TUGAS AKHIR

Pengaruh Metode *Curing* terhadap Sifat Mekanik Beton Untuk Efektivitas Pekerjaan Lapangan

(The Effect of Curing Methods on The Mechanical Properties of Concrete for Effective Field Work)

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

HABIB HUSEIN SYAFA
21511176

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TUGAS AKHIR

Pengaruh Metode *Curing* terhadap Sifat Mekanik Beton untuk Efektivitas Pekerjaan Lapangan

(The Effect of Curing Methods on the Mechanical Properties of Concrete for Effective Field Work)

Disusun Oleh :

HABIB HUSEIN SYAFA
21511176

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

Diuji pada tanggal 12 Desember 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Jafar S.T., MURP .,M.T. MURP	**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**	**Elvis Saputra S.T., M.T.**
NIK : 185111305	**NIK : 185111304**	**NIK : 205111302**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi ST., MT., Ph.D.(Eng)., IPM.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya 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, 12 Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Habib Husein Syafa

21511176

KATA PENGANTAR

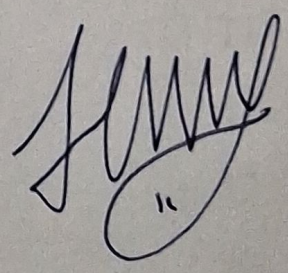
Puji dan syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar tanpa adanya suatu permasalahan apapun.

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan 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, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat dan memberikan dukungan kepada penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir ini. Atas kelancaran selama menyelesaikan Tugas Akhir baik pada maupun penyelesaian dalam menyusun Tugas Akhir, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D.(Eng).,IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Jafar S.T., MURP., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I
4. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, dan
5. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 12 Desember 2025

Penulis,



Habib Husein Syafa

21511176

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI v

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xiv

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xv

ABSTRAK xvii

ABSTRACT xviii

BAB I 1

PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.4 Manfaat Penelitian 2

1.5 Batasan Penelitian 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Tinjauan Umum 5

2.2 Penelitian Terdahulu 5

2.3 Tinjauan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya 9

BAB III LANDASAN TEORI 11

3.1 Beton 11

3.1.1 Beton Berdasarkan Kelas dan Mutu Beton 11

3.1.2 Beton Berdasarkan Jenisnya 12

3.2 Bahan Campuran Beton 12

3.2.1 Agregat Halus 12

3.2.2 Agregat Kasar 18

3.2.3 Semen *Portland* 24
3.2.4 Air 26
3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 27
3.4 Uji *Slump* 38
3.5 Perawatan Beton 38
3.6 Berat Volume Beton 46
3.7 Uji Tekan Beton 47
3.8 Uji Tarik Belah Beton 48
3.9 Uji Modulus Elastisitas 49
3.10 Analisis Data 52
3.10.1 Statistik Deskriptif 52
3.10.2 Uji Normalitas 52
3.10.3 Uji Homogenitas 52
3.10.4 Uji *Outlier* 52
3.10.5 Uji Perbedaan Rata-rata 53
3.10.6 *Post-hoc Test* 53
3.10.7 Kesimpulan Analisis Statistik 53
BAB IV METODE PENELITIAN 54
4.1 Tinjauan Umum 54
4.2 Variabel Penelitian 54
4.3 Bahan Penelitian 55
4.4 Peralatan Penelitian 57
4.5 Benda Uji 59
4.6 Pelaksanaan Penelitian 60
4.6.1 Persiapan Penelitian 61
4.6.2 Pengujian Agregat 61
4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 61
4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* Umur 7 Hari 62
4.6.5 Pembuatan Benda Uji 62
4.6.6 Faktor Koreksi Umur Beton 63
4.6.7 Perawatan Benda Uji 64

4.6.8 Pengujian Benda Uji 71
4.7 Analisa Data Hasil Pengujian 73
4.7.1 Uji Normalitas 73
4.7.2 Uji Homogenitas 74
4.7.3 Analisis *One-Way* ANOVA 74
4.7.4 *Post-Hoc Test* 74
4.7.5 Validitas dan Kesimpulan Data 74
4.8 Bagan Alir Penelitian 75
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 78
5.1 Tinjauan Umum 78
5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton 78
5.2.1 Agregat Halus 78
5.2.2 Agregat Kasar 87
5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 94
5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial* 104
5.5 Hasil Pengujian *Slump* 105
5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton 107
5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 112
5.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 118
5.9 Hasil Kuat Tarik Belah Beton 132
5.10 Uji Validitas menggunakan SPSS 139
5.10.1 Analisis Validitas Kuat Tekan Beton 140
5.10.2 Analisis Validitas Modulus Elastisitas Beton 142
5.10.3 Analisis Validitas Kuat Tarik Belah Beton 145
5.11 Rangkuman Hasil Pembahasan 147
5.11.1 Verifikasi Analisis Statistik 147
5.11.2 Perbandingan Nilai Relatif Variasi Beton 148
5.11.3 Indeks Kinerja Variasi Beton 151
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 155
6.1 Kesimpulan 155
6.2 Saran 158

DAFTAR PUSTAKA 159
LAMPIRAN 162

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu 6

Tabel 3.1 Batas-batas Gradasi Agregat Halus 16

Tabel 3.2 Kandungan Oksidasi pada Semen *Portland* 24

Tabel 3.3 Kandungan Oksidasi pada Semen *Portland* 25

Tabel 3.4 Komposisi Senyawa Semen *Portland* 25

Tabel 3.5 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar 29

Tabel 3.6 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia 31

Tabel 3.7 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus 31

Tabel 3.8 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan 33

Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton 60

Tabel 5.1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus 81

Tabel 5.2 Batas Daerah Gradasi Agregat Halus 82

Tabel 5.3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 83

Tabel 5.4 Hasil Uji Berat Volume Gembur Agregat Halus 85

Tabel 5.5 Hasil Uji Berat Volume Padat Agregat Halus 86

Tabel 5.6 Hasil Uji Lolos Saringan No. 200 87

Tabel 5.7 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar 89

Tabel 5.8 Batas Daerah Gradasi Agregat Kasar 90

Tabel 5.9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar 91

Tabel 5.10 Hasil Uji Berat Volume Gembur Agregat Kasar 93

Tabel 5.11 Hasil Uji Berat Volume Padat Agregat Kasar 93

Tabel 5.12 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia 95

Tabel 5.13 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus 97

Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan 98

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton *(Mix Design)* 103

Tabel 5.16 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton 104
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Trial* 105
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai *Slump* 105
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton 109
Tabel 5.20 Persentase Selisih Berat Volume untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman 111
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 114
Tabel 5.22 Persentase Selisih Kuat Tekan untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman 116
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 126
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 128
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 129
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 135
Tabel 5.27 Persentase Selisih Kuat Tarik Belah Beton untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman 137
Tabel 5.28 Verifikasi Analisis Statistik 148
Tabel 5.29 Rekapitulasi Nilai Relatif Variasi Beton pada Setiap Pengujian 149
Tabel 5.30 Rekapitulasi Nilai Indeks Kinerja Variasi Beton 152

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 30
Gambar 3.2 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm 34
Gambar 3.3 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 35
Gambar 3.4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm 35
Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 37
Gambar 3.6 Metode Perawatan Penyiraman Beton 40
Gambar 3.7 Metode Perawatan *Plastic Sheeting* 41
Gambar 3.8 Metode *Curing Compound* 42
Gambar 3.9 Metode *Steam Curing* 43
Gambar 3.10 Metode *Membrane Curing* 44
Gambar 3.11 Metode Sinar Inframerah 45
Gambar 3.12 Metode Hidrotermal 46
Gambar 3.13 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton 47
Gambar 3.14 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 49
Gambar 3.15 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton 50
Gambar 3.16 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton 51
Gambar 4.1 Perendaman Benda Uji Beton 65
Gambar 4.2 Penyiraman Benda Uji Beton 66
Gambar 4.3 Penutupan Karung Goni Benda Uji Beton 68
Gambar 4.4 Penutupan Plastik Polietilen Benda Uji Beton 69
Gambar 4.5 Perawatan *Compound* Benda Uji Beton 70
Gambar 4.6 Diagram Alir Penelitian 76
Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II 82
Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm 90
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 96

Gambar 5.4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm 99
Gambar 5.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah 100
Gambar 5.6 Gambar Grafik Nilai Slump 106
Gambar 5.7 Pengujian *Slump* 107
Gambar 5.8 Hubungan Antara Berat Volume dengan Metode Perawatan 110
Gambar 5.9 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton 112
Gambar 5.10 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Pada Tiap Metode Perawatan 115
Gambar 5.11 Pemasangan Alat Uji Deformasi Modulus Elastisitas Pada Sampel 119
Gambar 5.12 Grafik Tegangan Regangan Beton Metode Perawatan Perendaman Sampel 1 122
Gambar 5.13 Nilai Modulus Elastisitas Pada Tiap Metode Perawatan Berdasarkan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019 127
Gambar 5.14 Kerusakan Benda Uji Silinder Setelah Pengujian 132
Gambar 5.15 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton 133
Gambar 5.16 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton Pada Tiap Metode Perawatan 136
Gambar 5.17 Kerusakan Benda Uji Silinder Setelah Pengujian 139
Gambar 5.18 Validasi Data Uji Normalitas Kuat Tekan *Software* SPSS 140
Gambar 5.19 Validasi Data Uji Homogenitas Kuat Tekan *Software* SPSS 141
Gambar 5.20 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Kuat Tekan *Software* SPSS 142
Gambar 5.21 Validasi Data Uji Normalitas Modulus Elastisitas *Software* SPSS143
Gambar 5.22 Validasi Data Uji Homogenitas Modulus Elastisitas *Software* SPSS 144
Gambar 5.23 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Modulus Elastisitas *Software* SPSS 144
Gambar 5.24 Validasi Data Uji Normalitas Kuat Tarik Belah *Software* SPSS 145
Gambar 5.25 Validasi Data Uji Homogenitas Kuat Tarik Belah *Software* SPSS146

Gambar 5.26 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Kuat Tarik Belah *Software* SPSS 147
Gambar 5.27 Grafik Nilai Relatif Variasi Beton pada Setiap Pengujian 150
Gambar 5.28 Grafik Nilai Indeks Kinerja Variasi Beton 153

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium 163
Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Laboratorium 164
Lampiran 3 Laporan Hasil Pemeriksaan Agregat 165
Lampiran 4 Laporan Hasil Perencanaan Campuran 176
Lampiran 5 Laporan Hasil Berat Volume Beton 177
Lampiran 6 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tekan 178
Lampiran 7 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 179
Lampiran 8 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah 225
Lampiran 9 Dokumentasi Material Penelitian 226
Lampiran 10 Dokumentasi Peralatan Penelitian 229

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f'c = Kuat tekan beton aktual (MPa)

f'cr = Kuat tekan beton rencana (MPa)

fct = Kuat tarik belah beton (MPa)

Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)

P = Beban maksimum saat pengujian tekan atau tarik belah (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

D = Diameter silinder beton (mm)

h = Tinggi silinder beton (mm)

L = Panjang silinder (untuk uji tarik belah) atau bentang balok (mm)

σc = Tegangan beton (MPa)

εc = Regangan beton

$\Delta\sigma$ = Perubahan tegangan (MPa)

$\Delta\varepsilon$ = Perubahan regangan

R = Kuat lentur / Modulus runtuh (MPa atau N/mm^2)

FAS = Faktor air semen (*Water Cement Ratio*)

C = Jumlah semen (kg/m^3)

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

Wh = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg)

Wk = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg)

SSD = *Saturated Surface Dry* (Kondisi jenuh kering permukaan agregat)

M = Nilai tambah mutu beton (MPa)

Sr = Deviasi standar rencana (MPa)

Sd = Deviasi standar aktual (MPa)

t = Umur beton saat pengujian (hari)

T = Suhu lingkungan (°C)

RH = Kelembaban relatif lingkungan (%)

Cc = *Curing compound*

Km = Kuat tekan beton dengan metode *curing* tertentu (MPa)

SNI = Standar Nasional Indonesia

MPa = Megapascal

Kg = Kilogram

mm = Milimeter

N = Newton

ABSTRAK

Beton merupakan material utama dalam konstruksi yang kekuatannya sangat dipengaruhi oleh metode perawatan selama proses hidrasi. Perawatan beton bertujuan menjaga kelembapan agar reaksi hidrasi semen berlangsung optimal sehingga beton memperoleh kekuatan sesuai mutu rencana. Metode perendaman dikenal sebagai metode paling efektif, namun kurang realistis untuk diterapkan di lapangan karena membutuhkan volume air dan fasilitas penunjang yang cukup besar. Oleh karena itu, dikembangkan beberapa metode alternatif seperti penyiraman, pembungkusan karung basah, penutupan *plastic sheeting*, dan penyemprotan *curing compound*.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh lima metode perawatan beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Perhitungan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 30 MPa. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm diuji pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan rata-rata berturut-turut adalah 30,03 MPa, 27,14 MPa, 25,27 MPa, 24,67 MPa, dan 23,77 MPa. Nilai modulus elastisitas menurut rumus ASTM C-469 berturut-turut sebesar 25.524,93 MPa, 24.951,50 MPa, 21.540,93 MPa, 18.594,28 MPa, dan 17.997,07 MPa, sedangkan kuat tarik belah masing-masing sebesar 2,21 MPa, 2,12 MPa, 2,02 MPa, 1,80 MPa, dan 1,70 MPa.

Berdasarkan hasil penelitian, metode perendaman menghasilkan performa mekanik beton terbaik, diikuti oleh karung basah dan *plastic sheeting*. Namun, mengingat keterbatasan penerapan metode perendaman di lapangan, metode karung basah direkomendasikan untuk pekerjaan konstruksi bangunan, sedangkan *curing compound* lebih sesuai diterapkan pada pekerjaan perkerasan jalan. Pemilihan metode *curing* yang tepat sangat penting guna menjaga mutu beton serta meningkatkan efektivitas pekerjaan lapangan dan durabilitas beton jangka panjang.

Kata kunci **:** *Curing* beton, kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas.

ABSTRACT

Concrete is a key construction material, and its strength is significantly influenced by the curing method during the hydration process. Curing concrete aims to maintain moisture levels to optimize the cement hydration reaction, resulting in the concrete achieving its design strength. The soaking method is known to be the most effective, but it is less realistic for field use due to the requirement for a significant volume of water and supporting facilities. Therefore, several alternative methods have been developed, including watering, wet sack wrapping, plastic sheeting, and spraying curing compound.

This study aimed to evaluate the effect of five concrete curing methods on compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity. The concrete mix calculation used the SNI 03-2834-2000 method with a design quality of 30 MPa. Cylindrical specimens with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm were tested at 28 days. The test results showed average compressive strengths of 30,03 MPa, 27,14 MPa, 25,27 MPa, 24,67 MPa, and 23,77 MPa, respectively. The modulus of elasticity values according to the ASTM C-469 formula were 25.524,93 MPa, 24.951,50 MPa, 21.540,93 MPa, 18.594,28 MPa, and 17.997,07 MPa, respectively. The splitting tensile strengths were 2,21 MPa, 2,12 MPa, 2,02 MPa, 1,80 MPa, and 1,70 MPa, respectively.

Based on the research results, the immersion method produced the best concrete mechanical performance, followed by wet sacks and plastic sheeting. However, given the limitations of the immersion method in the field, the wet sack method is recommended for building construction, while curing compound is more suitable for road paving. Selecting the right curing method is crucial to maintain concrete quality and improve fieldwork effectiveness and long-term durability.

Keywords : *Concrete curing, compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton normal merupakan material konstruksi yang paling umum digunakan dalam pembuatan elemen struktural seperti balok, kolom, pelat, dan pondasi karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta relatif ekonomis. Namun, untuk memperoleh mutu beton yang sesuai dengan perencanaan, diperlukan pengendalian yang baik pada setiap tahapan pekerjaan, mulai dari pemilihan material, proses pencampuran, pengecoran, hingga perawatan beton setelah pengecoran.

Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada pekerjaan beton di lapangan adalah penurunan mutu beton akibat proses perawatan beton yang tidak optimal. Beton yang telah dicor dapat kehilangan air secara cepat akibat penguapan, terutama pada kondisi cuaca panas dan lingkungan terbuka, sehingga mengganggu proses hidrasi semen. Kondisi ini dapat menyebabkan beton tidak mencapai kuat tekan rencana serta menurunkan kinerja mekanis dan daya tahan beton.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan proses perawatan beton atau *curing*. *Curing* merupakan proses yang dilakukan setelah pengecoran dan pembongkaran *bekisting* dengan tujuan menjaga kelembapan dan suhu beton agar proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal. Proses *curing* berperan penting dalam mempertahankan ketersediaan air dalam beton, sehingga dapat mencegah terjadinya retak susut awal serta mendukung perkembangan kekuatan beton secara maksimal (Mulyati & Arkis, 2020).

Dalam praktik di lapangan, *curing* dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti perendaman, penyiraman, pembungkusan menggunakan karung basah, dan pembungkusan menggunakan plastik. Pemilihan metode *curing* perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan, luas area pengecoran, serta ketersediaan sumber daya, karena setiap metode memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing dalam menjaga kelembapan beton selama proses pengerasan.

Selain metode konvensional tersebut, dikenal metode *curing* menggunakan *curing compound*, yaitu bahan kimia cair yang diaplikasikan pada permukaan beton untuk membentuk lapisan pelindung yang berfungsi mengurangi penguapan air dari dalam beton. Metode ini dinilai lebih praktis dan efisien, terutama pada kondisi lapangan dengan keterbatasan ketersediaan air atau area pengecoran yang luas (Andi, 2020).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh berbagai metode *curing* terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton serta menentukan metode *curing* yang paling efektif untuk diterapkan dalam kondisi lapangan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa data dan rekomendasi yang dapat dijadikan acuan dalam pemilihan metode *curing* yang optimal guna menunjang mutu beton dan meningkatkan kualitas pekerjaan konstruksi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh masing-masing metode *curing* beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton?
2. Metode *curing* beton manakah yang memberikan hasil paling efektif dan efisien jika ditinjau dari segi mutu beton serta relevansinya terhadap kondisi pelaksanaan di lapangan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui dan menganalisis pengaruh metode *curing* beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton berdasarkan hasil pengujian di laboratorium yang dianalisis secara statistik.
2. Menentukan metode *curing* beton yang paling efektif dan layak digunakan sebagai acuan dalam praktik pelaksanaan pekerjaan konstruksi di lapangan berdasarkan hasil analisis data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara statistik menggunakan perangkat lunak SPSS.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan memberikan informasi tentang efektivitas metode *curing* terhadap mutu beton, sehingga dapat membantu praktisi konstruksi memilih

metode perawatan yang tepat dan efisien untuk meningkatkan kualitas serta efektivitas pekerjaan di lapangan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi beton melalui penyediaan data hasil pengujian yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara statistik berdasarkan analisis menggunakan perangkat lunak SPSS, sehingga dapat dijadikan sebagai referensi ilmiah bagi penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian sebagai tinjauan agar penelitian terarah dan mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut.

1. Metode perencanaan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.
2. Jenis beton yang digunakan adalah beton normal dengan kuat tekan beton rencana (f'c) sebesar 30 MPa, tanpa bahan tambah kimia atau mineral, dengan mutu campuran dirancang berdasarkan SNI 7656:2012.
3. Dalam penelitian ini, jumlah benda uji untuk setiap variasi campuran beton dibatasi sebanyak tiga buah silinder beton, sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder Pasal 7.3, yang mensyaratkan sedikitnya tiga benda uji untuk setiap variasi dan umur pengujian.
4. Semen yang digunakan adalah semen PCC merek Semen Tiga Roda
5. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari, mengacu pada standar kuat tekan (SNI 1974:2011), kuat tarik belah (SNI 2491:2014), dan modulus elastisitas (SNI 4431:2011).
6. Benda uji yang digunakan berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dibuat dan dirawat sesuai ketentuan dalam SNI 2493:2011, sedangkan untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas mengacu pada SNI 1974:2011 dan SNI 4431:2011.
7. Pengujian dilakukan dengan simulasi kondisi di lapangan menggunakan perlakuan *curing* yang relevan untuk aplikasi praktis, sehingga hasil penelitian diharapkan dapat diaplikasikan langsung dalam pekerjaan konstruksi.

8. Material beton (semen, pasir, dan kerikil) berasal dari wilayah Yogyakarta dan material vulkanik Gunung Merapi, guna mencerminkan kondisi lokal yang sering digunakan dalam konstruksi setempat.
9. Modulus elastisitas diuji secara statis menggunakan prosedur sesuai SNI 4431:2011 tentang cara uji modulus elastisitas statik dan rasio *poisson* beton dengan benda uji silinder.
10. Penelitian tidak mencakup aspek durabilitas, beban siklik, atau pengujian jangka panjang, serta tidak mengkaji pengaruh aditif tambahan dalam campuran beton.
11. *Curing compound* yang digunakan adalah merek Sika Antisol S, dan tidak meneliti kandungannya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tinjauan pustaka merupakan rangkuman pandangan, pendapat, dan hasil penelitian atau perancangan yang didapatkan dari berbagai sumber yang ada, di mana sumber tersebut memiliki topik yang sejenis dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis. Dengan adanya tinjauan pustaka ini dapat menjadikan sebuah acuan dalam melakukan penelitian dan dapat memberikan gambaran terhadap penelitian yang kelak akan dilakukan. Tinjauan pustaka juga dapat menjadi sebuah pembanding pada saat akan melakukan penelitian, dengan adanya pembanding ini diharapkan penelitian dapat meningkatkan kualitas dari penelitian sebelumnya.

Pada bab ini penelitian-penelitian terdahulu yang serupa akan ditinjau kembali dan diuraikan sehingga terdapat perbedaan dengan penelitian sebelumnya. Dengan adanya tinjauan umum penulis dapat mengetahui perbedaan dari masing-masing acuan sehingga tidak terjadi kesamaan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					Penelitian Ini
Penelitian	**Mulyati & Arkis (2020)**	**Budi et al. (2020)**	**Agustina & Musthofa (2023)**	**Mujiyati dkk. (2023)**	
Judul Penelitian	Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Pengaruh Metode Perawatan Beton Dengan Suhu Normal Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi	Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur Beton	Pengaruh Metode Perawatan Terhadap Kuat Tarik Belah Pada Beton Normal, Dengan Bahan Tambahan *Fly Ash* 20 % Dan *Silica Fume* 3 %	Pengaruh Metode *Curing* terhadap Kinerja Beton untuk Efektivitas Pekerjaan Lapangan
Tujuan	Mengetahui nilai kuat tekan dari berbagai metode *curing* dan menentukan metode terbaik.	Mengetahui pengaruh *curing* suhu normal terhadap kuat tekan beton mutu tinggi.	Mencegah kehilangan air selama proses hidrasi beton.	Mengetahui pengaruh perawatan terhadap mutu beton dengan membandingkan beton tanpa dan dengan *curing.*	Menganalisis pengaruh metode *curing* terhadap sifat mekanik beton serta menentukan metode paling efektif untuk diterapkan di lapangan.
Kuat Tekan Rencana	18,675 MPa	36,6 MPa	30 MPa	35 MPa	30 MPa

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					Penelitian Ini
Penelitian	**Mulyati & Arkis (2020)**	**Budi et al. (2020)**	**Agustina & Musthofa (2023)**	**Mujiyati dkk. (2023)**	
Metode Perawatan	Perawatan (*curing*) dengan merendam dalam air, membasahi permukaan dengan air setiap hari pagi dan sore, membungkus dengan plastik hitam, dan membungkus dengan karung goni basah yang dibasahi setiap hari.	Variasi yang digunakan meliputi beton tanpa perawatan, perawatan dengan cara direndam, perawatan dengan cara disiram.	Perawatan dengan perendaman, ditutup dengan karung goni dan disemprot dengan *curing compound*.	beton yang tidak mengalami perawatan (didiamkan), dengan beton yang dirawat (disiram,direndam dan di bungkus plastik).	Metode *curing* yang di lakukan ada 5 variasi berupa perendaman, penyiraman, di basahi dengan karung, *plastic sheeting*, dan *compound curing.*
Jenis Pengujian	Kuat Tekan Beton	Kuat Tekan Beton	kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur beton.	Kuat Tarik Belah	Kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton
Benda Uji	silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.	silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
Umur Beton	28 hari	28 hari	3, 7, dan 28 Hari	28 Hari	7 dan 28 hari

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					Penelitian Ini
Penelitian	**Mulyati & Arkis (2020)**	**Budi et al. (2020)**	**Agustina & Musthofa (2023)**	**Mujiyati dkk. (2023)**	
Hasil Penelitian	Pada umur 28 hari, perendaman menghasilkan kuat tekan tertinggi (18,95 MPa), dan penyiraman permukaan terendah (13,70 MPa). Perendaman dan plastik hitam mencapai kuat tekan rencana, sedangkan penyiraman dan karung goni tidak.	Beton tanpa perawatan (34,61 MPa) dan disiram (35,64 MPa) belum mencapai mutu rencana 36,6 MPa. Hanya beton yang direndam mampu melampaui mutu rencana, dengan kuat tekan rata-rata 38,15 MPa dan maksimum 38,86 MPa.	Perawatan memengaruhi kuat tekan, lentur, dan modulus elastisitas beton. Karung goni lebih rendah dari perendaman masing-masing sebesar 8,76%, 12,04%, dan 4,43%, sedangkan *curing compound* lebih rendah lagi sebesar 23,71%, 19,82%, dan 6,71%. Perendaman paling efektif, namun karung goni lebih disarankan karena lebih praktis.	Pada beton normal dan beton dengan *silica fume*, terdapat perbedaan signifikan kuat tarik belah antar metode perawatan (Fhitung > Ftabel). Sebaliknya, pada beton dengan *fly ash* tidak terdapat perbedaan signifikan (Fhitung < Ftabel).	

2.3 Tinjauan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh metode *curing* terhadap sifat mekanik beton, terutama dalam konteks efektivitas aplikasi metode tersebut di lapangan. Fokus utama adalah membandingkan metode perawatan beton seperti karung basah, pembungkus plastik *(plastic sheeting),* dan *curing compound* sebagai alternatif dari metode perendaman yang umum digunakan dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk menunjukkan kebaruan dari penelitian ini, maka dilakukan perbandingan terhadap beberapa penelitian terdahulu dengan pendekatan dan hasil yang berbeda-beda.

