki kemampuan menyerap air yang cukup besar, sehingga menghasilkan tekstur *slump* yang lebih kental. Kondisi ini berdampak pada penurunan tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*), sehingga campuran beton menjadi lebih sulit untuk dipadatkan dibandingkan dengan beton normal.

5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada beton berusia 28 hari, setelah melalui proses perawatan dengan perendaman dalam air. Beton diangkat satu hari sebelum pelaksanaan pengujian. Kuat tekan rencana (f'cr) ditargetkan sebesar 37 MPa. Pengujian dilakukan menggunakan sampel berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setiap variasi menggunakan lima sampel, sehingga total sampel yang diuji sebanyak 40 silinder beton.

Sebelum pengujian, permukaan benda uji dilapisi dengan belerang melalui proses *capping* untuk menghaluskan dan meratakan permukaan. Langkah ini bertujuan memastikan beban dari mesin uji tekan (*compression machine*) terdistribusi secara merata. Pengujian dilakukan hingga benda uji tidak lagi mampu menahan beban, yang ditandai dengan keretakan atau hancurnya beton. Rekapitulasi hasil perhitungan dan pengujian kuat tekan beton disajikan dalam Tabel 5. 21 dan Gambar 5. 9.

1. Perhitungan kuat tekan beton tiap variasi SK 0% dan ASP 0% pada sampel 1
   a. Metode perendaman

$$f'c = \frac{P(N)}{A(mm^2)}$$

$$= \frac{451{,}1\ x\ 1000}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 151^2}$$

$$= 25{,}15 \text{ MPa}$$

   b. Metode ditutup karung goni

$$f'c = \frac{P(N)}{A(mm^2)}$$

$$= \frac{560{,}6\ x\ 1000}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 149{,}250^2}$$

$$= 32{,}05 \text{ MPa}$$

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 5.21 dan Tabel 5. 22 dibawah ini.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton metode perendaman

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Perendaman	28	SK0% ASP0%	S1-A	151,000	303,750	12,456	17907,864	451,1	25,19	25,11
			S2-A	151,200	302,225	12,65	17955,333	414,9	23,11	
			S3-A	151,170	300,500	12,443	17948,209	466,3	25,98	
			S4-A	151,170	300,000	12,273	17948,209	473,6	26,39	
			S5-A	150,500	304,000	12,434	17789,465	442,7	24,89	
		SK5% ASP10%	S1-B	150,150	304,275	12,287	17706,819	272,1	15,37	16,92
			S2-B	149,075	301,075	12,216	17454,183	259,5	14,87	
			S3-B	150,150	304,000	12,088	17706,819	312,8	17,67	
			S4-B	150,125	300,075	11,931	17700,923	335,7	18,97	
			S5-B	149,200	301,075	12,078	17483,466	310,3	17,75	
		SK10% ASP10%	S1-C	149,200	305,050	12,38	17483,466	281,9	16,12	20,31
			S2-C	149,350	305,200	12,427	17518,638	360,3	20,57	
			S3-C	149,275	306,000	12,361	17501,047	381,3	21,79	
			S4-C	150,250	303,350	12,298	17730,413	379,7	21,42	
			S5-C	150,350	306,150	12,438	17754,022	384,8	21,67	
		SK15% ASP10%	S1-D	150,000	305,100	12,133	17671,459	314,5	17,80	18,91
			S2-D	150,000	305,000	12,217	17671,459	328,6	18,59	
			S3-D	150,150	301,200	12,163	17706,819	360,6	20,37	
			S4-D	149,000	299,450	12,086	17436,625	325,1	18,64	
			S5-D	152,150	305,400	12,583	18181,671	348,0	19,14	

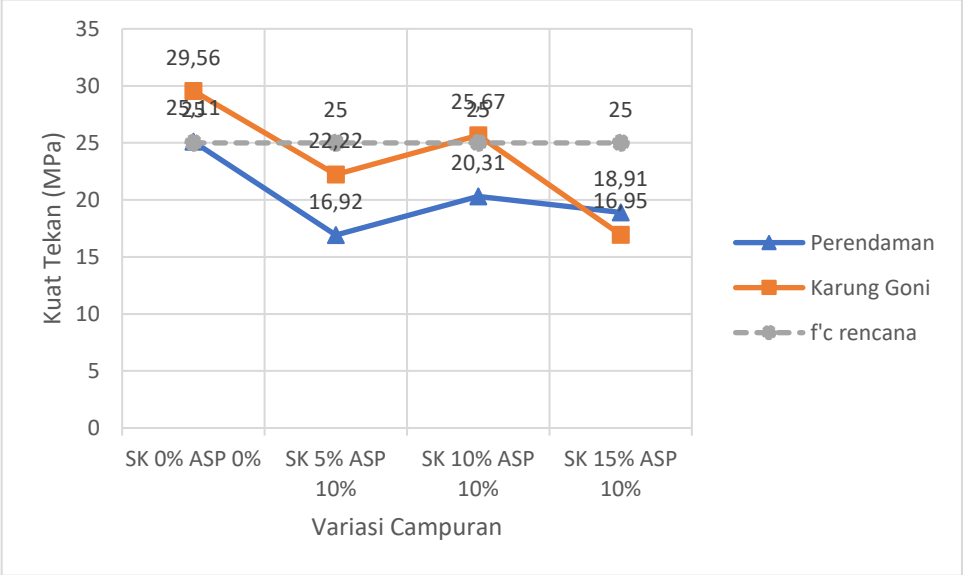
Tabel 5. 22 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton metode ditutup karung goni

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Ditutup Karung Goni	28	SK0% ASP0%	SG1-A	149,250	304,075	12,410	17495,186	560,8	32,05	29,56
			SG2-A	150,125	302,200	12,364	17700,923	506,6	28,62	
			SG3-A	149,300	305,000	12,466	17506,910	533,6	30,48	
			SG4-A	149,325	303,274	12,343	17512,773	535,2	30,56	
			SG5-A	150,250	304,000	12,292	17730,413	462,3	26,07	
		SK5% ASP10%	SG1-B	150,100	303,400	12,053	17695,028	387,0	21,87	22,22
			SG2-B	149,200	307,000	12,175	17483,466	415,3	23,75	
			SG3-B	150,400	307,250	12,343	17765,832	424,0	23,87	
			SG4-B	149,400	301,300	12,082	17530,370	353,4	20,16	
			SG5-B	150,175	301,200	12,195	17712,716	380,3	21,47	
		SK10% ASP10%	SG1-C	149,300	304,200	11,897	17506,910	453,4	25,90	25,67
			SG2-C	150,100	304,350	11,794	17695,028	452,1	25,55	
			SG3-C	149,075	301,400	11,501	17454,183	396,4	22,71	
			SG4-C	150,350	302,000	11,613	17754,022	483,1	27,21	
			SG5-C	149,300	304,050	11,664	17506,910	472,0	26,96	
		SK15% ASP10%	SG1-D	151,400	303,100	12,099	18002,865	301,0	16,72	16,95
			SG2-D	150,300	304,250	12,077	17742,215	235,1	13,25	
			SG3-D	150,000	305,400	12,187	17671,459	317,4	17,96	
			SG4-D	150,450	305,100	12,067	17777,646	322,1	18,12	
			SG5-D	149,200	302,250	11,988	17483,466	327,0	18,70	

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.21 dan 5.22 dapat diketahui bahwa metode ditutup karung goni memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode perendaman. Menurut Neville (2011) dalam Properties of Concrete, kelembapan di permukaan beton harus tetap terjaga untuk mencegah berhentinya proses hidrasi sebelum waktunya. Pada metode karung goni basah, kelembapan langsung dipertahankan pada permukaan beton, sedangkan pada perendaman, gelembung udara yang terbentuk dapat mengurangi kontak air dengan permukaan beton, sehingga menghambat hidrasi di area tertentu. Sehingga diperoleh nilai kuat tekan beton (f'c) rata-rata (MPa) sebagai berikut.

1. Perendaman
    a. Beton normal = 25,11 MPa
    b. Beton variasi SK 5% dan ASP 10% = 16,92 MPa
    c. Beton variasi SK 10% dan ASP 10% = 20,31 MPa
    d. Beton variasi SK 15% dan ASP 10% = 18, 91 MPa
2. Ditutup karung goni
    a. Beton normal = 29,56 MPa
    b. Beton variasi SK 5% dan ASP 10% = 22,22 MPa
    c. Beton variasi SK 10% dan ASP 10% = 25,67 MPa
    d. Beton variasi SK 15% dan ASP 10% = 16,95 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 5. 9 berikut.



Gambar 5. 9 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap perawatan dan varian

Berdasarkan Gambar 5. 9 diatas pada variasi campuran serbuk kapur 0% abu sekam padi 0% dengan metode perendaman mendapatkan nilai kuat tekan 25,11 MPa dan untuk metode perawatan karung goni mendapatkan nilai kuat tekan sebesar 29,56 MPa yang mana beton tersebut telah melewati mutu yang direncanakan yaitu sebesar 25 MPa. Kuat tekan beton cenderung menurun seiring dengan bertambahnya variasi campuran. Pada variasi campuran serbuk kapur 5% abu sekam padi 10% terjadi penurunan kuat tekan yang signifikan menjadi 16,92 MPa pada metode perendaman dan 22,22 MPa pada metode karung goni. Pada persentase serbuk kapur 10% abu sekam padi 10% kuat tekan mengalami peningkatan kembali, dengan nilai kuat tekan sebesar 20 MPa pada metode perendaman dan 25,67 MPa pada karung goni. Meskipun demikian, pada variasi campuran serbuk kapur 15% abu sekam padi 10% kuat tekan kembali menurun dengan nilai kuat tekan sebesar 18,91 MPa untuk metode perendaman dan 16,95% pada metode karung goni.

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa beton tanpa serbuk kapur dan abu sekam padi yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dari mutu rencana sebesar 25 MPa. Penambahan serbuk kapur dan abu sekam padi lebih lanjut justru mengakibatkan dampak negatif. Tidak tercapainya mutu rencana pada beton

variasi disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, serbuk kapur dan abu sekam padi memiliki sifat yang berbeda dari semen Portland, sehingga tidak mampu memberikan kekuatan yang diperlukan untuk menggantikan semen secara efektif.

Hasil penelitian ini tidak sejalan dengan penelitian oleh Putra (2024) dan Agustina (2023). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putra (2024), diperoleh hasil bahwa kuat tekan beton dengan metode perendaman lebih tinggi dibandingkan dengan metode penutupan menggunakan karung goni. Hal ini disebabkan oleh metode perendaman yang lebih efektif dalam memenuhi proses hidrasi beton secara optimal. Sementara itu, pada metode penutupan dengan karung goni, masih terdapat celah pada permukaan beton, sehingga beton tidak tertutup secara sempurna. Penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023) menunjukkan bahwa metode perendaman menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode penutupan menggunakan karung goni basah. Pada penelitian ini metode perawatan dengan karung goni menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode perendaman. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menambah data penelitian dengan metode perawatan sekaligus mengeksplorasi penggunaan bahan tambah. Hingga saat ini, belum ada kajian yang membandingkan beton dengan bahan tambah serbuk kapur dan abu sekam padi dengan metode perawatan perendaman dan perawatan ditutup karung goni.

Adapun persentase selisih nilai tersebut dapat dilihat pada contoh perhitungan dan rekapitulasinya disajikan pada Tabel 5.23, 5.24, dan 5.25 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\text{Persentase selisih} = \frac{rerata\ SB - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$$

$$= \frac{16{,}92 - 25{,}11}{25{,}11}\ x\ 100\%$$

$$= -32{,}6\%$$

Tabel 5. 23 Persentase Nilai Kuat Tekan Untuk Metode Rawatan Perendaman Terhadap Beton Normal

Kadar Campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
SK 0% ASP 0%	0,0%

Lanjutan Tabel 5. 23 Persentase Nilai Kuat Tekan Untuk Metode Rawatan Perendaman Terhadap Beton Normal

Kadar Campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
SK 5% ASP 10%	-32,6%
SK 10% ASP 10%	-19,1%
SK 15% ASP 10%	-24,7%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat tekan terhadap beton normal masing-masing sebesar -32,6%, -19,1%, dan -24,7%. Nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh serbuk kapur dan abu sekam padi belum dapat menggantikan pasta semen, sehingga tidak menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat. Pada variasi 10%, nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat lentur tetapi, mengalami kenaikan.

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

$$\text{Persentase selisih} = \frac{rerata\ SB - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$$

$$= \frac{22{,}22 - 29{,}56}{29{,}56}\ x\ 100\%$$

$$= -9{,}8\%$$

Tabel 5. 24 Persentase Nilai Kuat Tekan Untuk Metode Rawatan Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal

kadar campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
SK 0% ASP 0%	0,0%
SK 5% ASP 10%	-24,8%
SK 10% ASP 10%	-13,2%
SK 15% ASP 10%	-42,7%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat tekan terhadap beton normal masing-masing sebesar -24,8%, -13,2%, dan -42,7%. Nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh serbuk kapur dan abu sekam padi belum dapat menggantikan pasta semen, sehingga tidak menghasilkan

struktur yang lebih padat dan kuat. Pada variasi 10%, nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat lentur tetapi, mengalami kenaikan.

3. Persentasi metode perendaman dengan ditutup karung goni

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SGA - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$

$= \frac{3{,}268 - 2{,}911}{2{,}911}\ x\ 100\%$

$= 12{,}3\%$

Tabel 5. 25 Persentase Nilai kuat Tekan Beton Metode Perendaman Terhadap Metode Ditutup Karung Goni

kadar campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan Beton
SK 0% ASP 0%	17,7%
SK 5% ASP 10%	31,3%
SK 10% ASP 10%	26,4%
SK 15% ASP 10%	-10,4%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat tekan terhadap beton metode perawatan ditutup karung goni masing-masing sebesar 17,7%, 31,3%, 26,4%, dan -10,4%. Pada beton variasi 0%, 5%, dan 10% didapatkan nilai positif menunjukkan metode ditutup karung goni memiliki nilai kuat tekan yang lebih baik. Nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat tekan. Hasil diatas menunjukkan bahwa metode perawatan ditutup karung goni memiliki nilai kuat tekan yang baik seiring dengan penambahan campuran serbuk kapur dan abu sekam padi. Namun, mengalami penurunan pada campuran 15% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi.

5.7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya perubahan panjang (regangan) pada arah longitudinal (aksial) silinder beton akibat pembebanan. Pengujian modulus elastisitas pada penelitian ini dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan untuk pengujian

modulus elastisitas adalah 40 sampel, dengan masing-masing variasi terdiri dari 5 benda uji.

Adapun perhitungan nilai tegangan dan regangan pada saat beban mencapai 10 kN pada pengujian modulus elastisitas dengan variasi tanpa campuran serbuk kapur (0%) dan abu sekam padi (0%) pada sampel 1, adalah sebagai berikut.

1. Perendaman
   a. Perhitungan Nilai ΔL

$$\Delta L = \frac{\Delta L}{2}\ x\ 10^{-3}$$
$$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$$
$$= 0{,}0015 \text{ mm}$$

   b. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$
$$= \frac{0{,}0015}{200}$$
$$= 0{,}0000075$$

   c. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$= \frac{10000}{17907{,}864}$$
$$= 0{,}56 \text{ MPa}$$

2. Ditutup karung goni
   a. Perhitungan Nilai ΔL

$$\Delta L = \frac{\Delta L}{2}\ x\ 10^{-3}$$
$$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$$
$$= 0{,}0015 \text{ mm}$$

   b. Perhitungan Nilai Regangan (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$
$$= \frac{0{,}0015}{200}$$

= 0,0000075

c. Perhitungan Nilai Tegangan (σ)

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

$= \frac{10000}{17495,186}$

= 0,57 MPa

Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Dari perhitungan ini, diperoleh nilai tegangan dan regangan pada setiap penambahan beban sebesar 10 kN. Hasil perhitungan tegangan dan regangan pada sampel 1 untuk setiap metode perawatan dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 berikut ini.

Tabel 5. 26 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Perendaman

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,12
30	30000	18	0,009	0,000045	1,68
40	40000	27	0,0135	0,0000675	2,23
50	50000	34	0,017	0,000085	2,79
60	60000	41	0,0205	0,0001025	3,35
70	70000	52	0,026	0,00013	3,91
80	80000	60	0,03	0,00015	4,47
90	90000	73	0,0365	0,0001825	5,03
100	100000	82	0,041	0,000205	5,58
110	110000	96	0,048	0,00024	6,14
120	120000	106	0,053	0,000265	6,70
130	130000	119	0,0595	0,0002975	7,26
140	140000	129	0,0645	0,0003225	7,82
150	150000	147	0,0735	0,0003675	8,38
160	160000	155	0,0775	0,0003875	8,93
170	170000	166	0,083	0,000415	9,49

Lanjutan Tabel 5. 26 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Perendaman

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
180	180000	179	0,0895	0,0004475	10,05
190	190000	192	0,096	0,00048	10,61
200	200000	204	0,102	0,00051	11,17
210	210000	218	0,109	0,000545	11,73
220	220000	231	0,1155	0,0005775	12,29
230	230000	247	0,1235	0,0006175	12,84
240	240000	262	0,131	0,000655	13,40
250	250000	276	0,138	0,00069	13,96
260	260000	294	0,147	0,000735	14,52
270	270000	309	0,1545	0,0007725	15,08
280	280000	325	0,1625	0,0008125	15,64
290	290000	344	0,172	0,00086	16,19
300	300000	360	0,18	0,0009	16,75
310	310000	379	0,1895	0,0009475	17,31
320	320000	398	0,199	0,000995	17,87
330	330000	418	0,209	0,001045	18,43
340	340000	439	0,2195	0,0010975	18,99
350	350000	461	0,2305	0,0011525	19,54
360	360000	482	0,241	0,001205	20,10
370	370000	508	0,254	0,00127	20,66
380	380000	535	0,2675	0,0013375	21,22
430	430000	1110	0,555	0,002775	24,01
420	420000	1150	0,575	0,002875	23,45
410	410000	1187	0,5935	0,0029675	22,89
400	400000	1219	0,6095	0,0030475	22,34
390	390000	1257	0,6285	0,0031425	21,78
380	380000	1298	0,649	0,003245	21,22
390	390000	567	0,2835	0,0014175	21,78
400	400000	599	0,2995	0,0014975	22,34
410	410000	633	0,3165	0,0015825	22,89
420	420000	676	0,338	0,00169	23,45
430	430000	716	0,358	0,00179	24,01

Lanjutan Tabel 5. 26 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Perendaman

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
420	420000	1150	0,575	0,002875	23,45
410	410000	1187	0,5935	0,0029675	22,89
400	400000	1219	0,6095	0,0030475	22,34
390	390000	1257	0,6285	0,0031425	21,78
380	380000	1298	0,649	0,003245	21,22

Tabel 5. 27 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Karung Goni

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,14
30	30000	20	0,01	0,00005	1,71
40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,29
50	50000	40	0,02	0,0001	2,86
60	60000	51	0,0255	0,0001275	3,43
70	70000	60	0,03	0,00015	4,00
80	80000	70	0,035	0,000175	4,57
90	90000	80	0,04	0,0002	5,14
100	100000	91	0,0455	0,0002275	5,72
110	110000	102	0,051	0,000255	6,29
120	120000	112	0,056	0,00028	6,86
130	130000	123	0,0615	0,0003075	7,43
140	140000	134	0,067	0,000335	8,00
150	150000	145	0,0725	0,0003625	8,57
160	160000	156	0,078	0,00039	9,15
170	170000	168	0,084	0,00042	9,72
180	180000	180	0,09	0,00045	10,29
190	190000	191	0,0955	0,0004775	10,86
200	200000	205	0,1025	0,0005125	11,43
210	210000	218	0,109	0,000545	12,00
220	220000	231	0,1155	0,0005775	12,57

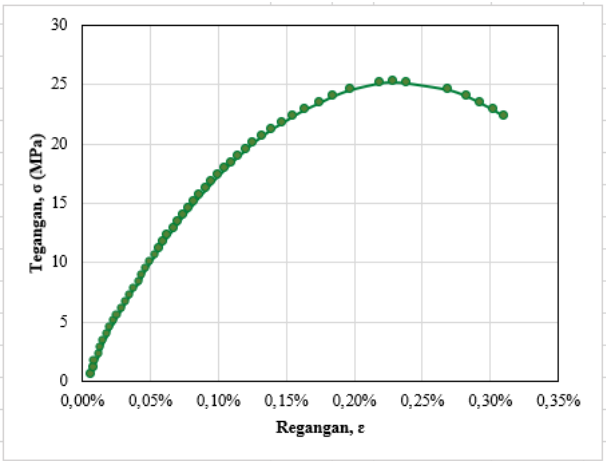
Lanjutan Tabel 5. 27 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Karung Goni

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
230	230000	244	0,122	0,00061	13,15
240	240000	258	0,129	0,000645	13,72
250	250000	271	0,1355	0,0006775	14,29
260	260000	284	0,142	0,00071	14,86
270	270000	299	0,1495	0,0007475	15,43
280	280000	314	0,157	0,000785	16,00
290	290000	329	0,1645	0,0008225	16,58
300	300000	344	0,172	0,00086	17,15
310	310000	359	0,1795	0,0008975	17,72
320	320000	375	0,1875	0,0009375	18,29
330	330000	391	0,1955	0,0009775	18,86
340	340000	408	0,204	0,00102	19,43
350	350000	425	0,2125	0,0010625	20,01
360	360000	442	0,221	0,001105	20,58
370	370000	463	0,2315	0,0011575	21,15
380	380000	480	0,24	0,0012	21,72
390	390000	500	0,25	0,00125	22,29
400	400000	520	0,26	0,0013	22,86
410	410000	541	0,2705	0,0013525	23,44
420	420000	561	0,2805	0,0014025	420
430	430000	583	0,2915	0,0014575	430
440	440000	606	0,303	0,001515	440
450	450000	630	0,315	0,001575	450
460	460000	655	0,3275	0,0016375	460
470	470000	681	0,3405	0,0017025	470
480	480000	708	0,354	0,00177	480
490	490000	740	0,37	0,00185	490
500	500000	770	0,385	0,001925	500
510	510000	802	0,401	0,002005	510
520	520000	839	0,4195	0,0020975	29,72
530	530000	878	0,439	0,002195	30,29

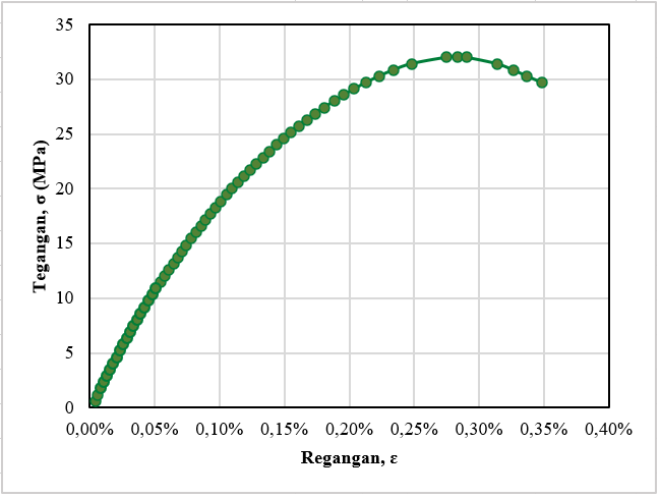
Lanjutan Tabel 5. 27 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Serbuk Kapur 0% dan Abu Sekam Padi 0% Metode Karung Goni

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
540	540000	923	0,4615	0,0023075	30,87
550	550000	979	0,4895	0,0024475	31,44
560	560000	1085	0,5425	0,0027125	32,01
560,8	560800	1120	0,56	0,0028	32,05
560	560000	1148	0,574	0,00287	32,01
550	550000	1241	0,6205	0,0031025	31,44
540	540000	1292	0,646	0,00323	30,87
530	530000	1335	0,6675	0,0033375	30,29
520	520000	1380	0,69	0,00345	29,72

Berdasarkan nilai tegangan dan regangan yang tercantum pada tabel di atas, dapat disusun grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan beton untuk setiap variasi dan metode perawatan. Grafik hubungan tegangan dan regangan untuk metode perawatan dengan perendaman pada sampel 1 serta untuk metode perawatan dengan penutupan menggunakan karung goni pada sampel 1 ditampilkan secara berurutan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5. 11.



Gambar 5. 10 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan perendaman sampel 1



Gambar 5. 11 Grafik modulus elastisitas beton metode perawatan ditutup karung goni sampel 1

Berdasarkan Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 didapatkan daerah plastis dan daerah elastis. Pada penelitian ini bersamaan yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastistias beton adalah permaan ASTM C-469:1994 pada persamaan (3.11) . Adapun contoh perhitungannya antara lain sebagai berikut.

1. Perendaman

   S1 = 1,68 MPa

   S2 = 10,05 MPa

   ε1 = 0,000045

   ε2 = 0,0004475

   Ec $= \frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$

   $= \frac{10{,}05-1{,}68}{0{,}0004475-0{,}000045}$

   = 20810,46 MPa

2. Ditutup karung goni

   S1 = 1,71 MPa

   S2 = 13,15 MPa

   ε1 = 0,00005

   ε2 = 0,00061

   Ec $= \frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$

$= \frac{13,15-1,71}{0,00061-0,00005}$

= 20413,78 MPa

Nilai modulus elastisitas juga dapat dihitung menggunakan persmaan pendekatan empiris dari SNI 2847-2019 pasal 19.2.2. Adapun contoh perhitungannya antara lain sebagai berikut.

1. Perendaman
   a. Ec $= Wc^{1,5}\ x\ 0,043\ x\ \sqrt{f'c}$
      $= 2289,911^{1,5}\ x\ 0,043\ x\ \sqrt{25,19}$
      = 23648,9 MPa
   b. Ec $= 4700\ x\ \sqrt{f'c}$
      $= 4700\ x\ \sqrt{25,19}$
      = 23589,15 MPa
2. Ditutup karung goni
   a. Ec $= Wc^{1,5}\ x\ 0,043\ x\ \sqrt{f'c}$
      $= 2332,773^{1,5}\ x\ 0,043\ x\ \sqrt{32,05}$
      = 27429,8 MPa
   b. Ec $= 4700\ x\ \sqrt{f'c}$
      $= 4700\ x\ \sqrt{32,05}$
      = 26609,86 MPa

Adapun hasil rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton yang dihitung dengan menggunakan persamaan ASTM C-469 dan pendekatan empiris dari SNI 2847-2019, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5. 28 dan Tabel 5. 29

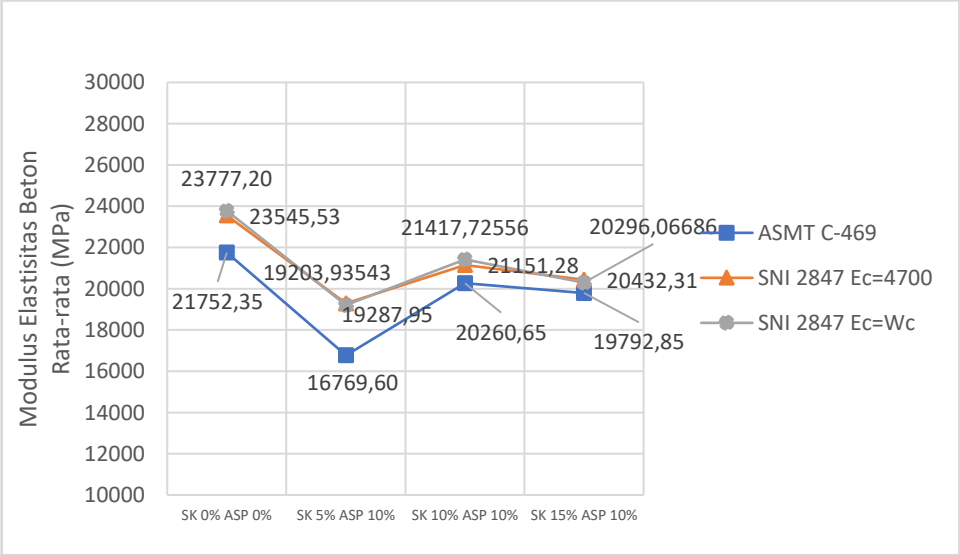
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan Perendaman

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat tekan (MPa)	ASTMC – 469 Ec= $\frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$	Rerata	SNI 2847-2019 Ec=4700 x $\sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019	Rerata
Perendaman	28 Hari	S1-A	151,000	303,750	2289,911	25,19	20810,46	21752,35	23589,15	23545,53	23648,89	23777,20
		S2-A	151,200	302,225	2331,131	23,11	20111,64		22592,94		23264,49	
		S3-A	151,170	300,500	2307,063	25,98	29563,52		23956,31		24287,34	
		S4-A	151,170	300,000	2279,336	26,39	19171,05		24143,11		24036,78	
		S5-A	150,500	304,000	2299,188	24,89	19105,09		23446,13		23648,49	
		S1-B	150,150	304,275	2280,547	15,37	15060,11	16769,60	18424,34	19287,95	18357,82	19203,94
		S2-B	149,075	301,075	2324,635	14,87	15852,75		17992,70		18583,16	
		S3-B	150,150	304,000	2245,641	17,67	15639,35		19754,27		19232,78	
		S4-B	150,125	300,075	2246,214	18,97	19572,80		20468,01		19935,30	
		S5-B	149,200	301,075	2294,525	17,75	17722,98		19800,45		19910,62	
		S1-C	149,200	305,050	2321,251	16,12	23345,67	20260,65	18872,60	21151,28	19310,14	21417,73
		S2-C	149,350	305,200	2324,242	20,57	18121,29		21314,73		21851,06	
		S3-C	149,275	306,000	2308,172	21,79	21097,64		21938,11		22257,28	
		S4-C	150,250	303,350	2286,502	21,42	18256,73		21749,97		21756,39	
		S5-C	150,350	306,150	2288,335	21,67	20481,92		21880,99		21913,76	
		S1-D	150,000	305,100	2250,368	17,80	17119,19	19792,85	19827,68	20432,31	19365,24	20296,07
		S2-D	150,000	305,000	2266,691	18,59	22191,54		20267,28		20010,34	
		S3-D	150,150	301,200	2280,579	20,37	22780,00		21209,99		21133,86	
		S4-D	149,000	299,450	2314,706	18,64	21046,07		20294,35		20677,09	
		S5-D	152,150	305,400	2266,112	19,14	15827,47		20562,25		20293,79	

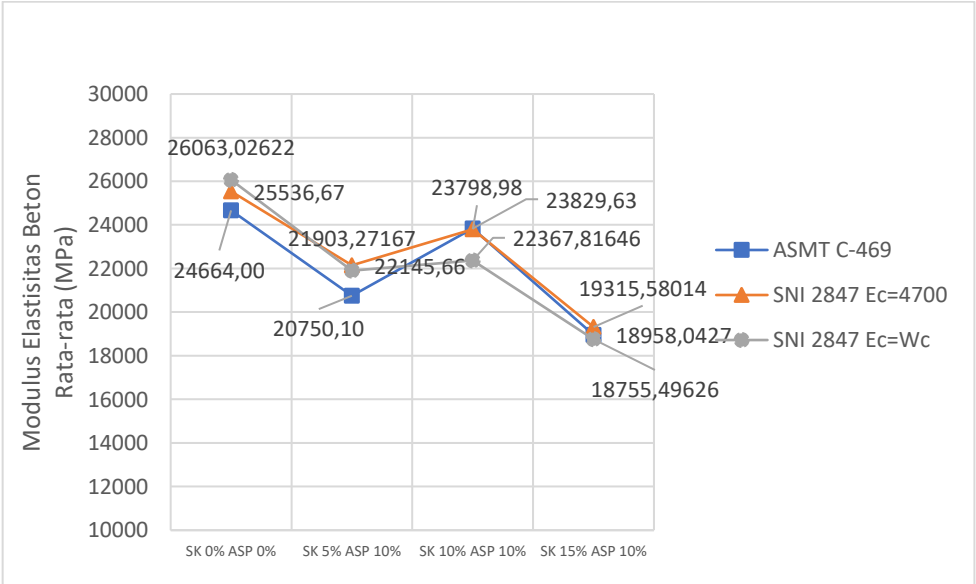
Tabel 5. 29 Rekapitulasi Modulus Elastisitas Metode Perawatan ditutup karung goni

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat tekan (MPa)	ASTMC – 469 Ec= $\frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$	Rerata	SNI 2847-2019 Ec=4700 x $\sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019	Rerata
Ditutup karung goni	28 Hari	SG1-A	149,250	304,075	2332,773	32,05	20413,78	24664,00	26609,86	25536,67	27429,76	26063,03
		SG2-A	150,125	302,200	2311,365	28,62	25264,50		25143,89		25562,66	
		SG3-A	149,300	305,000	2334,629	30,48	26880,14		25947,83		26779,24	
		SG4-A	149,325	303,274	2323,971	30,56	19373,61		25982,35		26631,46	
		SG5-A	150,250	304,000	2280,500	26,07	31387,97		23999,40		23912,01	
		SG1-B	150,100	303,400	2245,062	21,87	17702,88	20750,10	21980,00	22145,66	21391,48	21903,27
		SG2-B	149,200	307,000	2268,313	23,75	17794,59		22906,83		22640,72	
		SG3-B	150,400	307,250	2261,222	23,87	23008,16		22960,85		22587,78	
		SG4-B	149,400	301,300	2287,434	20,16	26844,17		21102,58		21121,71	
		SG5-B	150,175	301,200	2285,818	21,47	18400,67		21778,02		21774,67	
		SG1-C	149,300	304,200	2233,926	25,90	20637,01	23829,63	23918,50	23798,98	23105,09	22367,82
		SG2-C	150,100	304,350	2189,962	25,55	25522,02		23756,88		22274,86	
		SG3-C	149,075	301,400	2186,215	22,71	24038,96		22398,29		20947,14	
		SG4-C	150,350	302,000	2165,912	27,21	25365,02		24517,04		22609,96	
		SG5-C	149,300	304,050	2191,255	26,96	23585,16		24404,17		22902,04	
		SG1-D	151,400	303,100	2217,287	16,72	14242,75	18958,04	19218,09	19315,58	18357,51	18755,50
		SG2-D	150,300	304,250	2237,282	13,25	19187,32		17108,83		16564,25	
		SG3-D	150,000	305,400	2258,163	17,96	23097,32		19918,89		19555,49	
		SG4-D	150,450	305,100	2224,758	18,12	19959,82		20005,81		19206,62	
		SG5-D	149,200	302,250	2268,574	18,70	18303,01		20326,28		20093,61	

Berdasarkan rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton pada Tabel 5. 27 dan Tabel 5. 28, nilai-nilai tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik. Grafik modulus elastisitas beton tersebut ditampilkan pada Gambar 5. 12 dan Gambar 5. 13.