Penelitian oleh Agustina dan Musthofa (2023) mengkaji tiga metode perawatan yaitu perendaman, karung goni basah, dan *curing compound*. Ketiga metode tersebut diuji terhadap kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode perendaman menghasilkan nilai tertinggi untuk semua parameter, namun metode ini dianggap kurang praktis untuk diterapkan di lapangan. Karung goni basah memberikan hasil yang cukup mendekati, dengan selisih kuat tekan sebesar 8,76%, kuat lentur 12,04%, dan modulus elastisitas 4,43% lebih rendah dibanding perendaman. *Curing compound* menghasilkan performa paling rendah. Temuan ini mendukung pemikiran bahwa karung basah adalah solusi yang efisien dan realistis di lapangan.

Sementara itu, Mujiyati dkk. (2023) meneliti pengaruh metode perawatan terhadap kuat tarik belah beton normal dengan variasi bahan tambahan *fly ash* 20% dan *silica fume* 3%. Penelitian ini menemukan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada kuat tarik belah antara metode *curing*, terutama pada beton normal dan beton dengan *silica fume*, tetapi tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada beton yang mengandung *fly ash*. Ini menunjukkan bahwa pengaruh metode *curing* juga tergantung pada komposisi campuran beton.

Penelitian oleh Mulyati dan Arkis (2020) membandingkan empat metode *curing*, yakni perendaman, penyiraman permukaan, pembungkusan plastik hitam, dan karung goni basah. Hasilnya menunjukkan bahwa perendaman memberikan kuat tekan tertinggi yaitu 18,95 MPa pada umur 28 hari, diikuti oleh pembungkus plastik hitam. Metode penyiraman dan karung basah memberikan hasil lebih

rendah, bahkan tidak mencapai mutu rencana sebesar 18,675 MPa. Ini menunjukkan bahwa efektivitas metode *curing* lapangan bisa bervariasi tergantung pada bagaimana kelembaban dijaga secara konsisten.

Sedangkan penelitian oleh Budi et al. (2020) membandingkan metode perawatan tanpa *curing*, penyiraman, dan perendaman pada beton mutu tinggi (36,6 MPa). Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya metode perendaman yang mampu mencapai dan melampaui kuat tekan rencana, dengan nilai rata-rata 38,15 MPa. Beton yang disiram dan tanpa *curing* tidak mencapai mutu yang diharapkan. Hal ini kembali menekankan dominasi perendaman sebagai metode yang paling efektif, namun kurang aplikatif di lapangan.

Dibandingkan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini memiliki keunikan tersendiri karena memfokuskan pada metode perawatan yang lebih realistis untuk kondisi lapangan seperti pembungkusan dengan plastik dan karung basah, tanpa mengandalkan metode perendaman. Penelitian ini menguji sifat mekanik beton seperti kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah, pada umur 7 dan 28 hari, dengan benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta menggunakan kuat tekan rencana 30 MPa.

Dengan demikian, kebaruan dari penelitian ini terletak pada upaya untuk mengkaji efektivitas metode *curing* lapangan yang dapat diandalkan dalam praktik, terutama dalam menjaga kelembaban permukaan beton secara efisien, serta memberikan alternatif metode *curing* yang layak bagi proyek-proyek yang tidak memungkinkan penggunaan kolam perendaman.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan material konstruksi yang diperoleh dari campuran semen, air, dan agregat berupa pasir maupun kerikil. Bahan ini masih menjadi pilihan utama dalam bidang konstruksi karena memiliki kekuatan yang tinggi, daya tahan terhadap berbagai kondisi, serta kemudahan untuk dibentuk sesuai kebutuhan dimensi dan struktur. Beton banyak diaplikasikan pada beragam proyek pembangunan, seperti jalan, gedung bertingkat, jembatan, hingga bendungan.

Secara umum beton dibedakan ke dalam 3 kelompok menurut Mulyono (2006) sebagai berikut.

3.1.1 Beton Berdasarkan Kelas dan Mutu Beton

1. Beton kelas I

   Beton kelas I merupakan beton yang digunakan untuk konstruksi non-struktural. Pelaksanaannya tidak memerlukan keterampilan khusus, dan pengawasan mutunya hanya sebatas pada pengukuran kekuatan tekan tanpa memerlukan pemeriksaan yang mendalam.

2. Beton kelas II

   Beton kelas II merupakan beton yang digunakan untuk konstruksi struktural umum. Pelaksanaannya memerlukan keterampilan yang memadai dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Pengawasan mutunya hanya dibatasi pada mutu-mutu bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak diisyaratkan pemeriksaan.

3. Beton kelas III

   Beton kelas III merupakan beton yang digunakan konstruksi struktural dengan kekuatan lebih dari K-225. Pelaksanaannya memerlukan keterampilan khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga ahli. Diperlukan adanya laboratorium beton dengan peralatan lengkap dan tenaga ahli yang mampu melakukan pengawasan mutu beton secara berkelanjutan.

3.1.2 Beton Berdasarkan Jenisnya

1. Beton ringan

   Beton ringan adalah jenis beton yang memiliki massa yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Agregat yang digunakan dalam pembuatan beton ringan juga memiliki massa yang ringan. Agregat tersebut umumnya berasal dari hasil pembakaran *shale*, lempung, *slates*, residu *slag*, residu batu bara, dan bahan hasil pembakaran vulkanik lainnya. Berat jenis agregat ringan berkisar sekitar 1900 kg/m^3 atau disesuaikan dengan kebutuhan struktural, yang rentangnya antara 14440-1850 kg/m^3, dengan kekuatan tekan minimal pada usia 28 hari sebesar 17,2 MPa.

2. Beton normal

   Beton normal merupakan beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200-2400 kg/m^3 dengan kuat tekan sekitar 15-40 MPa.

3. Beton berat

   Beton berat merupakan beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3. Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

4. Beton massa (*mass concrete*)

   Beton massa digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, fondasi, dan jembatan.

3.2 Bahan Campuran Beton

3.2.1 Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2016, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4).

Agregat halus adalah agregat yang terbuat dari penghancuran agregat kasar atau murni dari alam. Agregat halus mempunyai peran penting sebagai pembentuk beton dalam pengendalian *workability*, kekuatan (*strength*), dan keawetan

(*durability*). Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

Syarat-syarat agregat halus (pasir) sebagai bahan material pembuatan beton sesuai dengan ASTM C-33 adalah sebagai berikut.

1. Material dari bahan alami dengan kekasaran permukaan yang optimal sehingga kuat tekan beton besar.
2. Butiran tajam, keras, awet (*durable*) dan tidak bereaksi dengan material beton lainnya.
3. Berat jenis agregat tinggi yang berarti agregat padat sehingga beton yang dihasilkan padat dan awet.
4. Gradasi sesuai spesifikasi dan hindari *gap graded aggregate* karena akan membutuhkan semen lebih banyak untuk mengisi rongga.
5. Bentuk yang baik adalah bulat, karena akan saling mengisi rongga dan jika ada bentuk yang pipih dan lonjong dibatasi 15% berat total agregat.

Pemakaian agregat halus berfungsi sebagai bahan pengisi dengan tujuan untuk menambah kekuatan, mengurangi penyusutan, dan mengurangi pemakaian bahan pengikat (semen). Sifat dan karakteristik agregat halus yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan adukan dalam pembuatan beton. Pemeriksaan agregat halus perlu dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan yang akan digunakan dan juga dilakukan untuk mengetahui apakah agregat halus telah memenuhi persyaratan atau tidak. Pemeriksaan pada agregat halus yaitu sebagai berikut.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

   Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus dan sejenisnya yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) yang bertujuan menentukan angka berat jenis curah, berat jenis jenuh permukaan, berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai SNI 1970-2016.

a. Berat jenis curah

Berat jenis curah adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

Data pemeriksaan berat jenis curah agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.1)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gr), dan

500 = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

b. Berat jenis jenuh kering permukaan

Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) adalah perbandingan antara berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.

Data pemeriksaan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.2)$$

dengan:

B = berat piknometer berisi air (gr),

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gr), dan

500 = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

c. Berat jenis semu

Berat jenis semu adalah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.

Data pemeriksaan berat jenis semu agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.3.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.3)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr), dan

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gr).

d. Penyerapan air

Penyerapan air adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen (%).

Data pemeriksaan penyerapan air agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.4.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr) dan

500 = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

2. Pemeriksaan analisis saringan

Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus dan sejenisnya yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) yang bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah persentase butiran agregat halus. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 03-1968-1990. Data pemeriksaan analisis saringan agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.5-3.8.

a. Berat tertinggal

$$\text{Berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\% \quad (3.5)$$

b. Berat tertinggal kumulatif

Berat tertinggal kumulatif = Persentase berat tertinggal + Persentase berat tertinggal kumulatif sebelumnya (3.6)

c. Persen lolos kumulatif

Persen lolos kumulatif = 100 – berat tertinggal kumulatif (3.7)

d. Modulus halus butir (MHB)

$$\text{Modulus halus butir (MHB)} = \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.8)$$

Berikut merupakan batas-batas gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Batas-batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Berat Butir Lolos Saringan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Keterangan tabel:

Zona I = Pasir kasar

Zona II = Pasir agak kasar

Zona III = Pasir agak halus

Zona IV = Pasir halus

3. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume padat dan gembur agregat halus yang digunakan untuk mencari kebutuhan agregat halus sesuai

perbandingan yang telah ditentukan. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 03-4804-1998. Data pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.9-3.12.

a. Berat pasir

$$W3 = W2 - W1 \tag{3.9}$$

dengan:

W2 = berat tabung + berat pasir (gr) dan

W1 = berat tabung (gr).

b. Volume tabung

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times {D_{tabung}}^2 \times t_{tabung} \tag{3.10}$$

dengan:

D tabung = diameter dalam tabung (cm) dan

t tabung = tinggi tabung (cm).

c. Berat volume padat

$$\text{Berat volume padat} = \frac{W3}{V} \tag{3.11}$$

dengan:

W3 = berat pasir padat (gr) dan

V = volume tabung (cm^3).

d. Berat volume gembur

$$\text{Berat volume padat} = \frac{W3}{V} \tag{3.12}$$

dengan:

W3 = berat pasir gembur (gr) dan

V = volume tabung (cm^3).

4. Pemeriksaan kandungan lumpur

   Pemeriksaan kandungan lumpur dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur di dalam pasir sebagai syarat untuk bahan konstruksi bangunan. Berdasarkan PUBI 1982, berat bagian yang lewat saringan No.200 untuk pasir maksimal 5%. Pemeriksaan dilakukan pada agregat halus atau pasir yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) sebanyak 500 gram dan langkah-langkah pengujian sesuai dengan SNI 03-4142-1996. Data pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.13.

   $$\text{Berat lolos saringan No.200} = \frac{w1-w2}{w1} \times 100\% \quad (3.13)$$

   dengan:

   w1 = berat agregat kering oven (gr) dan

   w2 = berat agregat kering oven sesudah dicuci (gr).

3.2.2 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2847-2019, agregat kasar merupakan material pengisi adukan campuran pada beton. Agregat kasar terdiri dari kerikil yang merupakan hasil dari proses batuan pecah yang memiliki ukuran butir 5-40 mm. Agregat kasar memiliki standar yang menjadi acuan dari persyaratan umum agregat kasar yang dapat digunakan sebagai campuran beton. Persyaratan tersebut diatur dalam SK SNI-S-04-1989-F, persyaratan-persyaratan tersebut sebagai berikut.

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang kuat dan tidak memiliki pori-pori.
2. Agregat kasar memiliki sifat ketahanan yang tinggi, artinya tidak akan pecah atau hancur karena pengaruh cuaca eksternal, seperti sinar matahari yang terik atau hujan.
3. Agregat kasar merupakan bahan konstruksi yang dapat berupa kerikil yang berasal dari batuan alam atau batu pecah yang dihasilkan dari pemecah batu.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang bersifat reaktif dan dapat merusak beton, seperti zat alkali yang bersifat reaktif.
5. Ukuran butiran agregat kasar maksimum harus mematuhi persyaratan tertentu yang disebutkan sebagai berikut: ukuran butiran maksimum tidak boleh

melebihi 1/5 dari jarak terkecil antara dua sisi cetakan, 1/3 tebal pelat beton, atau 3/4 jarak bersih antar tulangan beton.

6. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika kadar lumpur melebihi angka ini, maka agregat kasar harus dicuci.

Dalam penentuan agregat kasar yang dapat digunakan dalam campuran beton ada beberapa pengujian yang dapat dilakukan sebagai parameter agregat kasar dapat digunakan. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air

   Pengujian berat jenis pada agregat kasar adalah prosedur untuk mengukur berat jenis atau kerapatan agregat kasar. Berat jenis adalah perbandingan antara berat agregat kasar dengan berat air pada volume yang sama pada suhu tertentu. Tujuan utama dari pengujian berat jenis adalah untuk menentukan kerapatan atau bobot relatif agregat kasar terhadap air. Sedangkan, pengujian penyerapan air pada agregat kasar adalah prosedur yang digunakan untuk mengukur kemampuan agregat kasar dalam menyerap air. Penyerapan air adalah parameter penting karena dapat memengaruhi sifat-sifat fisik agregat dan kualitas campuran beton. Pengujian ini adalah parameter penting karena dapat memengaruhi kualitas campuran beton.

   a. Berat jenis curah

      Berat jenis curah pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kerapatan atau berat relatif agregat kasar tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam butiran agregat. Dalam kata lain, berat jenis kering mutlak mengukur kerapatan agregat kasar pada tingkat terbesar, yaitu jika semua pori-pori dalam agregat tersebut dihapus atau diisi dengan bahan yang padat. Dalam konteks agregat kasar, berat jenis kering mutlak adalah ukuran kerapatan atau kepadatan agregat kasar dalam keadaan paling padat yang mungkin. Ini adalah parameter penting karena dapat memengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik agregat, serta kinerja campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut.

Data pemeriksaan berat jenis curah agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.14.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{Bj-Ba} \quad (3.14)$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr),

Bj = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr), dan

Ba = berat benda uji dalam air (gr).

b. Berat jenis jenuh kering permukaan

Berat jenis kering permukaan pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kerapatan agregat kasar pada permukaan butiran, yaitu berat dari permukaan agregat kasar yang tidak termasuk pori-pori dan retakan yang terbuka. Ini adalah satu aspek penting dari berat jenis agregat kasar dan memberikan informasi tambahan tentang kerapatan atau kepadatan agregat tersebut.

Data pemeriksaan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.15.

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan} = \frac{Bj}{Bj-Ba} \quad (3.15)$$

dengan:

Bj = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr) dan

Ba = berat benda uji dalam air (gr).

c. Berat jenis semu

Berat jenis semu pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur berat jenis agregat kasar bersama dengan pori-pori yang ada dalam butiran agregat tersebut. Dalam pengertian yang lebih umum, berat jenis semu mencakup ruang pori-pori dan retakan di dalam agregat kasar. Dengan kata lain, berat jenis semu memperhitungkan kerapatan agregat bersama dengan ruang pori-pori yang ada dalam agregat tersebut. Berat jenis semu agregat kasar dapat digunakan untuk memahami sejauh mana agregat kasar akan berinteraksi

dengan campuran beton. Semakin tinggi berat jenis semu, semakin sedikit pori-pori yang ada dalam agregat, dan ini dapat berarti bahwa agregat lebih kompak atau padat. Hal ini dapat berdampak positif pada kinerja campuran beton karena agregat yang lebih padat cenderung memberikan struktur yang lebih kuat dan daya tahan yang lebih baik.

Data pemeriksaan berat jenis semu agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.16.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{Bk-Ba} \tag{3.16}$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr) dan

Ba = berat benda uji dalam air (gr).

d. Penyerapan air

Penyerapan air pada agregat kasar adalah parameter yang mengukur kemampuan agregat kasar untuk menyerap air. Ini adalah salah satu karakteristik penting dari agregat kasar yang dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut. Penyerapan air mengacu pada berapa banyak air yang dapat diserap oleh agregat kasar dan berapa banyak air yang dapat dipegang oleh pori-pori dan retakan di dalam agregat tersebut.

Data pemeriksaan penyerapan air agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.17.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\% \tag{3.17}$$

dengan:

Bk = berat benda uji kering oven (gr) dan

Bj = berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

2. Pemeriksaan analisis saringan

Pengujian analisis saringan pada agregat kasar adalah salah satu metode pengujian yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran agregat

kasar. Metode ini memisahkan agregat kasar menjadi berbagai fraksi berdasarkan ukuran butiran masing-masing. Hal ini penting karena distribusi ukuran butiran agregat dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal, seperti kekuatan, kerapatan, dan tekstur. Distribusi yang diperoleh dapat ditunjukkan dalam tabel atau grafik. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 03-1968-1990. Data pemeriksaan analisis saringan agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.18-3.21.

a. Berat tertinggal

$$\text{Berat tertinggal} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Jumlah}} \times 100\% \quad (3.18)$$

b. Berat tertinggal kumulatif

Berat tertinggal kumulatif = Persentase berat tertinggal + Persentase berat tertinggal kumulatif sebelumnya (3.19)

c. Persen lolos kumulatif

Persen lolos kumulatif = 100 – berat tertinggal kumulatif (3.20)

d. Modulus halus butir (MHB)

$$\text{Modulus halus butir (MHB)} = \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.21)$$

Berikut merupakan batas-batas gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Batas-batas Gradasi Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	40 mm		20 mm	
	Batas Atas	Batas Bawah	Batas Atas	Batas Bawah
4,8	5	0	10	0
10	35	10	55	25
20	70	30	100	95
40	100	95	100	100

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

3. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur

   Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat volume padat dan gembur agregat kasar yang digunakan untuk mencari kebutuhan agregat kasar sesuai perbandingan yang telah ditentukan. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan langkah-langkah dan perhitungan yang sesuai dengan SNI 03-4804-1998. Data pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.22-3.25.

   a. Berat agregat kasar

   $$W3 = W2 - W1 \tag{3.22}$$

   dengan:

   W2 = berat tabung + berat benda uji (gr) dan

   W1 = berat tabung (gr).

   b. Volume tabung

   $$V = \frac{1}{4} \times \pi \times {D_{tabung}}^2 \times t_{tabung} \tag{3.23}$$

   dengan:

   D tabung = diameter dalam tabung (cm) dan

   t tabung = tinggi tabung (cm).

   c. Berat volume padat

   $$\text{Berat volume padat} = \frac{W3}{V} \tag{3.24}$$

   dengan:

   W3 = berat benda uji padat (gr) dan

   V = volume tabung (cm^3).

   d. Berat volume gembur

   $$\text{Berat volume padat} = \frac{W3}{V} \tag{3.25}$$

   dengan:

   W3 = berat benda uji gembur (gr) dan

   V = volume tabung (cm^3).

3.2.3 Semen *Portland*

Semen berdasarkan SNI 15-2049-2015 adalah bubuk halus yang memiliki sifat adhesif maupun kohesif, yaitu bahan pengikat. Arti dari bahan pengikat adalah suatu reaksi semen mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

Definisi semen *portland* merupakan bahan perekat hidrolis yang sangat penting dalam konstruksi beton. Bahan perekat hidrolis yaitu dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker*, terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *gips* sebagai bahan pembantu untuk membentuk pasta semen atau *grout* bila bersenyawa dengan air dapat mengeras dan jika bereaksi dengan agregat halus biasa disebut dengan mortar (Tjokrodimuljo, 2007).

Selain itu juga semen *portland* mempunyai sifat-sifat kimia yang mempengaruhi kualitas semen yang dihasilkan, sebagaimana hasil susunan kimia yang terjadi diperoleh senyawa dari semen *portland*. Kandungan oksida, unsur penyusun, dan komposisi senyawa semen *portland* akan ditunjukkan pada Tabel 3.3-3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Kandungan Oksidasi pada Semen *Portland*

Oksida	Kandungan (%)
Kalsium (CaO)	60 – 65
Silika (SiO_2)	17 – 25
Aluminium (AI_2O_3)	3 – 8
Ferik (Fe_2O_3)	0,5 – 0,6
Magnesium (MgO)	0,5 – 0,4
Sulfur (SO_3)	1 – 2
Sodium (Na_2O+K_2O)	0,5 – 1

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Tabel 3.3 Kandungan Oksidasi pada Semen *Portland*

Nama Unsur	Komposisi Oksida	Simbol
Tricalcium Silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dicalcium SIlicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tricalcium Aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetracalcium Aluminoferrite	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Tabel 3.4 Komposisi Senyawa Semen *Portland*

Senyawa	Kandungan (%)
C_3S	40 – 65
C_2S	10 – 25
C_3A	7 – 12
C_4AF	5 – 11

Sumber: Tjokrodimuljo (2007)

Ketika dicampur dengan air, senyawa-senyawa kimia di atas akan mengalami reaksi hidrasi. Demikian untuk membentuk produk hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air dari setiap komponen tentunya berbeda-beda. Penggolongan komposisi kimia (*manufacturing*) semen dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen agar menghasilkan 5 semen tipe umum (PUBI, 1982). Di mana penggolongan ini dimaksudkan agar penggunaan semen sesuai dengan tujuan pemakaian dan spesifik, penggolongan ini mengacu pada SNI 15-2049-2015 dan *American Society for Testing and Material* (ASTM) C-150, yaitu sebagai berikut.

1. Jenis I (untuk keperluan umum)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung 0,01%-0,10% sulfat. Dapat digunakan untuk konstruksi yang tidak memerlukan adanya persyaratan khusus untuk panas hidrasi dan kekuatan tekan awal (konstruksi umum) seperti perumahan, gedung, gudang, dan lain sebagainya.
2. Jenis II (untuk konstruksi dengan ketahanan sulfat sedang)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung 0,10%-0,20% sulfat serta panas hidrasi yang rendah. Dapat digunakan untuk konstruksi yang

membutuhkan massa beton tebal dan ketahanan sulfat seperti saluran irigasi, bekas rawa, bangunan yang berada di pinggir laut, dan dam.

3. Jenis III (untuk konstruksi dengan kekuatan awal tinggi)

   Penggunaan semen *portland* dengan kekuatan awal yang tinggi (cepat mengeras) digunakan untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kuat tekan awal tinggi pada fase awal setelah terjadinya pengikatan. Kuat tekan yang dapat dicapai oleh beton yang menggunakan semen *portland* jenis III selama 24 jam akan sama hasilnya dengan kuat tekan beton dari semen biasa selama 7 hari. Semen *portland* tipe ini dapat digunakan pada bangunan-bangunan yang terletak di dalam air yang tidak memiliki kandungan sulfat yang tinggi, bangunan tingkat tinggi, dan pembuatan jalan dari beton.

4. Jenis IV (untuk konstruksi dengan panas hidrasi rendah)

   Jenis ini dalam penggunaannya memiliki panas hidrasi rendah dan biasanya digunakan untuk pekerjaan pengecoran dengan volume yang besar.

5. Jenis V (untuk konstruksi dengan ketahanan sulfat tinggi)

   Digunakan pada air dan tanah yang mengandung lebih dari 0,20% kadar sulfat. Dapat digunakan pada konstruksi instalasi limbah dari limbah pabrik dan pembangkit tenaga nuklir.

3.2.4 Air

Air merupakan bahan dasar yang sangat penting dalam pembuatan konstruksi bangunan khususnya pembuatan beton. Air berfungsi sebagai pelarut semen sehingga membentuk pasta dan mengikat seluruh agregat yang berukuran besar hingga kecil. Dalam pembuatan beton apabila air yang digunakan berlebihan maka mengakibatkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton.

Menurut SNI 03-6861.1-2002 syarat air yang digunakan dalam campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Bersih, tidak mengandung benda terapung yang terlihat secara visual (minyak, lumpur, dan lain sebagainya).
2. Tidak mengandung benda yang tersuspensi > 2gr/lt.
3. Tidak mengandung garam yang larut dan dapat merusak beton.

4. Tidak mengandung kandungan klorida > 0,50 gr/lt.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat > 1 gr/lt.
6. Penurunan kekuatan beton tidak lebih dari 10%.

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton merupakan tahap merancang dan mengembangkan susunan bahan beton yang sesuai dengan kebutuhan proyek konstruksi tertentu. Tujuan pokok dari perencanaan campuran beton adalah menciptakan campuran dengan karakteristik yang diinginkan, seperti kekuatan, ketahanan, kepadatan, dan karakteristik lainnya, yang sesuai dengan standar proyek dan persyaratan lingkungan. Proses pencampuran beton dalam penelitian ini mengacu pada standar SNI 03-2834-2000 tentang tata cara pembuatan campuran beton normal.

Dalam menentukan proporsi campuran beton, diperlukan pula perhitungan yang mencakup beberapa aspek. Perhitungan tersebut meliputi kuat tekan rata-rata yang ditargetkan, berat isi beton yang disyaratkan, pemilihan agregat ringan, proporsi campuran beton ringan, serta koreksi proporsi campuran. Berikut adalah prosedur perencanaan proporsi campuran beton normal.

1. Kuat tekan yang disyaratkan (f'c)

   Kuat tekan yang disyaratkan (f'c) merupakan kuat tekan yang akan direncanakan pada perencanaan beton di umur 28 hari. Kuat tekan ini sebagai patokan awal perencanaan campuran beton yang akan dipergunakan dalam pembuatan beton.
2. Deviasi standar (Sr)

   Deviasi standar (Sr) pada kuat tekan rata-rata beton adalah sebuah ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur variabilitas atau sebaran data pada kuat tekan rata-rata beton. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton menunjukkan seberapa jauh kuat tekan rata-rata beton dari nilai rata-rata yang diharapkan. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton dihitung dengan mengukur kuat tekan beton dari sejumlah sampel beton, kemudian menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar dari sampel-sampel tersebut. Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton dapat memberikan informasi penting mengenai

seberapa homogen beton yang dihasilkan dan seberapa besar variasi kuat tekan beton yang dihasilkan dari campuran beton yang sama. Menurut SNI 03-2834 (2000) deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton dapat dihitung dengan Persamaan 3.26.

$$Sr = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(xi-x)^2}}{n=1} \quad (3.26)$$

dengan:

Sr = deviasi standar (MPa),

xi = kuat tekan beton ringan yang didapat dari masing-masing benda uji (MPa),

x = kuat tekan beton rata-rata (MPa), dan

n = jumlah nilai hasil uji yang harus diambil minimum 30 buah yang setiap nilainya diambil minimum rata-rata 2 buah benda uji yang dibuat dari contoh beton yang sama pada umur 28 hari. Dua hasil benda uji yang akan digunakan untuk menghitung deviasi standar mempunyai persyaratan sebagai berikut.

a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi yang serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
b. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan (f'c) yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f'cr yang ditentukan.
c. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang diurutkan atau 2 kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
d. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai 2 hasil uji yang memenuhi poin a, tetapi hanya ada sebanyak 15-29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.5 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

e. Bila data uji lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'cr) harus diambil tidak kurang dari (f'c + 12 MPa).

3. Nilai tambah (M)

Nilai tambah (M) dapat dihitung dengan Persamaan 3.27.

$$M = k \times Sr \tag{3.27}$$

dengan:

M = nilai tambah (MPa),

K = tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase hasil uji yang lebih rendah dari f'c. Dalam hal ini diambil 5% dan nilai k = 1,64, dan

Sr = deviasi standar rencana (MPa).

4. Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'cr)

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'cr) dapat dihitung dengan Persamaan 3.28.

$$f'cr = f'c + M \tag{3.28}$$

dengan:

f'cr = kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa),

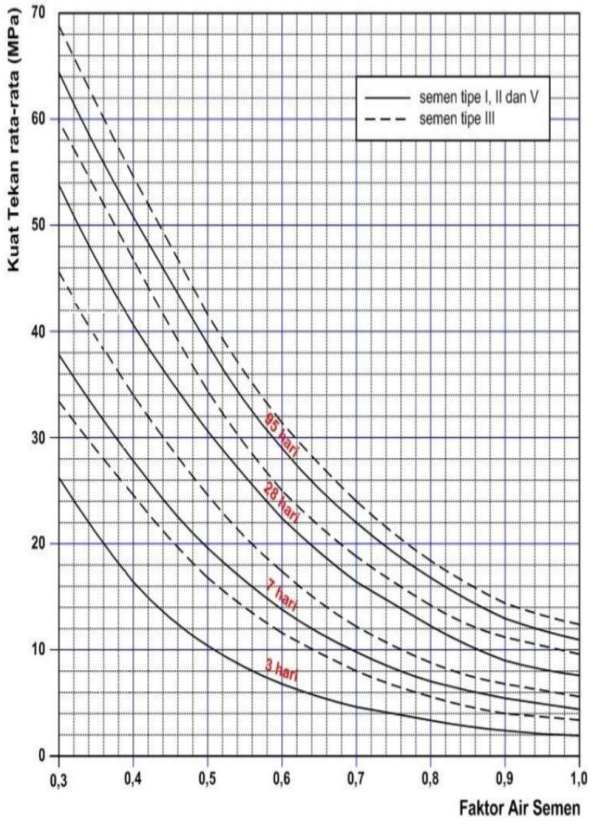
f'c = kuat tekan yang disyaratkan (MPa), dan

M = nilai tambah (MPa).

5. Menentukan jenis semen yang akan digunakan penelitian.
6. Menentukan jenis agregat halus dan kasar yang akan digunakan penelitian.
7. Nilai faktor air semen (FAS)

   Menurut SNI 2834-2000, pemilihan faktor air semen diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan yang didasarkan sebagai berikut.

   a. Hubungan kuat tekan dan faktor air semen yang diperoleh dari penelitian lapangan sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang diusulkan.
   b. Penentuan faktor air semen didasarkan grafik pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

   c. Penentuan kuat tekan rata-rata untuk melakukan target dari grafik yang akan dibuat diambil dari Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.6 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen *Portland* Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen *Portland* Tipe II dan V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen *Portland* Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

8. Setelah mengetahui FAS dari Tabel 3.7 dan Gambar 3.1, maka dapat ditentukan FAS maksimum yang terdapat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.7 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 ruang bangunan	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan	Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
	terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
	Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		

Lokasi		Jumlah Semen Minimum Per m^3 Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton yang kontinu berhubungan	Air tawar		
	Air laut		

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

9. Menentukan nilai *slump*

   Menurut SNI 03-2834-2000, nilai *slump* ditentukan dengan kondisi pelaksanaan di lapangan sehingga diperoleh beton yang mudah untuk dikerjakan, dituangkan, dipadatkan, dan diratakan.

10. Menentukan ukuran agregat maksimum

    Menurut SNI 03-2834-2000, ukuran butir agregat maksimum dipilih dengan persyaratan yang tidak boleh melebihi:

    a. seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
    b. sepertiga dari tebal pelat, dan
    c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.

11. Menentukan kadar air bebas

    Penentuan kadar air bebas dilakukan untuk mengetahui seberapa kadar air yang digunakan dengan perkiraan jumlah agregat yang dipakai. Kadar air bebas menurut SNI 03-2834-2000 dapat ditentukan sebagai berikut.

    a. Agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan nilai-nilai pada Tabel 3.9 dan grafik FAS pada Gambar 3.1.

Tabel 3.8 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung menggunakan Persamaan 3.29.

$$W = \frac{2}{3} \times W_h + \frac{2}{3} \times W_k \quad (3.29)$$

dengan:

W = jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3),

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus, dan

W_k = perkiraan jumlah air untuk agegat kasar.

12. Menentukan kebutuhan semen

Penentuan kebutuhan semen dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.30.

$$W_c = \frac{W}{FAS} \quad (3.30)$$

dengan:

W_c = jumlah semen yang dibutuhkan (kg/m^3),

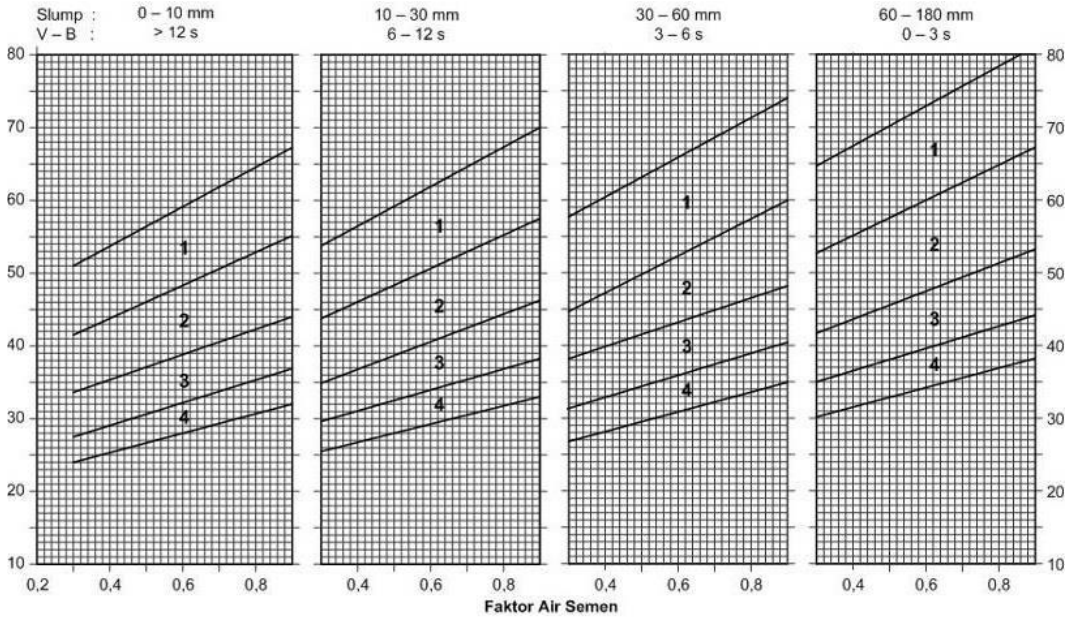
W = jumlah air yang dibutuhkan (kg/m^3), dan

FAS = nilai faktor air semen yang digunakan.

Apabila jumlah semen tidak memenuhi batasan minimum yang ditetapkan pada Tabel 3.8, maka batasan minimum yang harus dipakai dan perlu melakukan perhitungan ulang untuk nilai FAS.

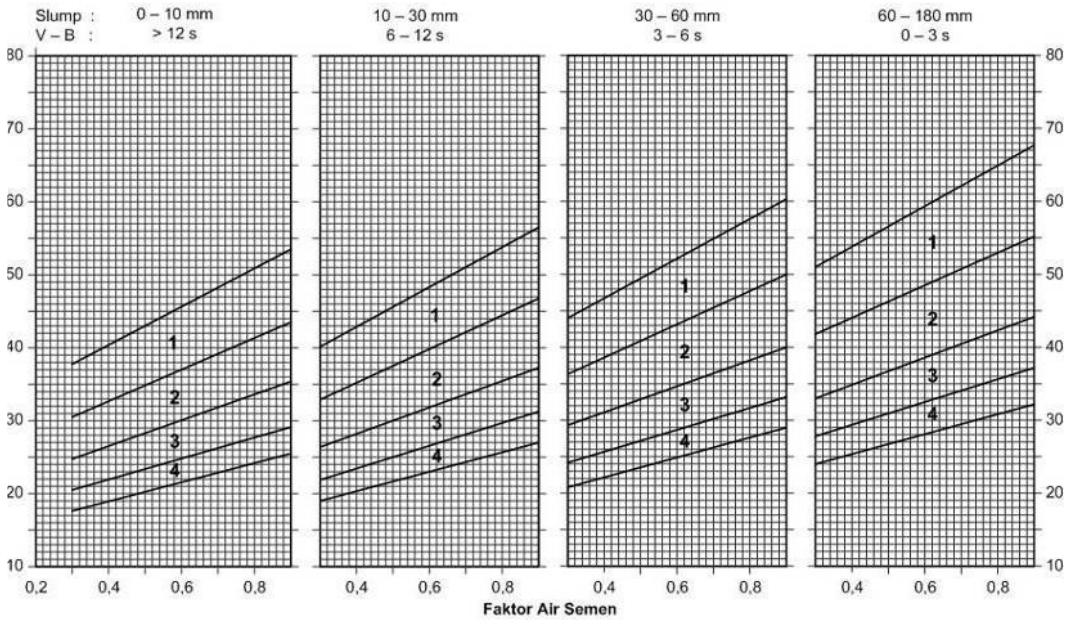
13. Menentukan persentase jumlah agregat halus

    Penentuan jumlah agregat halus menurut SNI-03-2834-2000 ditentukan dengan menggunakan penggunaan besar ukuran agregat maksimum dari agregat kasar, nilai *slump*, daerah gradasi agregat halus, dan faktor air semen. Penentuan persentase jumlah agregat halus dapat menggunakan grafik pada Gambar 3.2-3.4.



Gambar 3.2 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

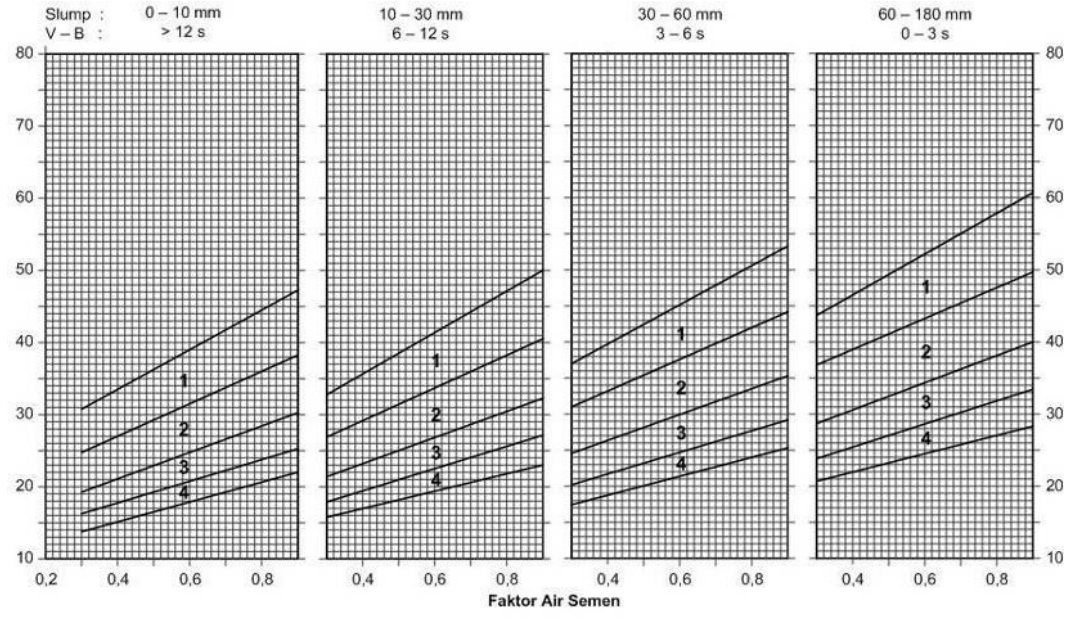
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)



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

Gambar 3.3 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)



Grafik 15: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 3.4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Untuk memperoleh persentase dari agregat halus dapat mengikuti langkah sebagai berikut.

a. Melakukan penentuan melalui grafik yang berdasarkan dari besaran ukuran agregat kasar, nilai *slump*, daerah gradasi agregat halus, dan faktor air semen.
b. Menarik garis ke atas hingga ke kurva di antara 2 kurva yang memasuki daerah gradasi.
c. Tarik garis secara horizontal ke kanan, dari kurva batas atas maupun kurva batas bawah pada daerah gradasi.
d. Mencatat nilai lalu diambil rata-rata dari kedua nilai tersebut.

14. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan

Penentuan berat jenis relatif agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.31.

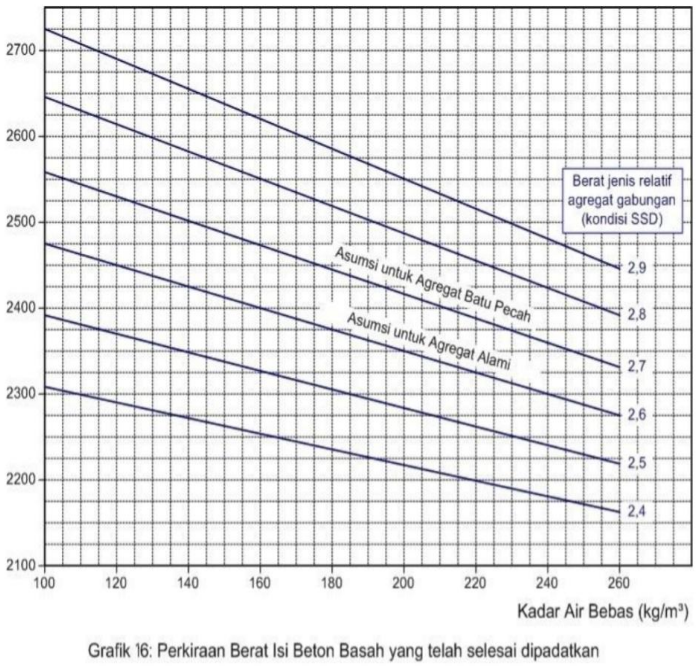
$$Bj_{AG} = (\%AH \times Bj_{AH}) + (\%AK \times Bj_{AK}) \quad (3.31)$$

dengan:

Bj_{AG} = berat jenis agregat gabungan,
Bj_{AH} = berat jenis agregat halus,
Bj_{AK} = berat jenis agregat kasar,
%AH = persentase jumlah agregat halus, dan
%AK = persentase jumlah agregat kasar.

15. Menentukan berat isi beton

Penentuan berat isi beton digunakan untuk mengetahui perkiraan berat dari seluruh campuran dalam beton. Untuk menentukan berat isi beton dapat menggunakan grafik pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

16. Menentukan proporsi agregat gabungan

    Penentuan proporsi agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.32.

$$AG = Berat\ isi\ beton - jumlah\ semen - jumlah\ air \quad (3.32)$$

17. Menentukan proporsi agregat halus

    Penentuan proporsi agregat halus dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.33.

$$W_{AH} = persentase\ agregat\ halus \times agregat\ gabungan \quad (3.33)$$

18. Menentukan proporsi agregat kasar

    Penentuan proporsi agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.34.

$$W_{AK} = persentase\ agregat\ kasar \times agregat\ gabungan \quad (3.34)$$

19. Menentukan proporsi campuran

    Proporsi campuran ditentukan untuk tiap m^3 beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Proporsi campuran uji untuk tiap m^3 beton ditentukan dengan mengalikan dengan volume total benda uji.

20. Menghitung koreksi proporsi campuran

    Koreksi proporsi campuran diperlukan untuk kondisi agregat yang tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Koreksi dilakukan terhadap kandungan air dalam agregat.

3.4 Uji *Slump*

Pengujian *slump* berguna untuk menentukan tingkat kekentalan campuran beton dan tingkat kemudahan dalam melakukan proses pengerjaan beton. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah kerucut *abrams* (SNI 1972-2008) serta tongkat penumbuk untuk memadatkan. Jika nilai hasil pengujian tinggi maka pekerjaan akan semakin mudah begitu juga sebaliknya. Nilai *slump* yang ideal akan tergantung pada jenis konstruksi yang dibuat, dan umumnya berkisar antara 10 ± 2 cm.

Hasil dari uji *slump* pada beton berguna untuk menentukan kualitas beton dan memastikan bahwa campuran beton yang dihasilkan memiliki konsistensi yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi konstruksi. Uji *slump* juga membantu mengidentifikasi apakah campuran beton perlu ditambah atau dikurangi kandungan airnya untuk mencapai konsistensi yang optimal.

3.5 Perawatan Beton

Curing beton merupakan proses perawatan yang dilakukan untuk mempertahankan kelembapan dan suhu beton pada tahap awal setelah pengecoran, dengan tujuan agar beton dapat mencapai kekuatan serta ketahanan yang maksimal. Pada masa ini berlangsung reaksi kimia antara semen dan air yang dikenal sebagai proses hidrasi, yang sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan kelembapan. Oleh karena itu, diperlukan perawatan yang tepat untuk memastikan proses tersebut berjalan optimal. Menurut Mulyati dan Arkis (2020), perawatan beton merupakan upaya untuk menjaga kestabilan temperatur serta kondisi lingkungan di dalam

maupun di luar beton guna mendukung berlangsungnya proses hidrasi secara sempurna.

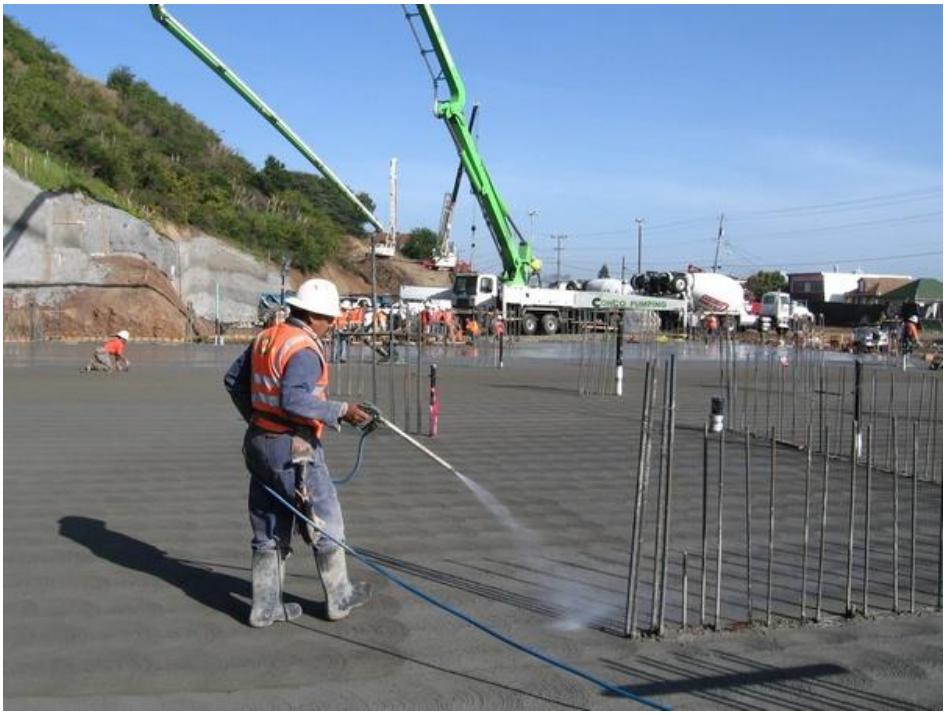
Menurut SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, perawatan harus dilakukan segera setelah beton dicetak dan dikeluarkan dari cetakan, untuk menjamin proses pengerasan berlangsung dalam kondisi yang mendukung. Tujuan utama *curing* antara lain adalah menjaga beton tetap dalam kondisi lembab atau cukup air, mempertahankan suhu lingkungan agar tidak terlalu tinggi maupun terlalu rendah, serta melindungi beton dari pengaruh luar seperti angin, sinar matahari langsung, atau suhu ekstrem.

Terdapat berbagai metode perawatan beton yang umum digunakan, yang masing-masing memiliki karakteristik dan tingkat efektivitas yang berbeda. Beberapa metode *curing* yang sering diterapkan di lapangan antara lain:

1. *Water Curing* (Perawatan dengan air)

   Perawatan dengan air merupakan metode perawatan beton yang dilakukan dengan menjaga permukaan beton agar tetap lembap melalui proses penyiraman secara berkala, perendaman, atau menutup permukaan beton menggunakan bahan yang dibasahi seperti karung goni. Metode ini termasuk cara paling umum dan tradisional dalam perawatan beton karena efektif dalam mempertahankan kadar kelembapan yang dibutuhkan selama proses hidrasi. *Water curing* sangat sesuai diterapkan pada proyek berskala kecil hingga menengah, terutama pada kondisi lingkungan dengan suhu tinggi atau cuaca panas, di mana penguapan air dari permukaan beton terjadi lebih cepat.

   Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *water curing* berupa penyiraman beton secara berkala dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.6 Metode Perawatan Penyiraman Beton
(Sumber : *https://solusimix.com/beton-readymix-k-250/* (diakses pada 30 Oktober 2025)

2. *Plastic Sheeting* (Perawatan menggunakan penutup plastik)

   Perawatan ini dilakukan dengan menutup beton menggunakan plastik kedap air yang mencegah penguapan air dari permukaan beton. Efektivitas metode ini sangat bergantung pada ketepatan dalam menutup permukaan secara rapat. Biasanya diterapkan pada elemen beton horizontal seperti pelat lantai atau permukaan yang datar. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *water curing* berupa penyiraman beton secara berkala dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.7 Metode Perawatan *Plastic Sheeting*
(Sumber : https://www.builtconstructions.in/OnlineMagazine/Bangalore/Pages/Self-Curing-Concrete-A-Futuristic-Technology-681.aspx (diakses pada 30 Oktober 2025)

3. *Curing Compound* (Perawatan dengan cairan kimia khusus)

   Perawatan beton ini menggunakan cairan kimia khusus yang disemprotkan ke permukaan beton segar. Senyawa ini akan membentuk lapisan film tipis yang mencegah hilangnya kelembaban. Metode ini banyak digunakan pada proyek dengan skala besar atau lokasi yang sulit dijangkau air karena dinilai praktis dan efisien. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *curing compound* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.8 Metode *Curing Compound*
(Sumber : https://www.yahskapolymers.in/curing-compound.html (diakses pada 30 Oktober 2025)

4. *Steam Curing* (Perawatan dengan penguapan)

   Metode ini memanfaatkan uap air panas untuk mempercepat proses hidrasi, umumnya digunakan dalam beton pracetak untuk mempercepat pembukaan cetakan dan pencapaian kekuatan awal. Meskipun mempercepat pengembangan kuat tekan, metode ini memerlukan pengaturan suhu dan kelembaban yang tepat agar tidak menurunkan mutu beton. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *steam curing* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.9 Metode *Steam Curing*
(Sumber : https://www.vortomech.com/precast-curing (diakses pada 30 Oktober 2025)

5. *Membrane Curing* (Perawatan dengan membran)

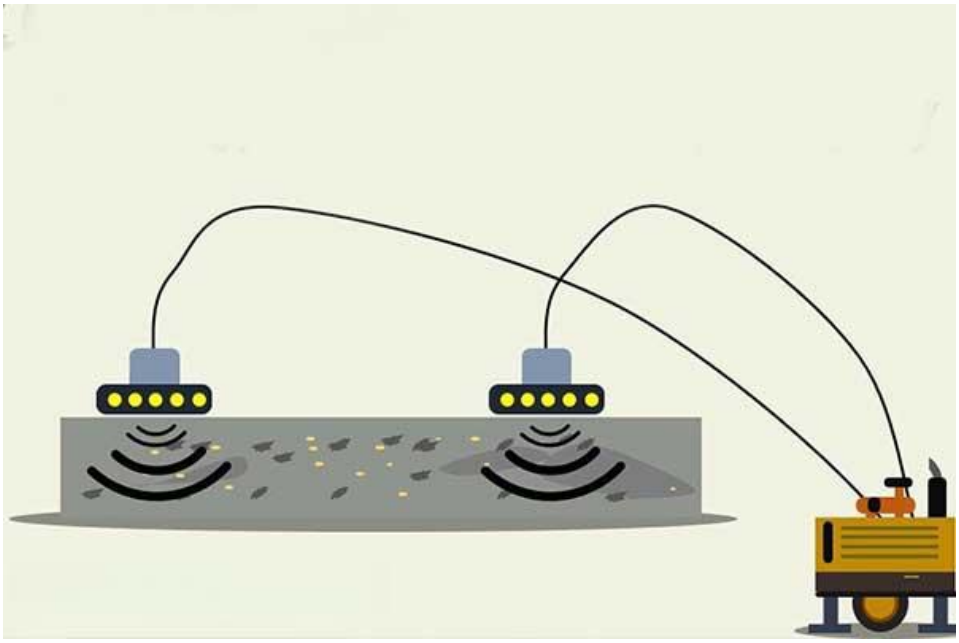
   Pada metode ini, permukaan beton dilapisi dengan bahan kimia pembentuk membran yang bersifat kedap air, mirip dengan *curing compound* namun dengan kualitas dan ketahanan yang lebih tinggi. Digunakan pada beton yang akan terpapar sinar matahari langsung atau kondisi cuaca ekstrem. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *membran curing* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.10 Metode *Membrane Curing*
(Sumber : https://studentprojects.in/civil-engineering/concrete-technology/methods-of-curing-of-concrete/ (diakses pada 30 Oktober 2025)

6. *Curing* Sinar Inframerah

   Merupakan metode *curing* modern yang menggunakan radiasi panas dari sinar infra merah untuk mempercepat pengerasan beton. Biasanya digunakan dalam pengujian laboratorium atau produksi beton pracetak. Meskipun efektif untuk mempercepat waktu pengerasan, suhu harus dikontrol agar tidak merusak struktur beton. Adapun ilustrasi dari perawatan beton dengan menggunakan metode sinar inframerah dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.11 Metode Sinar Inframerah
(Sumber : darkspecialistd (2019). Proses Perawatan *Curing* Beton. Diambil dari https://darkspecialistd.blogspot.com/2019/08/proses-perawatan-curing-beton.html)

7. *Curing* Hidrotermal

   Curing ini dilakukan dalam ruang tertutup dengan suhu dan kelembaban tinggi secara bersamaan. Sangat cocok digunakan untuk beton mutu tinggi atau beton dengan bahan tambahan seperti *fly ash* dan *silica fume*, karena dapat mempercepat pembentukan kekuatan awal dan meningkatkan kerapatan mikrostruktur beton. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode hidrotermal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.12 Metode Hidrotermal
(Sumber : vincivilworld (2022). *Curing of Concrete Benefits Methods.* Diambil dari https://vincivilworld.com/2022/11/20/curing-of-concrete-benefits-methods/)

3.6 Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah massa beton per satuan volume, biasanya dinyatakan dalam kg/m³, dan termasuk sifat fisik utama yang memengaruhi kualitas beton. Berat volume dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

di mana γ adalah berat volume beton, *M* adalah massa beton, dan *V* adalah volume beton. Pengukuran ini dapat dilakukan pada kondisi basah atau kering sesuai prosedur laboratorium.