Gambar 5. 12 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 menunjukkan adanya perbedaan nilai modulus elastisitas beton antara metode perendaman dan metode perawatan dengan karung goni. Adapun perhitungan serta persentase selisih nilai modulus elastisitas beton berdasarkan metode persamaan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019 disajikan pada Tabel 5. 30, Tabel 5. 31, dan 5. 32 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SB - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$

$= \frac{16769{,}60 - 21752{,}35}{21752{,}35}\ x\ 100\%$

= -22,9%

Tabel 5. 30 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Terhadap Beton Normal

kadar campuran	ASTMC – 469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
SK 0% ASP 0%	0,0%	0,0%	0,0%
SK 5% ASP 10%	-22,9%	-18,1%	-19,2%
SK 10% ASP 10%	-6,9%	-10,2%	-9,9%
SK 15% ASP 10%	-9,0%	-13,2%	-14,6%

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% memiliki selisih modulus elastisitas terhadap beton normal masing-masing sebesar -22,9%, -6,9%, dan -9,0% dengan campuran abu sekam padi 10%. Hasil di atas menunjukkan nilai negatif, yang mengindikasikan adanya penurunan nilai modulus elastisitas. Meskipun terjadi peningkatan pada variasi SK 10% ASP 10%, campuran tersebut belum mampu menggantikan pasta semen dalam beton sepenuhnya, sehingga hasilnya tetap negatif.

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

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SGB - rerata\ SGA}{rerata\ SGA}\ x\ 100\%$

$= \frac{20750{,}10 - 24664{,}00}{24664{,}00}\ x\ 100\%$

= -15,9%

Tabel 5. 31 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal

kadar campuran	ASTMC – 469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
SK 0% ASP 0%	0,0%	0,0%	0,0%
SK 5% ASP 10%	-15,9%	-13,3%	-16,0%
SK 10% ASP 10%	-3,4%	-6,8%	-14,2%
SK 15% ASP 10%	-23,1%	-24,4%	-28,0%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih modulus elastisitas terhadap beton normal masing-masing sebesar -15,9%, -3,4%, dan -23,1%. Hasil di atas menunjukkan nilai negatif, yang mengindikasikan adanya penurunan nilai modulus elastisitas. Meskipun terjadi peningkatan pada variasi SK 10% ASP 10%, campuran tersebut belum mampu menggantikan pasta semen dalam beton sepenuhnya, sehingga hasilnya tetap negatif.

3. Persentase metode perendaman dengan ditutup karung goni

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SGA - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$

$= \frac{21752{,}35 - 24664{,}00}{24664{,}00}\ x\ 100\%$

$= 13{,}4\%$

Tabel 5. 32 Persentase Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Dengan Metode Ditutup Karung Goni

kadar campuran	ASTMC – 469	SNI 2847-2019	SNI 2847-2019
SK 0% ASP 0%	13,4%	8,5%	9,6%
SK 5% ASP 10%	23,7%	14,8%	14,1%
SK 10% ASP 10%	17,6%	12,5%	4,4%
SK 15% ASP 10%	-4,2%	-5,5%	-7,6%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih modulus elastisitas terhadap beton metode

perawatan ditutup karung goni masing-masing sebesar 13,4%, 23,7%, 17,6%, dan -4,2%. Dari hasil tersebut metode ditutup karung goni memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan metode perendaman. Pada variasi serbuk kapur 15% abu sekam padi 10% menunjukkan nilai negatif yang menunjukkan nilai modulus elastis dengan metode perendaman lebih besar dari pada metode karung goni.

Nilai modulus elastisitas yang diperoleh dalam penelitian ini tidak sesuai dengan hasil penelitian oleh Putra (2024) dan Agustina (2023). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putra (2024), diperoleh hasil bahwa modulus elastisitas beton dengan metode perendaman lebih tinggi dibandingkan dengan metode penutupan menggunakan karung goni. Hal ini disebabkan oleh metode perendaman yang lebih efektif dalam memenuhi proses hidrasi beton secara optimal. Sementara itu, pada metode penutupan dengan karung goni, masih terdapat celah pada permukaan beton, sehingga beton tidak tertutup secara sempurna. Penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023) menunjukkan bahwa metode perendaman menghasilkan modulus elastisitas beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode penutupan menggunakan karung goni basah.. Pada penelitian ini perawatan dengan metode ditutup karung goni memiliki hasil lebih optimal dibandingkan metode perendaman. Perbedaan ini bisa jadi dari bahan tambah yang digunakan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas yang dihasilkan melalui metode perawatan dengan ditutup karung goni pada penelitian ini menghasilkan nilai modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan dengan metode perendaman. Hal ini sebanding dengan kuat tekan yang dihasilkan juga lebih besar pada metode rawatan ditutup karung goni.

5.8 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton dilakukan menggunakan sistem pembebanan satu titik pada benda uji berbentuk balok dengan dimensi 10 cm × 10 cm × 40 cm. Pengujian ini dilaksanakan setelah benda uji mencapai usia 28 hari, sesuai dengan ketentuan SNI 4154-2014. Pada sistem pembebanan satu titik, beban diberikan secara tegak lurus terhadap sumbu benda uji di bagian tengah bentang hingga

mencapai beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji. Berikut ini merupakan contoh perhitungan kuat lentur beton.

1. Perendaman

$R_1 = \frac{3PL}{2bd^2}$

$= \frac{3\ x\ (700\ x\ 9{,}81) x\ 300}{2\ x\ 102{,}3\ x 90{,}9^2}$

= 3,6557 MPa

2. Ditutup karung goni

$R_1 = \frac{3PL}{2bd^2}$

$= \frac{3\ x\ (720 x 9{,}81) x\ 300}{2\ x\ 100{,}1\ x 102{,}2^2}$

= 3,0400 MPa

Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan metode yang sama seperti perhitungan diatas untuk memperoleh nilai kuat lentur pada setiap variasi. Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan kuat lentur untuk setiap metode perawatan dan variasi.

Tabel 5. 33 Rekapituilasi hasil perhitungan kuat lentur beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Persentase Campuran	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
Perendaman	28 Hari	SK 0% ASP 0%	B1-A	3,6557	2,911
			B2-A	2,5865	
			B3-A	2,4908	
		SK 5% ASP 10%	B1-B	4,1209	3,794
			B2-B	3,1134	
			B3-B	4,1479	
		SK 10% ASP 10%	B1-C	3,4085	3,335
			B2-C	3,3856	
			B3-C	3,2120	
		SK 15% ASP 10%	B1-D	2,3201	2,363
			B2-D	2,4086	
			B3-D	2,3611	

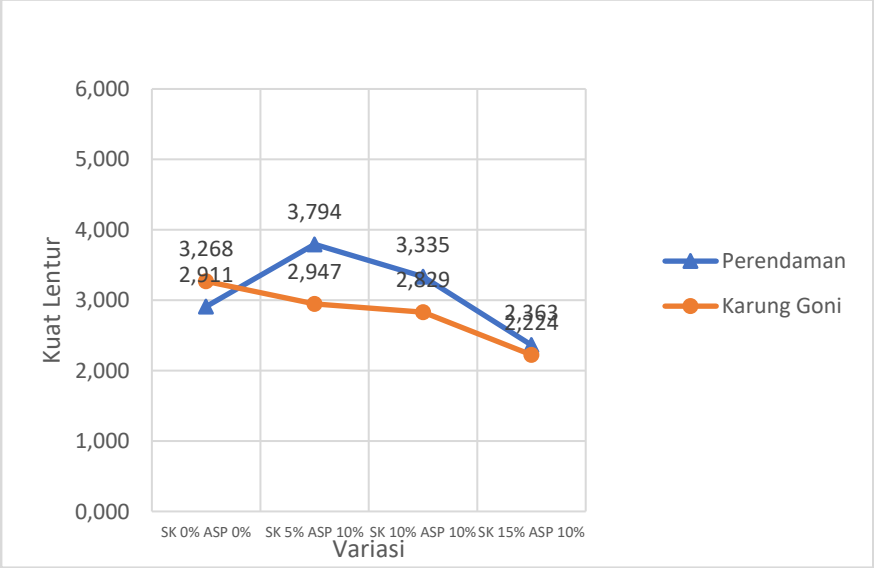
Lanjutan Tabel 5. 33 Rekapituilasi hasil perhitungan kuat lentur beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Persentase Campuran	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)
Karung Goni	28 Hari	SK 0% ASP 0%	BG1-A	3,0400	3,268
			BG2-A	3,2158	
			BG3-A	3,5475	
		SK 5% ASP 10%	BG1-B	3,6109	2,947
			BG2-B	2,7124	
			BG3-B	2,5176	
		SK 10% ASP 10%	BG1-C	2,5488	2,829
			BG2-C	3,0911	
			BG3-C	2,8476	
		SK 15% ASP 10%	BG1-D	1,9646	2,224
			BG2-D	2,3074	
			BG3-D	2,3992	

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 SK 0% ASP 0% = 2,911
2. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi SK 5% ASP 10% = 3,794
3. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi SK 10% ASP 10% = 3,335
4. Kuat lentur rata-rata perendaman variasi SK 15% ASP 10% = 2,363
5. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi SK 0% ASP 0% = 3,268
6. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi SK 5% ASP 10% = 2,947
7. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi SK10%ASP10% = 2,829
8. Kuat lentur rata-rata ditutup karung goni variasi SK15%ASP10% = 2,224

Berdasarkan nilai kuat lentur rata-rata dari setiap metode perawatan dan variasi, dapat dibuat grafik yang menunjukkan nilai kuat lentur beton untuk masing-masing metode perawatan dan variasi. Grafik tersebut 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 dengan metode ditutup karung goni mengalami penurunan sedangkan pada metode perendaman mengalami peningkatan pada variasi serbuk kapur 5% abu sekam padi 10% dan mengalami penurunan pada variasi serbuk kapur 10% abu sekam padi 10%.

Adapun perhitungan persentase dan rekapitulasinya disajikan pada tabel 5. 34, tabel 5. 35, dan tabel 5. 36 berikut.

1. Persentase metode perendaman dengan tolak ukur beton normal

$$\text{Persentase selisih} = \frac{rerata\ SB - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$$

$$= \frac{3{,}794 - 2{,}911}{2{,}911}\ x\ 100\%$$

$$= 30{,}3\%$$

Tabel 5. 34 Persentase Nilai Kuat Lentur Untuk Metode Rawatan Perendaman Terhadap Beton Normal

kadar campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
SK 0% ASP 0%	0,0%
SK 5% ASP 10%	30,3%
SK 10% ASP 10%	14,6%
SK 15% ASP 10%	-18,8%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat lentur terhadap beton normal masing-masing sebesar 30,3%, 14,6%, dan -18,8%. Hal ini disebabkan oleh kemampuan serbuk kapur dalam mengisi pori-pori kecil pada pasta semen, sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat. Namun, pada variasi 15%, nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat lentur.

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

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SB - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$

$= \frac{2{,}947 - 3{,}268}{3{,}268}\ x\ 100\%$

= -9,8%

Tabel 5. 35 Persentase Nilai Kuat Lentur Untuk Metode Rawatan Ditutup Karung Goni Terhadap Beton Normal

kadar campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
SK 0% ASP 0%	0,0%
SK 5% ASP 10%	-9,8%
SK 10% ASP 10%	-13,4%
SK 15% ASP 10%	-31,9%

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat lentur terhadap beton normal masing-masing sebesar -9,8%, -13,4%, dan -31,9%. Nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat lentur. Hasil diatas menunjukkan bahwa metode perawatan ditutup karung goni memiliki penurunan kuat lentur seiring dengan penambahan campuran serbuk kapur dan abu sekam padi.

3. Persentasi metode perendaman dengan ditutup karung goni

Persentase selisih $= \frac{rerata\ SGA - rerata\ SA}{rerata\ SA}\ x\ 100\%$

$= \frac{3{,}268 - 2{,}911}{2{,}911}\ x\ 100\%$

= 12,3%

Tabel 5. 36 Persentase Nilai Kuat Lentur Beton Metode Perendaman Dengan Metode Ditutup Karung Goni

kadar campuran	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur Beton
SK 0% ASP 0%	12,3%
SK 5% ASP 10%	-22,3%
SK 10% ASP 10%	-15,2%
SK 15% ASP 10%	-5,9%

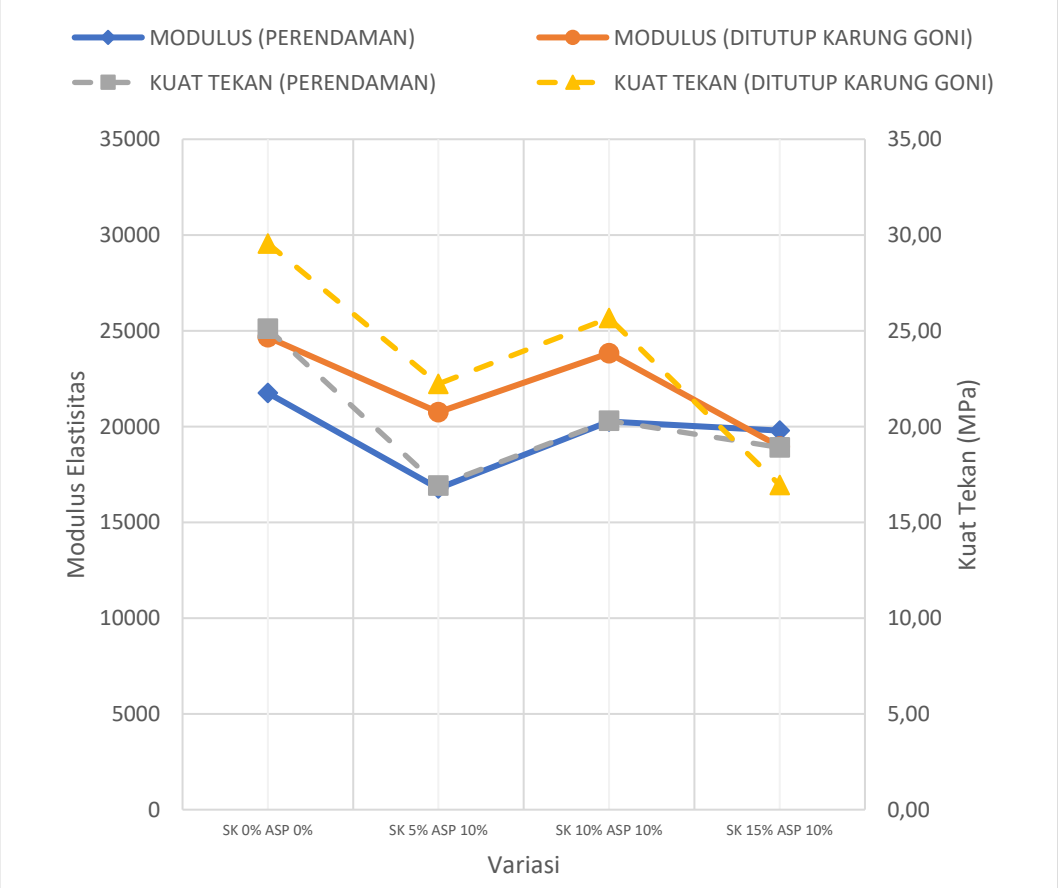
Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode perawatan dengan perendaman pada variasi serbuk kapur 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan campuran abu sekam padi 10% memiliki selisih kuat lentur terhadap beton metode perawatan ditutup karung goni masing-masing sebesar 12,3%, -22,3%, -15,2%, dan -5,9%. Pada beton variasi 0% didapatkan nilai positif menunjukkan metode ditutup karung goni memiliki nilai kuat lentur yang lebih baik. Nilai negatif menunjukkan adanya penurunan nilai kuat lentur. Hasil diatas menunjukkan bahwa metode perawatan ditutup karung goni memiliki penurunan kuat lentur seiring dengan penambahan campuran serbuk kapur dan abu sekam padi.

Hasil kuat lentur yang didapat pada penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan dan kuat lentur tidak selalu selaras. Penelitian oleh Putra (2024), Agustina (2023) dan Suryani (2018) menyatakan bahwa semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi pula kuat lentur. Namun hasil penelitian ini tidak menunjukkan hubungan yang konsisten.

Metode perendaman menghasilkan kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode perawatan menggunakan karung goni, yang tidak sejalan dengan hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dalam penelitian ini. Meskipun sampel balok dan silinder dibuat secara bersamaan, hasil pengujian keduanya menunjukkan ketidaksesuaian. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai bahan tambah yang digunakan serta metode perawatan yang diterapkan dalam jumlah sampel yang lebih banyak.

5.9 Pembahasan Secara Keseluruhan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas yang telah dianalisis. Untuk memperjelas temuan tersebut, maka disajikan gambar grafik yang menggambarkan hasil pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas pada berbagai variasi campuran serta metode perawatan yang digunakan. Grafik ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tren perubahan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas, serta bagaimana kedua parameter tersebut saling berkaitan dalam penelitian ini. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Antara Modulus Elastisitas Dengan Kuat Tekan

Berdasarkan gambar grafik di atas, hasil kuat tekan dan modulus elastisitas menunjukkan seiring bertambahnya serbuk kapur memberikan dampak terhadap penurunan kuat tekan. Semakin tinggi persentase serbuk kapur yang ditambahkan, semakin menurunkan kuat tekan beton. Meskipun demikian, terdapat kenaikan nilai pada variasi 10% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi, namun tidak lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian oleh Piusaputri (2023) yang menyatakan semakin tinggi komposisi serbuk kapur tohor terhadap semen maka semakin rendah kuat tekannya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh serbuk kapur dan abu sekam padi belum dapat menggantikan pasta semen, sehingga tidak menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat.

Pada penelitian ini hasil kuat tekan dan modulus elastisitas menggunakan metode ditutup karung goni memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode perendaman dimana tidak sejalan dengan penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu oleh Putra (2024), Agustina (2023) dan Suryani (2018) menyatakan bahwa metode rawatan perendaman lebih baik dibandingkan dengan ditutup dengan karung goni.

Ada beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan hal ini terjadi, yaitu pada metode pembuatan sampel dilakukan 5 silinder dan 3 balok atau hanya untuk satu jenis perawatan dalam 1 kali pencampuran (*mixing*). Pembuatan sampel untuk 2 metode perawatan tidak dilakukan dalam 1 pencampuran maka belum tentu 100% sama pada sampel yang akan diuji metode perawatannya. Bahan tambah juga dapat menjadi faktor pada penelitian ini, sehingga diperluakan penelitian lanjut dari segi kimiawi dan sifatnya yang dapat mempengaruhi metode perawatan.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh substitusi serbuk kapur dan abu sekam padi sebagai sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari dengan mutu rencana 25 MPa adalah sebagai berikut.
   a. Nilai kuat tekan maksimum terdapat pada beton normal dengan metode perawatan perendaman sebesar 25,11 MPa dan metode ditutup karung goni sebesar 29,56 MPa. Pada variasi subtitusi abu sekam padi dan serbuk kapur nilai kuat tekan beton mengalami penurunan mutu. Variasi yang memberikan nilai maksimum kuat tekan pada beton substitusi adalah campuran abu sekam padi 10% dan serbuk kapur 10%, dengan metode perawatan karung goni, yaitu sebesar 25,67 MPa. Nilai ini menunjukkan peningkatan sebesar 2,2% dibandingkan beton normal dengan metode perendaman.
   b. Nilai modulus elastisitas dihitung menggunakan persamaan ASTM C-469. Nilai maksimum terdapat pada beton normal dengan metode perawatan perendaman sebesar 21752,35 dan metode ditutup karung goni sebesar 24664,00. Pada variasi subtitusi abu sekam padi dan serbuk kapur nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan mutu. Variasi yang memberikan nilai maksimum pada beton subtitusi adalah serbuk kapur 10% dan abu sekam padi 10% pada metode ditutup karung goni sebesar 23829,63.

c. Diketahui pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi metode perawatan beton. Pada metode perawatan perendaman terjadi peningkatan kualitas beton hingga variasi 5% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi, sedangkan pada metode perawatan ditutup karung goni terjadi penurunan kualitas beton seiring bertambahnya campuran serbuk kapur dan abu sekam padi. Pada metode perawatan perendaman nilai kuat lentur maksimum didapatkan pada variasi 5% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi sebesar 3,794 MPa. Pada metode perawatan ditutup karung goni nilai kuat lentur maksimum didapatkan pada variasi beton normal sebesar 3,268 MPa dan kuat lentur optimal didapatkan pada variasi 5% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi sebesar 2,947 MPa.

2. Berdasarkan penelitian ini, nilai yang dihasilkan oleh metode perawatan ditutup karung goni memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada nilai yang dihasilkan oleh metode perawatan perendaman. Sehingga untuk metode perawatan ditutup karung goni dapat diaplikasikan di lapangan. Hasil dari metode perawatan ditutup karung goni nilai maksimal didapatkan pada beton normal. Variasi yang memberikan nilai maksimum pada beton didapatkan pada variasi 10% serbuk kapur dan 10% abu sekam padi, namun tidak lebih tinggi dibandingkan dengan beton normal. Sedangkan metode perawatan perendaman pada seluruh variasi belum memenuhi dengan mutu rencana sebesar 25 MPa.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hal berikut dapat dijadikan rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya mengenai pengaruh beton dengan campuran serbuk kapur dan abu sekam padi menggunakan metode perawatan beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton.

1. Pada pembuatan beton dalam dua metode perawatan dilakukan pembuatan sampel sekali pencampuran agar kondisi sampel sama dan memiliki sifat yang sama.

2. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai kandungan kimia yang ada dalam serbuk kapur dan abu sekam padi agar mengetahui seberapa pengaruh bahan tambah tersebut dalam campuran beton.
3. Variasi selanjutnya dapat diteliti lebih lanjut pada retan variasi 5% - 10% serbuk kapur dengan tambahan abu sekam padi 10%.
4. Penambahan jumlah sampel mungkin diperlukan.

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*.

Agustina, H.A. (2020) *Pengaruh Metode Rawatan Beton Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Dan Kuat Lentur.* Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2020 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, pp. 390–396.

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

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

Badan Standardisasi Nasional (1996). *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 MM). SNI 4142-1996.*

Badan Standardisasi Nasional (1998). *SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat*, pp. 1–6.

Badan Standardisasi Nasional (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal, Sni 03-2834-2000,* pp. 1–34.

Badan Standardisasi Nasional (2002). *SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.*, *Bandung: Badan Standardisasi Nasional*, pp. 251.

Badan Standardisasi Nasional (2008). *SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, Badan Standardisasi Nasional*, pp. 7–18.

Badan Standardisasi Nasional (2008). *SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standar Nasional Indonesia*, pp. 20.

Badan Standardisasi Nasional (2011). S*NI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*, *Badan Standarisasi Nasional,* Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk*

Bangunan Gedung SNI 2847-2013, *Badan Standarisasi Nasional*, pp. 265.

Badan Standardisasi Nasional (2014). S*NI 2491:2014 Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton, Badan Standar Nasional Indonesia*, pp. 1–12.

Badan Standardisasi Nasional (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktur.*

Badan Standardisasi Nasional (BSN) (2008). *SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton, Standar Nasional Indonesia, 10(1),* pp. 5–14.

Bhandari, R. & Gaese, H. (2008). '*Evaluation of Box Type Paddy Dryers in South Sumatra, Indonesia', Agricultural Engineering International: CIGR Ejournal, X,* pp. 1–16.

Da Cruz, J., & Supriatna. (2020). ANALISIS KUAT TEKAN BETON K175 DENGAN CAMPURAN SERBUK, *Civil Engineering Research Journal (Vol. 1).*, 1(April), pp. 9–13.

Devi, D.S., Nurmeyliandari, R. & Pramadona, A.P. (2024). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton*, Borneo Engineering : Jurnal Teknik Sipil, 8(1),* pp. 74–82.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971,* Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, pp.

Farhan, M., Nuklirullah, M. & Bahar, F.F. (2023). Pengaruh Penggunaan Abu-Sekam Padi sebagai Bahan Tambahan Terhadap Kuat Tekan Beton, *Jurnal Teknik, 21(1),* pp. 58–67.

Handayani, P.A., Nurjanah, E. & Rengga, W.D.P. (2014). *Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel, Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, pp. 55–59.

Hardiyati, C., Sudarman & Charol Vincenthius Tethool, Y. (2023). *Pemanfaatan Limbah Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pembuatan Beton Normal Di Kabupaten Manokwari Selatan, Prosiding SEMSINA,* pp. 50–53.

Naville (2019). *Properties of Concrete*, *Sustainability (Switzerland)*.

Piusaputri, M. A. G., Zuraidah, S., & Sujatmiko, B. (2023). Pengaruh substitusi serbuk kapur tohor terhadap semen pada SCC. *Jurnal CONCRETE: Construction and Civil Integration Technology*

Putra, R. R. S., & Hardawati, A. (2024). Analisis metode rawatan beton

menggunakan campuran serbuk kapur terhadap kuat tekan beton, *Proceeding Civil Engineering Research Forum,* pp. 252-257.

Rochmah, N., Sutriono, B., Beatrix, M., & Pertiwi, D. (2022). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi* Vol. 10, No.1, April 2022, pp. 19-24.

Suryani, A., Dewi, S.H. & Harmiyati. (2018). *Korelasi Kuat Lentur Beton Dengan Kuat Tekan Beton The Correlation Of Bending Strenght And Compressive Strength of Concrete, Jurnal Saintis*, 18(2), pp. 43–54.

Tjokrodimuljo, Kardiyono. (1992). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UGM.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Time Schedule*

No	Pekerjaan	Bobot	Durasi	Bulan ke 1				Bulan ke 2				Bulan ke 3				Bulan ke 4				Bulan ke 5				Bulan ke 6			
		(%)	(Jam)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	Persiapan dan Pelaksanaan																										
1	Studi Literatur	5	12	3	3	3	3																				
2	Persiapan Bahan dan Alat	5	15					3	3	4	5																
3	Pemeriksaan Agregat	10	9									4	5														
4	Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa	5	4											4													
5	Pembuatan Benda Uji *Trial* Umur 7 hari	10	4											4													
6	Pengujian Benda Uji Trial	5	4												4												
7	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	20	34												4	7	7	8	8								
B	Pengumpulan Data																										
1	Pengujian Benda Uji	10	20																	5	5	5	5				
2	Pengelolaan Data	5	6																			3	3				
C	Analisis dan Pembahasan																										
1	Analisis Data	5	15																					5	5	5	
2	Penyusunan Bab Pembahasan	5	15																						5	5	5
D	Penyusunan Laporan																										
1	Laporan Akhir	15	52	0.3	0.3	1.3	2	3	1.3	5.3	5.3	5	5	2	1.2	0.4	0.4	0.4	0.4	2	4.2	2.5	2.5	4	1.2	1	1
Total		100	190																								
Durasi Detail Rencana (Jam/Minggu)				3.3	3.3	4.3	5	6	4.3	9.3	10	9	10	10	9.2	7.4	7.4	8.4	8.4	7	9.2	11	11	9	11	11	6
Total Durasi Rencana				3.3	6.6	11	16	22	26	36	46	55	65	75	84	91	99	107	116	123	132	142	153	162	173	184	190

Lampiran 2 Laporan Hasil Pemeriksaan Agregat

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

(SNI 03-1970-1990)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490	488	489
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	958	948	953
Berat piknometer berisi air, gram (B)	650	650	650
Berat Jenis Curah Bk / (BJ – Ba)	2,552	2,416	2,484
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,604	2,475	2,540
Berat Jenis Semu Bk / (Bk-Ba)	2,692	2,568	2,630
Penyerapan Air (500-Bk) / Bk x 100%	2,04%	2,46%	2,25%

PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	0	0,00	0,00	100,00
2,40	40	2,00	2,00	98,00
1,20	307	15,37	17,37	82,63
0,60	680	34,03	51,40	48,60
0,30	572	28,63	80,03	19,97
0,15	319	15,97	96,00	4,00
Sisa	80	4,00	100,00	0,00
Jumlah	1998	100	247	
MHB				2,47

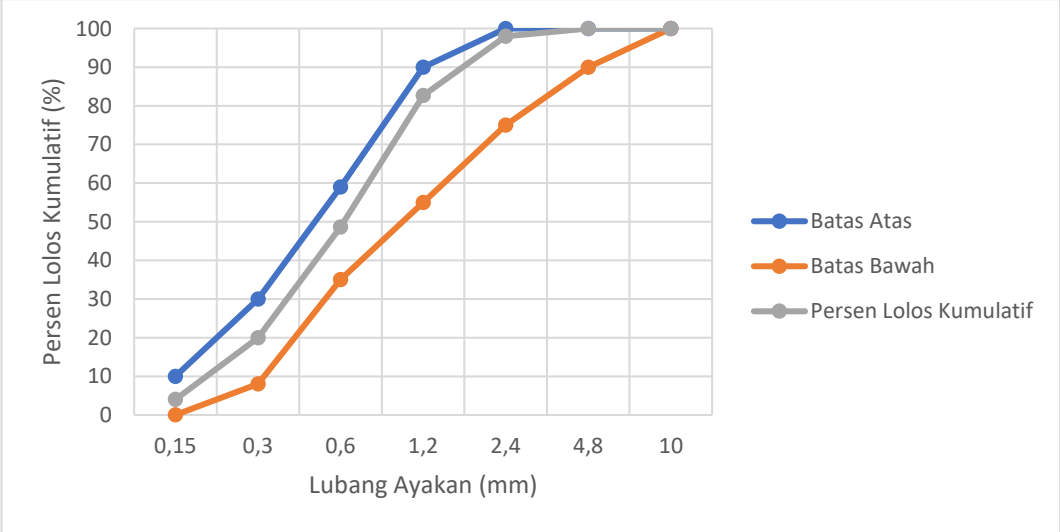
Modulus halus butir 1 (MHB1) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{247}{100}$

$= 2,47$

Hasil Analisa Saringan:	
Pasir Masuk Daerah	II
Jenis Pasir	Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	0	0,00	0,00	100,00
2,40	50	2,50	2,50	97,50
1,20	399	19,95	22,45	77,55
0,60	714	35,70	58,15	41,85
0,30	515	25,75	83,90	16,10
0,15	255	12,75	96,65	3,35
Sisa	67	3,35	100	0,00
Jumlah	2000	100	264	
MHB				2,64

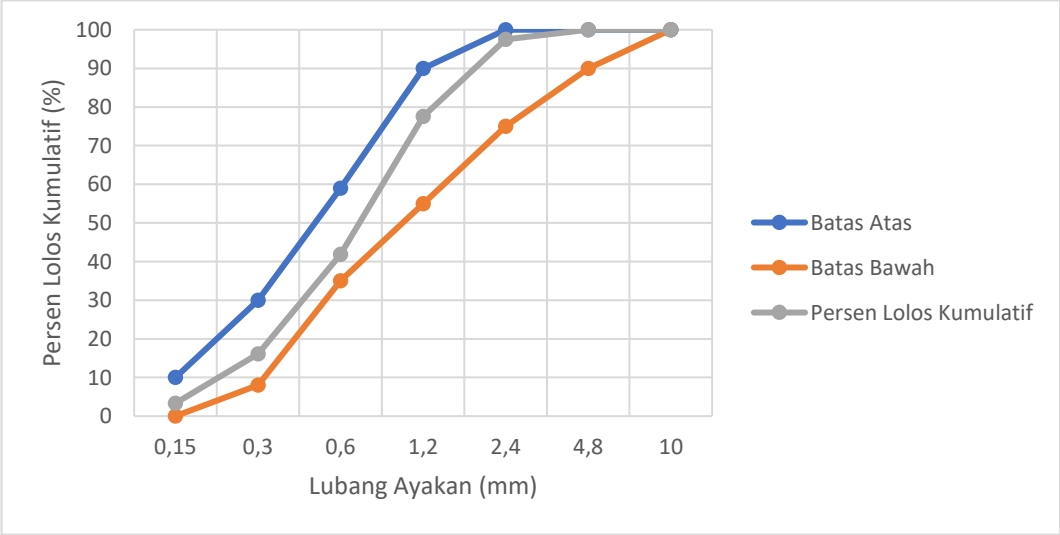
Modulus halus butir 2 (MHB2) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{264}{100}$

$= 2{,}64$

Hasil Analisa Saringan:	
Pasir Masuk Daerah	II
Jenis Pasir	Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17406	16970	17188
Berat Agregat (W3)	6677	6893	6785
Diameter Tabung (d)	15,00	15,30	15,15
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266
Berat Volume Gembur	1,2595	1,2497	1,2546