Berat volume berkaitan erat dengan sifat mekanik beton, termasuk kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah. Beton dengan berat volume lebih tinggi cenderung memiliki densitas material lebih besar dan pori udara lebih sedikit, sehingga ikatan antara agregat dan matriks semen lebih optimal. Hal ini meningkatkan kemampuan beton menahan beban tekan, deformasi elastik, dan tegangan tarik, sehingga mempengaruhi hasil pengujian mekanik secara langsung.

Selain itu, berat volume juga berperan sebagai indikator awal kualitas beton. Dengan berat volume yang sesuai spesifikasi, homogenitas campuran lebih terjamin, sehingga pengujian mekanik dapat menghasilkan data yang konsisten dan representatif. Dengan demikian, berat volume tidak hanya merupakan sifat fisik, tetapi juga menjadi penunjang penting dalam interpretasi hasil uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan tarik belah.

3.7 Uji Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan berat beban maksimum persatuan luas pada saat benda uji hancur yang dihasilkan oleh mesin tekan beton (SNI 1974-2011). Pada dasarnya nilai kuat tekan beton lebih tinggi dari pada nilai kuat tarik. Menurut SNI 1974-2011 untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton adalah dengan besarnya beban dibanding dengan luas permukaan yang dibebani seperti Persamaan 3.64.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.35}$$

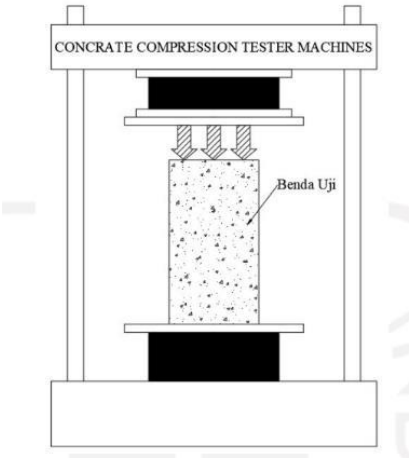
dengan:

f'c = kuat tekan beton (MPa),

P = beban maksimal (N), dan

A = luas penampang (mm^2).

Berikut merupakan sketsa pengujian kuat tekan beton pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

3.8 Uji Tarik Belah Beton

Menurut Raharjo (2018), uji tarik belah beton merupakan salah satu metode tidak langsung yang digunakan untuk mengetahui kuat tarik suatu benda uji beton, dengan cara memberikan beban tekan secara diametral sehingga menimbulkan tegangan tarik di bagian dalam benda uji. Meskipun beton dikenal memiliki kekuatan tekan yang tinggi, namun sifat tariknya cenderung rendah dan menjadi salah satu titik lemah dari material ini, sehingga perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui sejauh mana beton mampu menahan gaya tarik.

Selama proses pengujian berlangsung, beban diberikan secara bertahap hingga benda uji menunjukkan tanda-tanda retakan awal. Beban yang bekerja menyebabkan tegangan tarik melintang di bagian tengah benda uji, yang kemudian menghasilkan deformasi dan regangan. Jika beban terus ditambah, maka akan muncul retakan memanjang searah garis pembebanan, yang menandakan bahwa beton telah mencapai batas kuat tariknya. Retakan ini menjadi indikator utama terjadinya kegagalan pada uji tarik belah, karena menunjukkan bahwa gaya tarik yang bekerja telah melampaui kapasitas maksimum beton dalam menahan gaya tersebut.

Kegagalan yang terjadi umumnya bersifat getas *(brittle failure)*, tanpa adanya deformasi plastis yang signifikan, sesuai dengan karakteristik beton yang tidak mampu mengalami regangan besar sebelum patah. Oleh karena itu, pengujian tarik belah tidak hanya penting untuk mengetahui kekuatan tarik beton, tetapi juga memberikan gambaran terhadap perilaku material beton ketika menerima gaya tarik dalam kondisi riil di lapangan, seperti pada elemen-elemen beton yang mengalami gaya tarik tidak langsung akibat beban eksentris atau lendutan struktur. Kuat tarik belah beton *(f'_{ct})* dihitung menggunakan rumus sebaai berikut :

$$f'ct = \frac{2P}{\pi.L.D} \tag{3.36}$$

dengan:

f'ct = kuat tarik belah beton (MPa),

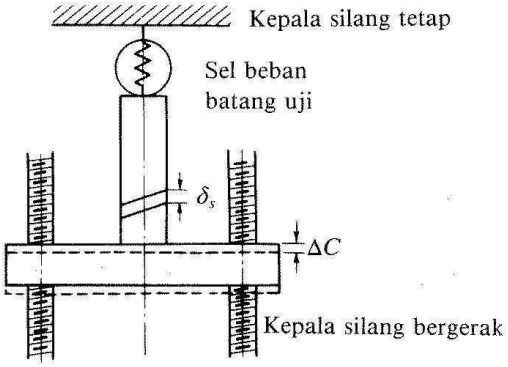
P = beban maksimum saat benda uji gagal (N),

L = panjang benda uji (mm),

D = diameter benda uji (mm), dan

π = 3,14 (konstanta pi),

Rumus ini mengasumsikan bahwa seluruh beban ditransmisikan secara merata sepanjang panjang kontak antara benda uji dan plat tekan. Nilai kuat tarik hasil dari pengujian ini biasanya lebih kecil dibandingkan dengan kuat tekan beton, namun penting sebagai parameter desain terutama untuk menghindari retak awal pada elemen struktural yang mengalami tarik tidak langsung. Berikut merupakan sketsa pengujian kuat tarik belah beton pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

3.9 Uji Modulus Elastisitas

Uji modulus elastisitas beton ditujukan untuk mengukur kekakuan atau kelenturan suatu beton ketika diberikan sebuah beban, dan menunjukkan hubungan antara tegangan *(stress)* dan regangan *(strain)* pada beton. Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mencari modulus elastisitas suatu beton, diantaranya ada metode empiris dan pengujian laboratorium. Menurut ASTM C-469, nilai modulus elastisitas bisa dicari dari pengujian beton dengan sampel silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Ec = \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1} \quad (3.37)$$

Dengan,

Ec = Modulus elastisitas (MPa)

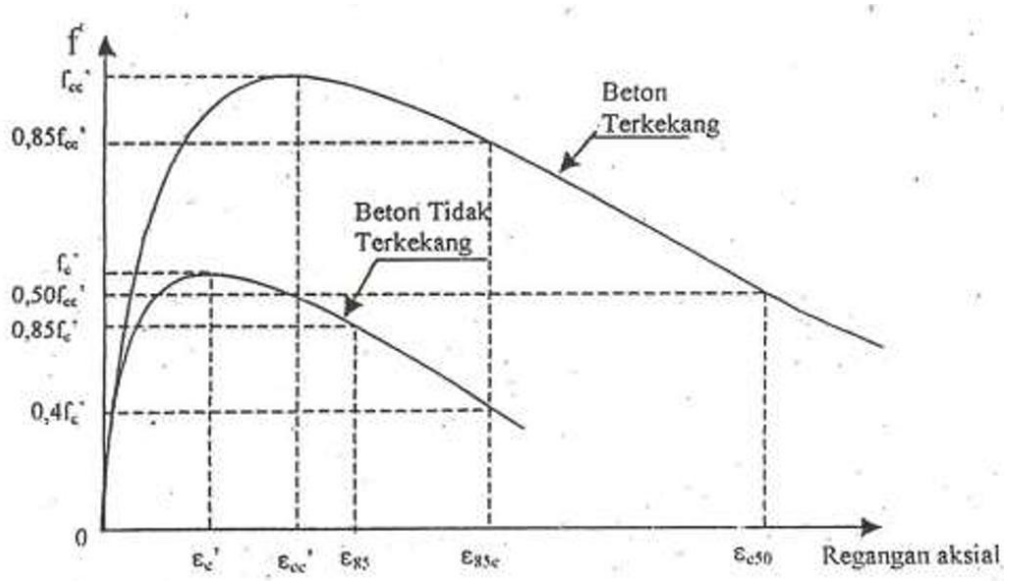
S2 = Tegangan ketika 40% dari beban maksimumm (MPa)

S1 = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa)

ε2 = Regangan akibat tegangan S2

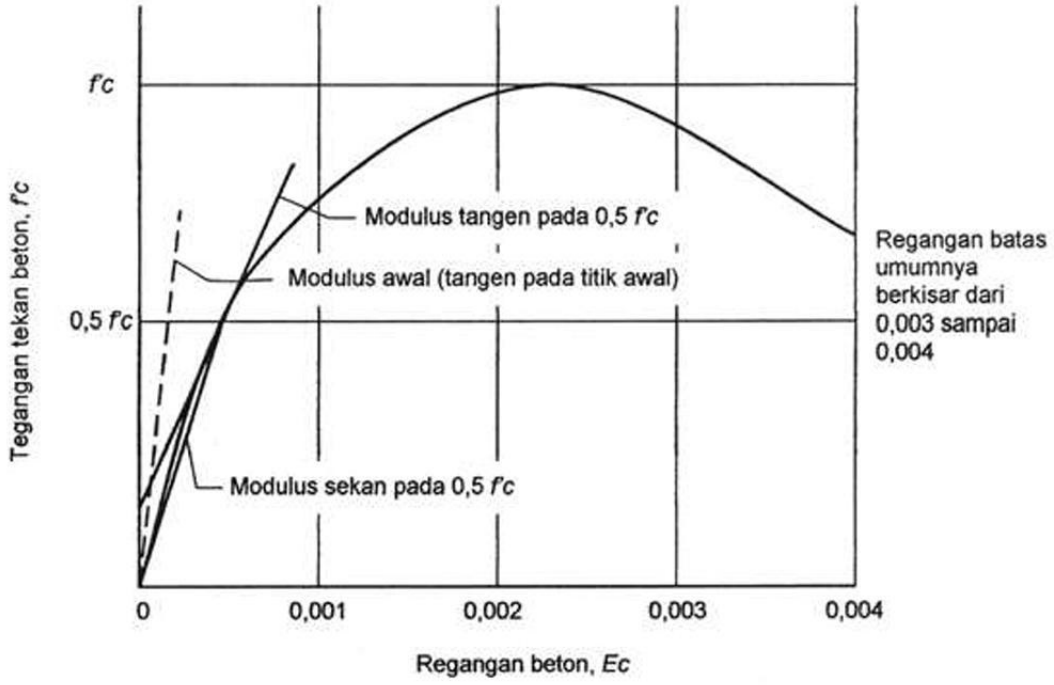
ε1 = 0,000050

Berikut adalah gambar kurva hubungan tegangan dan regangan beton modulus elastisitas beton, dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton
(Sumber : Sihombing)

Kurva tersebut menunjukkan perilaku linier pada tahap awal pembebanan, sehingga modulus elastisitasnya dapat dihitung dengan menentukan garis singgung pada kurva tegangan-regangan dari titik pusat. Kemiringan dari garis singgung ini disebut sebagai modulus tangen awal. Jika dibuat garis tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar 0,4 kali tegangan maksimum f'c, maka nilai ini disebut modulus elastisitas sekan beton. Modulus sekan ini merupakan bentuk turunan dari modulus elastisitas yang telah dihitung sebelumnya. Baik modulus tangen maupun modulus sekan dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton
(Sumber : I Wayan)

Persaman diatas merupakan persamaan yang bisa dihitung ketika dilakukan pengujian sebagaimana tertera pada ASTM C-469, dan hasilnya lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan metode empiris. Adapun metode empiris yang digunakan dalam mencari modulus elastisitas beton mengacu pada SNI 2847-2019 dengan persamaan sebagai berikut.

1. Jika diketahui berat volume

$$Ec = W_c^{1,5} \; x \; 0{,}043 \; x \; \sqrt{f'c} \qquad (3.38)$$

Dengan,

Wc = Rentang 1400-2560 kg/m3
Ec = Modulus elastisitas beton (MPa)
W = Berat volume beton normal (kg/m3)
f'c = Kuat tekan beton (MPa)

2. Beton normal (umumnya sekitar 2400 kg/m3)

$$Ec = 4700 \text{ x } \sqrt{f'c} \qquad (3.39)$$

Dengan,

Ec = Modulus elastistas beton (MPa)

f'c = Kuat tekan beton (MPa)

3.10 Analisis Data

Analisis data adalah proses sistematis pengolahan dan interpretasi data penelitian untuk memperoleh kesimpulan yang valid. Menurut Sugiyono (2019), analisis data membantu menjawab rumusan masalah dan memastikan data penelitian dapat dipercaya.

Dalam penelitian eksperimental beton, analisis data dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan, seperti variasi metode *curing*, terhadap sifat mekanik beton.

3.10.1 Statistik Deskriptif

Digunakan untuk menggambarkan karakteristik data. Parameter yang dianalisis meliputi:

1. *Mean* (Rata-rata) : nilai tengah data.
2. Median dan Modus : nilai tengah dan nilai yang paling sering muncul.
3. Standar deviasi : ukuran penyebaran data di sekitar mean.
4. *Range*, Minimum, Maksimum : gambaran rentang data.

3.10.2 Uji Normalitas

Dilakukan untuk memastikan data berdistribusi normal, asumsi penting dalam analisis parametrik. Dilakukan dengan *Kolmogorov–Smirnov* atau *Shapiro–Wilk* di SPSS. Data normal jika Sig. > 0,05.

3.10.3 Uji Homogenitas

Dilakukan untuk menilai keseragaman varians antar kelompok data. Menggunakan *Levene's Test* di SPSS. Data homogen jika Sig. > 0,05.

3.10.4 Uji *Outlier*

Uji ini mendeteksi data ekstrem yang dapat memengaruhi hasil analisis. Bisa dilakukan dengan *boxplot* atau *standardized residual*. Data yang ekstrem perlu ditinjau sebelum analisis lebih lanjut.

3.10.5 Uji Perbedaan Rata-rata

1. *One-way* ANOVA: untuk membandingkan rata-rata antar lebih dari dua kelompok (misal variasi *curing*).
2. *Two-way* ANOVA: digunakan jika ada dua faktor yang diuji (misal variasi *curing* dan umur beton) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor dan interaksinya.
3. Uji t: untuk membandingkan dua kelompok data; *independent t-test* untuk dua kelompok berbeda, *paired t-test* untuk dua kondisi pada kelompok yang sama.

3.10.6 *Post-hoc Test*

Jika ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan (Sig. < 0,05), dilakukan *post-hoc test* untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Contoh metode *post-hoc* di SPSS: *Tukey* HSD, *Bonferroni*, LSD.

3.10.7 Kesimpulan Analisis Statistik

Dengan kombinasi statistik deskriptif, uji normalitas, homogenitas, *outlier*, ANOVA, uji t, dan *post-hoc*, peneliti dapat memastikan data valid, reliabel, dan layak digunakan untuk menarik kesimpulan. Analisis ini juga membantu menentukan perlakuan beton terbaik secara ilmiah.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan pendekatan ilmiah yang digunakan untuk memperoleh data dengan tujuan tertentu serta manfaat yang jelas. Metode ini dirancang untuk mengatur tahapan penelitian, mulai dari identifikasi masalah, pengumpulan data, pembuatan benda uji, pelaksanaan pengujian, analisis hasil, hingga penyusunan kesimpulan dan saran. Pada penelitian ini digunakan metode studi eksperimental di laboratorium yang berfokus pada pengaruh variasi metode perawatan beton *(curing)* terhadap sifat mekanik beton. Penelitian secara khusus bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan lima metode *curing*, yaitu penyiraman, penyiraman dengan penutup karung, penutupan dengan plastik, perendaman, dan penggunaan *curing compound*, terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, serta modulus elastisitas beton. Dari hasil perbandingan tersebut diharapkan dapat ditentukan metode *curing* yang paling efektif dan layak dijadikan acuan dalam praktik pekerjaan konstruksi di lapangan. Dengan demikian, studi eksperimental melalui serangkaian percobaan laboratorium diperlukan dalam penelitian ini. Bab ini akan menguraikan proses serta tahapan pelaksanaan studi eksperimental tersebut.

4.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat tiga jenis variabel yang digunakan, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Variabel Bebas *(Independent Variable)*

   Variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi atau menyebabkan perubahan terhadap variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah jenis metode *curing* beton yang digunakan, yaitu:

   a. Perendaman air (sebagai metode kontrol),
   b. Disiram air secara rutin,

c. Ditutup menggunakan karung basah yang disiram air secara periodik,
d. Dibungkus menggunakan plastik *(plastic sheeting)*,
e. Menggunakan *compound curing* berbahan dasar air (Sika Antisol S).

2. Variabel Terikat *(Dependent Variable)*

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh perlakuan dari variabel bebas. Dalam penelitian ini, variabel terikat meliputi:

a. Kuat tekan beton,
b. Kuat tarik belah beton, dan
c. Modulus elastisitas beton

yang diukur pada umur 28 hari setelah perlakuan *curing* untuk mengetahui pengaruh efektivitas masing-masing metode *curing*.

3. Variabel Kontrol *(Control Variable)*

Variabel kontrol adalah variabel-variabel lain yang dijaga agar tetap konstan, sehingga tidak memengaruhi hasil penelitian secara langsung. Dalam penelitian ini, variabel kontrol meliputi:

a. Komposisi dan mutu campuran beton (beton normal tanpa bahan tambahan),
b. Ukuran dan bentuk benda uji (silinder Ø15 cm × 30 cm),
c. Waktu pengujian (seluruh benda uji diuji pada umur 28 hari),
d. Lingkungan pengujian di laboratorium,
e. Jenis bahan baku (pasir, kerikil, semen) yang digunakan dari sumber yang sama.

Dengan pengaturan variabel-variabel tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menggambarkan secara valid pengaruh metode *curing* terhadap kualitas beton, terutama dalam konteks penerapan di lapangan konstruksi.

4.3 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berupa pasir alam yang berasal dari Sungai Progo, Yogyakarta. Pasir ini memiliki tekstur halus, gradasi yang baik, dan

kadar lumpur di bawah ambang batas maksimal. Agregat halus ini telah memenuhi spesifikasi dalam SNI 1970:2008 tentang agregat halus untuk beton.

2. Agregat kasar

   Agregat kasar yang digunakan berupa kerikil pecah *(split)* yang berasal dari daerah Clereng, Yogyakarta, dengan ukuran nominal maksimum 20 mm. Agregat ini memiliki bentuk *angula*r dan permukaan kasar yang baik untuk membentuk ikatan mekanis dengan pasta semen. Agregat kasar telah memenuhi spesifikasi SNI 1969:2008 tentang agregat kasar untuk beton.

3. Semen *portland*

   Semen yang digunakan adalah Semen PCC merek Tiga Roda, yang telah memenuhi ketentuan dalam SNI 7064:2014 tentang Semen Portland Komposit untuk beton normal. Semen tipe ini dipilih karena bersifat serbaguna, memiliki kemampuan pengerasan yang stabil, dan cocok digunakan untuk pekerjaan beton struktural pada umumnya. Semen Tiga Roda merupakan produk yang banyak digunakan di dunia konstruksi Indonesia dan telah teruji konsistensi mutunya.

4. Air

   Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air ini secara visual bersih dan tidak mengandung benda-benda lain di dalamnya. Kualitas air dianggap memenuhi persyaratan dalam SNI 03-2847-2019, khususnya pada bagian air pencampur beton, yang mensyaratkan bahwa air tidak mengandung zat organik, minyak, garam, atau bahan berbahaya lainnya.

5. *Curing Compound*

   Metode perawatan beton secara kimia dalam penelitian ini menggunakan Sika Antisol S, yaitu *curing compound* berbasis air *(water-based)* yang membentuk lapisan film tipis untuk menghambat penguapan air dari permukaan beton. Produk ini mudah digunakan, ramah lingkungan, serta sesuai dengan standar internasional ASTM C-309.

6. *Curing* Basah

   Bahan-bahan yang digunakan untuk *curing* basah meliputi air untuk penyiraman, karung basah *(wet burlap),* dan plastik lembaran *(plastic sheeting)* sebagai media pelindung kelembaban.

4.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam proses persiapan, pembuatan, dan pengujian adalah sebagai berikut.

1. Saringan agregat

   Saringan agregat adalah alat berbentuk keranjang berlubang dengan ukuran lubang tertentu yang digunakan untuk mengayak agregat kasar dan halus. Fungsi utama saringan ini adalah untuk memisahkan butiran agregat sesuai ukuran standar yang ditentukan agar distribusi ukuran butiran agregat memenuhi persyaratan SNI. Pengayakan ini penting untuk menjamin kualitas dan keseragaman agregat yang digunakan dalam pencampuran beton.

2. Timbangan Digital

   Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan-bahan beton seperti semen, agregat halus dan kasar, serta air dengan akurasi tinggi. Penggunaan timbangan yang tepat sangat penting untuk menjaga proporsi campuran beton agar sesuai dengan perencanaan dan standar mutu beton. Kesalahan takaran bahan dapat berpengaruh langsung pada kekuatan dan kualitas beton yang dihasilkan.

3. Oven

   Oven digunakan untuk mengeringkan agregat sebelum pencampuran beton agar kadar air dalam agregat dapat diketahui dan dikontrol. Menghilangkan kelembaban agregat ini penting untuk menjaga komposisi air dalam campuran beton tetap tepat sehingga hasil beton yang dihasilkan konsisten. Oven biasanya diatur pada suhu tertentu sesuai standar untuk pengeringan agregat.

4. Piknometer

   Piknometer adalah alat untuk mengukur massa jenis dan kadar air agregat secara akurat. Pengukuran ini membantu menentukan berat agregat yang sebenarnya dan kondisi kelembaban, yang kemudian digunakan dalam perhitungan proporsi bahan beton sehingga campuran beton lebih presisi dan berkualitas.

5. Ember dan Sekop

   Ember dan sekop digunakan untuk menampung, mengangkut, dan mencampur bahan secara manual pada beberapa tahap pengujian kecil. Sekop juga berfungsi untuk mengambil sampel agregat atau semen. Kedua alat ini penting untuk kelancaran proses preparasi bahan di laboratorium.

6. *Concrete mixer*

   Mesin ini berfungsi mencampur bahan beton secara merata dan homogen sesuai perbandingan campuran yang direncanakan, sehingga mutu beton terjaga dan konsisten.

7. Kerucut abrams

   Alat untuk menguji kelancaran atau *workability* beton segar, menentukan kemudahan beton dipadatkan saat pengecoran.

8. Bekisting beton

   Bekisting berbentuk silinder dengan ukuran standar digunakan untuk mencetak benda uji beton. Cetakan ini harus kuat dan kedap sehingga beton tidak bocor saat dituangkan. Ukuran cetakan harus sesuai standar SNI agar hasil pengujian kuat tekan dan tarik belah dapat valid dan dapat dibandingkan dengan penelitian lain.

9. Tongkat penumbuk

   Tongkat penumbuk digunakan untuk memadatkan beton segar dalam cetakan agar tidak ada rongga udara dan beton menjadi padat serta homogen. Pemadatan yang baik sangat mempengaruhi kekuatan beton akhir dan keawetan benda uji.

10. *Compression testing machine* (CTM)

    Mesin ini digunakan untuk menguji kuat tekan beton silinder dengan memberikan beban tekan secara bertahap sampai benda uji mengalami keruntuhan. Mesin harus memiliki kapasitas yang sesuai dengan kekuatan beton yang diuji dan sesuai dengan standar SNI.

11. *Linier Variable Differential Transformers* (LVDT)

    Alat pengukur deformasi ini dipasang pada benda uji selama pengujian tekan dan tarik belah untuk mengukur perubahan panjang atau regangan yang terjadi. Data deformasi ini sangat diperlukan untuk menghitung modulus elastisitas beton.

12. *Split Tensile Test Machine* (STTM)

    Mesin uji tarik belah digunakan untuk mengetahui kuat tarik belah beton silinder dengan memberikan beban tekan diametral. Mesin ini memungkinkan pengujian sifat tarik beton yang penting untuk analisis perilaku retak beton.

4.5 Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini berupa silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang digunakan untuk mengkaji pengaruh variasi metode *curing* terhadap sifat mekanik beton. Variasi metode perawatan beton yang digunakan terdiri dari perendaman air (sebagai metode ideal), penyiraman, pembungkusan dengan karung basah, *plastic sheeting*, dan penggunaan *curing compound*. Setiap metode *curing* diuji terhadap tiga parameter utama, yaitu kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Untuk tiap kombinasi metode *curing* dan jenis pengujian digunakan satu sampel benda uji, sehingga total keseluruhan benda uji adalah sebanyak 15 silinder beton. Seluruh proses pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan di laboratorium sesuai dengan ketentuan dalam SNI 2493:2011. Rincian benda uji ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rincian Sampel Pengujian Beton

Jenis Pengujian	Bentuk (mm)	Metode Curing	Kode	Jumlah Sampel
Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Silinder (150 × 300)	Perendaman	KT-ME RND	3
		Penyiraman	KT-ME SRM	3
		Karung Basah	KT-ME KRG	3
		Plastic Sheeting	KT-ME PLS	3
		Curing Compound	KT-ME CMP	3
Kuat Tarik Belah		Perendaman	TB-RND	3
		Penyiraman	TB-SRM	3
		Karung Basah	TB-KRG	3
		Plastic Sheeting	TB-PLS	3
		Curing Compound	TB-CMP	3

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan secara sistematis, dimulai dari tahap persiapan awal, dilanjutkan dengan pengujian material agregat untuk mengetahui karakteristik fisik dan mutu bahan penyusun beton, kemudian perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan standar yang berlaku. Setelah itu dilakukan pembuatan benda uji silinder beton dengan ukuran standar serta pembuatan benda uji percobaan (*trial mix*) guna memastikan mutu beton sesuai target. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan metode *curing* menggunakan lima variasi perlakuan, yaitu perendaman air, penyiraman, karung basah, *plastic sheeting*, dan *curing compound* yang kemudian diikuti dengan perawatan sesuai metode *curing* masing-masing. Setelah masa perawatan selesai, dilakukan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas terhadap benda uji yang telah dikondisikan. Selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis data hasil pengujian untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing metode

curing, serta ditutup dengan penyusunan laporan dan pembahasan hasil penelitian secara menyeluruh.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan tahapan awal sebelum pelaksanaan utama penelitian dilakukan, yang mencakup kegiatan studi literatur untuk memperoleh landasan teori terkait metode perawatan beton (*curing*) dan sifat-sifat mekanik beton, serta penyiapan bahan-bahan seperti semen Portland tipe I, agregat halus dari Sungai Progo, agregat kasar dari lereng Yogyakarta, air bersih laboratorium, dan *curing compound* yang akan digunakan. Selain itu, dilakukan pula penyiapan peralatan uji dan alat bantu laboratorium seperti cetakan silinder, *concrete mixer*, alat uji tekan dan tarik, serta perlengkapan pendukung lain yang diperlukan selama proses pembuatan, perawatan, dan pengujian benda uji berlangsung.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat merupakan tahapan terhadap agregat halus dan agregat kasar yang memiliki tujuan untuk mengetahui dan menentukan karakteristik agregat yang akan digunakan pada penelitian ini dalam pembuatan beton. Sifat dan karakteristik agregat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan campuran beton. Adapun pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut.

1. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016.
2. Uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-2016.
3. Uji analisa saringan agregat halus dan kasar berdasarkan SNI ASTM-C136-2012.
4. Uji berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus dan kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
5. Uji butiran lolos ayakan No.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil dari pengujian karakteristik agregat halus dan agregat kasar yang telah dilakukan sebelumnya. Perencanaan campuran bertujuan untuk menentukan proporsi bahan penyusun beton yang sesuai agar menghasilkan mutu beton yang

memenuhi target kuat tekan. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton mengacu pada tata cara perencanaan campuran beton normal sesuai dengan SNI 2834:2000, dengan mempertimbangkan sifat fisik agregat, faktor air semen, dan nilai *slump* yang diinginkan. Campuran beton yang dirancang selanjutnya digunakan dalam pembuatan benda uji untuk setiap variasi metode *curing* yang diteliti.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* Umur 7 Hari

Setelah melakukan perencanaan campuran beton, dilakukan pembuatan dan pengujian benda uji *trial*. Pengujian benda uji *trial* ini bertujuan untuk menyesuaikan perencanaan campuran beton dan hasilnya di waktu 28 hari.

4.6.5 Pembuatan Benda Uji

Tahapan dalam pembuatan benda uji beton adalah sebagai berikut.

1. Benda uji silinder
    a. Bahan penyusun seperti agregat kasar dan halus, air, dan semen disiapkan sesuai dengan kebutuhan yang telah dihitung sesuai SNI 03-2834-2000 dan peralatan untuk menakar seperti timbangan dan gelas ukur.
    b. Bahan penyusun ditimbang sesuai *mix design* yang telah dibuat.
    c. Bahan penyusun yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam ember untuk memudahkan pencampuran.
    d. Cetakan silinder disiapkan dan diolesi dengan oli seluruh permukaannya.
    e. Menyiapkan *mixer* beton dan tempat menuangkan beton segar.
    f. Agregat kasar dan agregat halus dalam kondisi *saturated surface dry* (SSD) dimasukkan ke dalam *mixer* beton dan diaduk hingga merata.
    g. Semen dimasukkan ke dalam *mixer* beton dan diaduk kembali hingga homogen.
    h. Air ditambahkan secara perlahan untuk mengontrol keenceran campuran beton segar.
    i. Dilakukan uji *slump* untuk memastikan *workabilitas* campuran beton segar sesuai syarat.
    j. Jika uji *slump* telah memenuhi syarat, beton segar dituangkan ke dalam cetakan silinder dengan cara memasukkan sepertiga bagian dari tinggi

cetakan, lalu dipadatkan menggunakan penumbuk sebanyak 25 kali dan dipukul perlahan menggunakan palu karet untuk mengeluarkan rongga udara proses ini diulang hingga cetakan terisi penuh.

k. Permukaan benda uji diratakan menggunakan sekop kecil.
l. Setelah 24 jam, beton dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan proses *curing* sesuai metode yang direncanakan.

4.6.6 Faktor Koreksi Umur Beton

Pembuatan benda uji *trial* dilakukan untuk mengetahui estimasi mutu beton pada umur 28 hari berdasarkan pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari. Pengujian ini dilakukan di laboratorium sebagai simulasi awal untuk mengevaluasi kecenderungan perkembangan mutu beton dari campuran yang digunakan.

Mengacu pada Tabel 2 dalam SNI 03-2834-2000, untuk beton yang menggunakan semen Portland tipe I dan agregat kasar berupa batu pecah (*crushed rock*), nilai kuat tekan beton pada umur 7 hari *(f'c(7))* umumnya berada pada kisaran 65% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari *(f'c(28)).* Oleh karena itu, digunakan rumus berikut untuk melakukan estimasi:

$$f'c\ (28) = \frac{f'c\ (7)}{0{,}65}$$

atau:

$$f'c\ (7) = 0{,}65 \times f'c\ (28)$$

Keterangan:

f'c (28)	: perkiraan kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa)
f'c (7)	: hasil kuat tekan beton pada umur 7 hari (MPa)
0,65	: faktor konversi berdasarkan SNI 03-2834-2000 Tabel 2

Estimasi ini berfungsi sebagai kontrol mutu awal terhadap mutu campuran beton yang akan diuji lebih lanjut hingga umur 28 hari. Perbandingan hasil antara usia 7 dan 28 hari tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing metode *curing*, agar dapat direkomendasikan metode terbaik yang dapat diaplikasikan secara praktis di lapangan.

4.6.7 Perawatan Benda Uji

Benda uji silinder yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Prosedur *curing* mengikuti pedoman SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, dengan modifikasi sesuai metode penelitian yang diuji.

1. Setelah 24 jam dari waktu pengecoran, bekisting benda uji silinder dilepas secara hati-hati agar tidak merusak permukaan beton.
2. Benda uji silinder diberi kode identifikasi.
3. Selanjutnya, *curing* dilakukan sesuai dengan metode yang diteliti, yaitu:
   a. *Curing* perendaman (kontrol)

      Benda uji silinder beton dimasukkan ke dalam kolam perendaman air bersih, sehingga seluruh permukaan benda uji terendam sepenuhnya selama 27 hari. Perlakuan ini dilakukan sebagai standar kontrol untuk membandingkan efektivitas metode *curing* lainnya, karena kondisi perendaman memberikan *curing* yang optimal dan konsisten.

      Langkah teknis perlakuannya adalah sebagai berikut:

      1) Perendaman penuh

         Seluruh permukaan benda uji berada di bawah permukaan air sehingga tidak ada bagian yang terpapar udara. Hal ini mencegah kehilangan kelembapan dan memastikan proses hidrasi semen berjalan maksimal.

      2) Kualitas air

         Air yang digunakan bersih dan bebas kontaminan, sehingga tidak memengaruhi reaksi hidrasi atau sifat mekanik beton.

      3) Durasi perendaman

         Benda uji tetap terendam selama 27 hari, periode yang merupakan standar laboratorium untuk perawatan beton normal.

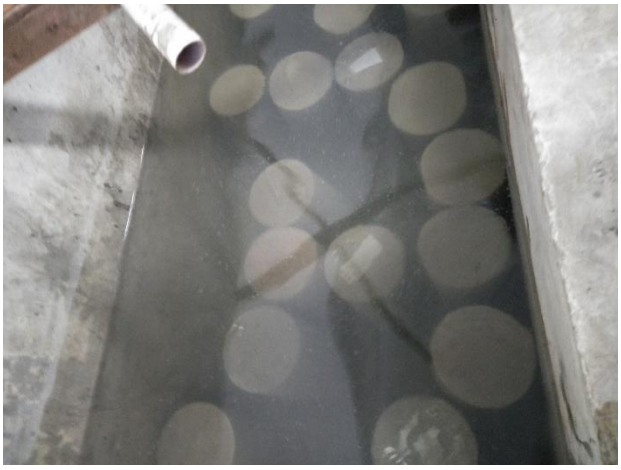
      4) Kontrol suhu

         Suhu air dijaga stabil, sekitar 20–25°C, untuk memastikan proses hidrasi berlangsung konsisten.

5) Tujuan

Perlakuan ini digunakan sebagai referensi atau kontrol, sehingga hasil pengujian beton dari metode curing lain dapat dibandingkan secara objektif.

Dengan prosedur ini, seluruh permukaan beton mengalami *cure* sempurna, sehingga kekuatan tekan yang diperoleh menjadi standar acuan untuk evaluasi metode *curing* lainnya.



Gambar 4.1 Perendaman Benda Uji Beton

b. *Curing* dengan penyiraman

Permukaan benda uji beton disiram dengan air secara rutin tiga kali sehari agar tetap lembap selama periode *curing* hingga umur uji 28 hari. Prosedur ini dilakukan untuk memastikan seluruh permukaan beton tetap dalam kondisi lembap, sehingga proses hidrasi semen berlangsung optimal dan kekuatan beton berkembang secara merata.

Langkah teknis perlakuannya adalah sebagai berikut:

1) Frekuensi penyiraman

Benda uji disiram dengan air bersih tiga kali sehari dengan interval yang merata (pagi, siang, sore) untuk menjaga kelembapan permukaan secara konsisten.

2) Jumlah air

   Air disiram secukupnya agar permukaan beton tetap basah tanpa genangan berlebih.

3) Kontrol kelembapan

   Selama 27 hari, kelembapan permukaan benda uji dijaga secara terus-menerus untuk mencegah penguapan cepat yang dapat menyebabkan retak permukaan atau pengerasan tidak merata.

4) Tujuan

   Metode ini bertujuan untuk mengoptimalkan hidrasi semen pada permukaan beton, sehingga kekuatan tekan yang dihasilkan dapat dicapai sesuai standar dan dapat dibandingkan dengan metode curing lain seperti perendaman air atau karung basah.

Dengan prosedur ini, permukaan beton selalu lembap, mengurangi risiko pengerasan prematur dan memastikan kondisi curing yang konsisten selama periode uji.



Gambar 4.2 Penyiraman Benda Uji Beton

c. *Curing* dengan penutup karung basah

Benda uji beton dibungkus dengan karung basah *(wet burlap)* secara menyeluruh, sehingga seluruh permukaan benda uji tertutup dan tidak ada bagian yang terbuka. Karung dibasahi secara berkala agar permukaan beton tetap lembap selama periode *curing* hingga umur uji 28 hari.

Langkah teknis perlakuannya adalah sebagai berikut:

1) Pembungkusan penuh

   Setiap benda uji dibungkus sepenuhnya dengan karung basah untuk mencegah kehilangan kelembapan akibat penguapan.

2) Pembasahan berkala

   Karung dibasahi secara rutin tiga kali sehari, mirip prosedur penyiraman, sehingga permukaan beton selalu berada dalam kondisi lembap.

3) Durasi *curing*

   Perlakuan dilakukan selama 27 hari untuk memastikan hidrasi semen berjalan optimal dan kekuatan beton berkembang secara merata.

4) Kontrol kondisi lingkungan

   Benda uji disimpan di tempat terlindung dari panas langsung atau angin kencang agar kelembapan karung tetap terjaga.

5) Tujuan

   Metode ini memastikan seluruh permukaan beton mengalami *curing* yang konsisten, mengurangi risiko retak permukaan, pengerasan tidak merata, atau kekuatan tekan yang rendah akibat kekurangan air.

Dengan prosedur ini, benda uji mengalami *curing* yang optimal dan seragam, sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara objektif dengan metode *curing* lainnya, seperti perendaman air atau penyiraman rutin.



Gambar 4.3 Penutupan Karung Goni Benda Uji Beton

d. *Curing* dengan pembungkus plastik

Benda uji beton dibungkus rapat menggunakan plastik polietilen sehingga seluruh permukaan tertutup dan kelembapan terjaga. Pembungkusan ini bertujuan mencegah penguapan air dari permukaan beton selama periode *curing* hingga umur uji 28 hari.

Langkah teknis perlakuannya adalah sebagai berikut:

1) Pembungkusan rapat

Benda uji dibungkus seluruh permukaannya dengan plastik polietilen tanpa celah, sehingga air tidak menguap dari beton.

2) Kontrol kelembapan

Kelembapan di dalam plastik dijaga tetap tinggi karena tidak ada penguapan signifikan dari permukaan beton.

3) Durasi *curing*

Perlakuan dilakukan selama 27 hari untuk memastikan proses hidrasi semen berjalan optimal dan kekuatan beton berkembang secara merata.

4) Tujuan

Metode ini memastikan seluruh permukaan beton berada dalam lingkungan lembap yang konsisten, sehingga risiko retak permukaan,

pengerasan tidak merata, atau kekuatan tekan rendah dapat diminimalkan.

Dengan prosedur ini, benda uji mengalami *curing* yang seragam dan terkendali, sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara objektif dengan metode *curing* lainnya seperti karung basah, perendaman air, atau penyiraman rutin.



Gambar 4.4 Penutupan Plastik Polietilen Benda Uji Beton

e. *Curing compound*

Setelah pembongkaran bekisting dan permukaan beton dibersihkan, *curing compound* diaplikasikan menggunakan *sprayer* secara merata pada seluruh permukaan benda uji. Aplikasi dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 21 hari, kemudian benda uji disimpan di tempat terlindung dari sinar matahari langsung hingga umur uji 28 hari.

Langkah teknis perlakuannya adalah sebagai berikut:

1) Persiapan permukaan

Permukaan beton dibersihkan dari sisa-sisa bekisting, debu, dan kotoran agar *curing compound* dapat menempel dengan optimal.

2) Aplikasi dengan *sprayer*

   Curing compound disemprot merata pada seluruh permukaan beton untuk membentuk lapisan film pelindung yang mencegah penguapan air.

3) Jadwal pengaplikasian

   Aplikasi dilakukan pada umur beton 7, 14, dan 21 hari untuk memastikan permukaan beton tetap terlindungi dan kelembapan terjaga secara konsisten.

4) Penyimpanan

   Benda uji ditempatkan di lokasi yang terlindung dari sinar matahari langsung dan angin kencang agar lapisan pelindung efektif.

5) Tujuan

   Metode ini menjaga kelembapan permukaan beton secara konsisten selama periode kritis hidrasi semen, mengurangi risiko retak permukaan, pengerasan tidak merata, dan memastikan kekuatan tekan optimal.

Dengan prosedur ini, benda uji mengalami *curing* yang terkendali dan seragam, sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan secara objektif dengan metode *curing* lainnya, seperti karung basah, perendaman air, penyiraman rutin, dan plastik *polietilen*.



Gambar 4.5 Perawatan *Compound* Benda Uji Beton

4.6.8 Pengujian Benda Uji

Setelah benda uji selesai menjalani *curing* sesuai metode yang ditetapkan selama 28 hari, dilakukan tahap pengujian mekanis untuk mengetahui pengaruh metode *curing* terhadap sifat mekanis beton. Pengujian dilakukan terhadap kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Sebelum dilakukan pengujian, setiap benda uji diukur dimensi dan beratnya untuk memastikan kesesuaian serta keakuratan data hasil pengujian.

1. Berat Volume Beton

   Pengujian berat volume beton dilakukan untuk mengetahui massa beton per satuan volume, yang merupakan salah satu parameter fisik penting dalam mengevaluasi konsistensi dan homogenitas campuran beton. Hasil pengujian ini digunakan sebagai acuan awal sebelum dilakukan pengujian mekanik seperti kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas, sehingga memastikan benda uji memenuhi kondisi standar laboratorium.

   a. Setelah umur *curing* sesuai metode yang diuji, benda uji silinder diambil dari tempat *curing* masing-masing.
   b. Benda uji dibersihkan dari sisa-sisa bekisting, debu, atau kotoran permukaan agar pengukuran massa dan dimensi akurat.
   c. Dimensi benda uji (tinggi dan diameter) diukur menggunakan jangka sorong untuk menentukan volume benda uji dengan presisi tinggi.
   d. Berat benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 Kg.
   e. Berat volume beton dihitung dengan membagi massa benda uji dengan volumenya.

2. Kuat Tekan Beton

   Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan untuk mengevaluasi pengaruh metode *curing* terhadap kemampuan beton dalam menahan beban tekan, sesuai SNI 1974:2011. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

   a. Setelah mencapai umur *curing* 28 hari, benda uji silinder diangkat dari kolam perendaman (untuk metode *curing* perendaman) atau dari tempat

penyimpanan masing-masing (untuk metode *curing* basah siram, karung basah, plastik, dan *curing compound*).

b. Benda uji didiamkan selama ±24 jam di suhu ruang agar kelembapannya stabil.
c. Dimensi benda uji diukur menggunakan jangka sorong.
d. Berat benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital.
e. Benda uji diletakkan di atas mesin uji tekan dengan posisi vertikal, dan penunjuk beban diatur pada angka 0.
f. Mesin uji tekan dioperasikan dengan laju pembebanan 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik.
g. Pembebanan diteruskan sampai benda uji hancur, kemudian beban maksimum yang diterima benda uji dicatat.

3. Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik tidak langsung beton akibat metode *curing* yang berbeda, mengacu pada SNI 1974:2011. Tahapannya adalah:

a. Setelah umur *curing* 28 hari, benda uji silinder diambil dari tempat *curing* sesuai metode yang diuji.
b. Benda uji didiamkan selama ±24 jam pada suhu ruang agar kelembapannya stabil.
c. Dimensi benda uji diukur menggunakan jangka sorong.
d. Berat benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital.
e. Benda uji ditempatkan horizontal di antara dua tumpuan pada mesin uji tekan.
f. Beban diterapkan secara perlahan dengan laju pembebanan yang seragam hingga benda uji mengalami keruntuhan.
g. Beban maksimum dicatat, lalu nilai kuat tarik belah dihitung sesuai rumus standar.

4. Modulus Elastisitas beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan untuk menilai tingkat kekakuan beton yang dipengaruhi oleh metode *curing*, sesuai dengan SNI 4439:2017. Prosedurnya adalah: Benda uji silinder dan peralatan disiapkan.

a. Setelah umur *curing* 28 hari, benda uji silinder diambil dari tempat *curing* sesuai metode yang diuji.
b. Benda uji didiamkan selama ±24 jam pada suhu ruang agar kelembapannya stabil.
c. Dimensi benda uji diukur menggunakan jangka sorong.
d. Berat benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital.
e. Benda uji diletakkan secara vertikal di antara pelat atas dan bawah mesin uji tekan statis.
f. Pengujian dilakukan dengan pembebanan bertahap untuk mencatat hubungan tegangan-regangan.
g. Nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan kurva tegangan-regangan yang diperoleh dari hasil pengujian.

4.7 Analisa Data Hasil Pengujian

Analisis data dilakukan untuk memastikan kevalidan dan konsistensi data hasil pengujian benda uji beton, meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Semua analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS *Statistics*, dengan tujuan memastikan bahwa data memenuhi asumsi dasar analisis statistik dan perbedaan antar variasi beton dapat dianalisis secara ilmiah.

Proses analisis data dilakukan melalui beberapa tahap utama, sebagai berikut:

4.7.1 Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk mengetahui apakah data hasil pengujian tiap parameter berdistribusi normal. Distribusi normal menunjukkan bahwa data tersebar merata di sekitar nilai rata-rata sehingga dapat dianggap representatif.

Dalam SPSS, uji normalitas dilakukan menggunakan *Shapiro-Wilk* untuk jumlah sampel ≤ 50.

Kriteria:

1. Sig. > 0,05 → data berdistribusi normal.
2. Sig. < 0,05 → data tidak berdistribusi normal.

4.7.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah variansi data dari beberapa variasi beton homogen. Hal ini penting agar perbedaan hasil antar variasi benar-benar disebabkan oleh perlakuan, bukan oleh perbedaan penyebaran data.
Dalam SPSS, uji homogenitas dilakukan menggunakan *Levene's Test.*
Kriteria:

1. Sig. > 0,05 → data homogen.
2. Sig. < 0,05 → data tidak homogen.

4.7.3 Analisis *One-Way* ANOVA

Jika data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, dilakukan *One-Way* ANOVA untuk membandingkan rata-rata antar variasi beton dan mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan.

ANOVA menghasilkan nilai F-hitung dan Sig., yang menunjukkan ada tidaknya perbedaan rata-rata antar variasi.
Kriteria:

1. Sig. < 0,05 → terdapat perbedaan signifikan antar variasi beton.
2. Sig. > 0,05 → tidak terdapat perbedaan signifikan.

4.7.4 *Post-Hoc Test*

Jika ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan, dilakukan *Post-Hoc Test* menggunakan metode *Bonferroni* untuk mengetahui variasi beton mana yang berbeda secara signifikan. *Post-Hoc* memungkinkan peneliti menafsirkan perbedaan spesifik antar perlakuan secara objektif.

4.7.5 Validitas dan Kesimpulan Data

Data pengujian dianggap valid jika memenuhi kedua asumsi dasar (normal dan homogen). Dengan analisis *One-Way* ANOVA dan *Post-Hoc*, peneliti dapat:

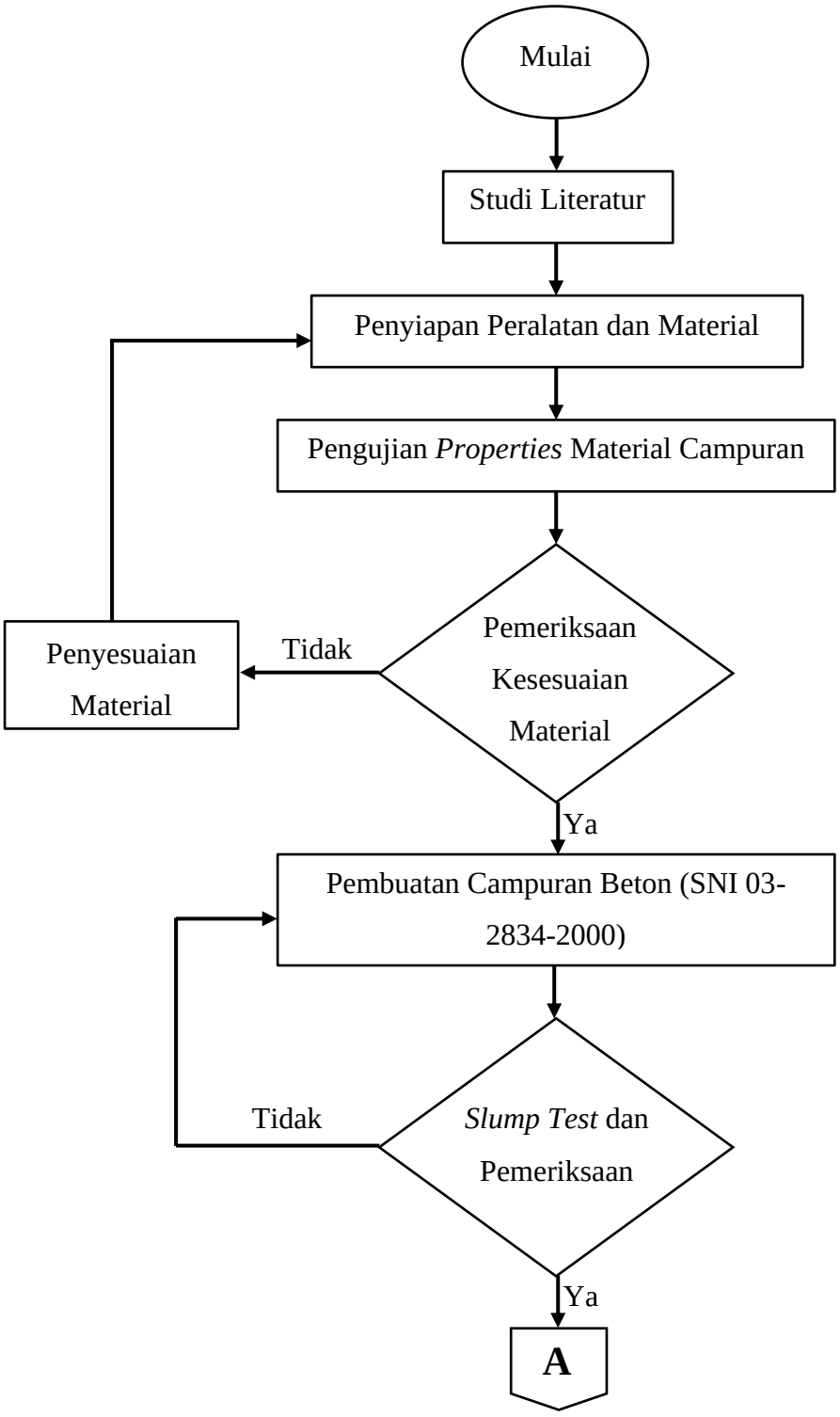
1. Mengevaluasi efektivitas masing-masing variasi beton atau metode *curing*.

2. Menentukan variasi yang menghasilkan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas optimal.
3. Memastikan bahwa perbedaan hasil antar variasi sah secara statistik dan bukan akibat variasi penyebaran data.

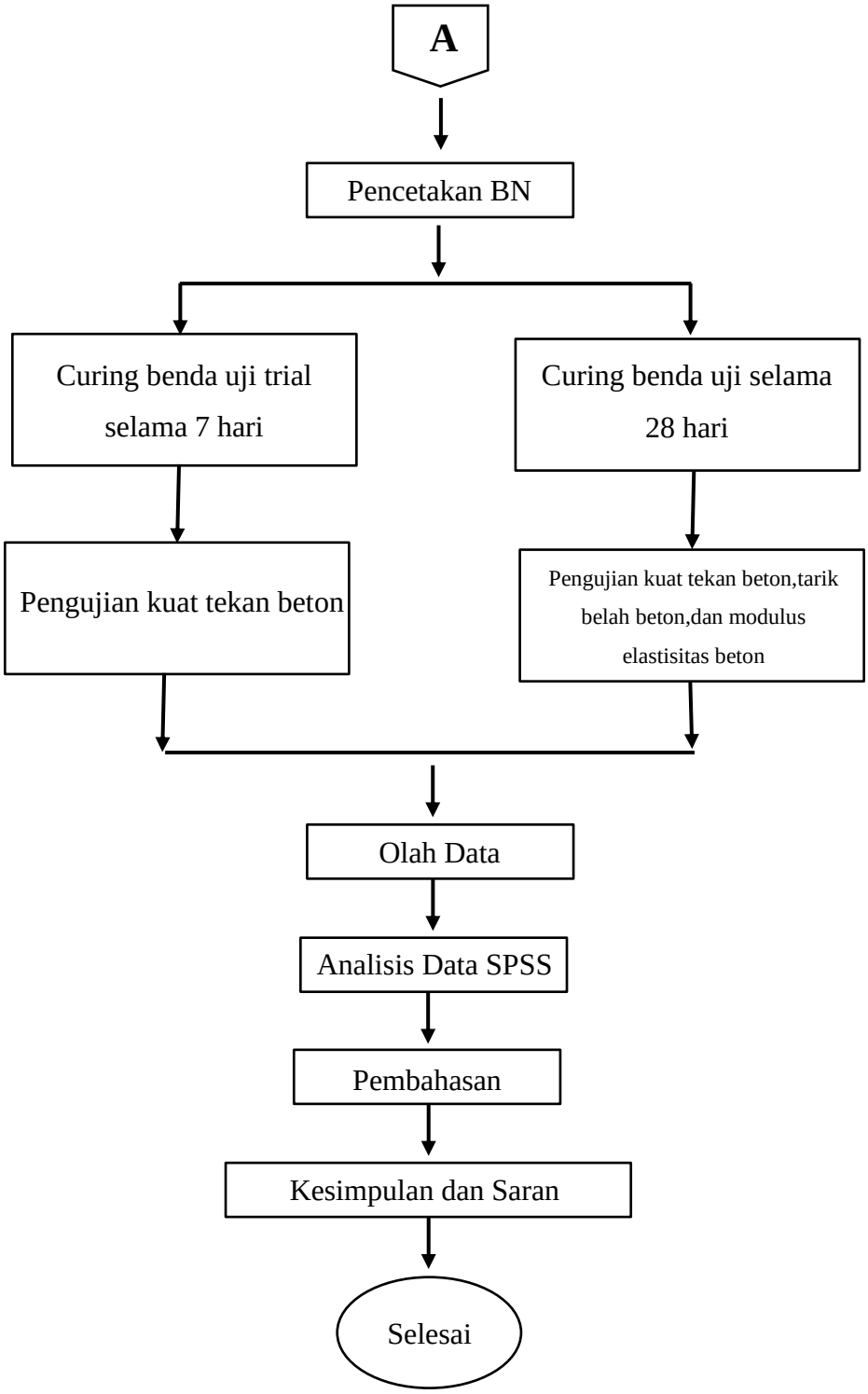
Dengan prosedur ini, analisis statistik memungkinkan peneliti menarik kesimpulan yang valid terkait perbedaan antar variasi beton, sehingga dapat dijadikan dasar untuk pembahasan dan penarikan kesimpulan akhir penelitian.