Berat Volume Gembur $= \frac{Berat\ Agregat\ (W3)}{Volume\ Tabung\ (V)}$

$= \frac{6677}{5301,4376}$

$= 1,2595\ gram/cm^3$

PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10729	10077	10403
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18778	18489	18633,5
Berat Agregat (W3)	8049	8412	8230,5
Diameter Tabung (d)	15,00	15,30	15,15
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30
Volume Tabung (V)	5301,4376	5515,6157	5408,5266
Berat Volume Gembur	1,5183	1,5251	1,5217

Berat Volume Gembur $= \frac{Berat\ Agregat\ (W3)}{Volume\ Tabung\ (V)}$

$= \frac{8049}{5301,4376}$

$= 1,5183\ gram/cm^3$

PENGUJIAN LOLOS SARINGAN No.200 / UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR

(SNI 03-4142-1996)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
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 dicuci (W2), gram	485	498	491,5
Berat yang Lolos Ayakan No.200	3,0%	0,4%	2%

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

(SNI 03-1969-2008)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Hasil Pengamatan**	**Rata- rata**
	Sampel 1	**Sampel 2**	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4963	4952	4957,5
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka (bj)	5000	5000	5000
Berat Kerikil dalam air, gram (Ba)	3073	3069	3071
Berat Jenis Curah Bk/(Bj-Ba)	2,576	2,564	2,570
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,595	2,589	2,592
Berat Jenis Semu Bk/(Bk-Ba)	2,626	2,630	2,628
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	0,746%	0,969%	0,86%

PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN

AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM

(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	124	2,48	2,48	97,52
10,00	2700	54,00	56,48	43,52
4,80	2061	41,22	97,70	2,30
2,40	68	1,36	99,06	0,94
1,20	2	0,04	99,10	0,90
0,60	0	0,00	99,10	0,90
0,30	0	0,00	99,10	0,90
0,15	0	0,00	99,10	0,90
Sisa	45	0,90	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	652	
MHB				6,52

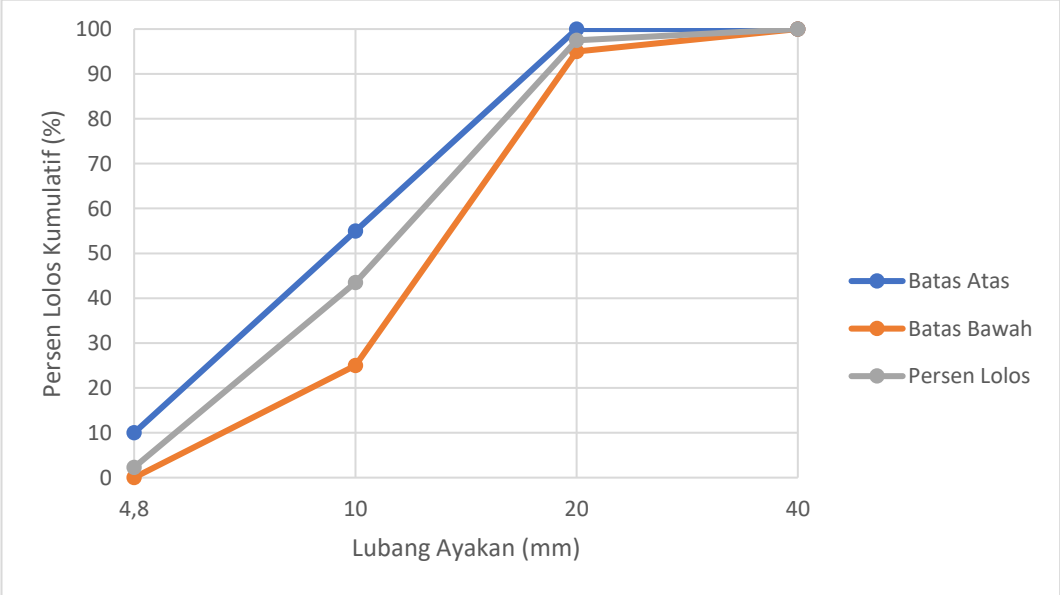
Modulus halus butir 1 (MHB1) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{652}{100}$

$= 6{,}52$

Hasil Analisis Saringan:	
Asal Kerikil	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Ukuran Kerikil	20 mm
Sampel	1

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM
(SNI 03-1968-1990)

Asal Pasir	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	275	5,50	5,50	94,50
10,00	2616	52,33	57,83	42,17
4,80	2011	40,23	98,06	1,94
2,40	54	1,08	99,14	0,86
1,20	3	0,06	99,20	0,80
0,60	0	0,00	99,20	0,80
0,30	0	0,00	99,20	0,80
0,15	0	0,00	99,20	0,80
Sisa	40	0,80	100,00	0,00
Jumlah	4999	100	657	
MHB				6,57

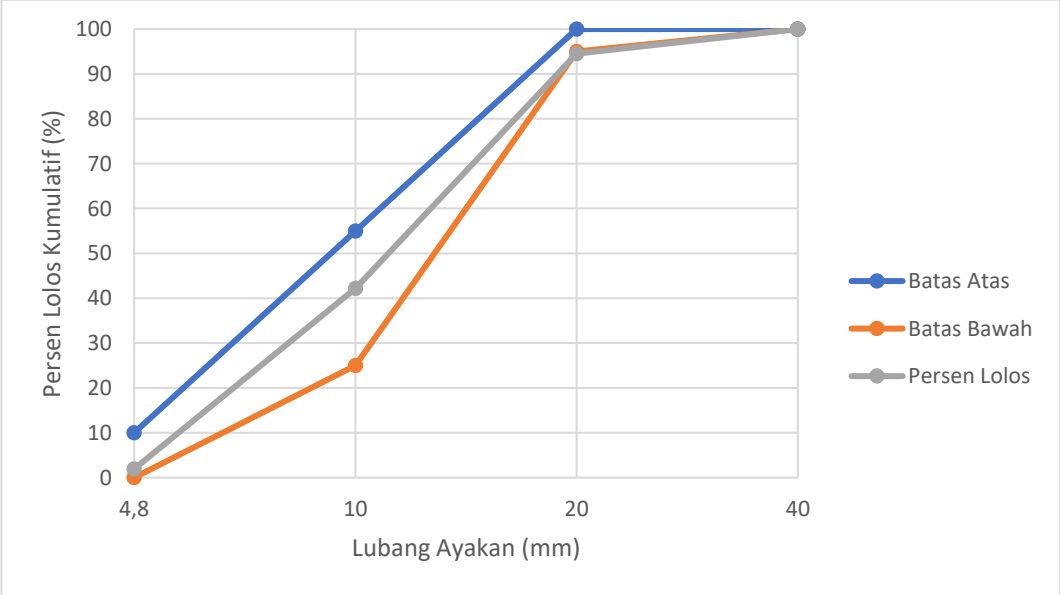
Modulus halus butir 2 (MHB2) $= \frac{\sum \text{persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$

$= \frac{657}{100}$

$= 6{,}57$

Hasil Analisis Saringan:	
Asal Kerikil	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Ukuran Kerikil	20 mm
Sampel	2

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR UKURAN 20 MM



PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10729	10077	10403
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	17618	17215	17416,5
Berat Agregat (W3), gram	6889	7138	7013,5
Diameter Tabung (d)	15	15,3	15,15
Tinggi Tabung (t)	30	30	30
Volume Tabung (V), cm^3	5301,4376	5515,6157	5408,5266
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,2995	1,2941	1,2968

Berat Volume Gembur $= \frac{Berat\ Agregat\ (W3)}{Volume\ Tabung\ (V)}$

$= \frac{6889}{5301,4376}$

$= 1,2995 gram/cm^3$

PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10729	10077	10403
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18334	17850	18092
Berat Agregat (W3), gram	7605	7773	7689
Diameter Tabung (d)	15	15,3	15,15
Tinggi Tabung (t)	30	30	30
Volume Tabung (V), cm^3	5301,4376	5515,6157	5408,5266
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,4345	1,4093	1,4219

Berat Volume Gembur $= \frac{Berat\ Agregat\ (W3)}{Volume\ Tabung\ (V)}$

$= \frac{7605}{5301,4376}$

$= 1,4345\ gram/cm^3$

Lampiran 4 Laporan Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (Silinder/Kubus)	25	MPa	
2	Deviasi Standar (s)	7		
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Tiga roda
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Lab. BKT
	Jenis Agregat Halus	Pasir Alami		Lab. BKT
7	Faktor air semen bebas	0.5		Grafik 1
	Faktor air semen maksimum	0.6		Tabel 4;5; atau 6
8	Faktor air semen digunakan	0.5		Fas minimum
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	
11	Kadar Air Bebas	205	Kg	
12	Kadar Semen	410	Kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325	Kg	tabel 4 SNI
15	Kadar Semen digunakan	410	Kg	kadar semen max
16	Faktor Air Semen disesuaikan	-		
17	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		
18	Berat Jenis Agregat Halus	2.540		
	Berat Jenis Agregat Kasar	2.592		

Lanjutan Lampiran 4 Laporan Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa

No.	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
19	Persen Agregat Halus	41.75	%	grafik 13/14/15
20	Berat Jenis relatif Agregat (gabungan) SSD	2.570		
21	Berat Isi Beton	2313	kg/m^3	grafik 16
22	Kadar Agregat Gabungan	1698	kg/m^3	
23	Kadar agregat halus	708.915	kg/m^3	
24	Kadar Agregat Kasar	989.085	kg/m^3	

Lampiran 5 Data Hasil Campuran Beton dengan Serbuk Kapur dan Abu Sekam Padi Setiap Variasi

Hasil Campuran beton dengan Serbuk Kapur dan Abu Sekam Padi

Kebutuhan Per 5 silinder dan 3 balok (0,0385 m^3)

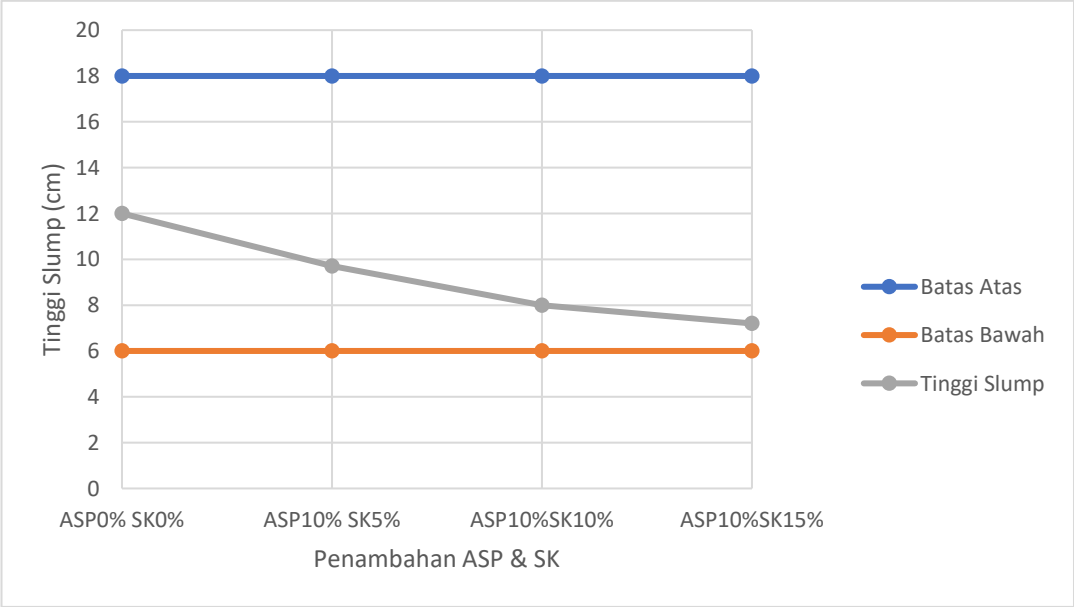
Variasi	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Abu Sekam Padi (Kg)	Serbuk Kapur (Kg)
ASP 0% SK0%	19,735	9,867	34,123	47,609	0	0
ASP10%SK5%	16,793	9,867	34,123	47,609	2,081	0,861
ASP10%SK10%	15,931	9,867	34,123	47,609	2,081	1,722
ASP10%SK15%	15,070	9,867	34,123	47,609	2,081	2,583
Total	67,529	39,470	136,492	190,434	6,243	5,167

Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Slump Beton

Tabel Pengujian Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump	Keterangan Nilai Slump (6-18cm)
	Abu Sekam Padi	Serbuk Kapur		
ASP0% SK0%	0%	0%	12	Memenuhi
ASP10% SK5%	10%	5%	9,7	Memenuhi
ASP10%SK10%	10%	10%	8	Memenuhi
ASP10%SK15%	10%	15%	7,2	Memenuhi

Gambar Grafik Nilai Slump



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Pengujian Kuat Tekan
(SNI 1974-2011)

Nama : Conan Dencis Fayakun
NIM : 20511226

Benda Uji : Silinder
Keperluan : Penelitian Untuk Tugas Akhir

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Perendaman	28	SK0% ASP0%	S1-A	151,000	303,750	12,456	17907,864	451,1	25,19	25,11
			S2-A	151,200	302,225	12,65	17955,333	414,9	23,11	
			S3-A	151,170	300,500	12,443	17948,209	466,3	25,98	
			S4-A	151,170	300,000	12,273	17948,209	473,6	26,39	
			S5-A	150,500	304,000	12,434	17789,465	442,7	24,89	
		SK5% ASP10%	S1-B	150,150	304,275	12,287	17706,819	272,1	15,37	16,92
			S2-B	149,075	301,075	12,216	17454,183	259,5	14,87	
			S3-B	150,150	304,000	12,088	17706,819	312,8	17,67	
			S4-B	150,125	300,075	11,931	17700,923	335,7	18,97	
			S5-B	149,200	301,075	12,078	17483,466	310,3	17,75	

Disahkan Oleh:
Kepala Laboratorium BKT

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

Didata Oleh:
PLP Laboratorium BKT

Daru Salam, A. Md.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Pengujian Kuat Tekan
(SNI 1974-2011)

Nama : Conan Dencis Fayakun
NIM : 20511226

Benda Uji : Silinder
Keperluan : Penelitian Untuk Tugas Akhir

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Perendaman	28	SK10% ASP10%	S1-C	149,200	305,050	12,38	17483,466	281,9	16,12	20,31
			S2-C	149,350	305,200	12,427	17518,638	360,3	20,57	
			S3-C	149,275	306,000	12,361	17501,047	381,3	21,79	
			S4-C	150,250	303,350	12,298	17730,413	379,7	21,42	
			S5-C	150,350	306,150	12,438	17754,022	384,8	21,67	
		SK15% ASP10%	S1-D	150,000	305,100	12,133	17671,459	314,5	17,80	18,91
			S2-D	150,000	305,000	12,217	17671,459	328,6	18,59	
			S3-D	150,150	301,200	12,163	17706,819	360,6	20,37	
			S4-D	149,000	299,450	12,086	17436,625	325,1	18,64	
			S5-D	152,150	305,400	12,583	18181,671	348,0	19,14	

Disahkan Oleh:
Kepala Laboratorium BKT

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

Didata Oleh:
PLP Laboratorium BKT

Daru Salam, A. Md.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Pengujian Kuat Tekan
(SNI 1974-2011)

Nama : Conan Dencis Fayakun
NIM : 20511226

Benda Uji : Silinder
Keperluan : Penelitian Untuk Tugas Akhir

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Ditutup Karung Goni	28	SK0% ASP0%	SG1-A	149,250	304,075	12,410	17495,186	560,8	32,05	29,56
			SG2-A	150,125	302,200	12,364	17700,923	506,6	28,62	
			SG3-A	149,300	305,000	12,466	17506,910	533,6	30,48	
			SG4-A	149,325	303,274	12,343	17512,773	535,2	30,56	
			SG5-A	150,250	304,000	12,292	17730,413	462,3	26,07	
		SK5% ASP10%	SG1-B	150,100	303,400	12,053	17695,028	387,0	21,87	22,22
			SG2-B	149,200	307,000	12,175	17483,466	415,3	23,75	
			SG3-B	150,400	307,250	12,343	17765,832	424,0	23,87	
			SG4-B	149,400	301,300	12,082	17530,370	353,4	20,16	
			SG5-B	150,175	301,200	12,195	17712,716	380,3	21,47	

Disahkan Oleh:
Kepala Laboratorium BKT

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

Didata Oleh:
PLP Laboratorium BKT

Daru Salam, A. Md.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Pengujian Kuat Tekan
(SNI 1974-2011)

Nama : Conan Dencis Fayakun
NIM : 20511226

Benda Uji : Silinder
Keperluan : Penelitian Untuk Tugas Akhir

Metode Rawatan	Umur Uji (hari)	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm^2)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
Ditutup Karung Goni	28	SK10% ASP10%	SG1-C	149,300	304,200	11,897	17506,910	453,4	25,90	25,67
			SG2-C	150,100	304,350	11,794	17695,028	452,1	25,55	
			SG3-C	149,075	301,400	11,501	17454,183	396,4	22,71	
			SG4-C	150,350	302,000	11,613	17754,022	483,1	27,21	
			SG5-C	149,300	304,050	11,664	17506,910	472,0	26,96	
		SK15% ASP10%	SG1-D	151,400	303,100	12,099	18002,865	301,0	16,72	16,95
			SG2-D	150,300	304,250	12,077	17742,215	235,1	13,25	
			SG3-D	150,000	305,400	12,187	17671,459	317,4	17,96	
			SG4-D	150,450	305,100	12,067	17777,646	322,1	18,12	
			SG5-D	149,200	302,250	11,988	17483,466	327,0	18,70	

Disahkan Oleh:
Kepala Laboratorium BKT

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

Didata Oleh:
PLP Laboratorium BKT

Daru Salam, A. Md.

Lampiran 8 Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus Elastisitas Metode Perndaman Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 1

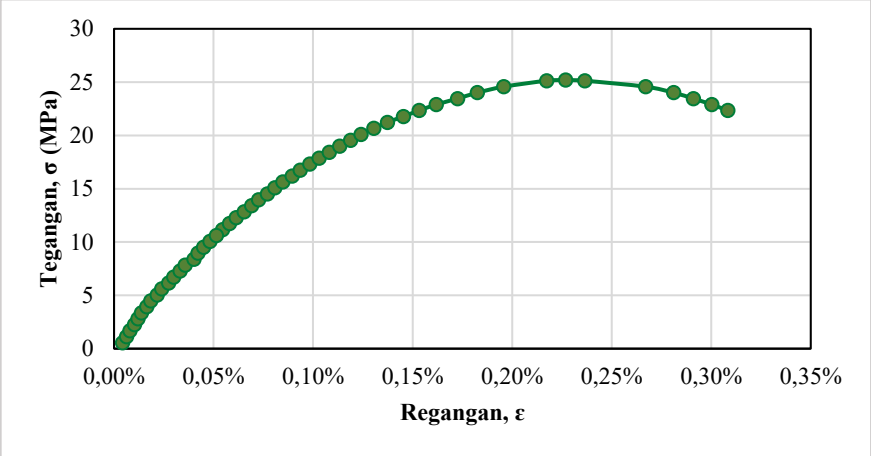
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,19	MPa
Diameter	15,1	cm
Tinggi	30,375	cm
Luas	17907,864	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	451,1	kN
Output		
ASTM C-469	20810,46	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23589,15	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x$\sqrt{f'c}$)	23648,891	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,12
30	30000	18	0,009	0,000045	1,68
40	40000	27	0,0135	0,0000675	2,23
50	50000	34	0,017	0,000085	2,79
60	60000	41	0,0205	0,0001025	3,35
70	70000	52	0,026	0,00013	3,91
80	80000	60	0,03	0,00015	4,47
90	90000	73	0,0365	0,0001825	5,03
100	100000	82	0,041	0,000205	5,58

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	96	0,048	0,00024	6,14
120	120000	106	0,053	0,000265	6,70
130	130000	119	0,0595	0,0002975	7,26
140	140000	129	0,0645	0,0003225	7,82
150	150000	147	0,0735	0,0003675	8,38
160	160000	155	0,0775	0,0003875	8,93
170	170000	166	0,083	0,000415	9,49
180	180000	179	0,0895	0,0004475	10,05
190	190000	192	0,096	0,00048	10,61
200	200000	204	0,102	0,00051	11,17
210	210000	218	0,109	0,000545	11,73
220	220000	231	0,1155	0,0005775	12,29
230	230000	247	0,1235	0,0006175	12,84
240	240000	262	0,131	0,000655	13,40
250	250000	276	0,138	0,00069	13,96
260	260000	294	0,147	0,000735	14,52
270	270000	309	0,1545	0,0007725	15,08
280	280000	325	0,1625	0,0008125	15,64
290	290000	344	0,172	0,00086	16,19
300	300000	360	0,18	0,0009	16,75
310	310000	379	0,1895	0,0009475	17,31
320	320000	398	0,199	0,000995	17,87
330	330000	418	0,209	0,001045	18,43
340	340000	439	0,2195	0,0010975	18,99
350	350000	461	0,2305	0,0011525	19,54
360	360000	482	0,241	0,001205	20,10
370	370000	508	0,254	0,00127	20,66

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	535	0,2675	0,0013375	21,22
390	390000	567	0,2835	0,0014175	21,78
400	400000	599	0,2995	0,0014975	22,34
410	410000	633	0,3165	0,0015825	22,89
420	420000	676	0,338	0,00169	23,45
430	430000	716	0,358	0,00179	24,01
440	440000	769	0,3845	0,0019225	24,57
450	450000	855	0,4275	0,0021375	25,13
451,1	451100	893	0,4465	0,0022325	25,19
450	450000	932	0,466	0,00233	25,13
440	440000	1054	0,527	0,002635	24,57
430	430000	1110	0,555	0,002775	24,01
420	420000	1150	0,575	0,002875	23,45
410	410000	1187	0,5935	0,0029675	22,89
400	400000	1219	0,6095	0,0030475	22,34
390	390000	1257	0,6285	0,0031425	21,78
380	380000	1298	0,649	0,003245	21,22

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 0% - ASP 0% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 2

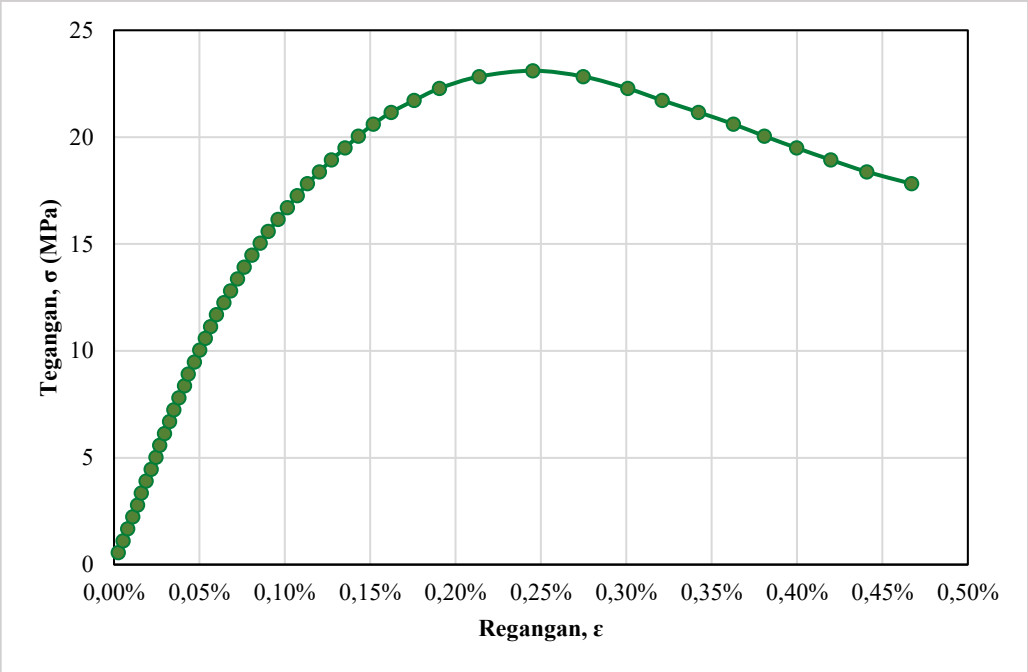
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	23,11	MPa
Diameter	15,12	cm
Tinggi	30,22	cm
Luas	17955,333	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	414,9	kN
Output		
ASTM C-469	20111,64	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	22592,94	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	23648,891	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,56
20	20000	16	0,008	0,00004	1,11
30	30000	27	0,0135	0,0000675	1,67
40	40000	39	0,0195	0,0000975	2,23
50	50000	50	0,025	0,000125	2,78
60	60000	59	0,0295	0,0001475	3,34
70	70000	70	0,035	0,000175	3,90
80	80000	82	0,041	0,000205	4,46
90	90000	93	0,0465	0,0002325	5,01
100	100000	102	0,051	0,000255	5,57
110	110000	113	0,0565	0,0002825	6,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	125	0,0625	0,0003125	6,68
130	130000	135	0,0675	0,0003375	7,24
140	140000	147	0,0735	0,0003675	7,80
150	150000	160	0,08	0,0004	8,35
160	160000	169	0,0845	0,0004225	8,91
170	170000	183	0,0915	0,0004575	9,47
180	180000	196	0,098	0,00049	10,02
190	190000	209	0,1045	0,0005225	10,58
200	200000	221	0,1105	0,0005525	11,14
210	210000	235	0,1175	0,0005875	11,70
220	220000	252	0,126	0,00063	12,25
230	230000	268	0,134	0,00067	12,81
240	240000	284	0,142	0,00071	13,37
250	250000	300	0,15	0,00075	13,92
260	260000	318	0,159	0,000795	14,48
270	270000	337	0,1685	0,0008425	15,04
280	280000	356	0,178	0,00089	15,59
290	290000	379	0,1895	0,0009475	16,15
300	300000	401	0,2005	0,0010025	16,71
310	310000	424	0,212	0,00106	17,27
320	320000	448	0,224	0,00112	17,82
330	330000	476	0,238	0,00119	18,38
340	340000	504	0,252	0,00126	18,94
350	350000	536	0,268	0,00134	19,49
360	360000	567	0,2835	0,0014175	20,05
370	370000	602	0,301	0,001505	20,61
380	380000	644	0,322	0,00161	21,16

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
390	390000	698	0,349	0,001745	21,72
400	400000	757	0,3785	0,0018925	22,28
410	410000	850	0,425	0,002125	22,83
414,9	414900	976	0,488	0,00244	23,11
410	410000	1094	0,547	0,002735	22,83
400	400000	1198	0,599	0,002995	22,28
390	390000	1279	0,6395	0,0031975	21,72
380	380000	1364	0,682	0,00341	21,16
370	370000	1446	0,723	0,003615	20,61
360	360000	1518	0,759	0,003795	20,05
350	350000	1594	0,797	0,003985	19,49
340	340000	1674	0,837	0,004185	18,94

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 0% - ASP 0% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 3

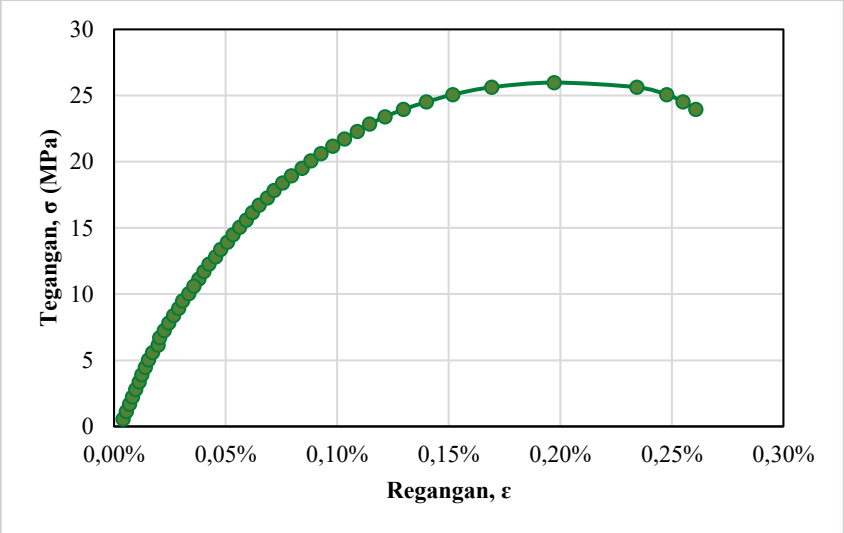
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,98	MPa
Diameter	15,117	cm
Tinggi	30,05	cm
Luas	17948,209	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	466,3	kN
Output		
ASTM C-469	29563,52	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23956,31	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	24287,336	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,11
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,67
40	40000	20	0,01	0,00005	2,23
50	50000	26	0,013	0,000065	2,79
60	60000	32	0,016	0,00008	3,34
70	70000	37	0,0185	0,0000925	3,90
80	80000	43	0,0215	0,0001075	4,46
90	90000	49	0,0245	0,0001225	5,01
100	100000	56	0,028	0,00014	5,57
110	110000	66	0,033	0,000165	6,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	69	0,0345	0,0001725	6,69
130	130000	77	0,0385	0,0001925	7,24
140	140000	85	0,0425	0,0002125	7,80
150	150000	94	0,047	0,000235	8,36
160	160000	103	0,0515	0,0002575	8,91
170	170000	110	0,055	0,000275	9,47
180	180000	121	0,0605	0,0003025	10,03
190	190000	130	0,065	0,000325	10,59
200	200000	139	0,0695	0,0003475	11,14
210	210000	148	0,074	0,00037	11,70
220	220000	157	0,0785	0,0003925	12,26
230	230000	169	0,0845	0,0004225	12,81
240	240000	178	0,089	0,000445	13,37
250	250000	190	0,095	0,000475	13,93
260	260000	200	0,1	0,0005	14,49
270	270000	212	0,106	0,00053	15,04
280	280000	224	0,112	0,00056	15,60
290	290000	235	0,1175	0,0005875	16,16
300	300000	247	0,1235	0,0006175	16,71
310	310000	262	0,131	0,000655	17,27
320	320000	274	0,137	0,000685	17,83
330	330000	289	0,1445	0,0007225	18,39
340	340000	305	0,1525	0,0007625	18,94
350	350000	324	0,162	0,00081	19,50
360	360000	340	0,17	0,00085	20,06
370	370000	358	0,179	0,000895	20,61
380	380000	379	0,1895	0,0009475	21,17

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
390	390000	400	0,2	0,001	21,73
400	400000	423	0,2115	0,0010575	22,29
410	410000	445	0,2225	0,0011125	22,84
420	420000	473	0,2365	0,0011825	23,40
430	430000	506	0,253	0,001265	23,96
440	440000	547	0,2735	0,0013675	24,51
450	450000	594	0,297	0,001485	25,07
460	460000	664	0,332	0,00166	25,63
466,3	466300	776	0,388	0,00194	25,98
460	460000	924	0,462	0,00231	25,63
450	450000	978	0,489	0,002445	25,07
440	440000	1007	0,5035	0,0025175	24,51
440	440000	1007	0,5035	0,0025175	24,51
430	430000	1030	0,515	0,002575	23,96

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 0% - ASP 0% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 4

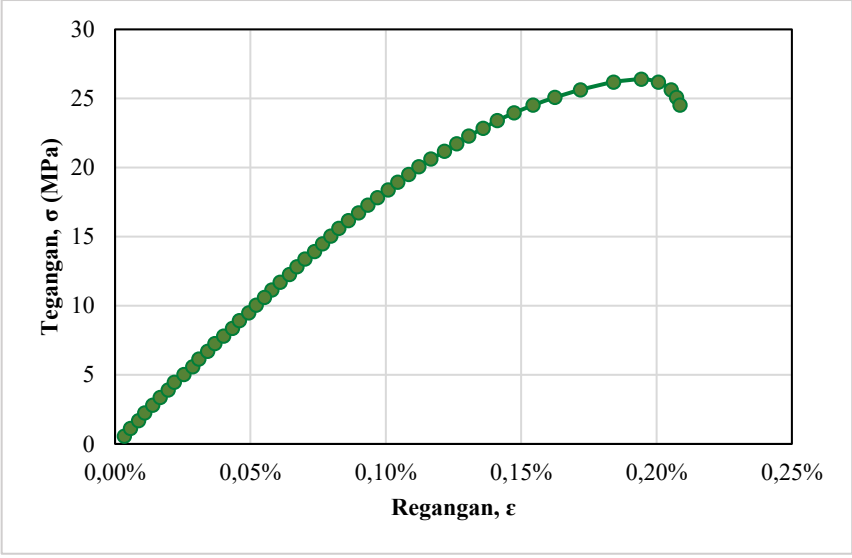
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	26,39	MPa
Diameter	15,117	cm
Tinggi	30,00	cm
Luas	17948,209	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	473,6	kN
Output		
ASTM C-469	19171,05	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	24143,11	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	24036,781	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,11
30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,67
40	40000	34	0,017	0,000085	2,23
50	50000	46	0,023	0,000115	2,79
60	60000	57	0,0285	0,0001425	3,34
70	70000	69	0,0345	0,0001725	3,90
80	80000	78	0,039	0,000195	4,46
90	90000	92	0,046	0,00023	5,01
100	100000	105	0,0525	0,0002625	5,57
110	110000	114	0,057	0,000285	6,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	127	0,0635	0,0003175	6,69
130	130000	138	0,069	0,000345	7,24
140	140000	151	0,0755	0,0003775	7,80
150	150000	164	0,082	0,00041	8,36
160	160000	174	0,087	0,000435	8,91
170	170000	188	0,094	0,00047	9,47
180	180000	199	0,0995	0,0004975	10,03
190	190000	211	0,1055	0,0005275	10,59
200	200000	222	0,111	0,000555	11,14
210	210000	234	0,117	0,000585	11,70
220	220000	248	0,124	0,00062	12,26
230	230000	259	0,1295	0,0006475	12,81
240	240000	271	0,1355	0,0006775	13,37
250	250000	285	0,1425	0,0007125	13,93
260	260000	297	0,1485	0,0007425	14,49
270	270000	309	0,1545	0,0007725	15,04
280	280000	321	0,1605	0,0008025	15,60
290	290000	335	0,1675	0,0008375	16,16
300	300000	350	0,175	0,000875	16,71
310	310000	364	0,182	0,00091	17,27
320	320000	378	0,189	0,000945	17,83
330	330000	394	0,197	0,000985	18,39
340	340000	408	0,204	0,00102	18,94
350	350000	424	0,212	0,00106	19,50
360	360000	439	0,2195	0,0010975	20,06
370	370000	457	0,2285	0,0011425	20,61
380	380000	477	0,2385	0,0011925	21,17