4.8 Bagan Alir Penelitian

Suatu penelitian ilmiah dilaksanakan dalam sistematika yang jelas dan teratur, sehingga diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan. Dari uraian di atas dapat dibuat bagan alir (*flowchart*). Berikut adalah bagan alir pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Bagian pembahasan dalam suatu penelitian memiliki peranan krusial dalam menjelaskan hasil, melakukan analisis, serta menghubungkannya dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pada bagian ini dipresentasikan temuan dari seluruh tahapan penelitian, mulai dari pengujian material penyusun beton hingga pengujian terhadap benda uji. Data yang diperoleh kemudian diolah, dianalisis, dan ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga dapat dijadikan dasar dalam menghubungkan hasil penelitian dengan sasaran penelitian. Dengan demikian, bagian pembahasan menjadi sarana untuk menampilkan temuan sekaligus memberikan kontribusi penelitian terhadap bidang yang diteliti.

5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton

Pengujian terhadap material penyusun beton dilakukan sebagai dasar sebelum memasuki tahap penelitian selanjutnya. Kegiatan ini mencakup pemeriksaan beberapa parameter, seperti modulus halus butir, berat jenis, daya serap air, berat isi gembur, berat isi padat, serta kadar lumpur pada material. Tujuan dari pengujian tersebut adalah memastikan seluruh material sesuai dengan standar perencanaan, sehingga hasil penelitian dapat sejalan dengan target yang diinginkan. Dengan terjaminnya mutu material beton, penelitian dapat dilanjutkan dengan keyakinan bahwa semua parameter telah memenuhi persyaratan dan standar yang diperlukan guna memperoleh hasil yang optimal.

5.2.1 Agregat Halus

Pengujian agregat halus dilakukan dengan mengacu pada sejumlah parameter, meliputi analisis saringan, penentuan berat jenis dan penyerapan air, pengukuran berat volume dalam kondisi padat maupun gembur, serta pemeriksaan kadar lumpur menggunakan saringan nomor 200. Hasil dari rangkaian pengujian tersebut disajikan secara rinci pada bagian berikutnya.

1. Analisa saringan

   Pengujian analisis saringan pada agregat halus dilakukan mengacu pada standar nasional yang berlaku di Indonesia, yaitu SNI 1968-1990. Sampel yang digunakan berupa agregat halus dengan berat 2000 gram, kemudian diukur massa material yang tertahan pada masing-masing saringan. Adapun saringan yang digunakan memiliki ukuran 10 mm (3/8”), 4,80 mm (No. 4), 2,40 mm (No. 8), 1,20 mm (No. 16), 0,60 mm (No. 30), 0,30 mm (No. 50), 0,15 mm (No. 100), serta pan. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus ditampilkan pada bagian selanjutnya.

   a. Berat tertinggal

   Persentase berat tertinggal $= \frac{berat\ tertinggal\ (gr)}{\sum berat\ tertinggal} \times 100\%$

   Saringan ukuran 4,80 mm $= \frac{0}{2000} \times 100\%$

   $= 0{,}00\%$

   Saringan ukuran 2,40 mm $= \frac{107}{2000} \times 100\%$

   $= 5{,}35\%$

   Saringan ukuran 1,20 mm $= \frac{426}{2000} \times 100\%$

   $= 21{,}30\%$

   Saringan ukuran 0,60 mm $= \frac{603}{2000} \times 100\%$

   $= 30{,}15\%$

   Saringan ukuran 0,30 mm $= \frac{390}{2000} \times 100\%$

   $= 19{,}50\%$

   Saringan ukuran 0,15 mm $= \frac{350}{2000} \times 100\%$

   $= 17{,}50\%$

   Pan $= \frac{124}{2000} \times 100\%$

   $= 6{,}20\%$

b. Berat tertinggal kumulatif

Saringan ukuran 4,80 mm	= 0,00% + 0,00%
	= 0,00%
Saringan ukuran 2,40 mm	= 0,00% + 5,35%
	= 5,35%
Saringan ukuran 1,20 mm	= 5,35% + 21,30%
	= 26,65%
Saringan ukuran 0,60 mm	= 26,65% + 30,15%
	= 56,80%
Saringan ukuran 0,30 mm	= 56,80% + 19,50%
	= 76,30%
Saringan ukuran 0,15 mm	= 76,30% + 17,50%
	= 93,80%
Pan	= 93,80% + 6,20%
	= 100%

c. Persen lolos kumulatif

Saringan ukuran 4,80 mm	= 100% - 0,00%
	= 100%
Saringan ukuran 2,40 mm	= 100% - 5,35%
	= 94,65%
Saringan ukuran 1,20 mm	= 100% - 26,65%
	= 73,35%
Saringan ukuran 0,60 mm	= 100% - 56,80%
	= 43,20%
Saringan ukuran 0,30 mm	= 100% - 76,30%
	= 23,70%
Saringan ukuran 0,15 mm	= 100% - 93,80%
	= 6,20%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh rekapitulasi pengujian analisis saringan agregat halus. Rekapitulasi ini disajikan dalam bentuk tabel serta telah diverifikasi menggunakan program *Excel*. Data lengkap hasil rekapitulasi pengujian ditampilkan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
4,80	0	0	0	100,00
2,40	107	5,35	5,35	94,65
1,20	426	21,30	26,65	73,35
0,60	603	30,15	56,80	43,20
0,30	390	19,50	76,30	23,70
0,15	350	17,50	93,80	6,20
Pan	124	6,20	100,00	0,00
Jumlah	2000	100	258,9	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ berat\ tertinggal\ kumulatif}{100}$$

$$= \frac{258{,}90}{100}$$

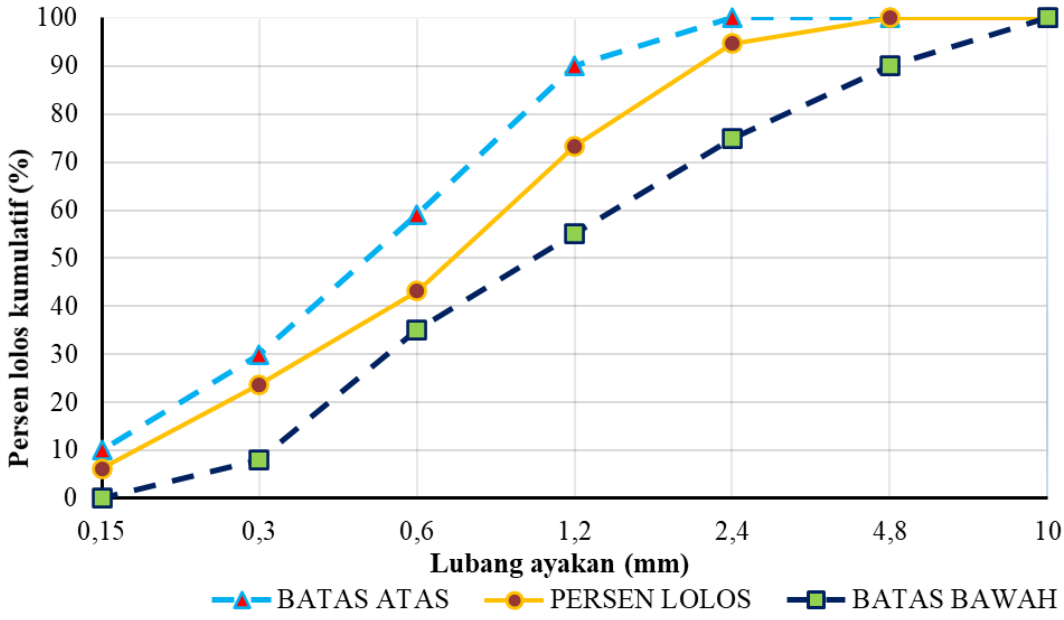
$$= 2{,}589$$

Hasil perhitungan pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir agregat halus adalah 2,589. Mengacu pada SNI 03-1968-1990, nilai tersebut berada pada rentang 2,60–2,90 sehingga termasuk dalam kategori pasir agak kasar. Sementara itu, berdasarkan SNI 03-2834-2000, gradasi agregat halus yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam gradasi daerah II, sesuai dengan hasil perhitungan modulus halus butir. Rincian penentuan gradasi agregat halus tersebut ditampilkan pada Tabel 5.2 dan grafik pada Gambar 5.1.

Tabel 5.2 Batas Daerah Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat lolos ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50

Sumber: SNI 2834 (2000)



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II

2. Berat jenis dan penyerapan air

   Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dilaksanakan berdasarkan acuan SNI 1970-2016. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang lazim digunakan dalam campuran beton. Kedua parameter tersebut berat jenis dan penyerapan air memiliki peran penting dalam konstruksi dan teknik sipil karena berpengaruh terhadap mutu serta karakteristik material. Hasil perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ditampilkan pada Tabel 5.3 berikut.

a. Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

$= \frac{483}{458+500-781}$

$= 2,73$

b. Berat jenis SSD $= \frac{500}{B+500-Bt}$

$= \frac{500}{458+500-781}$

$= 2,82$

c. Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$

$= \frac{483}{458+483-781}$

$= 3,02$

d. Penyerapan air $= \frac{500-Bk}{Bk}$

$= \frac{500-483}{483} \times 100\%$

$= 3,52\%$

Tabel 5.3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak (Bk), gr	483	487	485
Berat kondisi jenuh kering muka (SSD), gr	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gr	781	782	781,5
Berat piknometer berisi air, (B), gr	458	469	463,5
Berat jenis curah	2,73	2,60	2,67
Berat jenis SSD	2,82	2,67	2,75
Berat jenis semu	3,02	2,80	2,91
Penyerapan air	3,52%	2,67%	3,09%

Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa nilai rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat adalah 2,75, sedangkan nilai rata-rata penyerapan airnya sebesar 3,09%. Temuan tersebut dapat ditafsirkan sebagai berikut.

e. Nilai rata-rata berat jenis SSD sebesar 2,75 sedikit berada di atas rentang normal untuk berat jenis agregat menurut Tjokrodimuljo (2007), yaitu antara 2,4 hingga 2,7. Hal ini menunjukkan bahwa agregat tersebut masih tergolong baik dan mendekati batas atas kategori agregat normal.

f. Nilai rata-rata penyerapan air sebesar 3,09% menunjukkan karakteristik penyerapan yang masih dapat diterima sesuai standar agregat untuk digunakan dalam campuran beton.

Dengan berat jenis jenuh kering muka yang berada sangat dekat dengan batas atas rentang normal (2,4–2,7) sebagaimana disampaikan Tjokrodimuljo (2007), maka agregat ini tetap dapat dikategorikan sebagai agregat dengan berat jenis normal.

3. Berat volume padat dan gembur

Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat halus dilaksanakan mengacu pada SNI 4804-1998. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang umumnya digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian memberikan informasi mengenai tingkat kepadatan dan porositas agregat, yang berpengaruh terhadap sifat mekanis serta ketahanan beton. Kedua parameter tersebut berperan penting dalam memahami karakteristik fisik agregat halus yang akan diaplikasikan pada campuran konstruksi. Dengan diperolehnya nilai berat volume gembur dan padat, proses perencanaan campuran beton dapat dilakukan secara lebih tepat dan efisien, sehingga mendukung kinerja serta durabilitas struktur. Rekapitulasi hasil perhitungan pengujian untuk sampel 1 ditampilkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.

a. Berat volume gembur

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 7578 – 5240

= 2338 gr

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

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}5$

= 1656,50 cm^3

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

$= \frac{2338}{1656,50}$

= 1,41 gr/cm^3

b. Berat volume padat

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 8122 – 5240

= 2882 gr

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

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10,4^2 \times 19,5$

= 1656,50 cm^3

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

$= \frac{2882}{1656,50}$

= 1,74 gr/cm^3

Tabel 5.4 Hasil Uji Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	10,40	10,40	10,40
Tinggi silinder (t), cm	19,50	19,50	19,50
Berat tabung (W1), gr	5240	5163	5202
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7578	7677	7628
Berat agregat (W3), gr	2338	2514	2426
Volume tabung (V), cm^3	1656,50	1656,50	1656,50
Berat volume gembur, gr/cm^3	1,41	1,52	1,46

Tabel 5.5 Hasil Uji Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	10,40	10,40	10,40
Tinggi silinder (t), cm	19,50	19,50	19,50
Berat tabung (W1), gr	5240	5163	5202
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	8122	8005	8064
Berat agregat (W3), gr	2882	2842	2862
Volume tabung (V), cm^3	1656,50	1656,50	1656,50
Berat volume padat, gr/cm^3	1,74	1,72	1,73

Dari hasil analisis perhitungan, diketahui bahwa rata-rata berat volume gembur agregat halus adalah 1,46 gr/cm^3, sedangkan rata-rata berat volume padatnya mencapai 1,73 gr/cm^3. Nilai berat volume padat lebih besar dibandingkan berat volume gembur karena dalam proses pengujian dilakukan pemadatan pada setiap sepertiga isi tabung melalui penumbukan, sehingga rongga udara berkurang dan menghasilkan nilai yang lebih tinggi. Berat volume padat agregat halus yang diperoleh masih berada dalam kisaran yang direkomendasikan untuk beton normal, yaitu 1,4 –1,8 gr/cm^3, sehingga dapat dinyatakan memenuhi standar yang berlaku.

4. Pengujian lolos saringan No. 200

Pengujian dengan saringan No. 200 dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur pada agregat halus, sesuai dengan metode yang tercantum dalam SNI 4142-1996. Pengujian ini bertujuan memberikan informasi mengenai persentase kandungan lumpur dalam sampel agregat halus, yang menjadi salah satu parameter penting dalam menilai kualitas serta kelayakan pasir atau agregat halus untuk keperluan konstruksi. Rincian hasil perhitungan dan pengujian yang sesuai dengan persyaratan pada saringan No. 200 ditampilkan pada Tabel 5.6.

Kandungan lumpur $= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$

$= \frac{500-488}{500} \times 100\%$

$= 2{,}40\%$

Tabel 5.6 Hasil Uji Lolos Saringan No. 200

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gr	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah di cuci (W2), gr	488	487	488
Berat yang lolos ayakan No. 200	2,40%	2,60%	2,50%

Berdasarkan hasil pengujian, persentase agregat halus yang lolos saringan No. 200 atau kadar lumpurnya memiliki rata-rata sebesar 2,50%. Mengacu pada standar ASTM C-33 (2003), batas maksimum kadar lumpur yang diperbolehkan pada agregat halus adalah 5%. Dengan demikian, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan memenuhi ketentuan standar tersebut.

5.2.2 Agregat Kasar

Pengujian pada agregat kasar meliputi uji berat jenis dan penyerapan air, analisis saringan, serta uji berat volume. Hasil dari masing-masing pengujian tersebut disajikan sebagai berikut.

1. Analisa saringan

   Pengujian analisis saringan pada agregat kasar dilakukan berdasarkan standar Indonesia, yaitu SNI 1968-1990. Dalam pelaksanaannya, digunakan sampel agregat kasar seberat 5000 gram, kemudian dihitung berat material yang tertahan pada masing-masing saringan. Hasil data pengujian analisis saringan agregat kasar disajikan pada bagian berikut.

   a. Berat tertinggal

   Persentase berat tertinggal $= \frac{berat\ tertinggal\ (gr)}{\sum berat\ tertinggal} \times 100\%$

   Saringan ukuran 40 mm $= \frac{0}{5000} \times 100\%$

   $= 0{,}00\%$

   Saringan ukuran 20 mm $= \frac{75}{5000} \times 100\%$

   $= 1{,}50\%$

   Saringan ukuran 10 mm $= \frac{3060}{5000} \times 100\%$

   $= 61{,}20\%$

Saringan ukuran 4,8 mm $= \frac{1562}{5000} \times 100\%$

$= 31{,}24\%$

Saringan ukuran 2,4 mm $= \frac{166}{5000} \times 100\%$

$= 3{,}32\%$

Saringan ukuran 1,2 mm $= \frac{4}{5000} \times 100\%$

$= 0{,}08\%$

Pan $= \frac{133}{5000} \times 100\%$

$= 2{,}66\%$

b. Berat tertinggal kumulatif

Saringan ukuran 40 mm = 0,00% + 0,00%

= 0,00%

Saringan ukuran 20 mm = 0,00% + 1,5%

= 1,5%

Saringan ukuran 10 mm = 1,5% + 61,2%

= 62,7%

Saringan ukuran 4,8 mm = 62,7% + 31,24%

= 93,94%

Saringan ukuran 2,4 mm = 93,94% + 3,32%

= 97,26%

Saringan ukuran 1,2 mm = 97,26% + 0,08%

= 97,34%

Pan = 97,34% + 2,66%

= 100%

c. Persen lolos kumulatif

Saringan ukuran 40 mm = 100% - 0,00%

= 100%

Saringan ukuran 20 mm = 100% - 1,5%

= 98,5%

Saringan ukuran 10 mm = 100% - 62,7%

= 37,3%

Saringan ukuran 4,8 mm = 100% - 93,94%
= 6,06%
Saringan ukuran 2,4 mm = 100% - 97,26%
= 2,74%
Saringan ukuran 1,2 mm = 100% - 97,34%
= 2,66%
Pan = 100% - 100%
= 0%

Dari hasil analisis yang dilakukan diperoleh rekapitulasi pengujian analisis saringan agregat kasar. Rekapitulasi tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	75	1,5	1,5	98,5
10	3060	61,2	62,7	37,3
4,8	1562	31,24	93,94	6,06
2,4	166	3,32	97,26	2,74
1,2	4	0,08	97,34	2,66
Pan	133	2,66	100,00	0,00
Jumlah	5000	100	644,76	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ berat\ tertinggal\ kumulatif}{100}$$
$$= \frac{644,76}{100}$$
$$= 6,45$$

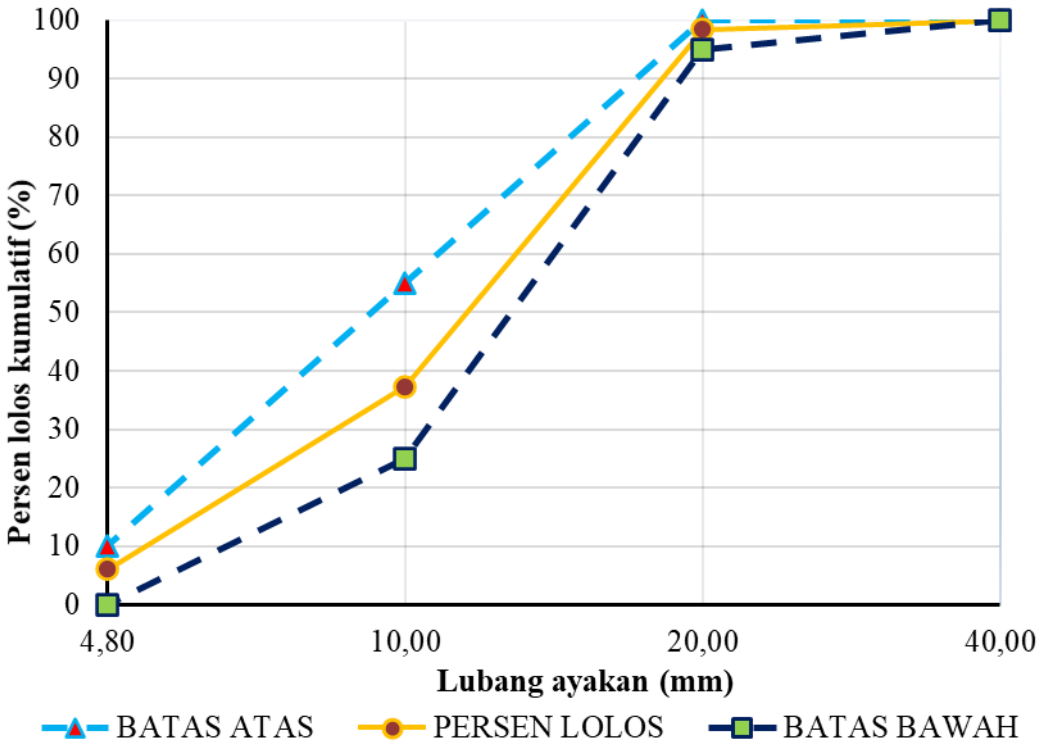
Hasil perhitungan pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir agregat kasar adalah 6,45. Mengacu pada SK SNI S-04-1989-F, rentang nilai

modulus halus butir yang diperbolehkan adalah 5–8, sehingga agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi ketentuan tersebut. Rincian penentuan gradasi agregat kasar ditampilkan pada Tabel 5.8 serta grafik pada Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.8 Batas Daerah Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen butir agregat lolos ayakan / besar butiran maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95 – 100	100
20	30 – 70	95 – 100
10	10 – 35	25 – 55
4,8	0 – 5	0 – 10

Sumber: SNI 2834 (2000)



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

2. Berat jenis dan penyerapan air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dilaksanakan mengacu pada SNI 1969-2016. Tujuan dari pengujian laboratorium ini adalah

untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang lazim digunakan dalam campuran beton. Kedua parameter tersebut berat jenis dan penyerapan air berperan penting dalam konstruksi dan teknik sipil karena memengaruhi mutu serta karakteristik material. Rekapitulasi hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ditampilkan pada Tabel 5.9 berikut.

a. Berat jenis curah $= \frac{Bk}{Bj-Ba}$

$= \frac{4937}{5000-3091}$

$= 2{,}59$

b. Berat jenis SSD $= \frac{Bj}{Bj-Ba}$

$= \frac{5000}{5000-3091}$

$= 2{,}62$

c. Berat jenis semu $= \frac{Bk}{Bk-Ba}$

$= \frac{4937}{4937-3091}$

$= 2{,}67$

d. Penyerapan air $= \frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$

$= \frac{5000-4937}{4937}$

$= 1{,}28\%$

Tabel 5.9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gr	4937	4953	4945
Berat kondisi jenuh kering muka (Bj), gr	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gr	3091	3058	3074,5
Berat jenis curah	2,59	2,55	2,57
Berat jenis SSD	2,62	2,57	2,60
Berat jenis semu	2,67	2,61	2,64
Penyerapan air	1,28%	0,95%	1,11%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, diperoleh bahwa rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat adalah 2,60, sedangkan rata-rata penyerapan airnya sebesar 1,11%. Interpretasi dari hasil tersebut adalah sebagai berikut:

e. Rata-rata berat jenis SSD sebesar 2,60 berada dalam kisaran normal untuk agregat, yaitu antara 2,4 hingga 2,7 sebagaimana dinyatakan oleh Tjokrodimuljo (2007).
f. Rata-rata penyerapan air sebesar 1,11% menunjukkan bahwa sifat penyerapan agregat masih sesuai dengan standar yang berlaku.

Dengan nilai berat jenis SSD yang berada dalam kisaran normal (2,4–2,7) menurut Tjokrodimuljo (2007), dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut termasuk dalam kategori agregat dengan berat jenis normal.

3. Berat volume padat dan gembur

Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang umumnya digunakan dalam campuran beton. Hasil pengujian memberikan gambaran mengenai tingkat kepadatan serta porositas agregat, yang memengaruhi sifat mekanis dan ketahanan beton. Rekapitulasi hasil perhitungan berat volume gembur dan padat untuk sampel 1 ditampilkan pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

a. Berat volume gembur

Berat agregat (W3) = W2 – W1
= 7437 – 5240
= 2197 gr

Volume tabung $= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}5$
= 1656,5 m^3

Berat volume gembur $= \frac{W3}{V}$
$= \frac{2197}{1656{,}5}$
= 1,33 gr/cm^3

b. Berat volume padat

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 7939 – 5240

= 2699 gr

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

$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10{,}4^2 \times 19{,}5$

= 1656,5 m^3

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

$= \frac{2699}{1656{,}5}$

= 1,63 gr/cm^3

Tabel 5.10 Hasil Uji Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	10,40	10,40	10,40
Tinggi silinder (t), cm	19,50	19,50	19,50
Berat tabung (W1), gr	5240	5163	5202
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7437	7330	7384
Berat agregat (W3), gr	2197	2167	2182
Volume tabung (V), cm^3	1656,50	1656,50	1656,50
Berat volume gembur, gr/cm^3	1,33	1,31	1,32

Tabel 5.11 Hasil Uji Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	10,40	10,40	10,40
Tinggi silinder (t), cm	19,50	19,50	19,50
Berat tabung (W1), gr	5240	5163	5202
Berat tabung + agregat kering tungku (W2), gr	7939	7755	7847
Berat agregat (W3), gr	2699	2592	2646
Volume tabung (V), cm^3	1656,50	1656,50	1656,50
Berat volume padat, gr/cm^3	1,63	1,56	1,60

Hasil analisis perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata berat volume gembur agregat kasar adalah 1,32 gr/cm³, sedangkan rata-rata berat volume padatnya sebesar 1,60 gr/cm³. Nilai berat volume padat lebih besar dibandingkan berat volume gembur karena selama pengujian setiap sepertiga isi tabung dipadatkan melalui proses penumbukan, sehingga rongga udara berkurang dan menghasilkan nilai yang lebih tinggi. Berat volume padat agregat kasar yang diperoleh berada dalam kisaran yang direkomendasikan untuk beton normal, yaitu 1,4–1,8 gr/cm³, sehingga dinyatakan memenuhi standar yang berlaku.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton *(mix design)* dilakukan dengan mengacu pada SNI 2847-2000. Hasil perhitungan rancangan campuran beton dijelaskan sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f_c')

   Kuat tekan rencana ditetapkan sebesar 30 MPa.