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
390	390000	495	0,2475	0,0012375	21,73
400	400000	513	0,2565	0,0012825	22,29
410	410000	534	0,267	0,001335	22,84
420	420000	555	0,2775	0,0013875	23,40
430	430000	580	0,29	0,00145	23,96
440	440000	608	0,304	0,00152	24,51
450	450000	640	0,32	0,0016	25,07
460	460000	678	0,339	0,001695	25,63
470	470000	727	0,3635	0,0018175	26,19
473,6	473600	768	0,384	0,00192	26,39
470	470000	793	0,3965	0,0019825	26,19
460	460000	812	0,406	0,00203	25,63
450	450000	820	0,41	0,00205	25,07
440	440000	825	0,4125	0,0020625	24,51

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 0% - ASP 0% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 5

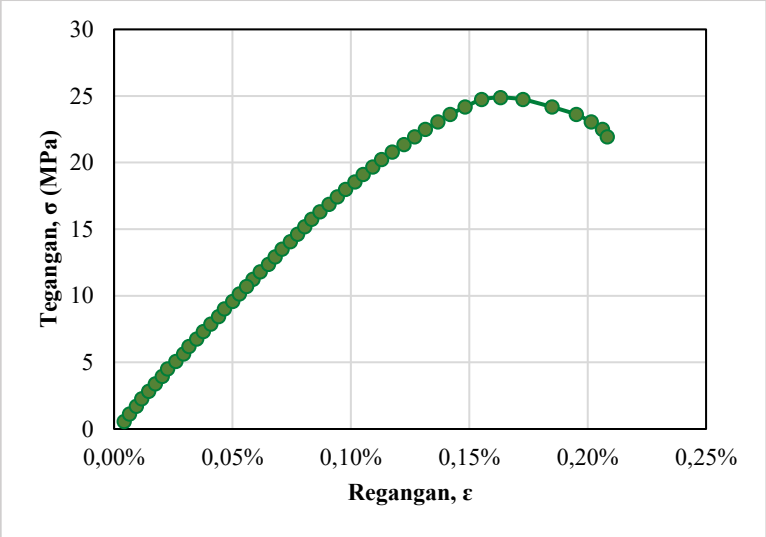
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	24,89	MPa
Diameter	15,05	cm
Tinggi	30,40	cm
Luas	17789,465	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	442,7	kN
Output		
ASTM C-469	19105,09	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23446,13	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	23648,488	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,56
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,12
30	30000	27	0,0135	0,0000675	1,69
40	40000	36	0,018	0,00009	2,25
50	50000	48	0,024	0,00012	2,81
60	60000	59	0,0295	0,0001475	3,37
70	70000	71	0,0355	0,0001775	3,93
80	80000	80	0,04	0,0002	4,50
90	90000	94	0,047	0,000235	5,06
100	100000	107	0,0535	0,0002675	5,62
110	110000	116	0,058	0,00029	6,18

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	129	0,0645	0,0003225	6,75
130	130000	140	0,07	0,00035	7,31
140	140000	153	0,0765	0,0003825	7,87
150	150000	166	0,083	0,000415	8,43
160	160000	176	0,088	0,00044	8,99
170	170000	190	0,095	0,000475	9,56
180	180000	201	0,1005	0,0005025	10,12
190	190000	213	0,1065	0,0005325	10,68
200	200000	224	0,112	0,00056	11,24
210	210000	236	0,118	0,00059	11,80
220	220000	250	0,125	0,000625	12,37
230	230000	261	0,1305	0,0006525	12,93
240	240000	273	0,1365	0,0006825	13,49
250	250000	287	0,1435	0,0007175	14,05
260	260000	299	0,1495	0,0007475	14,62
270	270000	311	0,1555	0,0007775	15,18
280	280000	323	0,1615	0,0008075	15,74
290	290000	337	0,1685	0,0008425	16,30
300	300000	352	0,176	0,00088	16,86
310	310000	366	0,183	0,000915	17,43
320	320000	380	0,19	0,00095	17,99
330	330000	396	0,198	0,00099	18,55
340	340000	410	0,205	0,001025	19,11
350	350000	426	0,213	0,001065	19,67
360	360000	441	0,2205	0,0011025	20,24
370	370000	459	0,2295	0,0011475	20,80
380	380000	479	0,2395	0,0011975	21,36

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
390	390000	497	0,2485	0,0012425	21,92
400	400000	515	0,2575	0,0012875	22,49
410	410000	536	0,268	0,00134	23,05
420	420000	557	0,2785	0,0013925	23,61
430	430000	582	0,291	0,001455	24,17
440	440000	610	0,305	0,001525	24,73
442,7	442700	642	0,321	0,001605	24,89
440	440000	680	0,34	0,0017	24,73
430	430000	729	0,3645	0,0018225	24,17
420	420000	770	0,385	0,001925	23,61
410	410000	795	0,3975	0,0019875	23,05
400	400000	814	0,407	0,002035	22,49
390	390000	822	0,411	0,002055	21,92
390	390000	497	0,2485	0,0012425	21,92

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 0% - ASP 0% Sampel 5



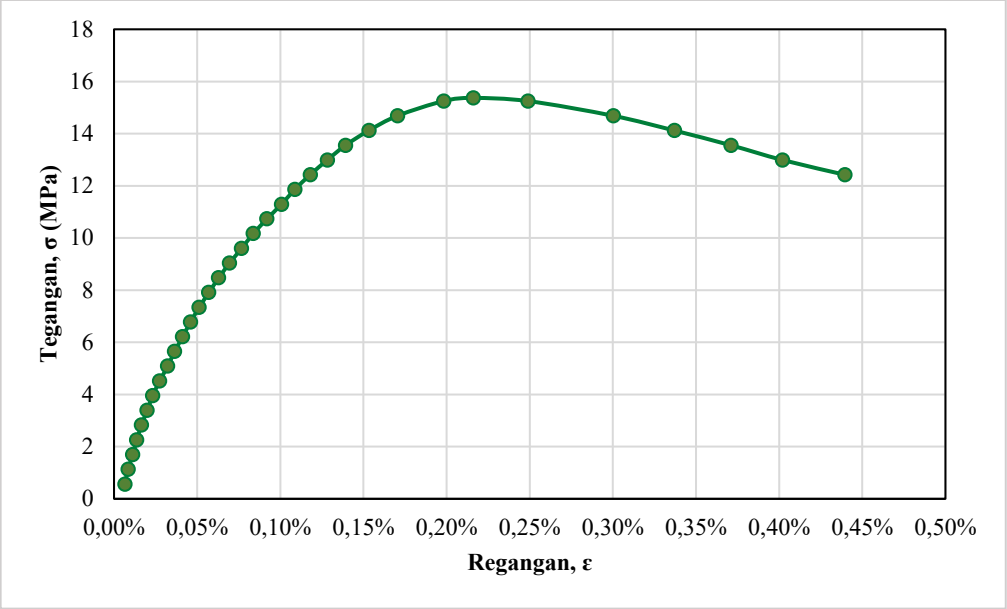
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 5%-ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	15,37	MPa
Diameter	15,015	cm
Tinggi	30,43	cm
Luas	17706,819	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	272,1	kN
Output		
ASTM C-469	15060,11	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	18424,34	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	18490,200	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,69
40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,26
50	50000	42	0,021	0,000105	2,82
60	60000	56	0,028	0,00014	3,39
70	70000	69	0,0345	0,0001725	3,95
80	80000	86	0,043	0,000215	4,52
90	90000	105	0,0525	0,0002625	5,08
100	100000	122	0,061	0,000305	5,65
110	110000	141	0,0705	0,0003525	6,21

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	160	0,08	0,0004	6,78
130	130000	181	0,0905	0,0004525	7,34
140	140000	204	0,102	0,00051	7,91
150	150000	228	0,114	0,00057	8,47
160	160000	254	0,127	0,000635	9,04
170	170000	283	0,1415	0,0007075	9,60
180	180000	311	0,1555	0,0007775	10,17
190	190000	344	0,172	0,00086	10,73
200	200000	379	0,1895	0,0009475	11,30
210	210000	411	0,2055	0,0010275	11,86
220	220000	448	0,224	0,00112	12,42
230	230000	489	0,2445	0,0012225	12,99
240	240000	533	0,2665	0,0013325	13,55
250	250000	589	0,2945	0,0014725	14,12
260	260000	658	0,329	0,001645	14,68
270	270000	769	0,3845	0,0019225	15,25
272,1	272100	840	0,42	0,0021	15,37
270	270000	972	0,486	0,00243	15,25
260	260000	1177	0,5885	0,0029425	14,68
250	250000	1324	0,662	0,00331	14,12
240	240000	1460	0,73	0,00365	13,55
230	230000	1584	0,792	0,00396	12,99
220	220000	1734	0,867	0,004335	12,42

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 5% - ASP 10% Sampel 1



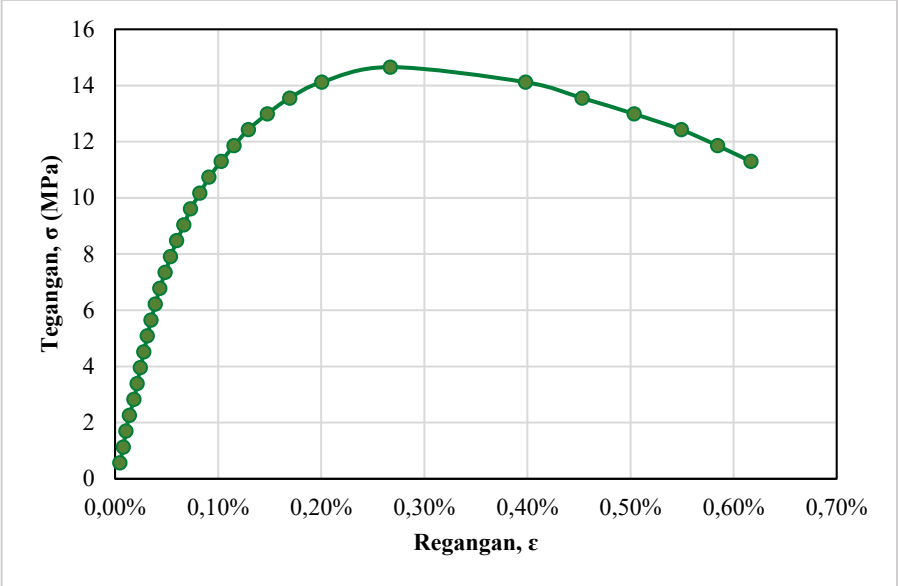
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 5%-ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	14,66	MPa
Diameter	14,9075	cm
Tinggi	30,11	cm
Luas	17706,819	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	259,5	kN
Output		
ASTM C-469	15852,75	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	17992,70	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	18565,775	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,56
20	20000	18	0,009	0,000045	1,13
30	30000	29	0,0145	0,0000725	1,69
40	40000	42	0,021	0,000105	2,26
50	50000	60	0,03	0,00015	2,82
60	60000	72	0,036	0,00018	3,39
70	70000	85	0,0425	0,0002125	3,95
80	80000	98	0,049	0,000245	4,52
90	90000	112	0,056	0,00028	5,08
100	100000	126	0,063	0,000315	5,65
110	110000	143	0,0715	0,0003575	6,21

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	160	0,08	0,0004	6,78
130	130000	181	0,0905	0,0004525	7,34
140	140000	202	0,101	0,000505	7,91
150	150000	226	0,113	0,000565	8,47
160	160000	254	0,127	0,000635	9,04
170	170000	279	0,1395	0,0006975	9,60
180	180000	316	0,158	0,00079	10,17
190	190000	351	0,1755	0,0008775	10,73
200	200000	398	0,199	0,000995	11,30
210	210000	448	0,224	0,00112	11,86
220	220000	503	0,2515	0,0012575	12,42
230	230000	577	0,2885	0,0014425	12,99
240	240000	664	0,332	0,00166	13,55
250	250000	788	0,394	0,00197	14,12
259,5	259500	1054	0,527	0,002635	14,66
250	250000	1579	0,7895	0,0039475	14,12
240	240000	1798	0,899	0,004495	13,55
230	230000	2000	1	0,005	12,99
220	220000	2183	1,0915	0,0054575	12,42
210	210000	2324	1,162	0,00581	11,86
200	200000	2453	1,2265	0,0061325	11,30

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 5% - ASP 10% Sampel 2



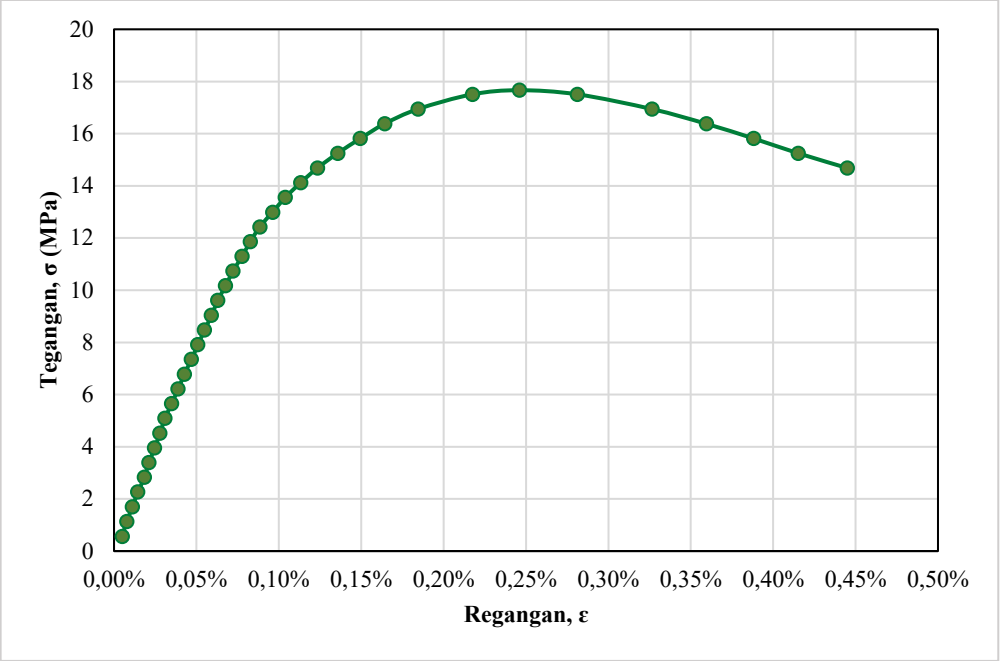
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 5%-ASP 10% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	17,67	MPa
Diameter	15,015	cm
Tinggi	30,40	cm
Luas	17706,819	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	312,8	kN
Output		
ASTM C-469	15639,35	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	19754,27	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20032,963	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,13
30	30000	27	0,0135	0,0000675	1,69
40	40000	40	0,02	0,0001	2,26
50	50000	56	0,028	0,00014	2,82
60	60000	67	0,0335	0,0001675	3,39
70	70000	81	0,0405	0,0002025	3,95
80	80000	94	0,047	0,000235	4,52
90	90000	106	0,053	0,000265	5,08
100	100000	122	0,061	0,000305	5,65
110	110000	138	0,069	0,000345	6,21

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	153	0,0765	0,0003825	6,78
130	130000	170	0,085	0,000425	7,34
140	140000	186	0,093	0,000465	7,91
150	150000	202	0,101	0,000505	8,47
160	160000	219	0,1095	0,0005475	9,04
170	170000	234	0,117	0,000585	9,60
180	180000	253	0,1265	0,0006325	10,17
190	190000	271	0,1355	0,0006775	10,73
200	200000	293	0,1465	0,0007325	11,30
210	210000	313	0,1565	0,0007825	11,86
220	220000	336	0,168	0,00084	12,42
230	230000	367	0,1835	0,0009175	12,99
240	240000	398	0,199	0,000995	13,55
250	250000	435	0,2175	0,0010875	14,12
260	260000	476	0,238	0,00119	14,68
270	270000	525	0,2625	0,0013125	15,25
280	280000	580	0,29	0,00145	15,81
290	290000	639	0,3195	0,0015975	16,38
300	300000	720	0,36	0,0018	16,94
310	310000	852	0,426	0,00213	17,51
312,8	312800	966	0,483	0,002415	17,67
310	310000	1107	0,5535	0,0027675	17,51
300	300000	1288	0,644	0,00322	16,94
290	290000	1420	0,71	0,00355	16,38
280	280000	1535	0,7675	0,0038375	15,81
270	270000	1643	0,8215	0,0041075	15,25
260	260000	1762	0,881	0,004405	14,68

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 5% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 5%-ASP 10% Sampel 4

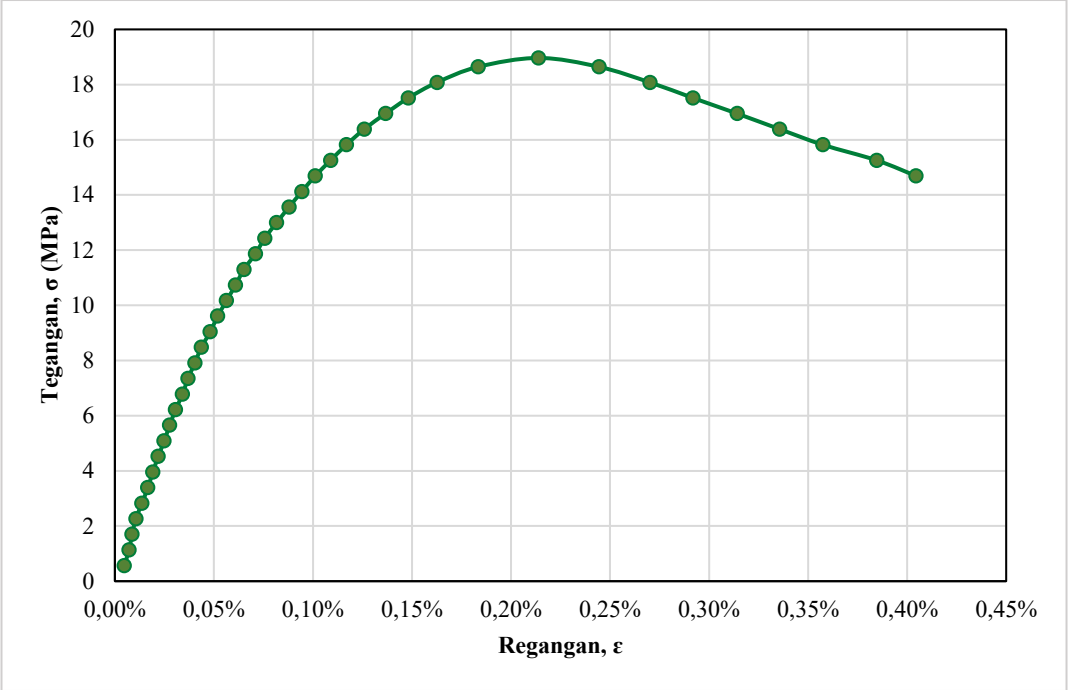
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	18,97	MPa
Diameter	15,0125	cm
Tinggi	30,01	cm
Luas	17700,923	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	335,7	kN
Output		
ASTM C-469	19572,80	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20468,01	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20522,118	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	18	0,009	0,000045	1,69
40	40000	26	0,013	0,000065	2,26
50	50000	38	0,019	0,000095	2,82
60	60000	50	0,025	0,000125	3,39
70	70000	60	0,03	0,00015	3,95
80	80000	71	0,0355	0,0001775	4,52
90	90000	83	0,0415	0,0002075	5,08
100	100000	94	0,047	0,000235	5,65
110	110000	106	0,053	0,000265	6,21

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	120	0,06	0,0003	6,78
130	130000	131	0,0655	0,0003275	7,34
140	140000	145	0,0725	0,0003625	7,91
150	150000	158	0,079	0,000395	8,47
160	160000	176	0,088	0,00044	9,04
170	170000	191	0,0955	0,0004775	9,60
180	180000	209	0,1045	0,0005225	10,17
190	190000	227	0,1135	0,0005675	10,73
200	200000	244	0,122	0,00061	11,30
210	210000	267	0,1335	0,0006675	11,86
220	220000	286	0,143	0,000715	12,43
230	230000	310	0,155	0,000775	12,99
240	240000	335	0,1675	0,0008375	13,56
250	250000	361	0,1805	0,0009025	14,12
260	260000	388	0,194	0,00097	14,69
270	270000	419	0,2095	0,0010475	15,25
280	280000	451	0,2255	0,0011275	15,82
290	290000	487	0,2435	0,0012175	16,38
300	300000	530	0,265	0,001325	16,95
310	310000	576	0,288	0,00144	17,51
320	320000	634	0,317	0,001585	18,08
330	330000	717	0,3585	0,0017925	18,64
335,7	335700	839	0,4195	0,0020975	18,97
330	330000	961	0,4805	0,0024025	18,64
320	320000	1064	0,532	0,00266	18,08
310	310000	1151	0,5755	0,0028775	17,51
300	300000	1240	0,62	0,0031	16,95

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
290	290000	1326	0,663	0,003315	16,38
280	280000	1413	0,7065	0,0035325	15,82
270	270000	1522	0,761	0,003805	15,25
260	260000	1601	0,8005	0,0040025	14,69

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 5% - ASP 10% Sampel 4



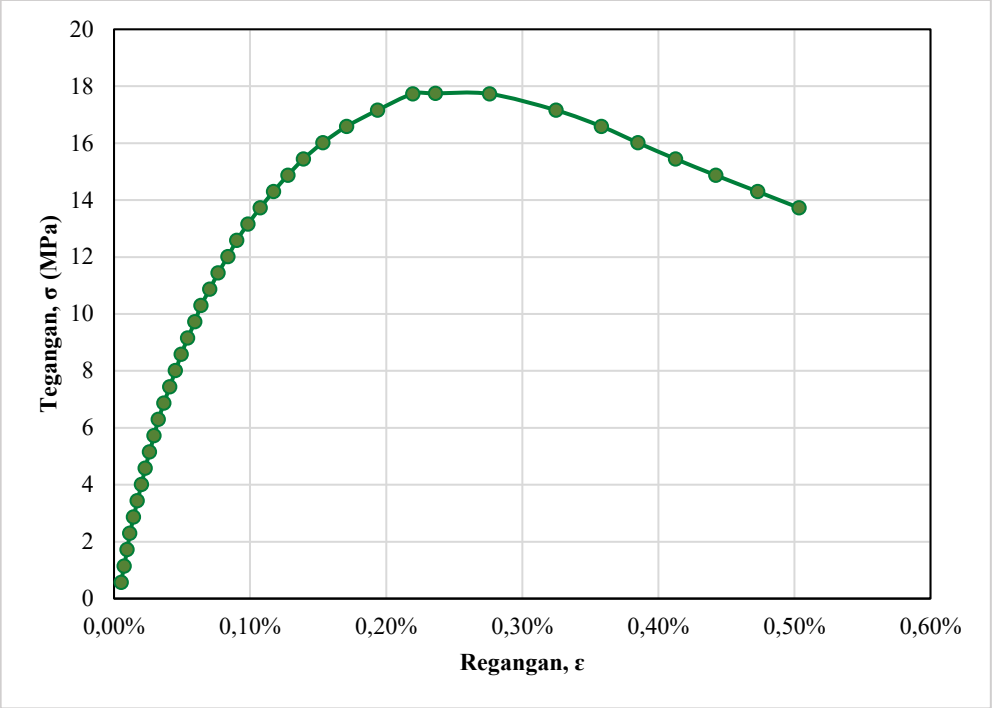
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 5%-ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	17,75	MPa
Diameter	14,92	cm
Tinggi	30,11	cm
Luas	17483,466	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	310,3	kN
Output		
ASTM C-469	17722,98	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	19800,45	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	19910,620	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,14
30	30000	22	0,011	0,000055	1,72
40	40000	30	0,015	0,000075	2,29
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,86
60	60000	52	0,026	0,00013	3,43
70	70000	64	0,032	0,00016	4,00
80	80000	75	0,0375	0,0001875	4,58
90	90000	88	0,044	0,00022	5,15
100	100000	101	0,0505	0,0002525	5,72
110	110000	114	0,057	0,000285	6,29

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	130	0,065	0,000325	6,86
130	130000	147	0,0735	0,0003675	7,44
140	140000	164	0,082	0,00041	8,01
150	150000	181	0,0905	0,0004525	8,58
160	160000	200	0,1	0,0005	9,15
170	170000	221	0,1105	0,0005525	9,72
180	180000	239	0,1195	0,0005975	10,30
190	190000	265	0,1325	0,0006625	10,87
200	200000	289	0,1445	0,0007225	11,44
210	210000	318	0,159	0,000795	12,01
220	220000	344	0,172	0,00086	12,58
230	230000	377	0,1885	0,0009425	13,16
240	240000	413	0,2065	0,0010325	13,73
250	250000	452	0,226	0,00113	14,30
260	260000	494	0,247	0,001235	14,87
270	270000	540	0,27	0,00135	15,44
280	280000	597	0,2985	0,0014925	16,02
290	290000	667	0,3335	0,0016675	16,59
300	300000	758	0,379	0,001895	17,16
310	310000	1087	0,5435	0,0027175	17,73
310,3	310300	928	0,464	0,00232	17,75
310	310000	1087	0,5435	0,0027175	17,73
300	300000	1282	0,641	0,003205	17,16
290	290000	1416	0,708	0,00354	16,59
280	280000	1523	0,7615	0,0038075	16,02
270	270000	1634	0,817	0,004085	15,44
260	260000	1752	0,876	0,00438	14,87

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 5% - ASP 10% Sampel 5



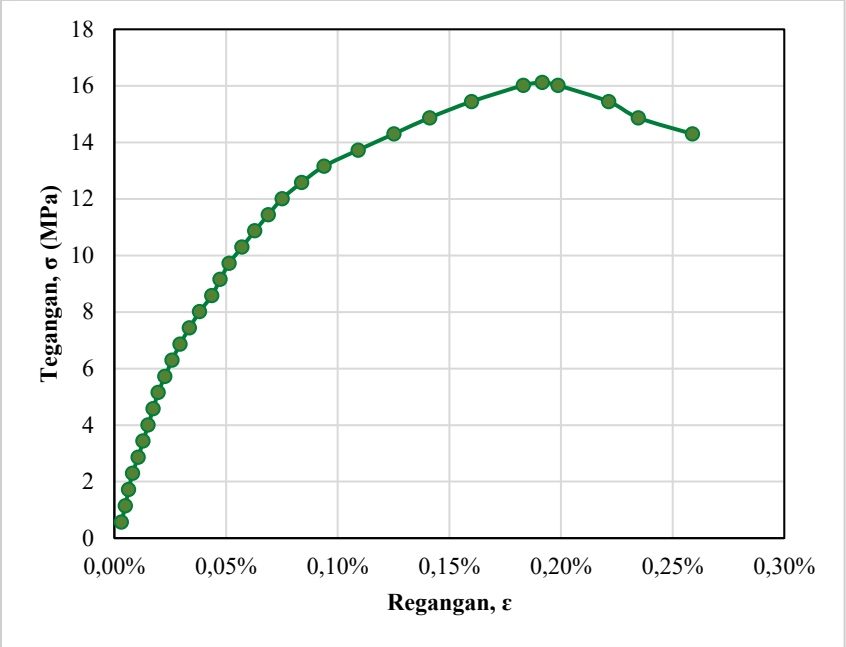
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 10%ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	16,12	MPa
Diameter	14,92	cm
Tinggi	30,51	cm
Luas	17483,466	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	281,9	kN
Output		
ASTM C-469	23345,67	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	18872,60	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	19310,137	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,14
30	30000	15	0,0075	0,0000375	1,72
40	40000	22	0,011	0,000055	2,29
50	50000	32	0,016	0,00008	2,86
60	60000	41	0,0205	0,0001025	3,43
70	70000	50	0,025	0,000125	4,00
80	80000	59	0,0295	0,0001475	4,58
90	90000	68	0,034	0,00017	5,15
100	100000	80	0,04	0,0002	5,72
110	110000	93	0,0465	0,0002325	6,29

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	107	0,0535	0,0002675	6,86
130	130000	124	0,062	0,00031	7,44
140	140000	142	0,071	0,000355	8,01
150	150000	164	0,082	0,00041	8,58
160	160000	179	0,0895	0,0004475	9,15
170	170000	195	0,0975	0,0004875	9,72
180	180000	218	0,109	0,000545	10,30
190	190000	241	0,1205	0,0006025	10,87
200	200000	265	0,1325	0,0006625	11,44
210	210000	290	0,145	0,000725	12,01
220	220000	325	0,1625	0,0008125	12,58
230	230000	365	0,1825	0,0009125	13,16
240	240000	426	0,213	0,001065	13,73
250	250000	490	0,245	0,001225	14,30
260	260000	554	0,277	0,001385	14,87
270	270000	629	0,3145	0,0015725	15,44
280	280000	722	0,361	0,001805	16,02
281,9	281900	756	0,378	0,00189	16,12
280	280000	784	0,392	0,00196	16,02
270	270000	875	0,4375	0,0021875	15,44
260	260000	928	0,464	0,00232	14,87
250	250000	1025	0,5125	0,0025625	14,30

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 10% - ASP 10% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 10%ASP 10% Sampel 2

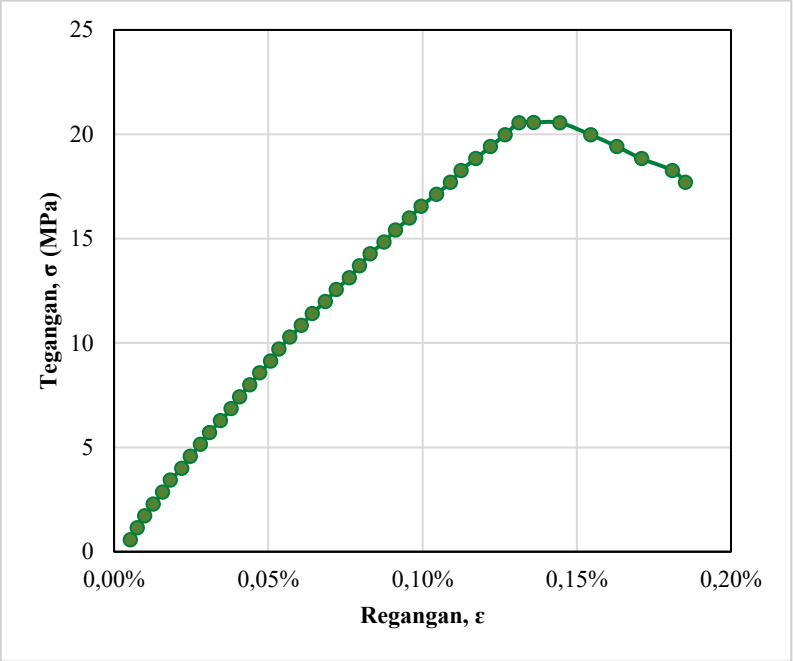
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	20,57	MPa
Diameter	14,935	cm
Tinggi	30,52	cm
Luas	17518,638	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	360,3	kN
Output		
ASTM C-469	18121,29	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21314,73	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21851,063	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,14
30	30000	22	0,011	0,000055	1,71
40	40000	33	0,0165	0,0000825	2,28
50	50000	45	0,0225	0,0001125	2,85
60	60000	55	0,0275	0,0001375	3,42
70	70000	70	0,035	0,000175	4,00
80	80000	81	0,0405	0,0002025	4,57
90	90000	94	0,047	0,000235	5,14
100	100000	106	0,053	0,000265	5,71
110	110000	120	0,06	0,0003	6,28

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	134	0,067	0,000335	6,85
130	130000	145	0,0725	0,0003625	7,42
140	140000	158	0,079	0,000395	7,99
150	150000	171	0,0855	0,0004275	8,56
160	160000	185	0,0925	0,0004625	9,13
170	170000	196	0,098	0,00049	9,70
180	180000	210	0,105	0,000525	10,27
190	190000	225	0,1125	0,0005625	10,85
200	200000	239	0,1195	0,0005975	11,42
210	210000	256	0,128	0,00064	11,99
220	220000	270	0,135	0,000675	12,56
230	230000	287	0,1435	0,0007175	13,13
240	240000	300	0,15	0,00075	13,70
250	250000	314	0,157	0,000785	14,27
260	260000	332	0,166	0,00083	14,84
270	270000	347	0,1735	0,0008675	15,41
280	280000	365	0,1825	0,0009125	15,98
290	290000	380	0,19	0,00095	16,55
300	300000	400	0,2	0,001	17,12
310	310000	418	0,209	0,001045	17,70
320	320000	432	0,216	0,00108	18,27
330	330000	451	0,2255	0,0011275	18,84
340	340000	470	0,235	0,001175	19,41
350	350000	489	0,2445	0,0012225	19,98
360	360000	507	0,2535	0,0012675	20,55
360,3	360300	526	0,263	0,001315	20,57
360	360000	560	0,28	0,0014	20,55

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
350	350000	600	0,3	0,0015	19,98
340	340000	634	0,317	0,001585	19,41
330	330000	666	0,333	0,001665	18,84
320	320000	706	0,353	0,001765	18,27
310	310000	723	0,3615	0,0018075	17,70

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 10% - ASP 10% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 10%ASP 10% Sampel 3

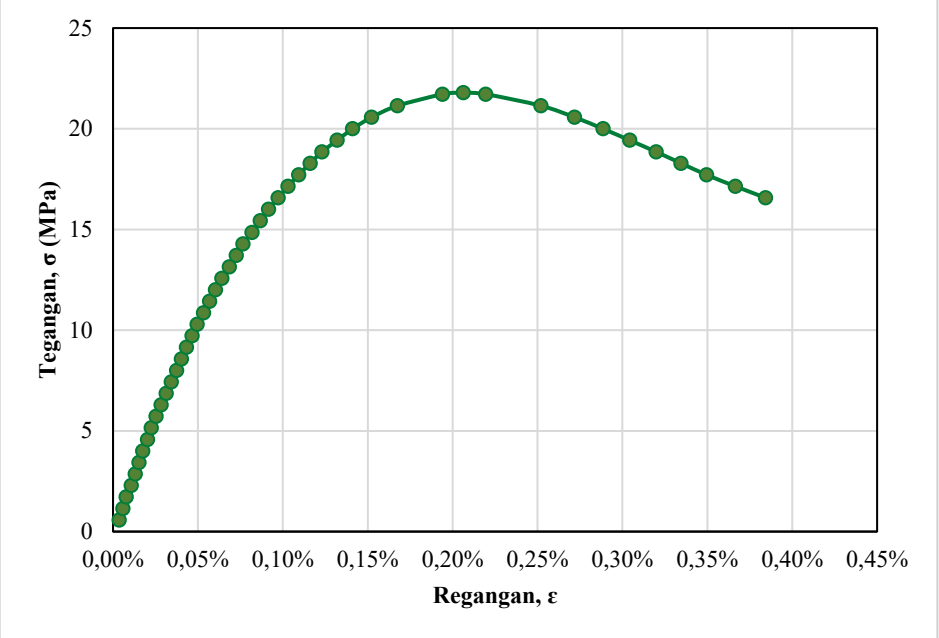
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	21,79	MPa
Diameter	14,9275	cm
Tinggi	30,60	cm
Luas	17501,047	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	381,3	kN
Output		
ASTM C-469	21097,64	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21938,11	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22257,278	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,57
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,14
30	30000	23	0,0115	0,0000575	1,71
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,29
50	50000	44	0,022	0,00011	2,86
60	60000	53	0,0265	0,0001325	3,43
70	70000	62	0,031	0,000155	4,00
80	80000	73	0,0365	0,0001825	4,57
90	90000	82	0,041	0,000205	5,14
100	100000	93	0,0465	0,0002325	5,71
110	110000	105	0,0525	0,0002625	6,29

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	117	0,0585	0,0002925	6,86
130	130000	129	0,0645	0,0003225	7,43
140	140000	142	0,071	0,000355	8,00
150	150000	153	0,0765	0,0003825	8,57
160	160000	165	0,0825	0,0004125	9,14
170	170000	178	0,089	0,000445	9,71
180	180000	190	0,095	0,000475	10,29
190	190000	205	0,1025	0,0005125	10,86
200	200000	219	0,1095	0,0005475	11,43
210	210000	233	0,1165	0,0005825	12,00
220	220000	248	0,124	0,00062	12,57
230	230000	266	0,133	0,000665	13,14
240	240000	282	0,141	0,000705	13,71
250	250000	298	0,149	0,000745	14,28
260	260000	319	0,1595	0,0007975	14,86
270	270000	339	0,1695	0,0008475	15,43
280	280000	358	0,179	0,000895	16,00
290	290000	381	0,1905	0,0009525	16,57
300	300000	404	0,202	0,00101	17,14
310	310000	429	0,2145	0,0010725	17,71
320	320000	456	0,228	0,00114	18,28
330	330000	484	0,242	0,00121	18,86
340	340000	520	0,26	0,0013	19,43
350	350000	556	0,278	0,00139	20,00
360	360000	601	0,3005	0,0015025	20,57
370	370000	662	0,331	0,001655	21,14
380	380000	768	0,384	0,00192	21,71

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
381,3	381300	817	0,4085	0,0020425	21,79
380	380000	870	0,435	0,002175	21,71
370	370000	1000	0,5	0,0025	21,14
360	360000	1079	0,5395	0,0026975	20,57
350	350000	1146	0,573	0,002865	20,00
340	340000	1209	0,6045	0,0030225	19,43
330	330000	1271	0,6355	0,0031775	18,86
320	320000	1330	0,665	0,003325	18,28
310	310000	1390	0,695	0,003475	17,71
300	300000	1458	0,729	0,003645	17,14
290	290000	1529	0,7645	0,0038225	16,57

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 10% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 10%ASP 10% Sampel 4

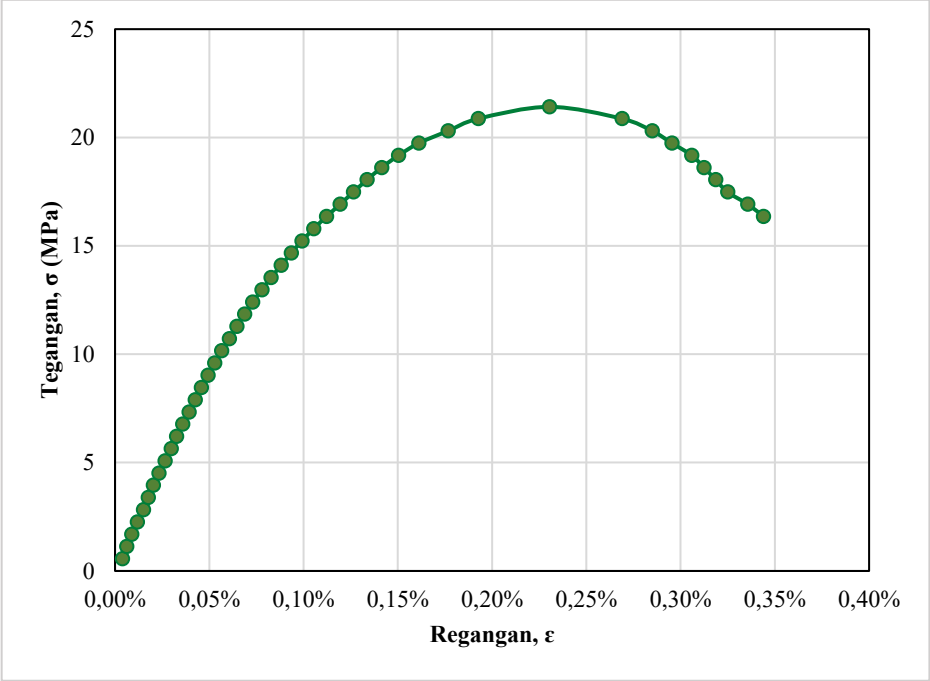
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	21,42	MPa
Diameter	15,025	cm
Tinggi	30,34	cm
Luas	17730,413	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	379,7	kN
Output		
ASTM C-469	18256,73	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21749,97	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21756,388	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,13
30	30000	22	0,011	0,000055	1,69
40	40000	34	0,017	0,000085	2,26
50	50000	47	0,0235	0,0001175	2,82
60	60000	57	0,0285	0,0001425	3,38
70	70000	68	0,034	0,00017	3,95
80	80000	80	0,04	0,0002	4,51
90	90000	93	0,0465	0,0002325	5,08
100	100000	106	0,053	0,000265	5,64
110	110000	117	0,0585	0,0002925	6,20

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	130	0,065	0,000325	6,77
130	130000	144	0,072	0,00036	7,33
140	140000	157	0,0785	0,0003925	7,90
150	150000	170	0,085	0,000425	8,46
160	160000	184	0,092	0,00046	9,02
170	170000	198	0,099	0,000495	9,59
180	180000	213	0,1065	0,0005325	10,15
190	190000	229	0,1145	0,0005725	10,72
200	200000	245	0,1225	0,0006125	11,28
210	210000	261	0,1305	0,0006525	11,84
220	220000	278	0,139	0,000695	12,41
230	230000	298	0,149	0,000745	12,97
240	240000	317	0,1585	0,0007925	13,54
250	250000	339	0,1695	0,0008475	14,10
260	260000	360	0,18	0,0009	14,66
270	270000	383	0,1915	0,0009575	15,23
280	280000	408	0,204	0,00102	15,79
290	290000	435	0,2175	0,0010875	16,36
300	300000	464	0,232	0,00116	16,92
310	310000	492	0,246	0,00123	17,48
320	320000	521	0,2605	0,0013025	18,05
330	330000	552	0,276	0,00138	18,61
340	340000	588	0,294	0,00147	19,18
350	350000	631	0,3155	0,0015775	19,74
360	360000	693	0,3465	0,0017325	20,30
370	370000	757	0,3785	0,0018925	20,87
379,7	379700	908	0,454	0,00227	21,42

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
370	370000	1062	0,531	0,002655	20,87
360	360000	1126	0,563	0,002815	20,30
350	350000	1168	0,584	0,00292	19,74
340	340000	1210	0,605	0,003025	19,18
330	330000	1236	0,618	0,00309	18,61
320	320000	1261	0,6305	0,0031525	18,05
310	310000	1286	0,643	0,003215	17,48
300	300000	1329	0,6645	0,0033225	16,92
290	290000	1362	0,681	0,003405	16,36

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 10% - ASP 10% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 10%ASP 10% Sampel 5

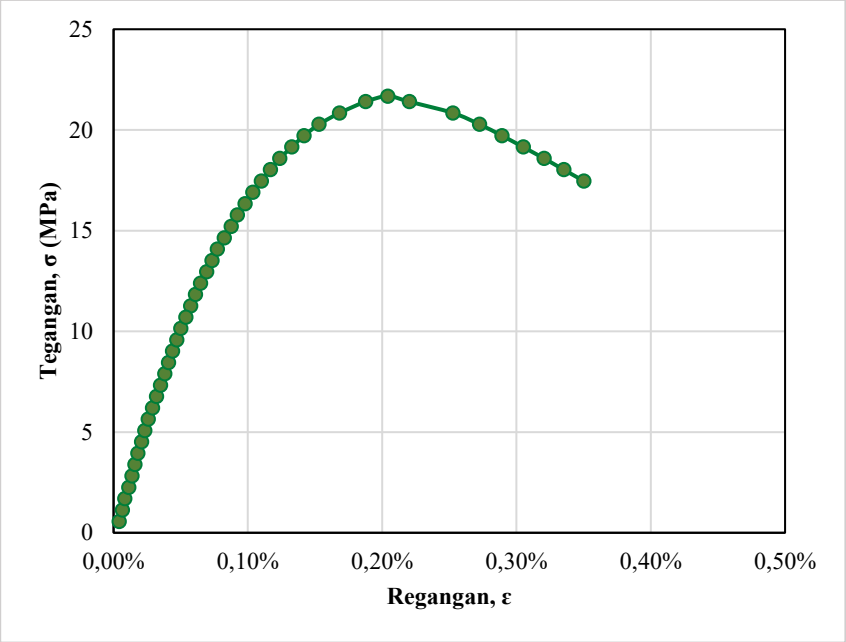
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	21,67	MPa
Diameter	15,035	cm
Tinggi	30,62	cm
Luas	17754,022	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	384,8	kN
Output		
ASTM C-469	20481,92	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21880,99	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21913,761	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,69
40	40000	33	0,0165	0,0000825	2,25
50	50000	42	0,021	0,000105	2,82
60	60000	51	0,0255	0,0001275	3,38
70	70000	60	0,03	0,00015	3,94
80	80000	71	0,0355	0,0001775	4,51
90	90000	80	0,04	0,0002	5,07
100	100000	91	0,0455	0,0002275	5,63
110	110000	103	0,0515	0,0002575	6,20

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	115	0,0575	0,0002875	6,76
130	130000	127	0,0635	0,0003175	7,32
140	140000	140	0,07	0,00035	7,89
150	150000	151	0,0755	0,0003775	8,45
160	160000	163	0,0815	0,0004075	9,01
170	170000	176	0,088	0,00044	9,58
180	180000	188	0,094	0,00047	10,14
190	190000	203	0,1015	0,0005075	10,70
200	200000	217	0,1085	0,0005425	11,27
210	210000	231	0,1155	0,0005775	11,83
220	220000	246	0,123	0,000615	12,39
230	230000	264	0,132	0,00066	12,95
240	240000	280	0,14	0,0007	13,52
250	250000	296	0,148	0,00074	14,08
260	260000	317	0,1585	0,0007925	14,64
270	270000	337	0,1685	0,0008425	15,21
280	280000	356	0,178	0,00089	15,77
290	290000	379	0,1895	0,0009475	16,33
300	300000	402	0,201	0,001005	16,90
310	310000	427	0,2135	0,0010675	17,46
320	320000	454	0,227	0,001135	18,02
330	330000	482	0,241	0,001205	18,59
340	340000	518	0,259	0,001295	19,15
350	350000	554	0,277	0,001385	19,71
360	360000	599	0,2995	0,0014975	20,28
370	370000	660	0,33	0,00165	20,84
380	380000	738	0,369	0,001845	21,40

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
384,8	384800	804	0,402	0,00201	21,67
380	380000	868	0,434	0,00217	21,40
370	370000	998	0,499	0,002495	20,84
360	360000	1077	0,5385	0,0026925	20,28
350	350000	1144	0,572	0,00286	19,71
340	340000	1207	0,6035	0,0030175	19,15
330	330000	1269	0,6345	0,0031725	18,59
320	320000	1328	0,664	0,00332	18,02
310	310000	1388	0,694	0,00347	17,46
300	300000	1456	0,728	0,00364	16,90
290	290000	1527	0,7635	0,0038175	16,33

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 10% - ASP 10% Sampel 5



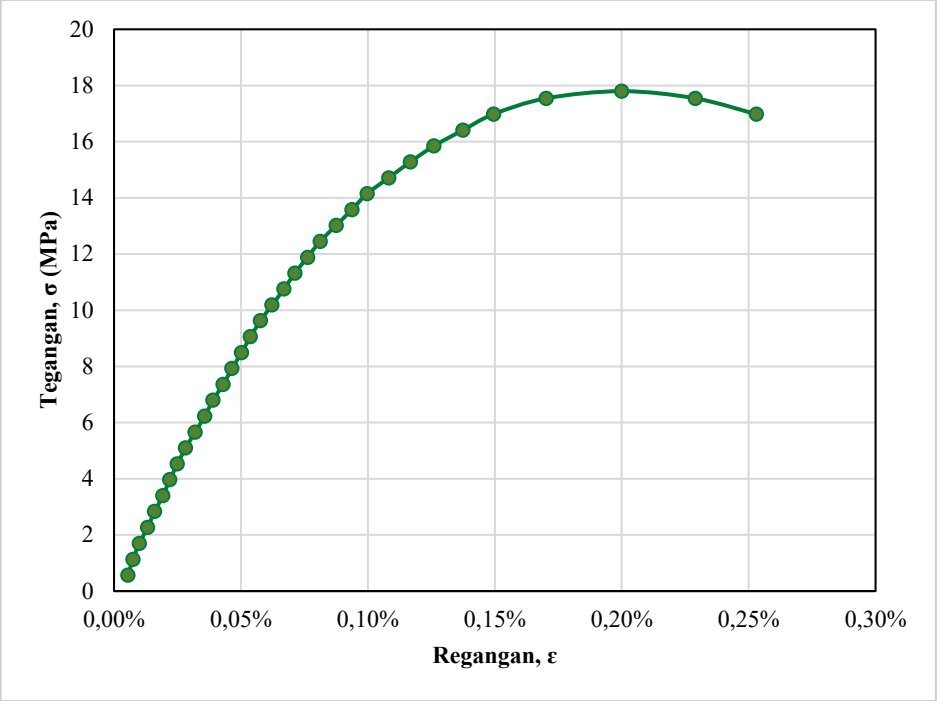
Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 15%ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	17,80	MPa
Diameter	15	cm
Tinggi	30,51	cm
Luas	17671,459	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	314,5	kN
Output		
ASTM C-469	17119,19	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	19827,68	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20206,772	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	22	0,011	0,000055	1,70
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,26
50	50000	46	0,023	0,000115	2,83
60	60000	59	0,0295	0,0001475	3,40
70	70000	70	0,035	0,000175	3,96
80	80000	82	0,041	0,000205	4,53
90	90000	95	0,0475	0,0002375	5,09
100	100000	110	0,055	0,000275	5,66
110	110000	125	0,0625	0,0003125	6,22

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	138	0,069	0,000345	6,79
130	130000	154	0,077	0,000385	7,36
140	140000	168	0,084	0,00042	7,92
150	150000	183	0,0915	0,0004575	8,49
160	160000	197	0,0985	0,0004925	9,05
170	170000	213	0,1065	0,0005325	9,62
180	180000	231	0,1155	0,0005775	10,19
190	190000	250	0,125	0,000625	10,75
200	200000	267	0,1335	0,0006675	11,32
210	210000	287	0,1435	0,0007175	11,88
220	220000	307	0,1535	0,0007675	12,45
230	230000	332	0,166	0,00083	13,02
240	240000	357	0,1785	0,0008925	13,58
250	250000	381	0,1905	0,0009525	14,15
260	260000	415	0,2075	0,0010375	14,71
270	270000	449	0,2245	0,0011225	15,28
280	280000	486	0,243	0,001215	15,84
290	290000	532	0,266	0,00133	16,41
300	300000	580	0,29	0,00145	16,98
310	310000	663	0,3315	0,0016575	17,54
314,5	314500	782	0,391	0,001955	17,80
310	310000	898	0,449	0,002245	17,54
300	300000	994	0,497	0,002485	16,98

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 15% - ASP 10% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 15%ASP 10% Sampel 2

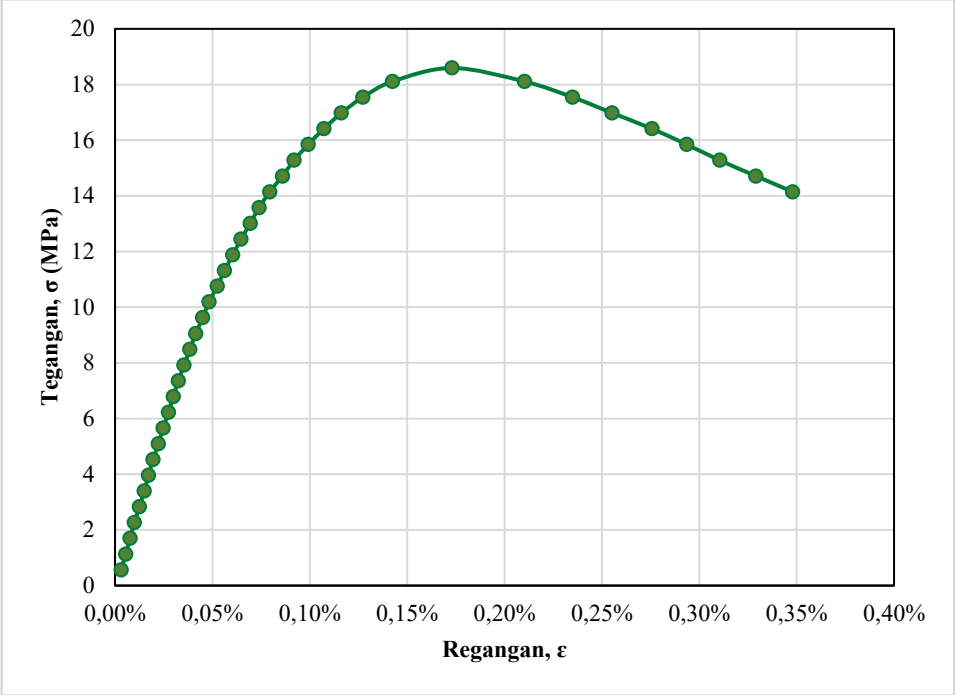
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	18,59	MPa
Diameter	15	cm
Tinggi	30,50	cm
Luas	17671,459	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	328,6	kN
Output		
ASTM C-469	22191,54	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20267,28	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20209,679	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	30	0,015	0,000075	2,26
50	50000	40	0,02	0,0001	2,83
60	60000	50	0,025	0,000125	3,40
70	70000	59	0,0295	0,0001475	3,96
80	80000	68	0,034	0,00017	4,53
90	90000	79	0,0395	0,0001975	5,09
100	100000	89	0,0445	0,0002225	5,66
110	110000	100	0,05	0,00025	6,22

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	110	0,055	0,000275	6,79
130	130000	120	0,06	0,0003	7,36
140	140000	132	0,066	0,00033	7,92
150	150000	144	0,072	0,00036	8,49
160	160000	156	0,078	0,00039	9,05
170	170000	170	0,085	0,000425	9,62
180	180000	183	0,0915	0,0004575	10,19
190	190000	200	0,1	0,0005	10,75
200	200000	215	0,1075	0,0005375	11,32
210	210000	232	0,116	0,00058	11,88
220	220000	249	0,1245	0,0006225	12,45
230	230000	268	0,134	0,00067	13,02
240	240000	286	0,143	0,000715	13,58
250	250000	308	0,154	0,00077	14,15
260	260000	334	0,167	0,000835	14,71
270	270000	358	0,179	0,000895	15,28
280	280000	387	0,1935	0,0009675	15,84
290	290000	419	0,2095	0,0010475	16,41
300	300000	455	0,2275	0,0011375	16,98
310	310000	499	0,2495	0,0012475	17,54
320	320000	560	0,28	0,0014	18,11
328,6	328600	682	0,341	0,001705	18,59
320	320000	831	0,4155	0,0020775	18,11
310	310000	930	0,465	0,002325	17,54
300	300000	1011	0,5055	0,0025275	16,98
290	290000	1093	0,5465	0,0027325	16,41
280	280000	1164	0,582	0,00291	15,84

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
270	270000	1232	0,616	0,00308	15,28
260	260000	1306	0,653	0,003265	14,71
250	250000	1382	0,691	0,003455	14,15

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 15% - ASP 10% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 15%ASP 10% Sampel 3

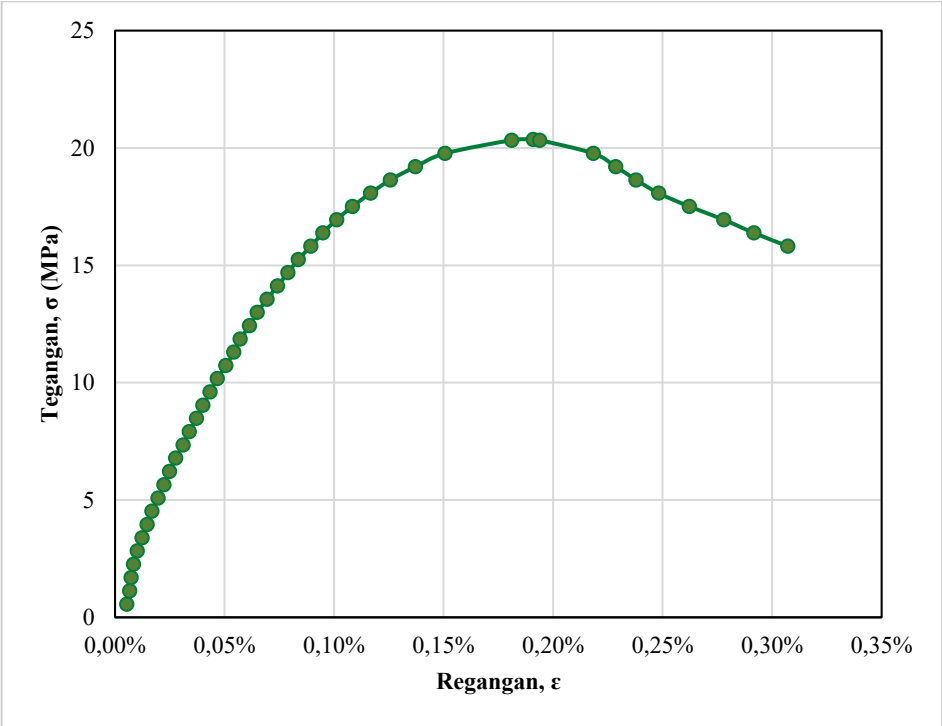
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	20,37	MPa
Diameter	15,015	cm
Tinggi	30,12	cm
Luas	17706,819	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	360,6	kN
Output		
ASTM C-469	22780,00	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21209,99	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21410,732	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	8	0,004	0,00002	1,13
30	30000	11	0,0055	0,0000275	1,69
40	40000	15	0,0075	0,0000375	2,26
50	50000	22	0,011	0,000055	2,82
60	60000	31	0,0155	0,0000775	3,39
70	70000	40	0,02	0,0001	3,95
80	80000	49	0,0245	0,0001225	4,52
90	90000	60	0,03	0,00015	5,08
100	100000	71	0,0355	0,0001775	5,65
110	110000	81	0,0405	0,0002025	6,21

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	92	0,046	0,00023	6,78
130	130000	106	0,053	0,000265	7,34
140	140000	117	0,0585	0,0002925	7,91
150	150000	130	0,065	0,000325	8,47
160	160000	142	0,071	0,000355	9,04
170	170000	155	0,0775	0,0003875	9,60
180	180000	168	0,084	0,00042	10,17
190	190000	184	0,092	0,00046	10,73
200	200000	198	0,099	0,000495	11,30
210	210000	210	0,105	0,000525	11,86
220	220000	227	0,1135	0,0005675	12,42
230	230000	241	0,1205	0,0006025	12,99
240	240000	259	0,1295	0,0006475	13,55
250	250000	278	0,139	0,000695	14,12
260	260000	297	0,1485	0,0007425	14,68
270	270000	316	0,158	0,00079	15,25
280	280000	339	0,1695	0,0008475	15,81
290	290000	361	0,1805	0,0009025	16,38
300	300000	386	0,193	0,000965	16,94
310	310000	415	0,2075	0,0010375	17,51
320	320000	448	0,224	0,00112	18,07
330	330000	484	0,242	0,00121	18,64
340	340000	530	0,265	0,001325	19,20
350	350000	584	0,292	0,00146	19,77
360	360000	706	0,353	0,001765	20,33
360,6	360600	745	0,3725	0,0018625	20,37
360	360000	757	0,3785	0,0018925	20,33

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
350	350000	855	0,4275	0,0021375	19,77
340	340000	896	0,448	0,00224	19,20
330	330000	933	0,4665	0,0023325	18,64
320	320000	974	0,487	0,002435	18,07
310	310000	1030	0,515	0,002575	17,51
300	300000	1093	0,5465	0,0027325	16,94
290	290000	1148	0,574	0,00287	16,38
280	280000	1210	0,605	0,003025	15,81

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 15% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 15%ASP 10% Sampel 4

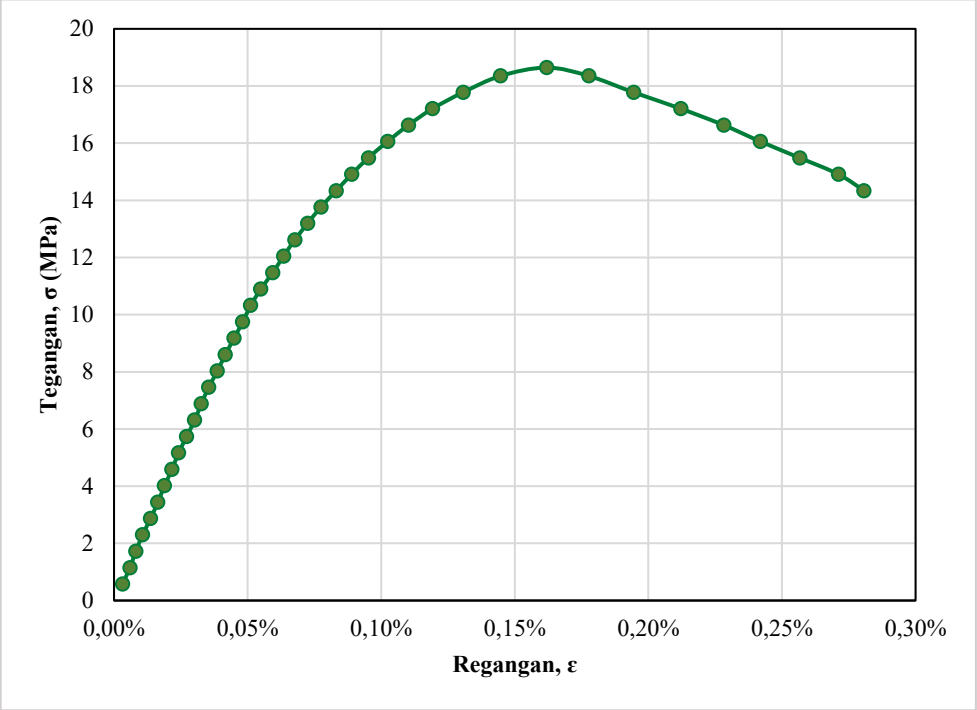
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	18,64	MPa
Diameter	14,9	cm
Tinggi	29,95	cm
Luas	17436,625	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	325,1	kN
Output		
ASTM C-469	21046,07	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20294,35	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21425,752	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,15
30	30000	24	0,012	0,00006	1,72
40	40000	34	0,017	0,000085	2,29
50	50000	46	0,023	0,000115	2,87
60	60000	57	0,0285	0,0001425	3,44
70	70000	67	0,0335	0,0001675	4,01
80	80000	78	0,039	0,000195	4,59
90	90000	88	0,044	0,00022	5,16
100	100000	100	0,05	0,00025	5,74
110	110000	112	0,056	0,00028	6,31

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	122	0,061	0,000305	6,88
130	130000	133	0,0665	0,0003325	7,46
140	140000	146	0,073	0,000365	8,03
150	150000	158	0,079	0,000395	8,60
160	160000	171	0,0855	0,0004275	9,18
170	170000	184	0,092	0,00046	9,75
180	180000	196	0,098	0,00049	10,32
190	190000	211	0,1055	0,0005275	10,90
200	200000	229	0,1145	0,0005725	11,47
210	210000	245	0,1225	0,0006125	12,04
220	220000	262	0,131	0,000655	12,62
230	230000	281	0,1405	0,0007025	13,19
240	240000	301	0,1505	0,0007525	13,76
250	250000	324	0,162	0,00081	14,34
260	260000	347	0,1735	0,0008675	14,91
270	270000	372	0,186	0,00093	15,48
280	280000	401	0,2005	0,0010025	16,06
290	290000	432	0,216	0,00108	16,63
300	300000	468	0,234	0,00117	17,21
310	310000	514	0,257	0,001285	17,78
320	320000	570	0,285	0,001425	18,35
325,1	325100	639	0,3195	0,0015975	18,64
320	320000	702	0,351	0,001755	18,35
310	310000	769	0,3845	0,0019225	17,78
300	300000	840	0,42	0,0021	17,21
290	290000	904	0,452	0,00226	16,63
280	280000	959	0,4795	0,0023975	16,06

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
270	270000	1018	0,509	0,002545	15,48
260	260000	1076	0,538	0,00269	14,91
250	250000	1114	0,557	0,002785	14,34

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 15% - ASP 10% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Perendaman Variasi SK 15%ASP 10% Sampel 5

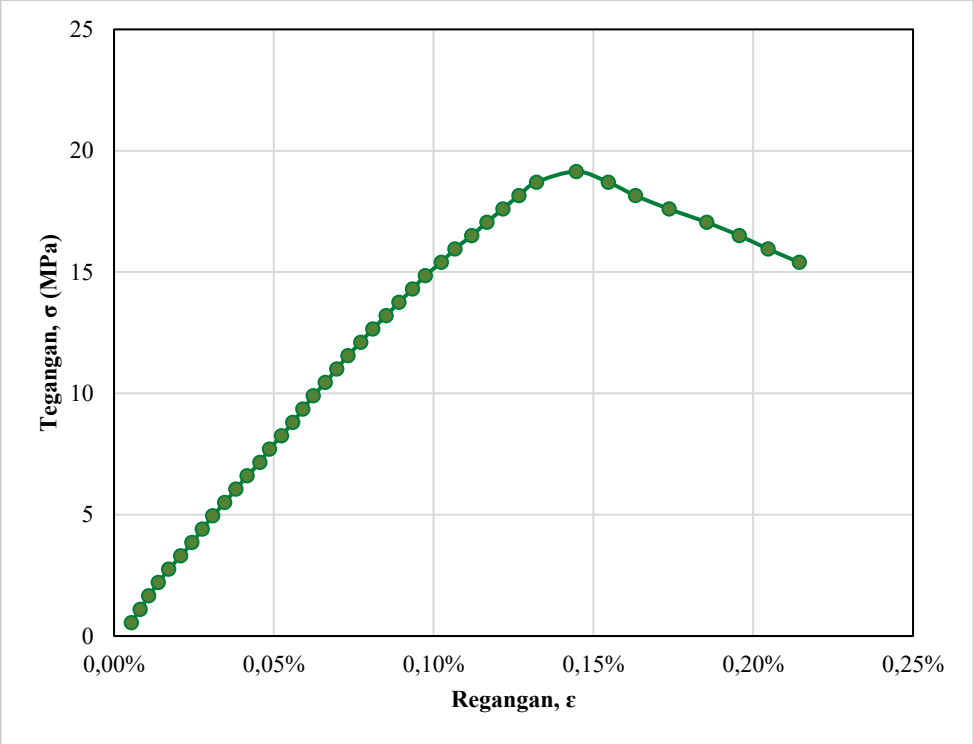
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	19,14	MPa
Diameter	15,215	cm
Tinggi	30,54	cm
Luas	18181,671	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	348	kN
Output		
ASTM C-469	15827,47	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20562,25	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20293,79336	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,55
20	20000	14	0,007	0,000035	1,10
30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,65
40	40000	37	0,0185	0,0000925	2,20
50	50000	50	0,025	0,000125	2,75
60	60000	65	0,0325	0,0001625	3,30
70	70000	79	0,0395	0,0001975	3,85
80	80000	92	0,046	0,00023	4,40
90	90000	105	0,0525	0,0002625	4,95
100	100000	120	0,06	0,0003	5,50
110	110000	134	0,067	0,000335	6,05