2. Deviasi standar (S_r)

   Deviasi standar diperoleh berdasarkan pengalaman lapangan sesuai tingkat pengendalian mutu pekerjaan. Pada penelitian ini digunakan nilai deviasi standar sebesar 7 MPa.

3. Nilai tambah (M)

   Nilai tambah dihitung menggunakan rumus :

   Nilai tambah (M) $= 1{,}64 \times S_r$

   $= 1{,}64 \times 7$

   $= 11{,}48$ MPa (dibulatkan 12 Mpa)

4. Kekuatan yang direncanakan (f_{cr}')

   Kekuatan yang direncanakan (f_{cr}') $= f_c' + M$

   $= 30 + 12$

   $= 42$ MPa

5. Jenis semen

   Penelitian ini menggunakan semen PCC merek Tiga Roda.

6. Jenis agregat

   Agregat halus dan kasar yang dipakai berasal dari Gunung Merapi, dengan agregat halus termasuk dalam gradasi zona II dan agregat kasar memiliki ukuran maksimum 20 mm.

7. Penentuan faktor air-semen (FAS)

   Nilai faktor air-semen (FAS) ditentukan berdasarkan Tabel 5.12 serta Gambar 5.3 berikut.

Tabel 5.12 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis semen	Jenis agregat kasar	Kekuatan tekan (MPa)				
		Pada umur (hari)				Bentuk benda uji
		3	7	28	91	
Semen *portland* tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen *portland* tipe II dan V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen *portland* tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

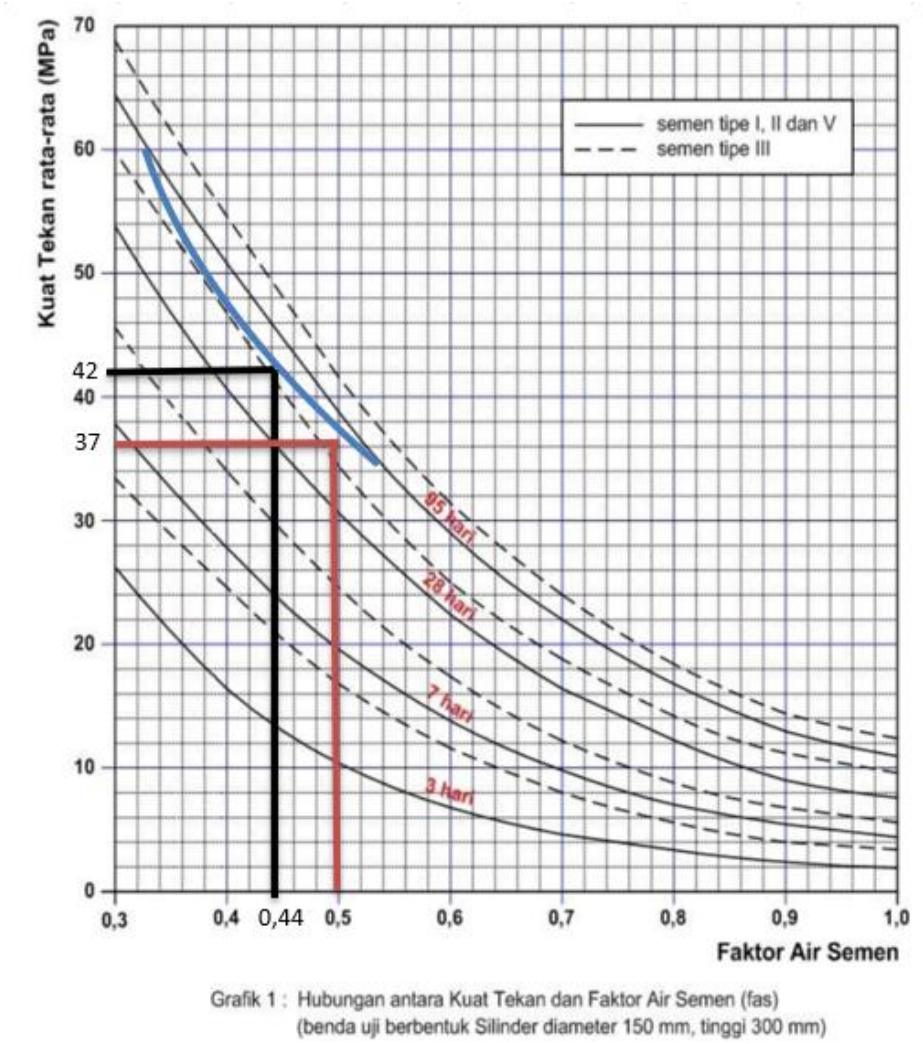
Sumber: SNI 03-2834 (2000)

a. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe I, dengan agregat kasar berupa batu pecah, dan pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Berdasarkan Tabel 5.12, diperoleh perkiraan kuat tekan beton pada FAS 0,5 sebesar 37 MPa.

b. Menggunakan Gambar 5.3, ditarik garis vertikal ke atas dari nilai FAS 0,5 serta garis horizontal ke kanan dari kuat tekan rata-rata 37 MPa yang diperoleh dari Tabel 5.12, sehingga terbentuk titik perpotongan antara kedua garis tersebut.

c. Melalui titik perpotongan pada butir b, dibuat kurva baru.

d. Dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (fcr') sebesar 42 MPa, ditarik garis horizontal ke kanan hingga memotong kurva pada butir c.
e. Dari titik perpotongan pada butir d, ditarik garis vertikal ke bawah, sehingga diperoleh nilai FAS sebesar 0,44.



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

Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

8. Faktor air semen maksimum dan kadar semen minimum

Faktor air-semen maksimum dan kadar semen minimum merupakan dua parameter utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan campuran beton. Kedua parameter tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain target kuat tekan, kondisi lingkungan tempat beton digunakan, serta karakteristik

agregat yang dipakai. Ketentuan mengenai kadar semen minimum dan faktor air-semen maksimum pada beton dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 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 ruang bangunan	Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
	Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan	Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
	terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah	Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
	Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan	Air tawar		
	Air laut		

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Jenis beton yang digunakan adalah beton untuk ruang bangunan dengan kondisi lingkungan tidak korosif. Mengacu pada Tabel 5.13, diperoleh kadar semen minimum sebesar 275 kg/m³ dengan faktor air-semen (FAS) maksimum 0,60.

9. Nilai *slump*

   Nilai *slump* yang dipilih berada pada rentang 60-180 mm.

10. Kadar air yang dibutuhkan

    Kebutuhan kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan

Ukuran maksimum agregat (mm)	Jenis batuan	*Slump* (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

Dari tabel tersebut diperoleh kadar air bebas untuk agregat halus (Wh) sebesar 195 kg/m^3 dan untuk agregat kasar (Wk) sebesar 225 kg/m^3. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kebutuhan total kadar air bebas sebagai berikut.

Kadar air bebas (W) $= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$

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

$= 205$ kg/m^3

11. Kadar semen yang digunakan

Kadar semen yang digunakan (C) $= \frac{kadar\ air\ bebas\ (W)}{FAS}$

$= \frac{205}{0{,}44}$

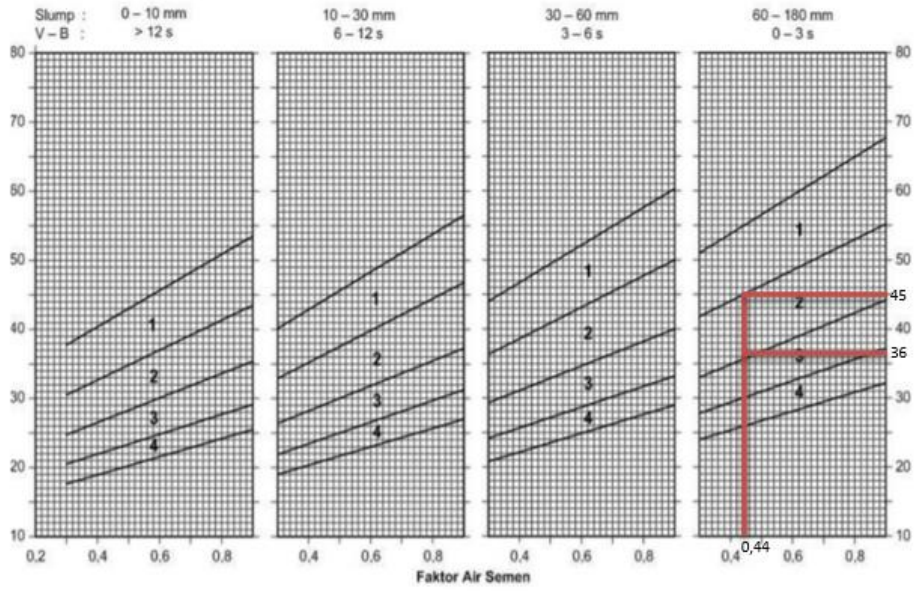
$= 466$ kg/m^3

12. Persen agregat halus dan agregat kasar

Persentase agregat halus ditentukan berdasarkan Gambar 5.4 sebagai berikut.

a. Agregat yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm, dengan slump yang direncanakan berada pada kisaran 60–180 mm, nilai FAS sebesar 0,44, serta agregat halus yang termasuk dalam gradasi II.
b. Dari nilai FAS 0,44, ditarik garis vertikal ke atas hingga memotong dua kurva yang menjadi batas daerah gradasi II.

c. Dari kedua titik potong pada langkah b, kemudian ditarik garis horizontal ke arah kanan, sehingga diperoleh persentase batas bawah sebesar 36% dan batas atas sebesar 45%.



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

Gambar 5.4 Grafik Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Total Agregat untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

d. Nilai persentase agregat halus dihitung sebagai berikut.

$$\%\text{Ag. Halus} = \frac{45\%+36\%}{2}$$
$$= 40{,}50\%$$

e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\%\text{Ag. Kasar} = 100\% - \%\text{Ag. Halus}$$
$$= 100\% - 40{,}50\%$$
$$= 59{,}50\%$$

13. Berat jenis agregat gabungan

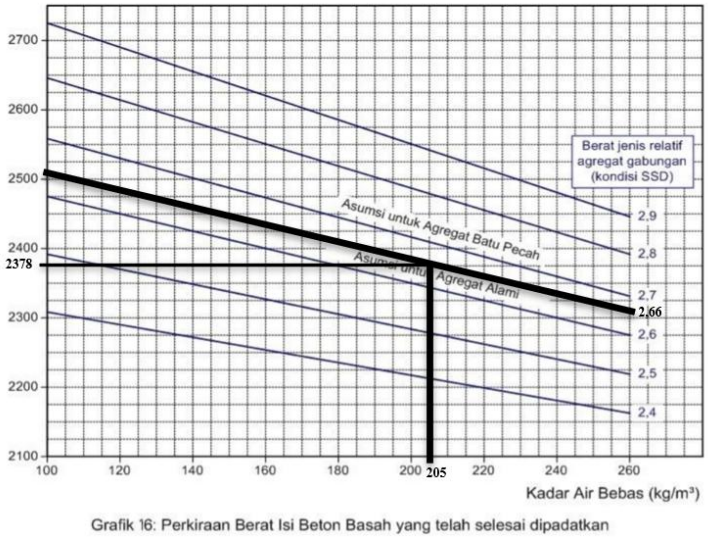
Berat jenis agregat gabungan dihitung sebagai berikut.

$$BJ_{gab.} = (\%\text{Ag. Halus} \times BJ_{Ag.\ Halus}) + (\%\text{Ag. Kasar} \times BJ_{Ag.\ Kasar})$$
$$= (40{,}50\% \times 2{,}75) + (59{,}50\% \times 2{,}60)$$
$$= 2{,}66$$

14. Berat isi beton

    Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.5 sebagai berikut.

    a. Dibuat kurva berdasarkan nilai berat jenis agregat gabungan sebesar 2,66.
    b. Dari kadar air sebesar 205 kg/m³, ditarik garis vertikal ke atas hingga memotong kurva yang telah dibuat pada langkah a.
    c. Dari titik potong pada langkah b, kemudian ditarik garis horizontal ke arah kiri, sehingga diperoleh perkiraan berat isi beton (W beton) sebesar 2378 kg/m³.



Gambar 5.5 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah
(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

15. Kadar agregat gabungan dalam campuran beton

    Kadar agregat gabungan dalam campuran beton dihitung sebagai berikut.

    $W_{Ag.gab}$ $= W_{beton} - C - W$
    $= 2378 - 466 - 205$
    $= 1707 \text{ kg/m}^3$

16. Kadar agregat halus dan agregat kasar

    Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

    a. Agregat halus

    $W_{Ag.\ halus}$ $= \%\text{Ag. Halus} \times W_{Ag.\ gab}$
    $= 40{,}50\% \times 1707$
    $= 691{,}37 \text{ kg/m}^3$

b. Agregat kasar

$W_{Ag.\ kasar} = W_{Ag.\ gab} - W_{Ag.\ halus}$

$=1707 \times 691{,}37$

$= 1015{,}72\ kg/m^3$

17. Proporsi campuran per 1 m^3 beton

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton diperoleh proporsi tiap material per 1 m^3 beton adalah sebagai berikut.

a. Semen (W_c) = 466 kg
b. Air (W) = 205 kg
c. Agregat halus (W_{ah}) = 691,37 kg
d. Agregat kasar (W_{ak}) = 1015,72 kg

18. Volume benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder untuk setiap pengujian. Dimensi benda uji silinder tersebut memiliki diameter (d) 150 mm dan tinggi (t) 300 mm. Perhitungan volume benda uji dilakukan dengan rumus sebagai berikut.

a. Volume 1 silinder

$V_{silinder} = ¼ \times \pi \times d^2 \times t$

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

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

19. Proporsi campuran tiap benda uji

Proporsi campuran untuk setiap benda uji diperoleh dengan mengalikan volume benda uji dengan proporsi campuran beton per 1 m^3. Setelah itu, hasilnya ditambahkan faktor penyusutan sebesar 35%. Adapun perhitungan proporsi campuran tiap benda uji adalah sebagai berikut.

a. Benda uji silinder

1) Berat semen

Berat semen $= W_c \times V_{silinder} + (35\% \times (W_c \times V_{silinder}))$

$= 466 \times 0{,}0053 + (35\% \times (466 \times 0{,}0053))$

$= 3{,}334$ kg

2) Berat air

Berat air $= W \times V_{silinder} + (35\% \times (W \times V_{silinder}))$

$= 205 \times 0{,}0053 + (35\% \times (205 \times 0{,}0053))$

$= 1{,}467$ kg

3) Berat agregat halus

Berat agregat halus $= W_{ah} \times V_{silinder} + (35\% \times (W_{ah} \times V_{silinder}))$

$= 691{,}37 \times 0{,}0053 + (35\% \times (691{,}37 \times 0{,}0053))$

$= 4{,}948$ kg

4) Berat agregat kasar

Berat agregat kasar $= W_{ak} \times V_{silinder} + (35\% \times (W_{ak} \times V_{silinder}))$

$= 1015{,}72 \times 0{,}0053 + (35\% \times (1015{,}72 \times 0{,}0053))$

$= 7{,}269$ kg

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton *(mix design)* dan proporsi campuran yang dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton *(Mix Design)*

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang	30	MPa
2	Standar Deviasi	7	MPa
3	Nilai Tambah/ Margin	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang	42	MPa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar (Kerikil)	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus (Pasir)	Alami	
7	Faktor air semen bebas	0,44	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,44	
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	Kg/m³
12	Kadar semen	466	Kg/m³
13	Kadar semen maksimum	-	Kg/m³
14	Kadar semen minimum	275	Kg/m³
15	Kadar semen digunakan	466	Kg/m³
16	FAS disesuaikan	0,44	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,60	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,75	
19	Persen agregat halus	40,50	%
20	Persen agregat kasar	59,50	%
21	Berat jenis relatif agregat	2,66	
22	Berat isi beton	2378	Kg/m³
23	Kadar agregat gabungan	1707	Kg/m³
24	Kadar agregat halus	691,37	Kg/m³
25	Kadar agregat kasar	1015,72	Kg/m³
26	Kadar semen dengan angka	628,98	Kg/m³
27	Kadar agregat halus dengan	933,35	Kg/m³
28	Kadar agregat kasar dengan	1371,22	Kg/m³
29	Kadar air dengan angka	276,75	Kg/m³

Tabel 5.16 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton

	Semen	Air	Agregat	
			Halus	Kasar
	kg	kg	kg	kg
1 m^3 beton	466	205	691,37	1015,72
1 Silinder	3,334	1,467	4,948	7,269

5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial*

Berdasarkan rancangan campuran yang telah ditetapkan, dilakukan percobaan pembuatan benda uji *trial* guna memverifikasi ketepatan desain campuran. Benda uji yang dibuat berupa 5 silinder, yang sebelum dilakukan pengujian diberi lapisan *capping* untuk meratakan permukaan. Pengujian kuat tekan dilaksanakan pada umur beton 7 hari. Oleh karena itu, dalam perhitungan nilai kuat tekan beton diperlukan pembagian dengan faktor konversi umur uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton *trial* adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton *trial* umur 7 hari

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

$= \frac{465110}{17671{,}459}$

$= 26{,}320$ MPa

$f'_{c\ terkonversi} = f'_{c\ aktual} \times \frac{1}{angka\ konversi}$

$= 26{,}320 \times \frac{1}{0{,}65}$

$= 40{,}49$ MPa

Dengan metode yang sama, perhitungan kuat tekan beton juga dilakukan pada sampel-sampel lainnya. Hasil rekapitulasi uji kuat tekan beton *trial* dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Trial*

No	Kode	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang	Mutu Rencana	Beban Maks	Mutu Umur 7 Hari	Angka Konversi	Konversi Umur 28 Hari	Rata-rata
		Tinggi	Diameter							
		mm	mm	mm²	MPa	Kn	MPa		MPa	MPa
1	BT-1	300	150	17671,459	30	465,11	26,320	0,65	40,49	33,35
2	BT-2	303	152	18241,469	30	380,04	21,506	0,65	33,09	
3	BT-3	300	151	17979,091	30	354,77	20,076	0,65	30,89	
4	BT-4	299	151	17955,333	30	400,15	22,644	0,65	34,84	
5	BT-5	301	150	17742,215	30	315,02	17,827	0,65	27,43	

Berdasarkan Tabel 5.17, terlihat bahwa nilai rata-rata kuat tekan beton pada benda uji *trial* mencapai 33,35 MPa, sehingga telah memenuhi target mutu rencana sebesar 30 MPa.

5.5 Hasil Pengujian *Slump*

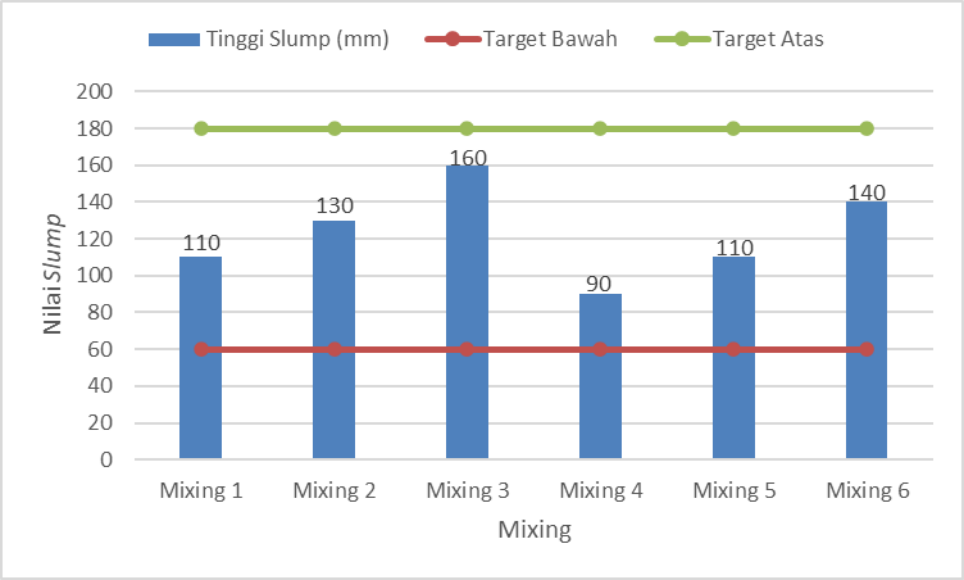
Pengujian *slump* dilakukan untuk menilai *workability* atau kemudahan pengerjaan campuran beton. Nilai *slump* yang tinggi menunjukkan tekstur beton lebih cair dan mudah ditangani, sedangkan slump rendah menandakan beton lebih kental dan sulit dikerjakan. Beton yang ideal adalah beton yang mudah dikerjakan sekaligus stabil, tanpa terjadi pemisahan agregat dan campuran (segregasi) maupun keluarnya air dari campuran *(bleeding).* Pada penelitian ini, proses pencampuran dilakukan sebanyak 6 kali, dengan masing-masing kali *mixing* diambil 5 sampel silinder. Hasil pengujian *slump* yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Keterangan	Tinggi *Slump* (mm)	Syarat Nilai *Slump* (60-180 mm)
Mixing 1	110	Memenuhi
Mixing 2	130	Memenuhi
Mixing 3	160	Memenuhi
Mixing 4	90	Memenuhi
Mixing 5	110	Memenuhi
Mixing 6	140	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.18, nilai *slump* pada setiap proses pencampuran telah memenuhi batas yang dipersyaratkan, yaitu berada pada rentang 60–180 mm sesuai

SNI 2834:2000. Meskipun demikian, terdapat variasi nilai *slump* antar *mixing* yang menunjukkan perbedaan tingkat kelecakan beton segar. Untuk memperjelas kecenderungan dan perbandingan nilai slump pada setiap pencampuran, hasil tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik nilai *slump*.



Gambar 5.6 Gambar Grafik Nilai Slump

Kondisi ini sejalan dengan temuan Mallisa (2008) yang menyatakan bahwa semakin lama proses pengadukan, nilai *slump* beton cenderung mengalami penurunan. Pada penelitian tersebut, beton yang diaduk selama 2 menit menghasilkan nilai *slump* sebesar 125 mm, sedangkan pada durasi 32 menit nilai slump menurun hingga 45 mm. Grafik nilai slump menunjukkan adanya fluktuasi antar proses pencampuran yang mencerminkan perbedaan kelecakan beton segar akibat variasi durasi pengadukan dan kondisi *mixer*. Meskipun demikian, seluruh nilai slump pada grafik masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan untuk keperluan pengecoran. Dokumentasi pengukuran *slump* pada salah satu proses pencampuran, yaitu *mixing* ke-1, ditampilkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Pengujian *Slump*

5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pengujian berat volume beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder setelah melalui proses perawatan selama 28 hari. Benda uji tersebut terlebih dahulu ditimbang untuk mengetahui massanya, kemudian diukur dimensinya guna menghitung volume beton. Pemeriksaan ini dilakukan sebelum pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas, dengan tujuan untuk menentukan perbandingan antara berat dan volume beton. Berikut disajikan contoh perhitungan hasil pemeriksaan berat volume beton untuk setiap sampel pada masing-masing variasi.

1. Perendaman $= \frac{W}{V}$

$$= \frac{12{,}430}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}150^2 \times 0{,}298}$$

$= 2366{,}690$ kg/m³

2. *Compound* $= \frac{W}{V}$

$$= \frac{12{,}015}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}150^2 \times 0{,}300}$$

$= 2270{,}908$ kg/m³

3. *Plastic Sheeting* $= \frac{W}{V}$

$$= \frac{12{,}465}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}150^2 \times 0{,}300}$$

$$= 2353{,}603 \text{ kg/m}^3$$

4. Penyiraman $= \frac{W}{V}$

$$= \frac{12{,}465}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}150^2 \times 0{,}301}$$

$$= 2346{,}556 \text{ kg/m}^3$$

5. Karung Basah $= \frac{W}{V}$

$$= \frac{12{,}685}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0{,}150^2 \times 0{,}301}$$

$$= 2397{,}552 \text{ kg/m}^3$$

Tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan berat volume beton untuk seluruh sampel yang telah diuji. Hasil dari perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk rekapitulasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

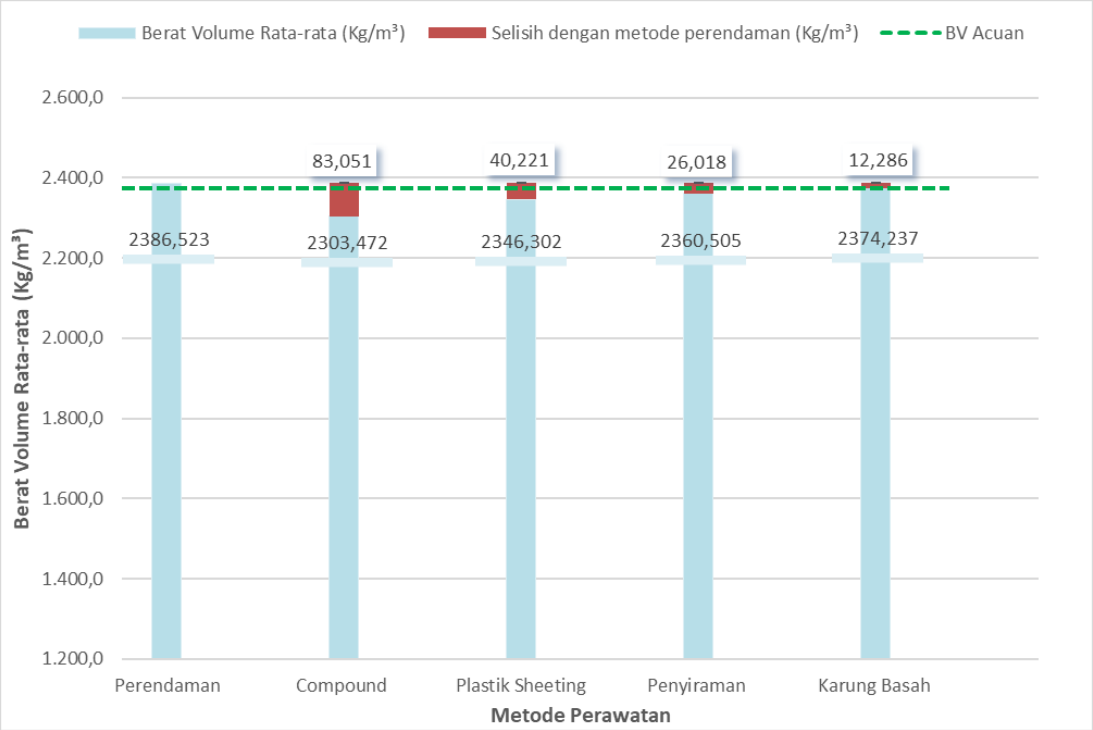
Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume Rata-rata
			m	m	m^3	Kg	Kg/m^3	Kg/m^3
Perendaman	28 Hari	S1-R	0,150	0,298	0,00525	12,430	2366,690	2386,523
		S2-R	0,150	0,300	0,00530	12,396	2338,234	
		S3-R	0,150	0,301	0,00529	12,595	2381,348	
		S4-R	0,150	0,301	0,00531	12,750	2401,006	
		S5-R	0,150	0,300	0,00530	12,810	2416,326	
		S6-R	0,150	0,301	0,00530	12,810	2415,536	
Compound		S1-C	0,150	0,300	0,00529	12,015	2270,908	2303,472
		S2-C	0,150	0,300	0,00529	12,270	2320,658	
		S3-C	0,150	0,300	0,00530	12,095	2282,980	
		S4-C	0,150	0,300	0,00530	12,440	2344,970	
		S5-C	0,150	0,300	0,00531	12,165	2291,605	
		S6-C	0,150	0,300	0,00531	12,255	2309,712	
Plastic Sheeting		S1-P	0,150	0,300	0,00530	12,465	2353,603	2346,302
		S2-P	0,150	0,300	0,00530	12,460	2350,306	
		S3-P	0,150	0,300	0,00531	12,530	2360,363	
		S4-P	0,150	0,300	0,00530	12,446	2350,015	
		S5-P	0,150	0,300	0,00530	12,275	2315,410	
		S6-P	0,150	0,300	0,00531	12,465	2348,118	
Penyiraman		S1-S	0,150	0,301	0,00531	12,465	2346,556	2360,505
		S2-S	0,150	0,299	0,00528	12,645	2393,179	
		S3-S	0,150	0,300	0,00530	12,485	2355,022	
		S4-S	0,150	0,301	0,00531	12,450	2343,732	
		S5-S	0,150	0,299	0,00528	12,520	2369,522	
		S6-S	0,150	0,300	0,00530	12,485	2355,022	
Karung Basah		S1-K	0,150	0,301	0,00529	12,685	2397,552	2374,237
		S2-K	0,150	0,301	0,00531	12,575	2368,051	
		S3-K	0,150	0,300	0,00529	12,680	2398,195	
		S4-K	0,150	0,301	0,00529	12,630	2387,157	
		S5-K	0,150	0,300	0,00530	12,495	2356,908	
		S6-K	0,150	0,301	0,00530	12,380	2337,559	

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada tabel di atas, diketahui bahwa nilai rata-rata berat volume beton (kg/m^3) untuk masing-masing variasi perawatan adalah sebagai berikut.