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
120	120000	148	0,074	0,00037	6,60
130	130000	164	0,082	0,00041	7,15
140	140000	176	0,088	0,00044	7,70
150	150000	191	0,0955	0,0004775	8,25
160	160000	205	0,1025	0,0005125	8,80
170	170000	218	0,109	0,000545	9,35
180	180000	231	0,1155	0,0005775	9,90
190	190000	246	0,123	0,000615	10,45
200	200000	260	0,13	0,00065	11,00
210	210000	274	0,137	0,000685	11,55
220	220000	290	0,145	0,000725	12,10
230	230000	305	0,1525	0,0007625	12,65
240	240000	322	0,161	0,000805	13,20
250	250000	338	0,169	0,000845	13,75
260	260000	355	0,1775	0,0008875	14,30
270	270000	371	0,1855	0,0009275	14,85
280	280000	391	0,1955	0,0009775	15,40
290	290000	408	0,204	0,00102	15,95
300	300000	429	0,2145	0,0010725	16,50
310	310000	448	0,224	0,00112	17,05
320	320000	468	0,234	0,00117	17,60
330	330000	488	0,244	0,00122	18,15
340	340000	510	0,255	0,001275	18,70
348	348000	560	0,28	0,0014	19,14
340	340000	600	0,3	0,0015	18,70
330	330000	634	0,317	0,001585	18,15
320	320000	676	0,338	0,00169	17,60

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
310	310000	723	0,3615	0,0018075	17,05
300	300000	764	0,382	0,00191	16,50
290	290000	800	0,4	0,002	15,95
280	280000	839	0,4195	0,0020975	15,40

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode PerendamanVariasi SK 15% - ASP 10% Sampel 5



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0%ASP 0%

Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,05	MPa
Diameter	14,925	cm
Tinggi	30,41	cm
Luas	17495,186	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	560,8	kN
Output		
ASTM C-469	20413,78	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	26609,86	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	27429,755	MPa

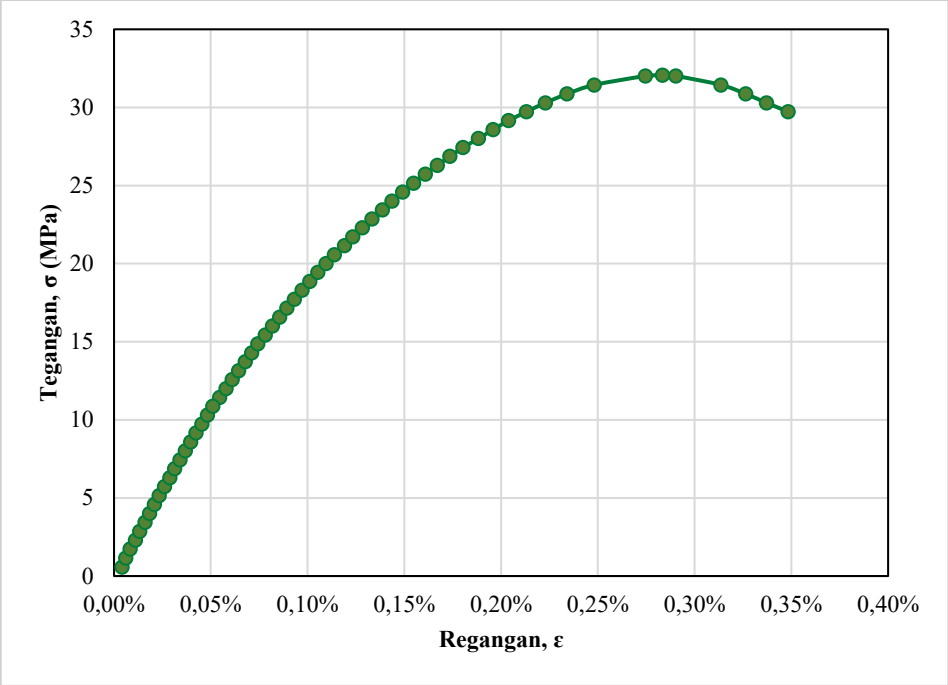
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,14
30	30000	20	0,01	0,00005	1,71
40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,29
50	50000	40	0,02	0,0001	2,86
60	60000	51	0,0255	0,0001275	3,43
70	70000	60	0,03	0,00015	4,00
80	80000	70	0,035	0,000175	4,57
90	90000	80	0,04	0,0002	5,14
100	100000	91	0,0455	0,0002275	5,72

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	102	0,051	0,000255	6,29
120	120000	112	0,056	0,00028	6,86
130	130000	123	0,0615	0,0003075	7,43
140	140000	134	0,067	0,000335	8,00
150	150000	145	0,0725	0,0003625	8,57
160	160000	156	0,078	0,00039	9,15
170	170000	168	0,084	0,00042	9,72
180	180000	180	0,09	0,00045	10,29
190	190000	191	0,0955	0,0004775	10,86
200	200000	205	0,1025	0,0005125	11,43
210	210000	218	0,109	0,000545	12,00
220	220000	231	0,1155	0,0005775	12,57
230	230000	244	0,122	0,00061	13,15
240	240000	258	0,129	0,000645	13,72
250	250000	271	0,1355	0,0006775	14,29
260	260000	284	0,142	0,00071	14,86
270	270000	299	0,1495	0,0007475	15,43
280	280000	314	0,157	0,000785	16,00
290	290000	329	0,1645	0,0008225	16,58
300	300000	344	0,172	0,00086	17,15
310	310000	359	0,1795	0,0008975	17,72
320	320000	375	0,1875	0,0009375	18,29
330	330000	391	0,1955	0,0009775	18,86
340	340000	408	0,204	0,00102	19,43
350	350000	425	0,2125	0,0010625	20,01
360	360000	442	0,221	0,001105	20,58
370	370000	463	0,2315	0,0011575	21,15

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	102	0,051	0,000255	6,29
120	120000	112	0,056	0,00028	6,86
130	130000	123	0,0615	0,0003075	7,43
140	140000	134	0,067	0,000335	8,00
150	150000	145	0,0725	0,0003625	8,57
160	160000	156	0,078	0,00039	9,15
170	170000	168	0,084	0,00042	9,72
180	180000	180	0,09	0,00045	10,29
190	190000	191	0,0955	0,0004775	10,86
200	200000	205	0,1025	0,0005125	11,43
210	210000	218	0,109	0,000545	12,00
220	220000	231	0,1155	0,0005775	12,57
230	230000	244	0,122	0,00061	13,15
240	240000	258	0,129	0,000645	13,72
250	250000	271	0,1355	0,0006775	14,29
260	260000	284	0,142	0,00071	14,86
270	270000	299	0,1495	0,0007475	15,43
280	280000	314	0,157	0,000785	16,00
290	290000	329	0,1645	0,0008225	16,58
300	300000	344	0,172	0,00086	17,15
310	310000	359	0,1795	0,0008975	17,72
320	320000	375	0,1875	0,0009375	18,29
330	330000	391	0,1955	0,0009775	18,86
340	340000	408	0,204	0,00102	19,43
350	350000	425	0,2125	0,0010625	20,01
360	360000	442	0,221	0,001105	20,58
370	370000	463	0,2315	0,0011575	21,15

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	480	0,24	0,0012	21,72
390	390000	500	0,25	0,00125	22,29
400	400000	520	0,26	0,0013	22,86
410	410000	541	0,2705	0,0013525	23,44
420	420000	561	0,2805	0,0014025	24,01
430	430000	583	0,2915	0,0014575	24,58
440	440000	606	0,303	0,001515	25,15
450	450000	630	0,315	0,001575	25,72
460	460000	655	0,3275	0,0016375	26,29
470	470000	681	0,3405	0,0017025	26,86
480	480000	708	0,354	0,00177	27,44
490	490000	740	0,37	0,00185	28,01
500	500000	770	0,385	0,001925	28,58
510	510000	802	0,401	0,002005	29,15
520	520000	839	0,4195	0,0020975	29,72
530	530000	878	0,439	0,002195	30,29
540	540000	923	0,4615	0,0023075	30,87
550	550000	979	0,4895	0,0024475	31,44
560	560000	1085	0,5425	0,0027125	32,01
560,8	560800	1120	0,56	0,0028	32,05
560	560000	1148	0,574	0,00287	32,01
550	550000	1241	0,6205	0,0031025	31,44
540	540000	1292	0,646	0,00323	30,87
530	530000	1335	0,6675	0,0033375	30,29
520	520000	1380	0,69	0,00345	29,72

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0%ASP 0%

Sampel 2

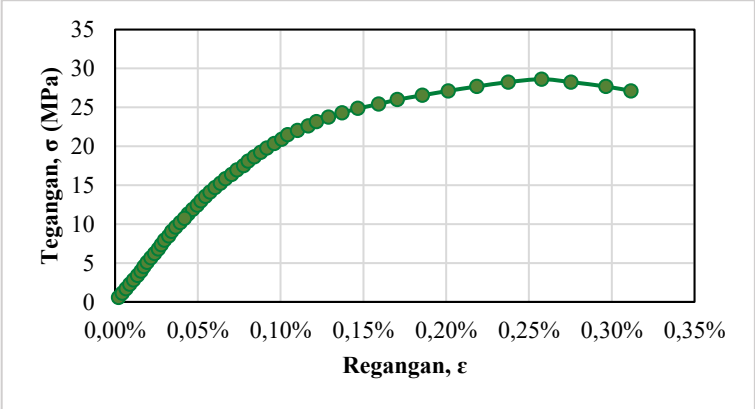
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,62	MPa
Diameter	15,0125	cm
Tinggi	30,22	cm
Luas	17700,923	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	506,6	kN
Output		
ASTM C-469	25264,50	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	25143,89	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	25562,658	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,13
30	30000	20	0,01	0,00005	1,69
40	40000	29	0,0145	0,0000725	2,26
50	50000	38	0,019	0,000095	2,82
60	60000	48	0,024	0,00012	3,39
70	70000	56	0,028	0,00014	3,95
80	80000	63	0,0315	0,0001575	4,52
90	90000	71	0,0355	0,0001775	5,08
100	100000	80	0,04	0,0002	5,65

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,21
120	120000	98	0,049	0,000245	6,78
130	130000	105	0,0525	0,0002625	7,34
140	140000	113	0,0565	0,0002825	7,91
150	150000	123	0,0615	0,0003075	8,47
160	160000	130	0,065	0,000325	9,04
170	170000	140	0,07	0,00035	9,60
180	180000	151	0,0755	0,0003775	10,17
190	190000	161	0,0805	0,0004025	10,73
200	200000	170	0,085	0,000425	11,30
210	210000	181	0,0905	0,0004525	11,86
220	220000	192	0,096	0,00048	12,43
230	230000	201	0,1005	0,0005025	12,99
240	240000	212	0,106	0,00053	13,56
250	250000	223	0,1115	0,0005575	14,12
260	260000	235	0,1175	0,0005875	14,69
270	270000	248	0,124	0,00062	15,25
280	280000	260	0,13	0,00065	15,82
290	290000	275	0,1375	0,0006875	16,38
300	300000	288	0,144	0,00072	16,95
310	310000	304	0,152	0,00076	17,51
320	320000	315	0,1575	0,0007875	18,08
330	330000	330	0,165	0,000825	18,64
340	340000	345	0,1725	0,0008625	19,21
350	350000	360	0,18	0,0009	19,77
360	360000	378	0,189	0,000945	20,34
370	370000	396	0,198	0,00099	20,90

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	410	0,205	0,001025	21,47
390	390000	434	0,217	0,001085	22,03
400	400000	460	0,23	0,00115	22,60
410	410000	480	0,24	0,0012	23,16
420	420000	509	0,2545	0,0012725	23,73
430	430000	542	0,271	0,001355	24,29
440	440000	580	0,29	0,00145	24,86
450	450000	630	0,315	0,001575	25,42
460	460000	675	0,3375	0,0016875	25,99
470	470000	736	0,368	0,00184	26,55
480	480000	798	0,399	0,001995	27,12
490	490000	867	0,4335	0,0021675	27,68
500	500000	943	0,4715	0,0023575	28,25
506,6	506600	1024	0,512	0,00256	28,62
500	500000	1095	0,5475	0,0027375	28,25
490	490000	1179	0,5895	0,0029475	27,68
480	480000	1240	0,62	0,0031	27,12

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0%ASP 0%

Sampel 3

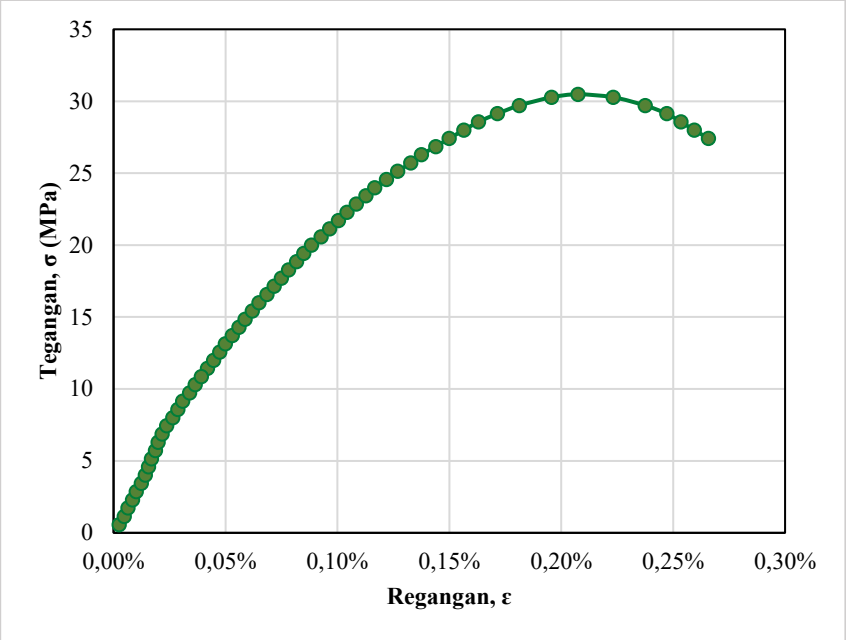
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,48	MPa
Diameter	14,93	Cm
Tinggi	30,50	Cm
Luas	17506,910	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	533,6	kN
Output		
ASTM C-469	26880,14	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	25947,83	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	26779,243	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,14
30	30000	20	0,01	0,00005	1,71
40	40000	28	0,014	0,00007	2,28
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,86
60	60000	44	0,022	0,00011	3,43
70	70000	51	0,0255	0,0001275	4,00
80	80000	57	0,0285	0,0001425	4,57
90	90000	62	0,031	0,000155	5,14
100	100000	69	0,0345	0,0001725	5,71

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	74	0,037	0,000185	6,28
120	120000	81	0,0405	0,0002025	6,85
130	130000	89	0,0445	0,0002225	7,43
140	140000	100	0,05	0,00025	8,00
150	150000	109	0,0545	0,0002725	8,57
160	160000	118	0,059	0,000295	9,14
170	170000	130	0,065	0,000325	9,71
180	180000	140	0,07	0,00035	10,28
190	190000	151	0,0755	0,0003775	10,85
200	200000	162	0,081	0,000405	11,42
210	210000	173	0,0865	0,0004325	12,00
220	220000	184	0,092	0,00046	12,57
230	230000	194	0,097	0,000485	13,14
240	240000	206	0,103	0,000515	13,71
250	250000	218	0,109	0,000545	14,28
260	260000	229	0,1145	0,0005725	14,85
270	270000	242	0,121	0,000605	15,42
280	280000	254	0,127	0,000635	15,99
290	290000	268	0,134	0,00067	16,56
300	300000	281	0,1405	0,0007025	17,14
310	310000	294	0,147	0,000735	17,71
320	320000	307	0,1535	0,0007675	18,28
330	330000	321	0,1605	0,0008025	18,85
340	340000	334	0,167	0,000835	19,42
350	350000	348	0,174	0,00087	19,99
360	360000	365	0,1825	0,0009125	20,56
370	370000	380	0,19	0,00095	21,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	396	0,198	0,00099	21,71
390	390000	411	0,2055	0,0010275	22,28
400	400000	428	0,214	0,00107	22,85
410	410000	445	0,2225	0,0011125	23,42
420	420000	461	0,2305	0,0011525	23,99
430	430000	482	0,241	0,001205	24,56
440	440000	502	0,251	0,001255	25,13
450	450000	525	0,2625	0,0013125	25,70
460	460000	544	0,272	0,00136	26,28
470	470000	570	0,285	0,001425	26,85
480	480000	594	0,297	0,001485	27,42
490	490000	620	0,31	0,00155	27,99
500	500000	646	0,323	0,001615	28,56
510	510000	680	0,34	0,0017	29,13
520	520000	719	0,3595	0,0017975	29,70
530	530000	777	0,3885	0,0019425	30,27
533,6	533600	824	0,412	0,00206	30,48
530	530000	887	0,4435	0,0022175	30,27
520	520000	944	0,472	0,00236	29,70
510	510000	983	0,4915	0,0024575	29,13
500	500000	1008	0,504	0,00252	28,56
490	490000	1032	0,516	0,00258	27,99
480	480000	1057	0,5285	0,0026425	27,42

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0%ASP 0%

Sampel 4

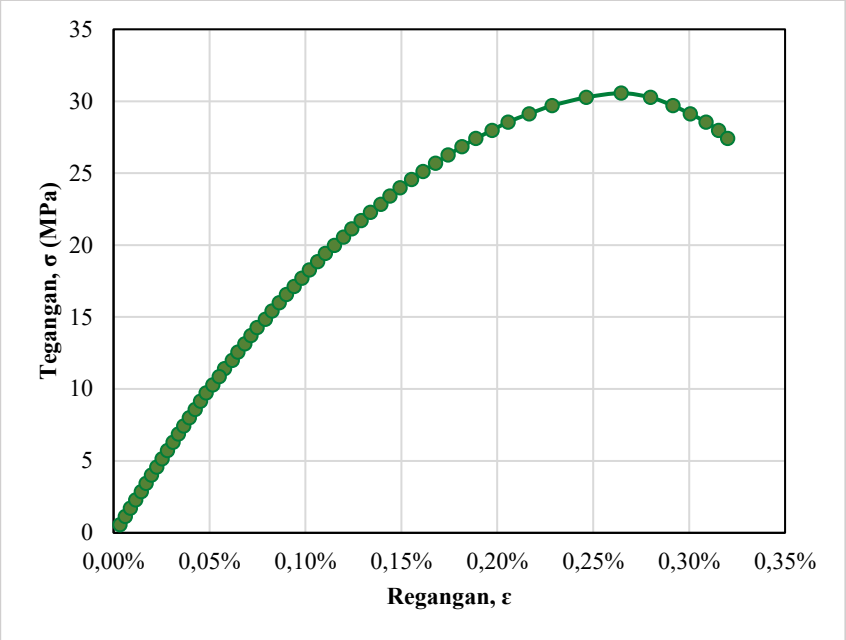
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,56	MPa
Diameter	14,9325	Cm
Tinggi	30,33	Cm
Luas	17512,773	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	535,2	kN
Output		
ASTM C-469	19373,61	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	25982,35	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	26631,460	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	14	0,007	0,000035	1,14
30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,71
40	40000	36	0,018	0,00009	2,28
50	50000	48	0,024	0,00012	2,86
60	60000	58	0,029	0,000145	3,43
70	70000	69	0,0345	0,0001725	4,00
80	80000	80	0,04	0,0002	4,57
90	90000	91	0,0455	0,0002275	5,14
100	100000	102	0,051	0,000255	5,71

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	114	0,057	0,000285	6,28
120	120000	125	0,0625	0,0003125	6,85
130	130000	136	0,068	0,00034	7,42
140	140000	148	0,074	0,00037	7,99
150	150000	160	0,08	0,0004	8,57
160	160000	171	0,0855	0,0004275	9,14
170	170000	183	0,0915	0,0004575	9,71
180	180000	197	0,0985	0,0004925	10,28
190	190000	210	0,105	0,000525	10,85
200	200000	221	0,1105	0,0005525	11,42
210	210000	237	0,1185	0,0005925	11,99
220	220000	249	0,1245	0,0006225	12,56
230	230000	263	0,1315	0,0006575	13,13
240	240000	276	0,138	0,00069	13,70
250	250000	289	0,1445	0,0007225	14,28
260	260000	306	0,153	0,000765	14,85
270	270000	320	0,16	0,0008	15,42
280	280000	335	0,1675	0,0008375	15,99
290	290000	350	0,175	0,000875	16,56
300	300000	366	0,183	0,000915	17,13
310	310000	382	0,191	0,000955	17,70
320	320000	398	0,199	0,000995	18,27
330	330000	415	0,2075	0,0010375	18,84
340	340000	431	0,2155	0,0010775	19,41
350	350000	450	0,225	0,001125	19,99
360	360000	469	0,2345	0,0011725	20,56
370	370000	486	0,243	0,001215	21,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	506	0,253	0,001265	21,70
390	390000	525	0,2625	0,0013125	22,27
400	400000	547	0,2735	0,0013675	22,84
410	410000	566	0,283	0,001415	23,41
420	420000	587	0,2935	0,0014675	23,98
430	430000	611	0,3055	0,0015275	24,55
440	440000	635	0,3175	0,0015875	25,12
450	450000	661	0,3305	0,0016525	25,70
460	460000	687	0,3435	0,0017175	26,27
470	470000	716	0,358	0,00179	26,84
480	480000	745	0,3725	0,0018625	27,41
490	490000	779	0,3895	0,0019475	27,98
500	500000	812	0,406	0,00203	28,55
510	510000	856	0,428	0,00214	29,12
520	520000	904	0,452	0,00226	29,69
530	530000	975	0,4875	0,0024375	30,26
535,2	535200	1048	0,524	0,00262	30,56
530	530000	1109	0,5545	0,0027725	30,26
520	520000	1156	0,578	0,00289	29,69
510	510000	1192	0,596	0,00298	29,12
500	500000	1225	0,6125	0,0030625	28,55
490	490000	1251	0,6255	0,0031275	27,98
480	480000	1270	0,635	0,003175	27,41

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0%ASP 0%

Sampel 5

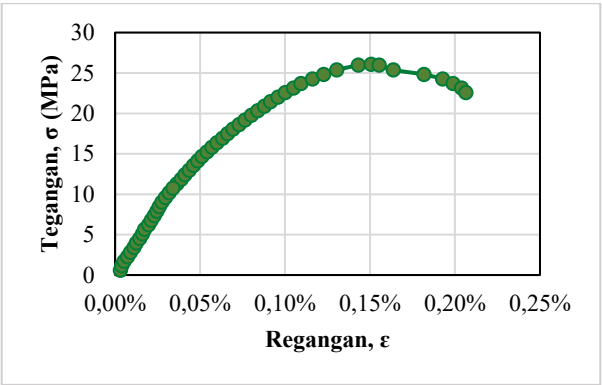
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	26,07	MPa
Diameter	15,025	Cm
Tinggi	30,40	Cm
Luas	17730,413	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	462,3	kN
Output		
ASTM C-469	31387,97	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23999,40	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	23912,015	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	6	0,003	0,000015	1,13
30	30000	12	0,006	0,00003	1,69
40	40000	20	0,01	0,00005	2,26
50	50000	27	0,0135	0,0000675	2,82
60	60000	35	0,0175	0,0000875	3,38
70	70000	41	0,0205	0,0001025	3,95
80	80000	49	0,0245	0,0001225	4,51
90	90000	55	0,0275	0,0001375	5,08
100	100000	60	0,03	0,00015	5,64

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	70	0,035	0,000175	6,20
120	120000	76	0,038	0,00019	6,77
130	130000	83	0,0415	0,0002075	7,33
140	140000	89	0,0445	0,0002225	7,90
150	150000	95	0,0475	0,0002375	8,46
160	160000	101	0,0505	0,0002525	9,02
170	170000	109	0,0545	0,0002725	9,59
180	180000	118	0,059	0,000295	10,15
190	190000	127	0,0635	0,0003175	10,72
200	200000	136	0,068	0,00034	11,28
210	210000	146	0,073	0,000365	11,84
220	220000	155	0,0775	0,0003875	12,41
230	230000	165	0,0825	0,0004125	12,97
240	240000	175	0,0875	0,0004375	13,54
250	250000	185	0,0925	0,0004625	14,10
260	260000	195	0,0975	0,0004875	14,66
270	270000	207	0,1035	0,0005175	15,23
280	280000	218	0,109	0,000545	15,79
290	290000	230	0,115	0,000575	16,36
300	300000	243	0,1215	0,0006075	16,92
310	310000	255	0,1275	0,0006375	17,48
320	320000	268	0,134	0,00067	18,05
330	330000	282	0,141	0,000705	18,61
340	340000	296	0,148	0,00074	19,18
350	350000	311	0,1555	0,0007775	19,74
360	360000	326	0,163	0,000815	20,30
370	370000	342	0,171	0,000855	20,87

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	356	0,178	0,00089	21,43
390	390000	374	0,187	0,000935	22,00
400	400000	391	0,1955	0,0009775	22,56
410	410000	410	0,205	0,001025	23,12
420	420000	428	0,214	0,00107	23,69
430	430000	455	0,2275	0,0011375	24,25
440	440000	481	0,2405	0,0012025	24,82
450	450000	512	0,256	0,00128	25,38
460	460000	563	0,2815	0,0014075	25,94
462,3	462300	593	0,2965	0,0014825	26,07
460	460000	612	0,306	0,00153	25,94
450	450000	645	0,3225	0,0016125	25,38
440	440000	717	0,3585	0,0017925	24,82
430	430000	761	0,3805	0,0019025	24,25
420	420000	786	0,393	0,001965	23,69
410	410000	806	0,403	0,002015	23,12
400	400000	816	0,408	0,00204	22,56

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 0% - ASP 0% Sampel 5



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5%ASP 10%

Sampel 1

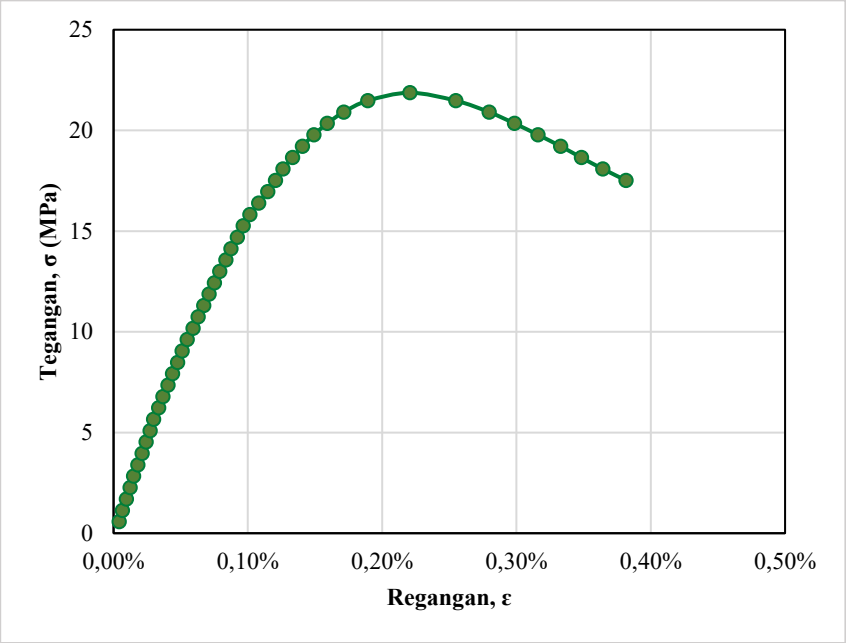
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	21,87	MPa
Diameter	15,01	Cm
Tinggi	30,34	Cm
Luas	17695,028	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	387	kN
Output		
ASTM C-469	17702,88	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21980,00	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21391,477	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	24	0,012	0,00006	1,70
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,26
50	50000	46	0,023	0,000115	2,83
60	60000	58	0,029	0,000145	3,39
70	70000	71	0,0355	0,0001775	3,96
80	80000	83	0,0415	0,0002075	4,52
90	90000	95	0,0475	0,0002375	5,09
100	100000	105	0,0525	0,0002625	5,65

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	120	0,06	0,0003	6,22
120	120000	133	0,0665	0,0003325	6,78
130	130000	148	0,074	0,00037	7,35
140	140000	162	0,081	0,000405	7,91
150	150000	177	0,0885	0,0004425	8,48
160	160000	190	0,095	0,000475	9,04
170	170000	205	0,1025	0,0005125	9,61
180	180000	223	0,1115	0,0005575	10,17
190	190000	238	0,119	0,000595	10,74
200	200000	254	0,127	0,000635	11,30
210	210000	270	0,135	0,000675	11,87
220	220000	286	0,143	0,000715	12,43
230	230000	302	0,151	0,000755	13,00
240	240000	320	0,16	0,0008	13,56
250	250000	335	0,1675	0,0008375	14,13
260	260000	354	0,177	0,000885	14,69
270	270000	372	0,186	0,00093	15,26
280	280000	392	0,196	0,00098	15,82
290	290000	418	0,209	0,001045	16,39
300	300000	445	0,2225	0,0011125	16,95
310	310000	468	0,234	0,00117	17,52
320	320000	490	0,245	0,001225	18,08
330	330000	519	0,2595	0,0012975	18,65
340	340000	548	0,274	0,00137	19,21
350	350000	582	0,291	0,001455	19,78
360	360000	622	0,311	0,001555	20,34
370	370000	671	0,3355	0,0016775	20,91

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	743	0,3715	0,0018575	21,47
387	387000	868	0,434	0,00217	21,87
380	380000	1005	0,5025	0,0025125	21,47
370	370000	1104	0,552	0,00276	20,91
360	360000	1180	0,59	0,00295	20,34
350	350000	1250	0,625	0,003125	19,78
340	340000	1317	0,6585	0,0032925	19,21
330	330000	1379	0,6895	0,0034475	18,65
320	320000	1443	0,7215	0,0036075	18,08
310	310000	1512	0,756	0,00378	17,52

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5% - ASP 10% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5%ASP 10%

Sampel 2

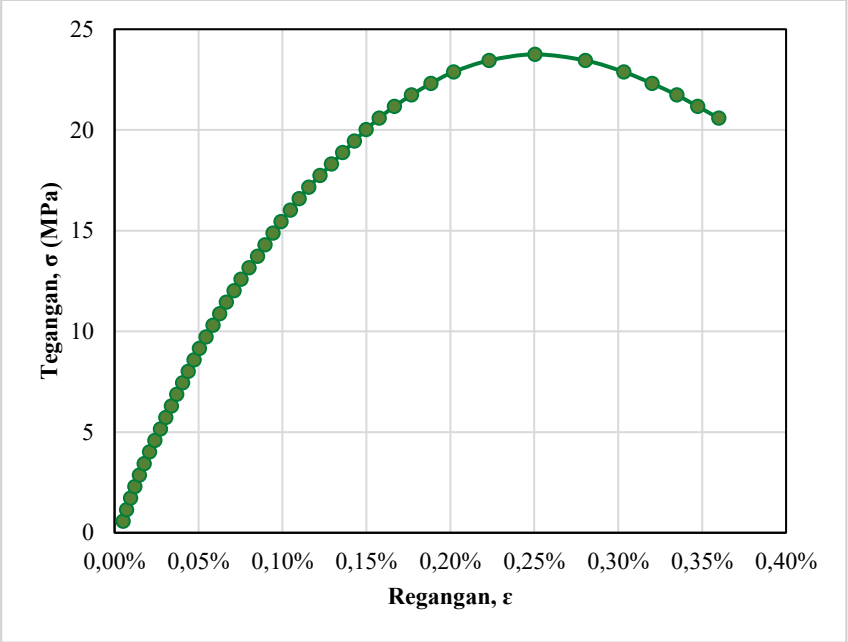
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	23,75	MPa
Diameter	14,92	Cm
Tinggi	30,70	Cm
Luas	17483,466	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	415,3	kN
Output		
ASTM C-469	17794,59	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	22906,83	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22640,721	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,14
30	30000	20	0,01	0,00005	1,72
40	40000	30	0,015	0,000075	2,29
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,86
60	60000	52	0,026	0,00013	3,43
70	70000	65	0,0325	0,0001625	4,00
80	80000	78	0,039	0,000195	4,58
90	90000	91	0,0455	0,0002275	5,15
100	100000	104	0,052	0,00026	5,72

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	117	0,0585	0,0002925	6,29
120	120000	130	0,065	0,000325	6,86
130	130000	144	0,072	0,00036	7,44
140	140000	157	0,0785	0,0003925	8,01
150	150000	171	0,0855	0,0004275	8,58
160	160000	184	0,092	0,00046	9,15
170	170000	200	0,1	0,0005	9,72
180	180000	216	0,108	0,00054	10,30
190	190000	232	0,116	0,00058	10,87
200	200000	248	0,124	0,00062	11,44
210	210000	266	0,133	0,000665	12,01
220	220000	283	0,1415	0,0007075	12,58
230	230000	302	0,151	0,000755	13,16
240	240000	322	0,161	0,000805	13,73
250	250000	340	0,17	0,00085	14,30
260	260000	359	0,1795	0,0008975	14,87
270	270000	378	0,189	0,000945	15,44
280	280000	400	0,2	0,001	16,02
290	290000	421	0,2105	0,0010525	16,59
300	300000	444	0,222	0,00111	17,16
310	310000	471	0,2355	0,0011775	17,73
320	320000	498	0,249	0,001245	18,30
330	330000	525	0,2625	0,0013125	18,87
340	340000	553	0,2765	0,0013825	19,45
350	350000	581	0,2905	0,0014525	20,02
360	360000	612	0,306	0,00153	20,59
370	370000	648	0,324	0,00162	21,16

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	689	0,3445	0,0017225	21,73
390	390000	735	0,3675	0,0018375	22,31
400	400000	789	0,3945	0,0019725	22,88
410	410000	874	0,437	0,002185	23,45
415,3	415300	983	0,4915	0,0024575	23,75
410	410000	1103	0,5515	0,0027575	23,45
400	400000	1195	0,5975	0,0029875	22,88
390	390000	1262	0,631	0,003155	22,31
380	380000	1321	0,6605	0,0033025	21,73
370	370000	1371	0,6855	0,0034275	21,16
360	360000	1421	0,7105	0,0035525	20,59

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5% - ASP 10% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5%ASP 10%

Sampel 3

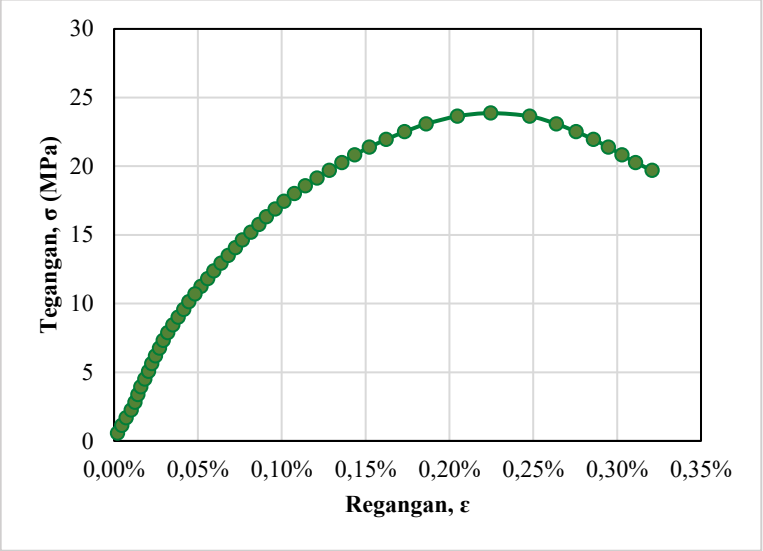
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	23,87	MPa
Diameter	15,04	Cm
Tinggi	30,73	Cm
Luas	17765,832	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	424	kN
Output		
ASTM C-469	23008,16	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	22960,85	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22587,779	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,56
20	20000	15	0,0075	0,0000375	1,13
30	30000	26	0,013	0,000065	1,69
40	40000	38	0,019	0,000095	2,25
50	50000	47	0,0235	0,0001175	2,81
60	60000	54	0,027	0,000135	3,38
70	70000	61	0,0305	0,0001525	3,94
80	80000	70	0,035	0,000175	4,50
90	90000	79	0,0395	0,0001975	5,07
100	100000	87	0,0435	0,0002175	5,63

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	96	0,048	0,00024	6,19
120	120000	105	0,0525	0,0002625	6,75
130	130000	114	0,057	0,000285	7,32
140	140000	125	0,0625	0,0003125	7,88
150	150000	137	0,0685	0,0003425	8,44
160	160000	150	0,075	0,000375	9,01
170	170000	163	0,0815	0,0004075	9,57
180	180000	175	0,0875	0,0004375	10,13
190	190000	190	0,095	0,000475	10,69
200	200000	204	0,102	0,00051	11,26
210	210000	220	0,11	0,00055	11,82
220	220000	235	0,1175	0,0005875	12,38
230	230000	252	0,126	0,00063	12,95
240	240000	269	0,1345	0,0006725	13,51
250	250000	286	0,143	0,000715	14,07
260	260000	303	0,1515	0,0007575	14,63
270	270000	323	0,1615	0,0008075	15,20
280	280000	342	0,171	0,000855	15,76
290	290000	360	0,18	0,0009	16,32
300	300000	381	0,1905	0,0009525	16,89
310	310000	402	0,201	0,001005	17,45
320	320000	427	0,2135	0,0010675	18,01
330	330000	453	0,2265	0,0011325	18,57
340	340000	481	0,2405	0,0012025	19,14
350	350000	510	0,255	0,001275	19,70
360	360000	540	0,27	0,00135	20,26
370	370000	571	0,2855	0,0014275	20,83

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	606	0,303	0,001515	21,39
390	390000	646	0,323	0,001615	21,95
400	400000	690	0,345	0,001725	22,52
410	410000	741	0,3705	0,0018525	23,08
420	420000	816	0,408	0,00204	23,64
424	424000	895	0,4475	0,0022375	23,87
420	420000	988	0,494	0,00247	23,64
410	410000	1052	0,526	0,00263	23,08
400	400000	1099	0,5495	0,0027475	22,52
390	390000	1140	0,57	0,00285	21,95
380	380000	1176	0,588	0,00294	21,39
370	370000	1208	0,604	0,00302	20,83
360	360000	1241	0,6205	0,0031025	20,26
350	350000	1280	0,64	0,0032	19,70

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5%ASP 10%

Sampel 4

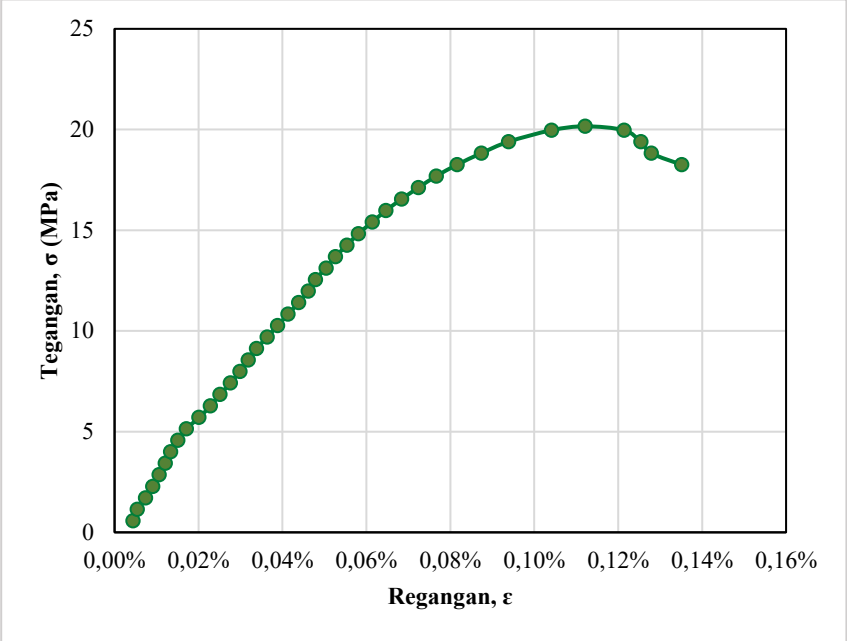
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	20,16	MPa
Diameter	14,94	Cm
Tinggi	30,13	Cm
Luas	17530,370	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	353,4	kN
Output		
ASTM C-469	26844,17	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21102,58	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21121,712	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	6	0,003	0,000015	1,14
30	30000	14	0,007	0,000035	1,71
40	40000	21	0,0105	0,0000525	2,28
50	50000	27	0,0135	0,0000675	2,85
60	60000	33	0,0165	0,0000825	3,42
70	70000	38	0,019	0,000095	3,99
80	80000	45	0,0225	0,0001125	4,56
90	90000	53	0,0265	0,0001325	5,13
100	100000	65	0,0325	0,0001625	5,70

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	76	0,038	0,00019	6,27
120	120000	85	0,0425	0,0002125	6,85
130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,42
140	140000	104	0,052	0,00026	7,99
150	150000	112	0,056	0,00028	8,56
160	160000	120	0,06	0,0003	9,13
170	170000	130	0,065	0,000325	9,70
180	180000	140	0,07	0,00035	10,27
190	190000	150	0,075	0,000375	10,84
200	200000	160	0,08	0,0004	11,41
210	210000	169	0,0845	0,0004225	11,98
220	220000	176	0,088	0,00044	12,55
230	230000	186	0,093	0,000465	13,12
240	240000	195	0,0975	0,0004875	13,69
250	250000	206	0,103	0,000515	14,26
260	260000	217	0,1085	0,0005425	14,83
270	270000	230	0,115	0,000575	15,40
280	280000	243	0,1215	0,0006075	15,97
290	290000	258	0,129	0,000645	16,54
300	300000	274	0,137	0,000685	17,11
310	310000	291	0,1455	0,0007275	17,68
320	320000	311	0,1555	0,0007775	18,25
330	330000	334	0,167	0,000835	18,82
340	340000	360	0,18	0,0009	19,39
350	350000	401	0,2005	0,0010025	19,97
353,4	353400	433	0,2165	0,0010825	20,16
350	350000	470	0,235	0,001175	19,97

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
340	340000	486	0,243	0,001215	19,39
330	330000	496	0,248	0,00124	18,82
320	320000	525	0,2625	0,0013125	18,25

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5% - ASP 10% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5%ASP 10%

Sampel 5

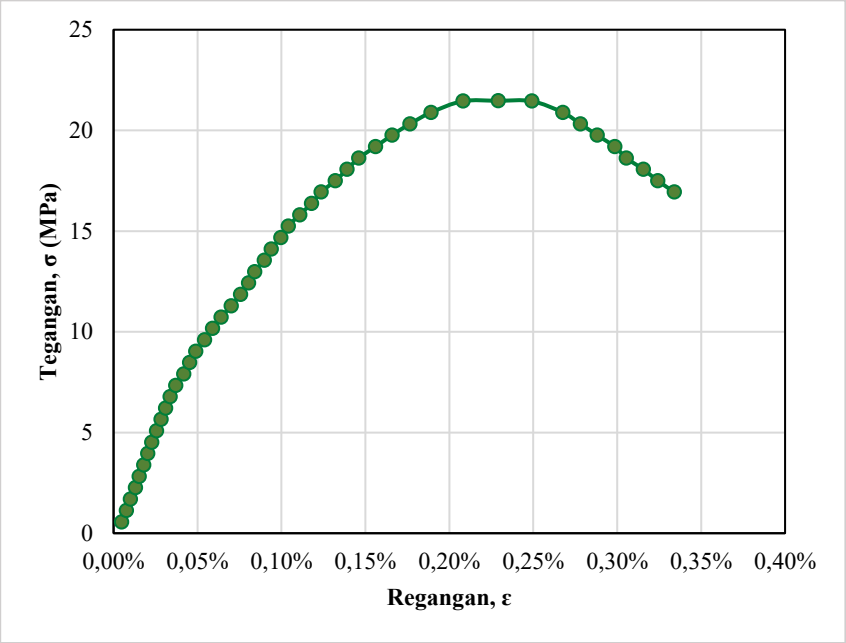
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	21,47	MPa
Diameter	15,0175	Cm
Tinggi	30,12	Cm
Luas	17712,716	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	380,3	kN
Output		
ASTM C-469	18400,67	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	21778,02	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	21774,668	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	14	0,007	0,000035	1,13
30	30000	24	0,012	0,00006	1,69
40	40000	36	0,018	0,00009	2,26
50	50000	45	0,0225	0,0001125	2,82
60	60000	56	0,028	0,00014	3,39
70	70000	65	0,0325	0,0001625	3,95
80	80000	75	0,0375	0,0001875	4,52
90	90000	86	0,043	0,000215	5,08
100	100000	97	0,0485	0,0002425	5,65

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	108	0,054	0,00027	6,21
120	120000	119	0,0595	0,0002975	6,77
130	130000	132	0,066	0,00033	7,34
140	140000	151	0,0755	0,0003775	7,90
150	150000	165	0,0825	0,0004125	8,47
160	160000	180	0,09	0,00045	9,03
170	170000	201	0,1005	0,0005025	9,60
180	180000	220	0,11	0,00055	10,16
190	190000	240	0,12	0,0006	10,73
200	200000	264	0,132	0,00066	11,29
210	210000	286	0,143	0,000715	11,86
220	220000	305	0,1525	0,0007625	12,42
230	230000	320	0,16	0,0008	12,99
240	240000	343	0,1715	0,0008575	13,55
250	250000	359	0,1795	0,0008975	14,11
260	260000	382	0,191	0,000955	14,68
270	270000	400	0,2	0,001	15,24
280	280000	427	0,2135	0,0010675	15,81
290	290000	455	0,2275	0,0011375	16,37
300	300000	478	0,239	0,001195	16,94
310	310000	512	0,256	0,00128	17,50
320	320000	540	0,27	0,00135	18,07
330	330000	568	0,284	0,00142	18,63
340	340000	608	0,304	0,00152	19,20
350	350000	647	0,3235	0,0016175	19,76
360	360000	690	0,345	0,001725	20,32
370	370000	740	0,37	0,00185	20,89

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380,3	380300	900	0,45	0,00225	21,47
380	380000	980	0,49	0,00245	21,45
370	370000	1054	0,527	0,002635	20,89
360	360000	1096	0,548	0,00274	20,32
350	350000	1136	0,568	0,00284	19,76
340	340000	1178	0,589	0,002945	19,20
330	330000	1205	0,6025	0,0030125	18,63
320	320000	1246	0,623	0,003115	18,07
310	310000	1280	0,64	0,0032	17,50
300	300000	1320	0,66	0,0033	16,94

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 5% - ASP 10% Sampel 5



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10%ASP 10%

Sampel 1

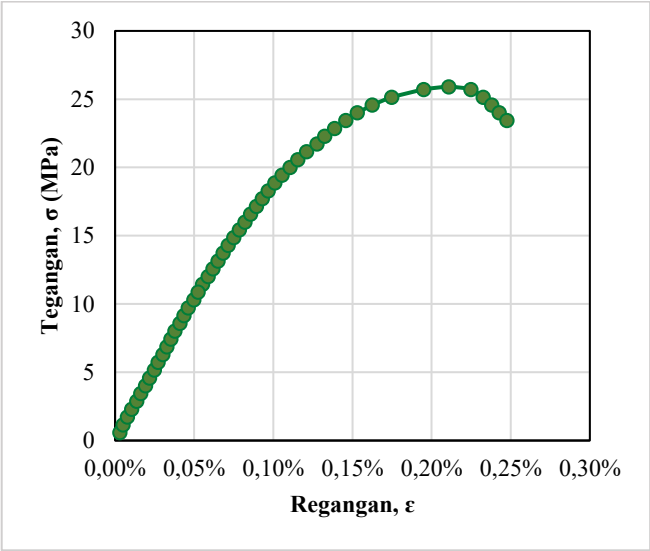
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,90	MPa
Diameter	14,93	Cm
Tinggi	30,42	Cm
Luas	17506,910	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	453,4	kN
Output		
ASTM C-469	20637,01	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23918,50	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	23105,086	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,14
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,71
40	40000	32	0,016	0,00008	2,28
50	50000	45	0,0225	0,0001125	2,86
60	60000	55	0,0275	0,0001375	3,43
70	70000	67	0,0335	0,0001675	4,00
80	80000	77	0,0385	0,0001925	4,57
90	90000	89	0,0445	0,0002225	5,14
100	100000	99	0,0495	0,0002475	5,71

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	111	0,0555	0,0002775	6,28
120	120000	121	0,0605	0,0003025	6,85
130	130000	131	0,0655	0,0003275	7,43
140	140000	141	0,0705	0,0003525	8,00
150	150000	154	0,077	0,000385	8,57
160	160000	164	0,082	0,00041	9,14
170	170000	175	0,0875	0,0004375	9,71
180	180000	189	0,0945	0,0004725	10,28
190	190000	200	0,1	0,0005	10,85
200	200000	211	0,1055	0,0005275	11,42
210	210000	225	0,1125	0,0005625	12,00
220	220000	237	0,1185	0,0005925	12,57
230	230000	250	0,125	0,000625	13,14
240	240000	263	0,1315	0,0006575	13,71
250	250000	276	0,138	0,00069	14,28
260	260000	290	0,145	0,000725	14,85
270	270000	304	0,152	0,00076	15,42
280	280000	318	0,159	0,000795	15,99
290	290000	332	0,166	0,00083	16,56
300	300000	347	0,1735	0,0008675	17,14
310	310000	362	0,181	0,000905	17,71
320	320000	377	0,1885	0,0009425	18,28
330	330000	394	0,197	0,000985	18,85
340	340000	412	0,206	0,00103	19,42
350	350000	432	0,216	0,00108	19,99
360	360000	452	0,226	0,00113	20,56
370	370000	474	0,237	0,001185	21,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	500	0,25	0,00125	21,71
390	390000	520	0,26	0,0013	22,28
400	400000	545	0,2725	0,0013625	22,85
410	410000	573	0,2865	0,0014325	23,42
420	420000	602	0,301	0,001505	23,99
430	430000	640	0,32	0,0016	24,56
440	440000	689	0,3445	0,0017225	25,13
450	450000	770	0,385	0,001925	25,70
453,4	453400	833	0,4165	0,0020825	25,90
450	450000	889	0,4445	0,0022225	25,70
440	440000	920	0,46	0,0023	25,13
430	430000	942	0,471	0,002355	24,56
420	420000	961	0,4805	0,0024025	23,99
410	410000	980	0,49	0,00245	23,42

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10% - ASP 10% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10%ASP 10%

Sampel 2

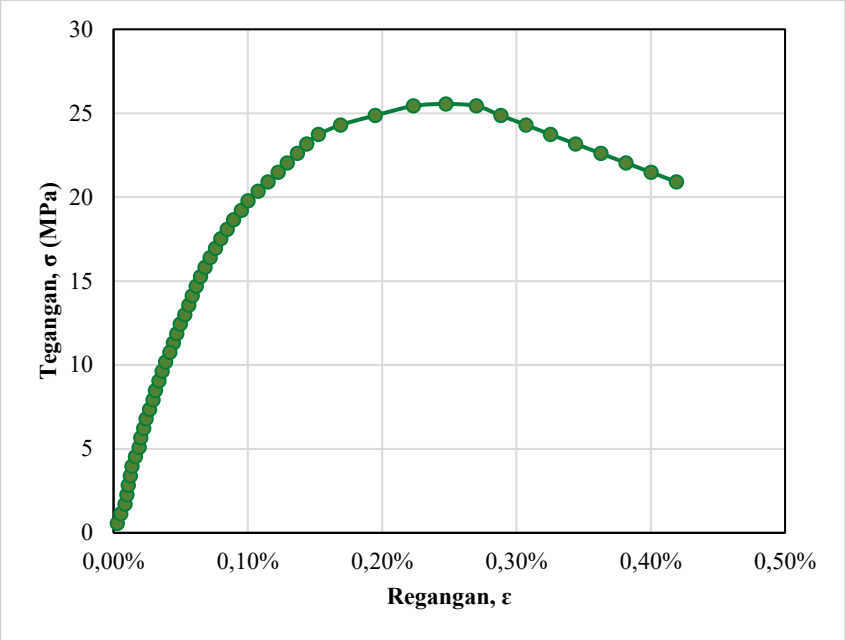
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,55	MPa
Diameter	15,01	Cm
Tinggi	30,44	Cm
Luas	17695,028	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	452,1	kN
Output		
ASTM C-469	25522,02	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	23756,88	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22274,856	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	6	0,003	0,000015	0,57
20	20000	16	0,008	0,00004	1,13
30	30000	29	0,0145	0,0000725	1,70
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,26
50	50000	39	0,0195	0,0000975	2,83
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,39
70	70000	50	0,025	0,000125	3,96
80	80000	60	0,03	0,00015	4,52
90	90000	71	0,0355	0,0001775	5,09
100	100000	76	0,038	0,00019	5,65

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,22
120	120000	92	0,046	0,00023	6,78
130	130000	102	0,051	0,000255	7,35
140	140000	113	0,0565	0,0002825	7,91
150	150000	120	0,06	0,0003	8,48
160	160000	130	0,065	0,000325	9,04
170	170000	140	0,07	0,00035	9,61
180	180000	150	0,075	0,000375	10,17
190	190000	163	0,0815	0,0004075	10,74
200	200000	173	0,0865	0,0004325	11,30
210	210000	183	0,0915	0,0004575	11,87
220	220000	193	0,0965	0,0004825	12,43
230	230000	207	0,1035	0,0005175	13,00
240	240000	219	0,1095	0,0005475	13,56
250	250000	229	0,1145	0,0005725	14,13
260	260000	241	0,1205	0,0006025	14,69
270	270000	254	0,127	0,000635	15,26
280	280000	267	0,1335	0,0006675	15,82
290	290000	282	0,141	0,000705	16,39
300	300000	298	0,149	0,000745	16,95
310	310000	314	0,157	0,000785	17,52
320	320000	333	0,1665	0,0008325	18,08
330	330000	352	0,176	0,00088	18,65
340	340000	375	0,1875	0,0009375	19,21
350	350000	395	0,1975	0,0009875	19,78
360	360000	425	0,2125	0,0010625	20,34
370	370000	455	0,2275	0,0011375	20,91

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	485	0,2425	0,0012125	21,47
390	390000	512	0,256	0,00128	22,04
400	400000	542	0,271	0,001355	22,61
410	410000	570	0,285	0,001425	23,17
420	420000	605	0,3025	0,0015125	23,74
430	430000	671	0,3355	0,0016775	24,30
440	440000	774	0,387	0,001935	24,87
450	450000	888	0,444	0,00222	25,43
452,1	452100	985	0,4925	0,0024625	25,55
450	450000	1075	0,5375	0,0026875	25,43
440	440000	1148	0,574	0,00287	24,87
430	430000	1223	0,6115	0,0030575	24,30
420	420000	1296	0,648	0,00324	23,74
410	410000	1371	0,6855	0,0034275	23,17
400	400000	1446	0,723	0,003615	22,61
390	390000	1521	0,7605	0,0038025	22,04
380	380000	1596	0,798	0,00399	21,47
370	370000	1671	0,8355	0,0041775	20,91

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10% - ASP 10% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10%ASP 10%

Sampel 3

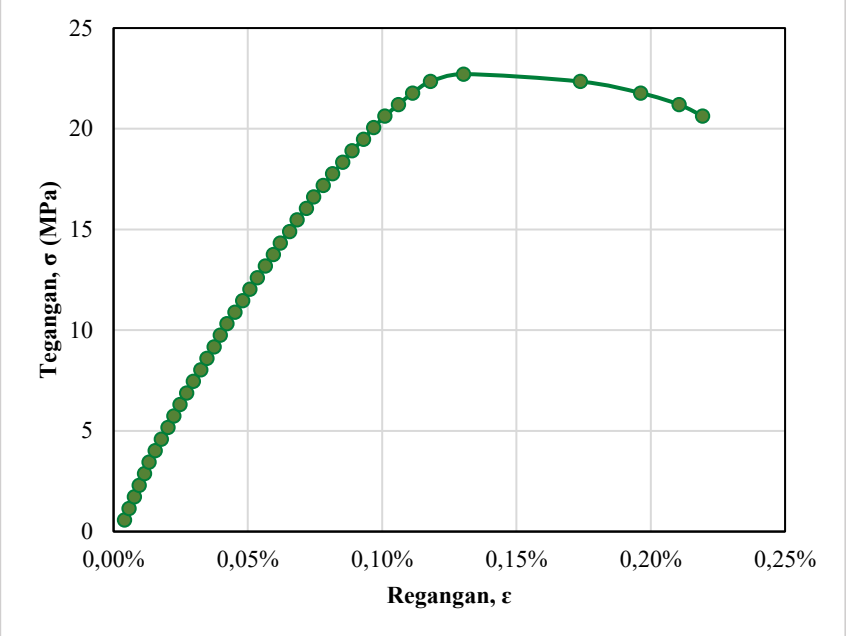
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	22,71	MPa
Diameter	14,9075	Cm
Tinggi	30,14	Cm
Luas	17454,183	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	396,4	kN
Output		
ASTM C-469	24038,96	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	22398,29	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20947,142	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,15
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,72
40	40000	26	0,013	0,000065	2,29
50	50000	34	0,017	0,000085	2,86
60	60000	41	0,0205	0,0001025	3,44
70	70000	50	0,025	0,000125	4,01
80	80000	59	0,0295	0,0001475	4,58
90	90000	69	0,0345	0,0001725	5,16
100	100000	78	0,039	0,000195	5,73

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	87	0,0435	0,0002175	6,30
120	120000	97	0,0485	0,0002425	6,88
130	130000	107	0,0535	0,0002675	7,45
140	140000	118	0,059	0,000295	8,02
150	150000	127	0,0635	0,0003175	8,59
160	160000	138	0,069	0,000345	9,17
170	170000	147	0,0735	0,0003675	9,74
180	180000	157	0,0785	0,0003925	10,31
190	190000	169	0,0845	0,0004225	10,89
200	200000	180	0,09	0,00045	11,46
210	210000	191	0,0955	0,0004775	12,03
220	220000	202	0,101	0,000505	12,60
230	230000	214	0,107	0,000535	13,18
240	240000	226	0,113	0,000565	13,75
250	250000	236	0,118	0,00059	14,32
260	260000	250	0,125	0,000625	14,90
270	270000	261	0,1305	0,0006525	15,47
280	280000	275	0,1375	0,0006875	16,04
290	290000	286	0,143	0,000715	16,61
300	300000	300	0,15	0,00075	17,19
310	310000	314	0,157	0,000785	17,76
320	320000	329	0,1645	0,0008225	18,33
330	330000	343	0,1715	0,0008575	18,91
340	340000	360	0,18	0,0009	19,48
350	350000	375	0,1875	0,0009375	20,05
360	360000	392	0,196	0,00098	20,63
370	370000	412	0,206	0,00103	21,20

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	433	0,2165	0,0010825	21,77
390	390000	460	0,23	0,00115	22,34
396,4	396400	509	0,2545	0,0012725	22,71
390	390000	683	0,3415	0,0017075	22,34
380	380000	773	0,3865	0,0019325	21,77
370	370000	830	0,415	0,002075	21,20
360	360000	865	0,4325	0,0021625	20,63

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10%ASP 10%

Sampel 4

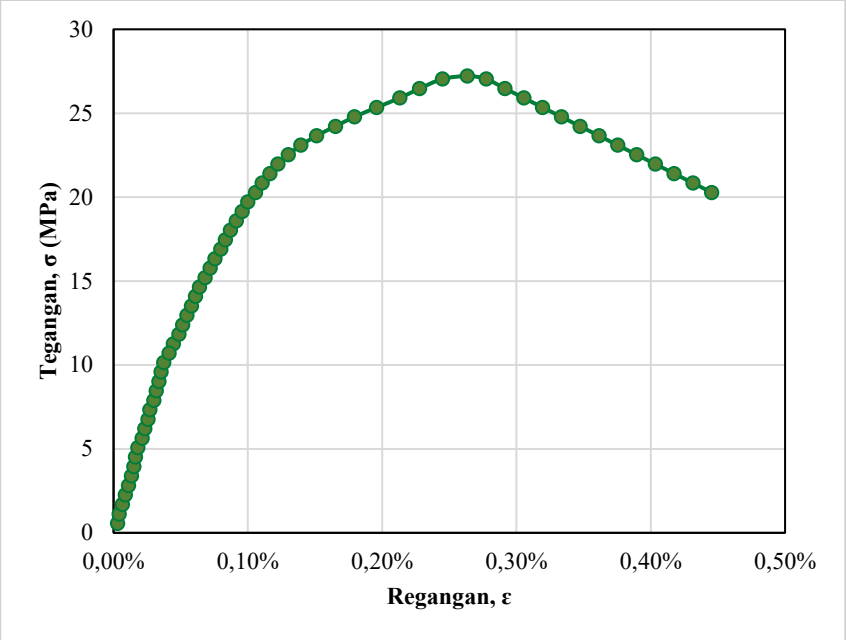
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	27,21	MPa
Diameter	15,035	Cm
Tinggi	30,20	Cm
Luas	17754,022	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	483,1	kN
Output		
ASTM C-469	25365,02	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	24517,04	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22609,955	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	9	0,0045	0,0000225	1,13
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,69
40	40000	28	0,014	0,00007	2,25
50	50000	37	0,0185	0,0000925	2,82
60	60000	46	0,023	0,000115	3,38
70	70000	53	0,0265	0,0001325	3,94
80	80000	58	0,029	0,000145	4,51
90	90000	65	0,0325	0,0001625	5,07
100	100000	78	0,039	0,000195	5,63

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	86	0,043	0,000215	6,20
120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,76
130	130000	101	0,0505	0,0002525	7,32
140	140000	113	0,0565	0,0002825	7,89
150	150000	120	0,06	0,0003	8,45
160	160000	128	0,064	0,00032	9,01
170	170000	134	0,067	0,000335	9,58
180	180000	142	0,071	0,000355	10,14
190	190000	158	0,079	0,000395	10,70
200	200000	170	0,085	0,000425	11,27
210	210000	187	0,0935	0,0004675	11,83
220	220000	198	0,099	0,000495	12,39
230	230000	211	0,1055	0,0005275	12,95
240	240000	224	0,112	0,00056	13,52
250	250000	236	0,118	0,00059	14,08
260	260000	248	0,124	0,00062	14,64
270	270000	265	0,1325	0,0006625	15,21
280	280000	280	0,14	0,0007	15,77
290	290000	294	0,147	0,000735	16,33
300	300000	312	0,156	0,00078	16,90
310	310000	325	0,1625	0,0008125	17,46
320	320000	340	0,17	0,00085	18,02
330	330000	358	0,179	0,000895	18,59
340	340000	375	0,1875	0,0009375	19,15
350	350000	392	0,196	0,00098	19,71
360	360000	415	0,2075	0,0010375	20,28
370	370000	435	0,2175	0,0010875	20,84

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	458	0,229	0,001145	21,40
390	390000	482	0,241	0,001205	21,97
400	400000	513	0,2565	0,0012825	22,53
410	410000	550	0,275	0,001375	23,09
420	420000	597	0,2985	0,0014925	23,66
430	430000	653	0,3265	0,0016325	24,22
440	440000	710	0,355	0,001775	24,78
450	450000	776	0,388	0,00194	25,35
460	460000	845	0,4225	0,0021125	25,91
470	470000	904	0,452	0,00226	26,47
480	480000	972	0,486	0,00243	27,04
483,1	483100	1046	0,523	0,002615	27,21
480	480000	1102	0,551	0,002755	27,04
470	470000	1158	0,579	0,002895	26,47
460	460000	1214	0,607	0,003035	25,91
450	450000	1270	0,635	0,003175	25,35
440	440000	1326	0,663	0,003315	24,78
430	430000	1382	0,691	0,003455	24,22
420	420000	1438	0,719	0,003595	23,66
410	410000	1494	0,747	0,003735	23,09
400	400000	1550	0,775	0,003875	22,53
390	390000	1606	0,803	0,004015	21,97
380	380000	1662	0,831	0,004155	21,40
370	370000	1718	0,859	0,004295	20,84
360	360000	1774	0,887	0,004435	20,28

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10% - ASP 10% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10%ASP 10%

Sampel 5

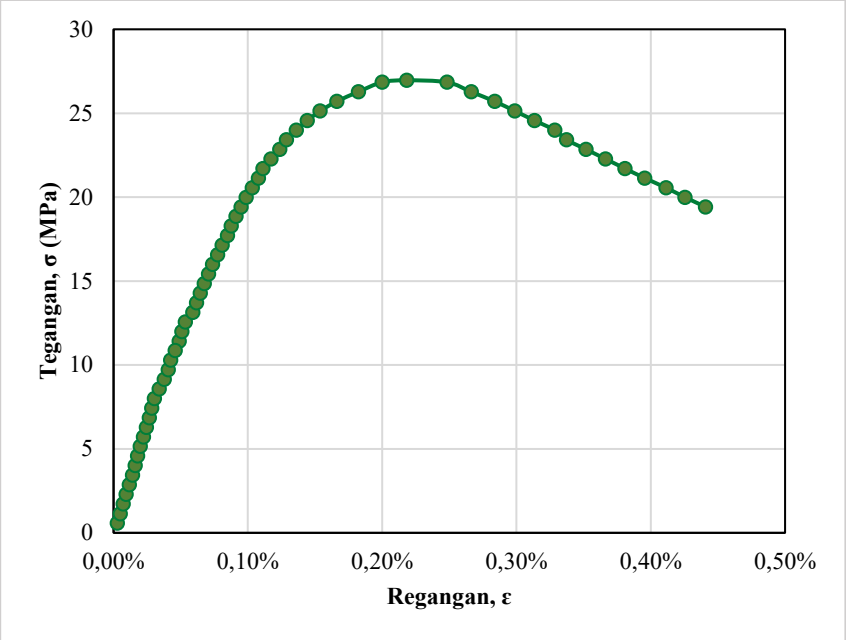
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	26,96	MPa
Diameter	14,93	Cm
Tinggi	30,41	Cm
Luas	17506,910	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	472	kN
Output		
ASTM C-469	23585,16	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	24404,17	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	22902,042	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,14
30	30000	20	0,01	0,00005	1,71
40	40000	29	0,0145	0,0000725	2,28
50	50000	38	0,019	0,000095	2,86
60	60000	48	0,024	0,00012	3,43
70	70000	56	0,028	0,00014	4,00
80	80000	63	0,0315	0,0001575	4,57
90	90000	71	0,0355	0,0001775	5,14
100	100000	80	0,04	0,0002	5,71

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,28
120	120000	98	0,049	0,000245	6,85
130	130000	105	0,0525	0,0002625	7,43
140	140000	113	0,0565	0,0002825	8,00
150	150000	127	0,0635	0,0003175	8,57
160	160000	142	0,071	0,000355	9,14
170	170000	154	0,077	0,000385	9,71
180	180000	161	0,0805	0,0004025	10,28
190	190000	175	0,0875	0,0004375	10,85
200	200000	186	0,093	0,000465	11,42
210	210000	194	0,097	0,000485	12,00
220	220000	205	0,1025	0,0005125	12,57
230	230000	227	0,1135	0,0005675	13,14
240	240000	238	0,119	0,000595	13,71
250	250000	249	0,1245	0,0006225	14,28
260	260000	261	0,1305	0,0006525	14,85
270	270000	274	0,137	0,000685	15,42
280	280000	286	0,143	0,000715	15,99
290	290000	301	0,1505	0,0007525	16,56
300	300000	314	0,157	0,000785	17,14
310	310000	330	0,165	0,000825	17,71
320	320000	341	0,1705	0,0008525	18,28
330	330000	356	0,178	0,00089	18,85
340	340000	371	0,1855	0,0009275	19,42
350	350000	386	0,193	0,000965	19,99
360	360000	404	0,202	0,00101	20,56
370	370000	422	0,211	0,001055	21,13

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
380	380000	436	0,218	0,00109	21,71
390	390000	460	0,23	0,00115	22,28
400	400000	486	0,243	0,001215	22,85
410	410000	506	0,253	0,001265	23,42
420	420000	535	0,2675	0,0013375	23,99
430	430000	568	0,284	0,00142	24,56
440	440000	606	0,303	0,001515	25,13
450	450000	656	0,328	0,00164	25,70
460	460000	720	0,36	0,0018	26,28
470	470000	791	0,3955	0,0019775	26,85
472	472000	864	0,432	0,00216	26,96
470	470000	984	0,492	0,00246	26,85
460	460000	1056	0,528	0,00264	26,28
450	450000	1126	0,563	0,002815	25,70
440	440000	1186	0,593	0,002965	25,13
430	430000	1245	0,6225	0,0031125	24,56
420	420000	1305	0,6525	0,0032625	23,99
410	410000	1340	0,67	0,00335	23,42
400	400000	1398	0,699	0,003495	22,85
390	390000	1456	0,728	0,00364	22,28
380	380000	1514	0,757	0,003785	21,71
370	370000	1573	0,7865	0,0039325	21,13
360	360000	1636	0,818	0,00409	20,56
350	350000	1693	0,8465	0,0042325	19,99
340	340000	1754	0,877	0,004385	19,42

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 10% - ASP 10% Sampel 5



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15%ASP 10%

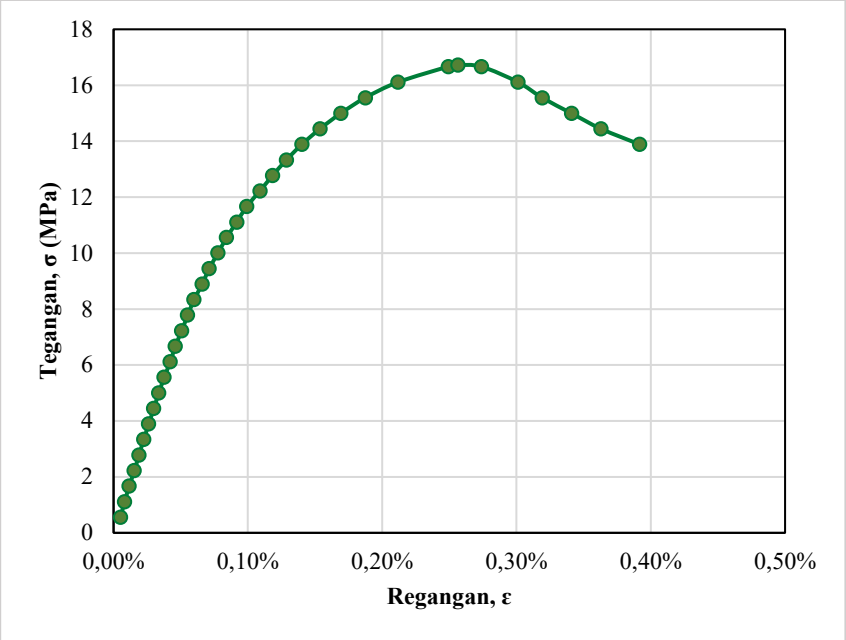
Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	16,72	MPa
Diameter	15,14	Cm
Tinggi	30,31	Cm
Luas	18002,865	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	301	kN
Output		
ASTM C-469	14242,75	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	19218,09	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	18357,509	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	16	0,008	0,00004	1,11
30	30000	30	0,015	0,000075	1,67
40	40000	45	0,0225	0,0001125	2,22
50	50000	59	0,0295	0,0001475	2,78
60	60000	73	0,0365	0,0001825	3,33
70	70000	88	0,044	0,00022	3,89
80	80000	103	0,0515	0,0002575	4,44
90	90000	118	0,059	0,000295	5,00
100	100000	134	0,067	0,000335	5,55

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	152	0,076	0,00038	6,11
120	120000	167	0,0835	0,0004175	6,67
130	130000	186	0,093	0,000465	7,22
140	140000	204	0,102	0,00051	7,78
150	150000	223	0,1115	0,0005575	8,33
160	160000	247	0,1235	0,0006175	8,89
170	170000	268	0,134	0,00067	9,44
180	180000	294	0,147	0,000735	10,00
190	190000	320	0,16	0,0008	10,55
200	200000	350	0,175	0,000875	11,11
210	210000	380	0,19	0,00095	11,66
220	220000	419	0,2095	0,0010475	12,22
230	230000	457	0,2285	0,0011425	12,78
240	240000	498	0,249	0,001245	13,33
250	250000	544	0,272	0,00136	13,89
260	260000	598	0,299	0,001495	14,44
270	270000	660	0,33	0,00165	15,00
280	280000	733	0,3665	0,0018325	15,55
290	290000	830	0,415	0,002075	16,11
300	300000	980	0,49	0,00245	16,66
301	301000	1009	0,5045	0,0025225	16,72
300	300000	1079	0,5395	0,0026975	16,66
290	290000	1188	0,594	0,00297	16,11
280	280000	1260	0,63	0,00315	15,55
270	270000	1347	0,6735	0,0033675	15,00
260	260000	1435	0,7175	0,0035875	14,44
250	250000	1550	0,775	0,003875	13,89

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15% - ASP 10% Sampel 1



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15%ASP 10%

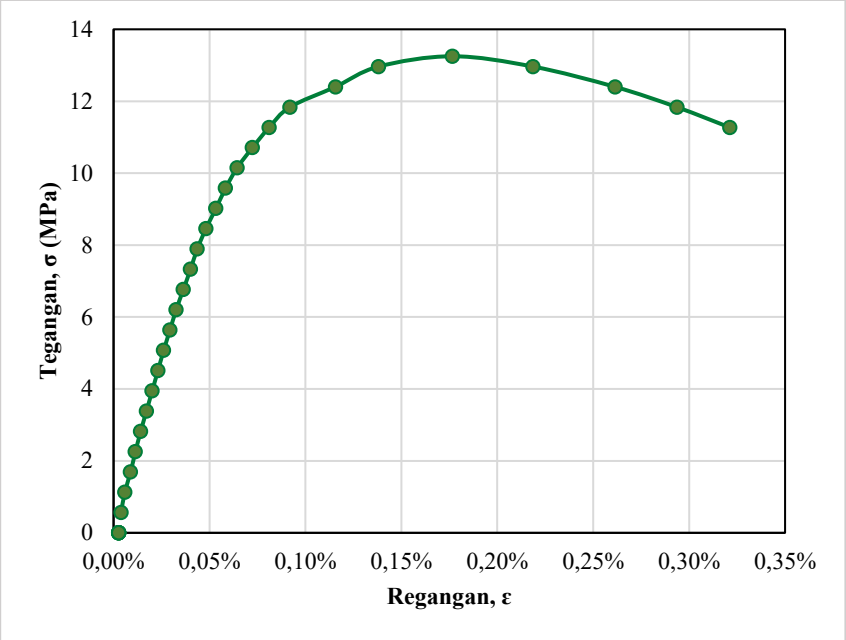
Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	13,25	MPa
Diameter	15,03	Cm
Tinggi	30,43	Cm
Luas	17742,215	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	235,1	kN
Output		
ASTM C-469	19187,32	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	17108,83	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	16564,251	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,13
30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,69
40	40000	35	0,0175	0,0000875	2,25
50	50000	46	0,023	0,000115	2,82
60	60000	58	0,029	0,000145	3,38
70	70000	70	0,035	0,000175	3,95
80	80000	82	0,041	0,000205	4,51
90	90000	94	0,047	0,000235	5,07
100	100000	107	0,0535	0,0002675	5,64

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	120	0,06	0,0003	6,20
120	120000	135	0,0675	0,0003375	6,76
130	130000	150	0,075	0,000375	7,33
140	140000	164	0,082	0,00041	7,89
150	150000	182	0,091	0,000455	8,45
160	160000	203	0,1015	0,0005075	9,02
170	170000	223	0,1115	0,0005575	9,58
180	180000	247	0,1235	0,0006175	10,15
190	190000	279	0,1395	0,0006975	10,71
200	200000	314	0,157	0,000785	11,27
210	210000	357	0,1785	0,0008925	11,84
220	220000	452	0,226	0,00113	12,40
230	230000	542	0,271	0,001355	12,96
235,1	235100	696	0,348	0,00174	13,25
230	230000	864	0,432	0,00216	12,96
220	220000	1035	0,5175	0,0025875	12,40
210	210000	1164	0,582	0,00291	11,84
200	200000	1274	0,637	0,003185	11,27

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15% - ASP 10% Sampel 2



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15%ASP 10%

Sampel 3

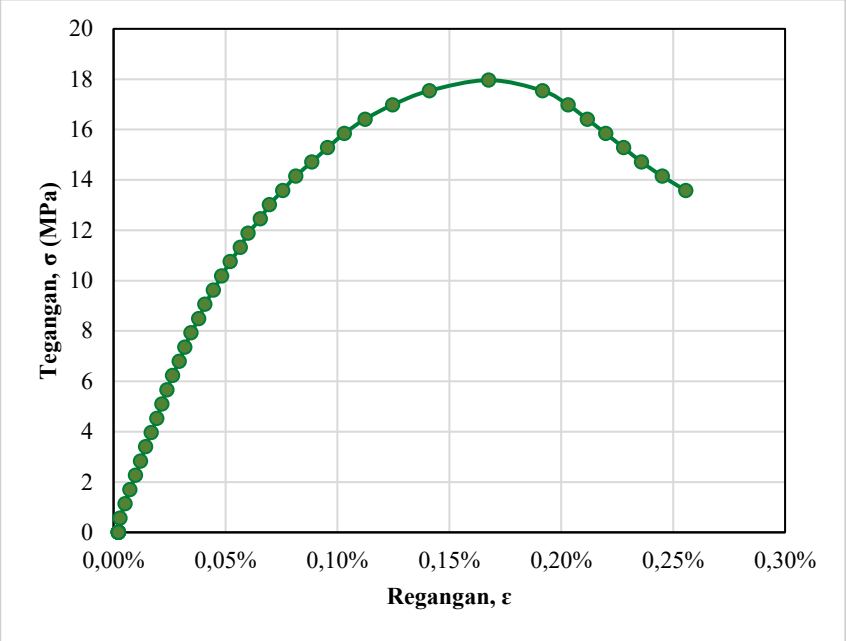
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	17,96	MPa
Diameter	15	Cm
Tinggi	30,54	Cm
Luas	17671,459	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	317,4	kN
Output		
ASTM C-469	23097,32	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	19918,89	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	19555,494	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	12	0,006	0,00003	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	31	0,0155	0,0000775	2,26
50	50000	40	0,02	0,0001	2,83
60	60000	49	0,0245	0,0001225	3,40
70	70000	59	0,0295	0,0001475	3,96
80	80000	69	0,0345	0,0001725	4,53
90	90000	78	0,039	0,000195	5,09
100	100000	87	0,0435	0,0002175	5,66

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	97	0,0485	0,0002425	6,22
120	120000	109	0,0545	0,0002725	6,79
130	130000	119	0,0595	0,0002975	7,36
140	140000	130	0,065	0,000325	7,92
150	150000	144	0,072	0,00036	8,49
160	160000	155	0,0775	0,0003875	9,05
170	170000	170	0,085	0,000425	9,62
180	180000	185	0,0925	0,0004625	10,19
190	190000	200	0,1	0,0005	10,75
200	200000	218	0,109	0,000545	11,32
210	210000	232	0,116	0,00058	11,88
220	220000	254	0,127	0,000635	12,45
230	230000	270	0,135	0,000675	13,02
240	240000	294	0,147	0,000735	13,58
250	250000	317	0,1585	0,0007925	14,15
260	260000	346	0,173	0,000865	14,71
270	270000	374	0,187	0,000935	15,28
280	280000	404	0,202	0,00101	15,84
290	290000	441	0,2205	0,0011025	16,41
300	300000	490	0,245	0,001225	16,98
310	310000	556	0,278	0,00139	17,54
317,4	317400	662	0,331	0,001655	17,96
310	310000	758	0,379	0,001895	17,54
300	300000	804	0,402	0,00201	16,98
290	290000	838	0,419	0,002095	16,41
280	280000	871	0,4355	0,0021775	15,84
270	270000	903	0,4515	0,0022575	15,28

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
260	260000	935	0,4675	0,0023375	14,71
250	250000	972	0,486	0,00243	14,15
240	240000	1014	0,507	0,002535	13,58

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15% - ASP 10% Sampel 3



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15%ASP 10%

Sampel 4

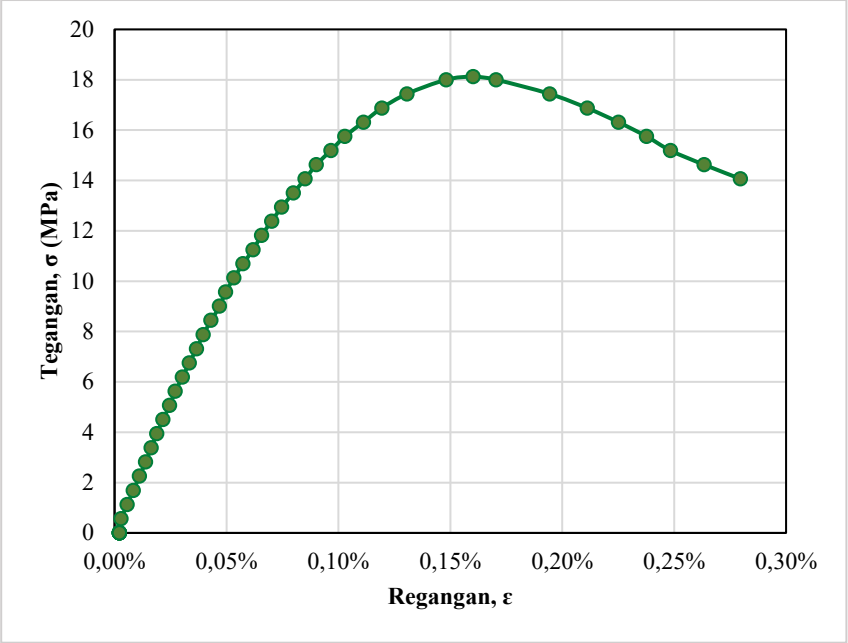
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	18,12	MPa
Diameter	15,045	Cm
Tinggi	30,51	Cm
Luas	17777,646	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	322,1	kN
Output		
ASTM C-469	19959,82	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20005,81	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	19206,620	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	14	0,007	0,000035	1,13
30	30000	25	0,0125	0,0000625	1,69
40	40000	36	0,018	0,00009	2,25
50	50000	47	0,0235	0,0001175	2,81
60	60000	57	0,0285	0,0001425	3,38
70	70000	67	0,0335	0,0001675	3,94
80	80000	78	0,039	0,000195	4,50
90	90000	90	0,045	0,000225	5,06
100	100000	100	0,05	0,00025	5,63

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	113	0,0565	0,0002825	6,19
120	120000	125	0,0625	0,0003125	6,75
130	130000	138	0,069	0,000345	7,31
140	140000	150	0,075	0,000375	7,88
150	150000	164	0,082	0,00041	8,44
160	160000	179	0,0895	0,0004475	9,00
170	170000	190	0,095	0,000475	9,56
180	180000	205	0,1025	0,0005125	10,13
190	190000	221	0,1105	0,0005525	10,69
200	200000	239	0,1195	0,0005975	11,25
210	210000	254	0,127	0,000635	11,81
220	220000	272	0,136	0,00068	12,38
230	230000	290	0,145	0,000725	12,94
240	240000	311	0,1555	0,0007775	13,50
250	250000	332	0,166	0,00083	14,06
260	260000	352	0,176	0,00088	14,63
270	270000	378	0,189	0,000945	15,19
280	280000	403	0,2015	0,0010075	15,75
290	290000	436	0,218	0,00109	16,31
300	300000	469	0,2345	0,0011725	16,88
310	310000	514	0,257	0,001285	17,44
320	320000	584	0,292	0,00146	18,00
322,1	322100	632	0,316	0,00158	18,12
320	320000	673	0,3365	0,0016825	18,00
310	310000	769	0,3845	0,0019225	17,44
300	300000	836	0,418	0,00209	16,88
290	290000	892	0,446	0,00223	16,31

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
280	280000	942	0,471	0,002355	15,75
270	270000	985	0,4925	0,0024625	15,19
260	260000	1045	0,5225	0,0026125	14,63
250	250000	1110	0,555	0,002775	14,06

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15% - ASP 10% Sampel 4



Modulus Elastisitas Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15%ASP 10%

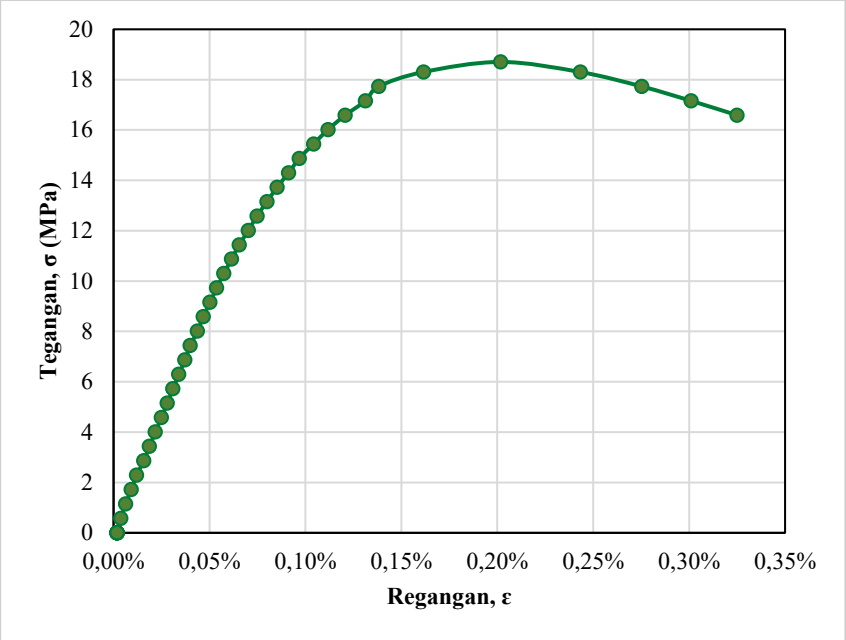
Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	18,70	MPa
Diameter	14,92	Cm
Tinggi	30,23	Cm
Luas	17483,466	mm^2
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	327	kN
Output		
ASTM C-469	18303,01	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$)	20326,28	MPa
SNI 2847-2019 (Wc^1,5 x 0,043 x $\sqrt{f'c}$)	20093,607	MPa

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	8	0,004	0,00002	0,57
20	20000	18	0,009	0,000045	1,14
30	30000	30	0,015	0,000075	1,72
40	40000	41	0,0205	0,0001025	2,29
50	50000	56	0,028	0,00014	2,86
60	60000	68	0,034	0,00017	3,43
70	70000	80	0,04	0,0002	4,00
80	80000	93	0,0465	0,0002325	4,58
90	90000	105	0,0525	0,0002625	5,15
100	100000	117	0,0585	0,0002925	5,72

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
110	110000	129	0,0645	0,0003225	6,29
120	120000	142	0,071	0,000355	6,86
130	130000	153	0,0765	0,0003825	7,44
140	140000	168	0,084	0,00042	8,01
150	150000	180	0,09	0,00045	8,58
160	160000	194	0,097	0,000485	9,15
170	170000	208	0,104	0,00052	9,72
180	180000	223	0,1115	0,0005575	10,30
190	190000	239	0,1195	0,0005975	10,87
200	200000	255	0,1275	0,0006375	11,44
210	210000	274	0,137	0,000685	12,01
220	220000	292	0,146	0,00073	12,58
230	230000	313	0,1565	0,0007825	13,16
240	240000	334	0,167	0,000835	13,73
250	250000	358	0,179	0,000895	14,30
260	260000	380	0,19	0,00095	14,87
270	270000	410	0,205	0,001025	15,44
280	280000	440	0,22	0,0011	16,02
290	290000	476	0,238	0,00119	16,59
300	300000	518	0,259	0,001295	17,16
310	310000	546	0,273	0,001365	17,73
320	320000	639	0,3195	0,0015975	18,30
327	327000	800	0,4	0,002	18,70
320	320000	966	0,483	0,002415	18,30
310	310000	1094	0,547	0,002735	17,73
300	300000	1197	0,5985	0,0029925	17,16
290	290000	1293	0,6465	0,0032325	16,59

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Metode Ditutup Karung Goni Variasi SK 15% - ASP 10% Sampel 5



Lampiran 8 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

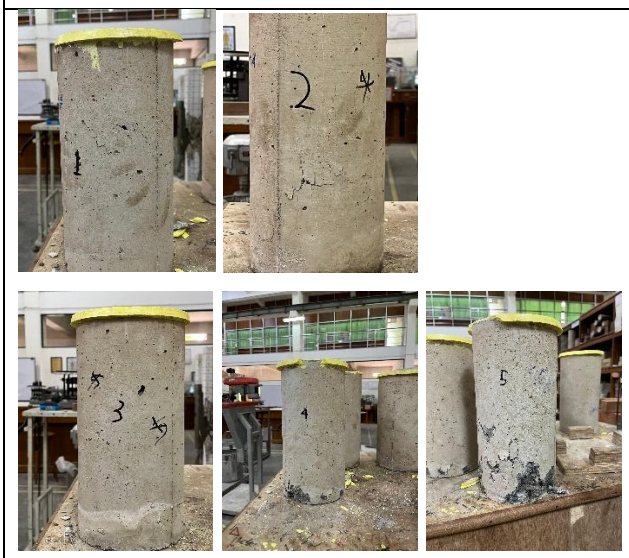
Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat tekan (MPa)	ASTMC – 469 Ec= $\frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$	Rerata	SNI 2847-2019 Ec=4700 x $\sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019	Rerata
Perendaman	28 Hari	S1-A	151,000	303,750	2289,911	25,19	20810,46	21752,35	23589,15	23545,53	23648,89	23777,20
		S2-A	151,200	302,225	2331,131	23,11	20111,64		22592,94		23264,49	
		S3-A	151,170	300,500	2307,063	25,98	29563,52		23956,31		24287,34	
		S4-A	151,170	300,000	2279,336	26,39	19171,05		24143,11		24036,78	
		S5-A	150,500	304,000	2299,188	24,89	19105,09		23446,13		23648,49	
		S1-B	150,150	304,275	2280,547	15,37	15060,11	16769,60	18424,34	19287,95	18357,82	19203,94
		S2-B	149,075	301,075	2324,635	14,87	15852,75		17992,70		18583,16	
		S3-B	150,150	304,000	2245,641	17,67	15639,35		19754,27		19232,78	
		S4-B	150,125	300,075	2246,214	18,97	19572,80		20468,01		19935,30	
		S5-B	149,200	301,075	2294,525	17,75	17722,98		19800,45		19910,62	
		S1-C	149,200	305,050	2321,251	16,12	23345,67	20260,65	18872,60	21151,28	19310,14	21417,73
		S2-C	149,350	305,200	2324,242	20,57	18121,29		21314,73		21851,06	
		S3-C	149,275	306,000	2308,172	21,79	21097,64		21938,11		22257,28	
		S4-C	150,250	303,350	2286,502	21,42	18256,73		21749,97		21756,39	
		S5-C	150,350	306,150	2288,335	21,67	20481,92		21880,99		21913,76	
		S1-D	150,000	305,100	2250,368	17,80	17119,19	19792,85	19827,68	20432,31	19365,24	20296,07
		S2-D	150,000	305,000	2266,691	18,59	22191,54		20267,28		20010,34	
		S3-D	150,150	301,200	2280,579	20,37	22780,00		21209,99		21133,86	
		S4-D	149,000	299,450	2314,706	18,64	21046,07		20294,35		20677,09	
		S5-D	152,150	305,400	2266,112	19,14	15827,47		20562,25		20293,79	

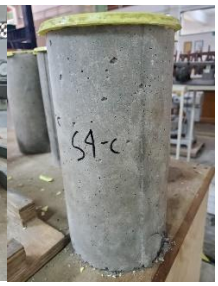
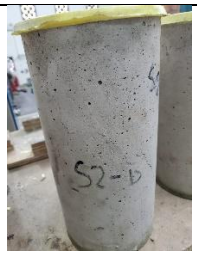
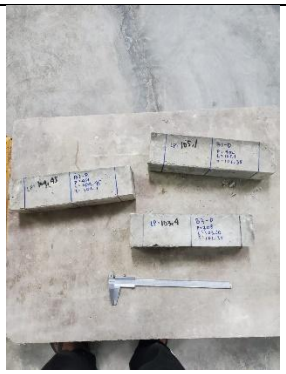
Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Wc	Kuat tekan (MPa)	ASTMC – 469 Ec= $\frac{S2-S1}{\varepsilon 2-\varepsilon 1}$	Rerata	SNI 2847-2019 Ec=4700 x $\sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019	Rerata
Ditutup karung goni	28 Hari	SG1-A	149,250	304,075	2332,773	32,05	20413,78	24664,00	26609,86	25536,67	27429,76	26063,03
		SG2-A	150,125	302,200	2311,365	28,62	25264,50		25143,89		25562,66	
		SG3-A	149,300	305,000	2334,629	30,48	26880,14		25947,83		26779,24	
		SG4-A	149,325	303,274	2323,971	30,56	19373,61		25982,35		26631,46	
		SG5-A	150,250	304,000	2280,500	26,07	31387,97		23999,40		23912,01	
		SG1-B	150,100	303,400	2245,062	21,87	17702,88	20750,10	21980,00	22145,66	21391,48	21903,27
		SG2-B	149,200	307,000	2268,313	23,75	17794,59		22906,83		22640,72	
		SG3-B	150,400	307,250	2261,222	23,87	23008,16		22960,85		22587,78	
		SG4-B	149,400	301,300	2287,434	20,16	26844,17		21102,58		21121,71	
		SG5-B	150,175	301,200	2285,818	21,47	18400,67		21778,02		21774,67	
		SG1-C	149,300	304,200	2233,926	25,90	20637,01	23829,63	23918,50	23798,98	23105,09	22367,82
		SG2-C	150,100	304,350	2189,962	25,55	25522,02		23756,88		22274,86	
		SG3-C	149,075	301,400	2186,215	22,71	24038,96		22398,29		20947,14	
		SG4-C	150,350	302,000	2165,912	27,21	25365,02		24517,04		22609,96	
		SG5-C	149,300	304,050	2191,255	26,96	23585,16		24404,17		22902,04	
		SG1-D	151,400	303,100	2217,287	16,72	14242,75	18958,04	19218,09	19315,58	18357,51	18755,50
		SG2-D	150,300	304,250	2237,282	13,25	19187,32		17108,83		16564,25	
		SG3-D	150,000	305,400	2258,163	17,96	23097,32		19918,89		19555,49	
		SG4-D	150,450	305,100	2224,758	18,12	19959,82		20005,81		19206,62	
		SG5-D	149,200	302,250	2268,574	18,70	18303,01		20326,28		20093,61	

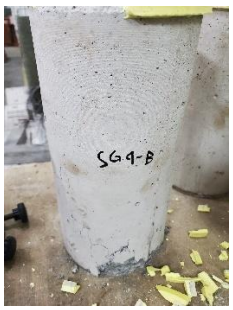
Lampiran 9 Laporan Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Persentase Campuran	Kode Benda Uji	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rata-rata
Perendaman	28 Hari	SK 0% ASP 0%	B1-A	3,6557	2,911
			B2-A	2,5865	
			B3-A	2,4908	
		SK 5% ASP 10%	B1-B	4,1209	3,794
			B2-B	3,1134	
			B3-B	4,1479	
		SK 10% ASP 10%	B1-C	3,4085	3,335
			B2-C	3,3856	
			B3-C	3,2120	
		SK 15% ASP 10%	B1-D	2,3201	2,363
			B2-D	2,4086	
			B3-D	2,3611	
Karung Goni		SK 0% ASP 0%	BG1-A	3,0400	3,268
			BG2-A	3,2158	
			BG3-A	3,5475	
		SK 5% ASP 10%	BG1-B	3,6109	2,947
			BG2-B	2,7124	
			BG3-B	2,5176	
		SK 10% ASP 10%	BG1-C	2,5488	2,829
			BG2-C	3,0911	
			BG3-C	2,8476	
		SK 15% ASP 10%	BG1-D	1,9646	2,224
			BG2-D	2,3074	
			BG3-D	2,3992	

Lampiran 10 Dokumentasi Benda Uji

<table>
<tr><th colspan="2">Hasil Sampel Variasi SK0% ASP0% Metode Perendaman</th></tr>
<tr><td>Kuat Tekan + Modulus Elastisitas</td><td>Kuat Tarik</td></tr>
<tr><td></td><td>
</td></tr>
<tr><th colspan="2">Hasil Sampel Variasi SK5% ASP10% Metode Perendaman</th></tr>
<tr><td>Kuat Tekan + Modulus Elastisitas</td><td>Kuat Tarik</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
</table>

Hasil Sampel Variasi SK10% ASP10% Metode Perendaman	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik
    	
Hasil Sampel Variasi SK15% ASP10% Metode Perendaman	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik
   	

<table>
<tr><th colspan="2">Hasil Sampel Variasi SK0% ASP0% Metode Ditutup Karung Goni</th></tr>
<tr><td>Kuat Tekan + Modulus Elastisitas</td><td>Kuat Tarik</td></tr>
<tr><td> 
  </td><td></td></tr>
<tr><th colspan="2">Hasil Sampel Variasi SK5% ASP10% Metode Ditutup Karung Goni</th></tr>
<tr><td>Kuat Tekan + Modulus Elastisitas</td><td>Kuat Tarik</td></tr>
<tr><td> 
  </td><td></td></tr>
</table>

Hasil Sampel Variasi SK10% ASP10% Metode Ditutup Karung Goni	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik
	
Hasil Sampel Variasi SK15% ASP10% Metode Ditutup Karung Goni	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik
	



Gambar L-9. 1 Proses Pencetakan Sampel



Gambar L-9. 2 Proses Perawatan Ditutup Karung Goni



Gambar L-9. 3 Proses Perawatan Perendaman

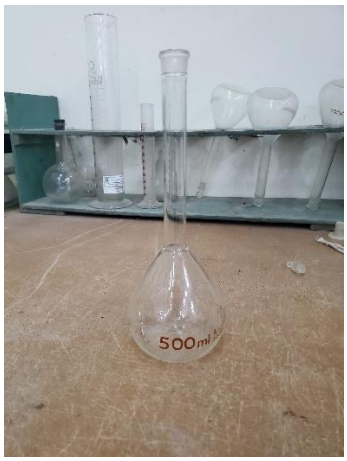
Lampiran 10 Dokumentasi Peralatan Penelitian



Gambar L-10. 1 Saringan Agregat Halus



Gambar L-10. 2 Saringan Agregat Kasar



Gambar L-10. 3 Piknometer



Gambar L-10. 4 Timbangan digital



Gambar L-10. 5 Mesin Pengguncang Agregat Kasar



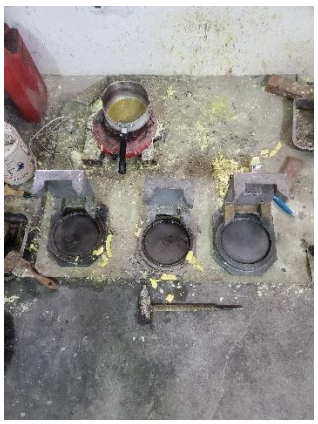
Gambar L-10. 6 Oven



Gambar L-10. 7 Compression Testing Machine



Gambar L-10. 8 Dial gauge



Gambar L-10. 9 Alat capping



Gambar L-10. 10 Universal testing machine



Gambar L-10. 11 Cetakan beton



Gambar L-10. 12 Ember



Gambar L-10. 13 Alat uji *slump*



Gambar L-10. 14 Sekop



Gambar L-10. 15 Concrete *mixer*



Gambar L-10. 16 Pan