1. Berat volume rata-rata metode perendaman = 2386,523 Kg/m^3
2. Berat volume rata-rata metode *compound* = 2303,472 Kg/m^3
3. Berat volume rata-rata metode *plastic sheeting* = 2346,302 Kg/m^3
4. Berat volume rata-rata metode penyiraman = 2360,505 Kg/m^3
5. Berat volume rata-rata metode karung basah = 2374,237 Kg/m^3

Berdasarkan nilai rata-rata berat volume beton dari setiap metode perawatan, dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara berat volume dan metode perawatan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Hubungan Antara Berat Volume dengan Metode Perawatan

Dari Gambar 5.8 di atas, tampak adanya perbedaan nilai berat volume beton antara metode perawatan *curing compound*, *plastic sheeting*, penyiraman, dan karung basah jika dibandingkan dengan beton kontrol yang dirawat melalui metode perendaman. Nilai berat volume pada grafik tersebut disajikan dalam satuan kg/m³ sebagai representasi massa jenis beton hasil masing-masing metode perawatan. Untuk mempermudah analisis perbandingan antar variasi, selanjutnya dilakukan perhitungan persentase selisih berat volume terhadap metode perendaman sebagai acuan, sehingga perbedaan kinerja tiap metode dapat dievaluasi secara relatif dan lebih mudah diinterpretasikan.

1. *Compound* $= \frac{Wc\ perendaman - Wc\ compound}{Wc\ perendaman}\ x\ 100$

$= \frac{2386{,}523 - 2303{,}472}{2386{,}523}\ x\ 100$

$= 3{,}48\ \%$

Perhitungan yang sama kemudian dilakukan untuk variasi perawatan lainnya. Hasil perhitungan persentase selisih berat volume antara setiap variasi perawatan dengan metode perendaman disajikan pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Persentase Selisih Berat Volume untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman

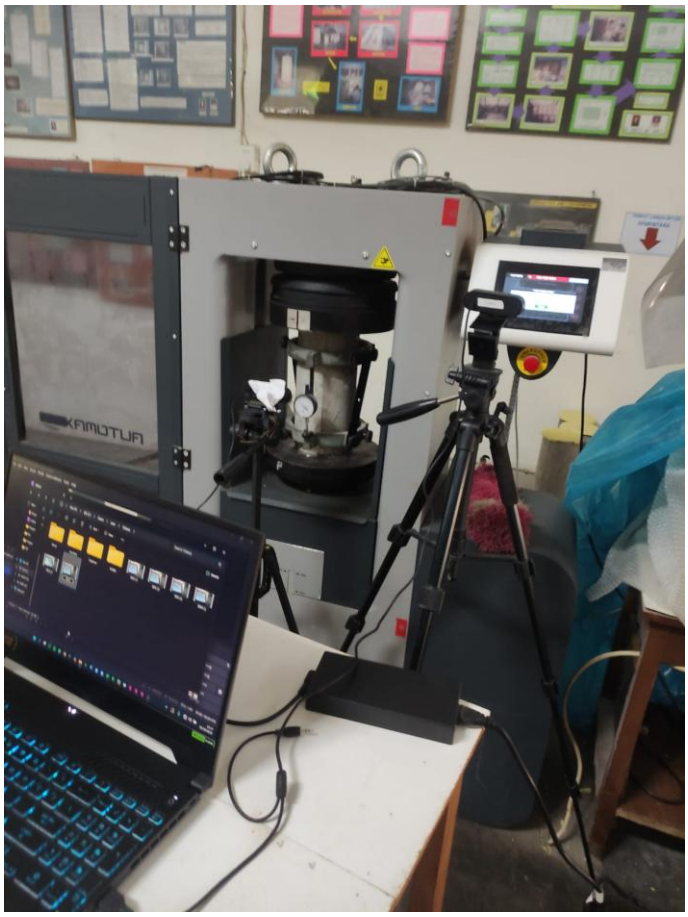
No	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Berat Volume (%)
1	Perendaman	0
2	*Compound*	3,48
3	*Plastic Sheeting*	1,69
4	Penyiraman	1,09
5	Karung Basah	0,51

Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh variasi kadar air yang terdapat dalam beton. Metode perendaman menunjukkan hasil terbaik karena mampu menjaga kelembapan beton secara terus menerus, sehingga proses hidrasi berlangsung sempurna. Sebaliknya, metode *curing compound* dan *plastic sheeting* menghasilkan nilai berat volume yang lebih rendah karena efektivitasnya dalam mempertahankan kelembapan tidak seoptimal perendaman. Adapun metode penyiraman dan karung basah menunjukkan hasil yang cukup baik, dengan selisih yang relatif kecil terhadap metode perendaman, yaitu masing-masing sebesar 1,09% dan 0,51%.

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023), yang menyatakan bahwa metode perawatan perendaman menghasilkan berat volume beton paling tinggi karena proses hidrasi berlangsung sempurna akibat kelembapan yang terjaga secara konstan. Selanjutnya, metode karung goni menunjukkan nilai berat volume beton yang lebih rendah dibanding perendaman, diikuti oleh metode penyemprotan *curing compound* yang memiliki selisih terbesar terhadap perendaman. Temuan tersebut memperkuat bahwa semakin baik metode perawatan dalam mempertahankan kadar air pada beton, maka semakin besar pula berat volume beton yang dihasilkan.

5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah tahap pemeriksaan berat volume beton. Tujuan pengujian ini adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan beton berdasarkan beban yang diberikan oleh mesin uji tekan (*compression machine*). Sebelum proses pengujian, permukaan atas benda uji dilapisi dengan *capping* untuk meratakan permukaan, sehingga beban dapat terdistribusi secara merata ke seluruh area sampel. Dengan distribusi beban yang merata, hasil pengujian diharapkan lebih akurat. Pembebanan dilakukan secara bertahap dan konstan hingga beton menunjukkan retakan (*crack*), yang menandakan bahwa benda uji telah mencapai batas kemampuan menahan beban. Retakan tersebut ditandai dengan turunnya jarum dial beban hingga kembali ke angka nol, menunjukkan bahwa beton telah gagal menahan tekanan. Dokumentasi proses pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas ditampilkan pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan dilakukan terhadap tiga sampel silinder untuk setiap variasi perawatan, sehingga total keseluruhan sampel yang diuji sebanyak 15 buah. Nilai kuat tekan yang diperoleh berfungsi sebagai indikator mutu beton, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan beton yang baik dalam menahan beban struktural. Sebaliknya, nilai kuat tekan yang rendah dapat menunjukkan perlunya evaluasi terhadap komposisi material, proses pencampuran, maupun metode perawatan yang digunakan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh metode perawatan terhadap kekuatan beton, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan perancangan beton yang lebih kuat dan tahan lama. Contoh perhitungan kuat tekan untuk masing-masing variasi ditunjukkan berikut ini.

1. Perendaman $= \frac{P\ (N)}{A\ (mm^2)}$

$= \frac{498{,}153}{\frac{1}{4} \times \pi \times 149{,}8^2}$

$= \frac{498{,}153}{17624{,}366}$

$= 28{,}27$ MPa

2. *Compound* $= \frac{P\ (N)}{A\ (mm^2)}$

$= \frac{421{,}000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 149{,}8^2}$

$= \frac{421{,}000}{17624{,}366}$

$= 23{,}82$ MPa

3. *Plastic Sheeting* $= \frac{P\ (N)}{A\ (mm^2)}$

$= \frac{445{,}810}{\frac{1}{4} \times \pi \times 150{,}0^2}$

$= \frac{445{,}810}{17671{,}459}$

$= 25{,}23$ MPa

4. Penyiraman $= \frac{P\ (N)}{A\ (mm^2)}$

$$= \frac{388{,}580}{\frac{1}{4} \times \pi \times 150{,}0^2}$$

$$= \frac{388{,}580}{17671{,}459}$$

= 21,99 MPa

5. Karung Basah $= \frac{P\ (N)}{A\ (mm^2)}$

$$= \frac{488{,}410}{\frac{1}{4} \times \pi \times 149{,}7^2}$$

$$= \frac{488{,}410}{17600{,}844}$$

= 27,64 MPa

Dengan menggunakan metode perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya, dilakukan pula perhitungan kuat tekan beton untuk setiap sampel yang diuji. Hasil perhitungan tersebut kemudian direkap dan disajikan pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

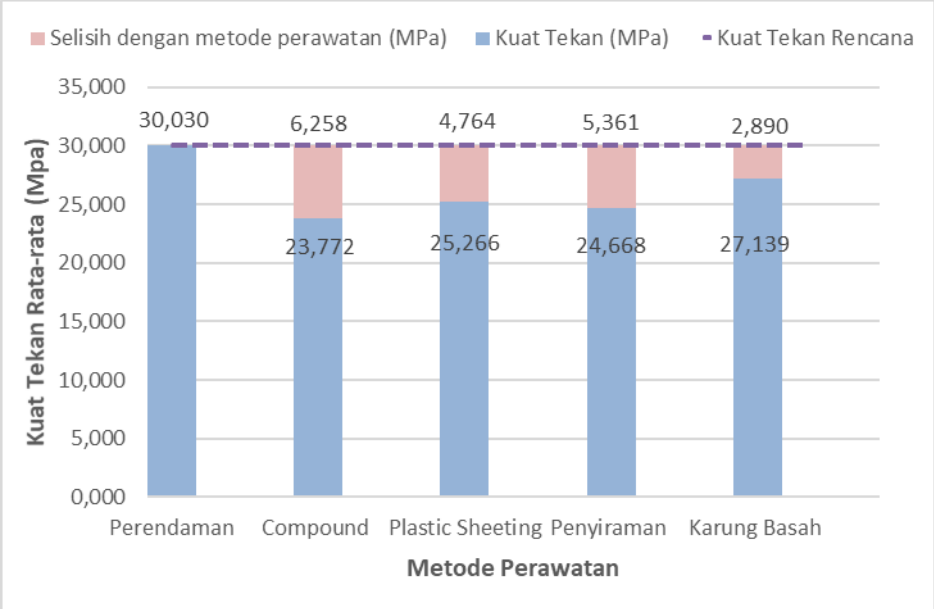
Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maks	Kuat Tekan	Rata-rata
			mm	mm	mm²	Kn	MPa	MPa
Perendaman	28 Hari	S1-R	149,800	298,000	17624,366	498,153	28,27	30,030
		S2-R	150,000	300,000	17671,459	568,968	32,20	
		S3-R	149,600	300,900	17577,337	520,764	29,63	
Compound		S1-C	149,800	300,200	17624,366	421,000	23,82	23,772
		S2-C	149,700	300,400	17600,844	405,850	23,00	
		S3-C	149,900	300,200	17647,905	432,880	24,50	
Plastic Sheeting		S1-P	150,000	299,700	17671,459	445,810	25,23	25,266
		S2-P	150,000	300,000	17671,459	475,150	26,89	
		S3-P	150,000	300,400	17671,459	418,480	23,68	
Penyiraman		S1-S	150,000	300,600	17671,459	388,580	21,99	24,668
		S2-S	150,000	299,000	17671,459	456,950	25,86	
		S3-S	150,000	300,000	17671,459	462,240	26,16	
Karung Basah		S1-K	149,700	300,600	17600,844	488,410	27,64	27,139
		S2-K	150,000	300,500	17671,459	542,380	30,69	
		S3-K	149,800	300,000	17624,366	407,980	23,09	

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada tabel di atas, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton (MPa) untuk masing-masing variasi metode perawatan sebagai berikut.

1. Kuat tekan rata-rata metode perendaman = 30,030 MPa
2. Kuat tekan rata-rata metode *compound* = 23,772 MPa
3. Kuat tekan rata-rata metode *plastic sheeting* = 25,266 MPa

4. Kuat tekan rata-rata metode penyiraman = 24,668 MPa
5. Kuat tekan rata-rata metode karung basah = 27,139 MPa

Berdasarkan nilai rata-rata kuat tekan beton dari setiap metode perawatan, dapat dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kuat tekan beton dan metode perawatan. Grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Pada Tiap Metode Perawatan

Berdasarkan Gambar 5.10 di atas, terlihat adanya variasi nilai kuat tekan beton pada setiap metode perawatan yang digunakan. Beton dengan metode perendaman yang berfungsi sebagai kontrol menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan metode lainnya. Sementara itu, beton yang dirawat menggunakan *curing compound*, *plastic sheeting*, penyiraman, dan karung basah menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dengan selisih yang bervariasi terhadap beton kontrol.

Pada grafik tersebut, selisih kuat tekan antar variasi ditunjukkan dalam satuan MPa, yang merepresentasikan selisih absolut nilai kuat tekan masing-masing metode perawatan terhadap metode perendaman sebagai acuan. Penyajian dalam satuan MPa dimaksudkan untuk memperlihatkan besarnya penurunan kekuatan beton secara nyata dan langsung.

Selanjutnya, selisih kuat tekan yang sama dihitung kembali dalam bentuk persentase terhadap metode perendaman, untuk menunjukkan selisih relatif kinerja masing-masing metode *curing*. Perhitungan dalam persen digunakan agar perbandingan antar variasi menjadi lebih proporsional dan mudah diinterpretasikan, terutama ketika digunakan sebagai dasar evaluasi efektivitas metode perawatan beton.

Adapun contoh perhitungan persentase selisih kuat tekan antara metode *curing compound, plastic sheeting*, penyiraman, dan karung basah terhadap metode perendaman disajikan pada perhitungan berikut.

1. *Compound* $= \frac{F'c\ perendaman - F'c\ compound}{F'c\ perendaman}\ x\ 100$

$= \frac{30{,}030 - 23{,}772}{30{,}030}\ x\ 100$

$= 20{,}84\ \%$

Perhitungan yang sama kemudian dilakukan untuk variasi metode perawatan lainnya. Hasil perhitungan persentase selisih kuat tekan antara setiap variasi perawatan dengan metode perendaman disajikan pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5.22 Persentase Selisih Kuat Tekan untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman

No	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan (%)
1	Perendaman	0
2	*Compound*	20,84
3	*Plastic Sheeting*	15,86
4	Penyiraman	17,85
5	Karung Basah	9,62

Metode perendaman digunakan sebagai metode acuan (kontrol) dengan persentase selisih kuat tekan 0%, karena dianggap sebagai metode standar dalam menjaga kelembapan dan kekuatan beton secara optimal. Metode ini banyak digunakan pada pengujian laboratorium karena mampu memastikan proses hidrasi berlangsung sempurna dengan menjaga kadar air beton secara konstan. Hasil kuat

tekan beton untuk metode ini mencapai 30,030 MPa, yang sesuai dengan mutu rencana 30 MPa.

Sementara itu, metode *curing compound* menunjukkan penurunan kuat tekan sebesar 20,84%, dengan nilai kuat tekan 23,772 MPa. Penurunan ini terjadi karena lapisan pelindung yang dibentuk oleh *curing compound* hanya menghambat penguapan air pada permukaan beton, tanpa menambah kelembapan tambahan dari luar. Kondisi ini menyebabkan proses hidrasi semen tidak berlangsung secara optimal. Meskipun demikian, metode ini tetap efektif digunakan pada proyek dengan keterbatasan sumber air atau pada pekerjaan di lapangan terbuka, seperti jalan raya atau jembatan, karena penerapannya praktis dan efisien.

Metode *plastic sheeting* menunjukkan penurunan kuat tekan sebesar 15,86%, dengan nilai kuat tekan 25,266 MPa. Perawatan menggunakan lembaran plastik bekerja dengan menutup rapat permukaan beton sehingga mampu menghambat penguapan air secara langsung. Efektivitas metode ini cukup baik selama penutupan dilakukan secara rapat tanpa celah udara, sehingga kelembapan beton dapat dipertahankan lebih stabil dibandingkan *curing compound*, meskipun masih berada di bawah metode perendaman.

Selanjutnya, metode penyiraman menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 24,668 MPa atau mengalami penurunan sebesar 17,85% dibandingkan metode kontrol. Penurunan ini disebabkan oleh penyiraman yang tidak mampu menjaga kelembapan beton secara konsisten, terutama pada kondisi lingkungan terbuka dengan suhu tinggi yang mempercepat penguapan air dari permukaan beton. Hasil ini sejalan dengan penelitian Evert dan Kushartomo (2024) serta Fernando dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa metode penyiraman menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan perendaman akibat keterbatasan kontrol kelembapan.

Adapun metode karung basah menunjukkan hasil paling mendekati metode kontrol, dengan kuat tekan sebesar 27,139 MPa atau penurunan 9,62%. Hal ini menunjukkan bahwa karung basah mampu menjaga kelembapan permukaan beton secara efektif melalui kontak langsung antara karung lembap dan permukaan beton, sehingga proses hidrasi tetap berlangsung relatif optimal.

Jika dikaitkan dengan hasil pengujian berat volume beton pada pengujian sebelumnya, metode dengan kemampuan menjaga kelembapan yang lebih baik cenderung menghasilkan beton dengan berat volume yang lebih tinggi. Namun, urutan berat volume tidak sepenuhnya sama dengan urutan kuat tekan, yang menunjukkan bahwa berat volume hanya merepresentasikan tingkat kepadatan beton, sedangkan kuat tekan lebih dipengaruhi oleh kualitas hidrasi dan pembentukan struktur mikro beton. Dengan demikian, beton dengan berat volume yang relatif tinggi belum tentu menghasilkan kuat tekan tertinggi apabila proses hidrasi tidak berlangsung secara optimal dan merata.

Secara keseluruhan, urutan efektivitas metode perawatan terhadap pencapaian kuat tekan beton dari yang terbaik hingga terendah adalah perendaman > karung basah > *plastic sheeting* > penyiraman > *curing compound*. Hasil ini memperlihatkan bahwa semakin baik metode *curing* dalam mempertahankan kelembapan beton selama proses pengerasan, semakin tinggi pula nilai kuat tekan yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan metode perawatan beton harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan, ketersediaan air, serta jenis pekerjaan konstruksi agar mutu beton dapat tercapai secara optimal.

5.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder setelah mencapai umur 28 hari, bersamaan dengan waktu pelaksanaan uji kuat tekan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan beton dalam kembali ke bentuk semula setelah menerima beban dan kemudian dilepaskan, sehingga mencerminkan sifat elastisitas material tersebut.

Sebelum pengujian dilakukan, benda uji terlebih dahulu diberikan beban awal *(pre-load)* dengan besar yang cukup untuk menstabilkan posisi tanpa menimbulkan kerusakan pada beton. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem pengujian, termasuk peralatan dan benda uji, telah berada dalam kondisi stabil dan sesuai dengan standar yang berlaku. Setelah tahap ini, beban diberikan secara bertahap dengan laju peningkatan tertentu hingga mencapai batas beban yang ditetapkan atau sampai beton mulai menunjukkan tanda-tanda deformasi permanen.

Proses pemasangan alat uji deformasi pengujian modulus elastisitas beton dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Pemasangan Alat Uji Deformasi Modulus Elastisitas Pada Sampel

Untuk setiap variasi metode perawatan, pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada tiga sampel silinder, sehingga total keseluruhan benda uji yang digunakan dalam pengujian ini berjumlah 15 silinder. Nilai modulus elastisitas dihitung berdasarkan hubungan antara tegangan dan regangan yang diperoleh dari hasil pengujian. Nilai ini menunjukkan tingkat kekakuan beton, di mana semakin besar nilai modulus elastisitasnya, maka beton semakin kaku dan mengalami deformasi yang lebih kecil ketika menerima beban.

Hasil pengujian ini memberikan informasi penting mengenai perilaku struktural beton, khususnya dalam aplikasi pada elemen-elemen konstruksi yang menerima beban jangka panjang. Beton dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi umumnya lebih disukai karena mampu memberikan kekakuan optimal dan meminimalkan perubahan bentuk. Pengujian modulus elastisitas ini dilaksanakan bersamaan dengan uji kuat tekan beton sesuai dengan ketentuan ASTM C-469-1994. Adapun contoh perhitungan nilai tegangan dan regangan untuk masing-masing metode perawatan disajikan pada pembahasan berikutnya.

1. Perendaman

   a. ΔL $= \frac{\Delta L'}{2}\ x\ 10^{-3}$

   $= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$

= 0,0015 mm

b. Regangan $= \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,0015}{200}$

= 0,0000075

c. Tegangan $= \frac{P}{A}$

$= \frac{10000}{17600,844}$

= 0,57 MPa

2. *Compound*

a. ΔL $= \frac{\Delta L'}{2}\ x\ 10^{-3}$

$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$

= 0,0015 mm

b. Regangan $= \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,0015}{200}$

= 0,0000075

c. Tegangan $= \frac{P}{A}$

$= \frac{10000}{17600,844}$

= 0,57 MPa

3. *Plastic Sheeting*

a. ΔL $= \frac{\Delta L'}{2}\ x\ 10^{-3}$

$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$

= 0,0015 mm

b. Regangan $= \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,0015}{200}$

= 0,0000075

c. Tegangan $= \frac{P}{A}$

$= \frac{10000}{17600,844}$

= 0,57 MPa

4. Penyiraman

a. ΔL $= \frac{\Delta L'}{2}\ x\ 10^{-3}$

$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$

= 0,0015 mm

b. Regangan $= \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,0015}{200}$

= 0,0000075

c. Tegangan $= \frac{P}{A}$

$= \frac{10000}{17600,844}$

= 0,57 MPa

5. Karung Basah

a. ΔL $= \frac{\Delta L'}{2}\ x\ 10^{-3}$

$= \frac{3}{2}\ x\ 10^{-3}$

= 0,0015 mm

b. Regangan $= \frac{\Delta L}{Lo}$

$= \frac{0,0015}{200}$

= 0,0000075

c. Tegangan $= \frac{P}{A}$

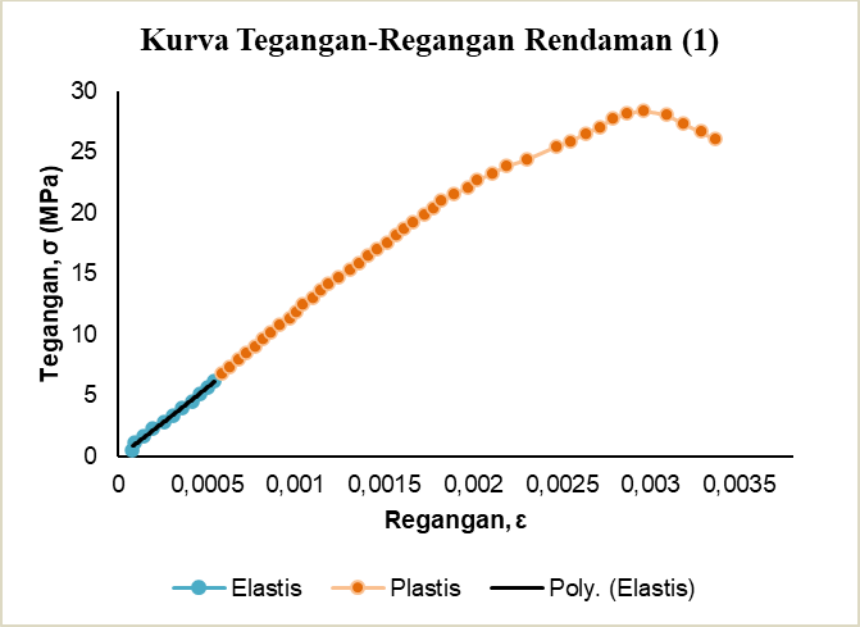
$= \frac{10000}{17600,844}$

= 0,57 MPa

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai tegangan dan regangan beton untuk setiap sampel uji berdasarkan data hasil pengujian yang telah diperoleh. Data hasil perhitungan tersebut disajikan secara lengkap pada lampiran, sedangkan pada bagian pembahasan ini ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan tegangan–regangan sebagai dasar analisis perilaku elastis beton.

Untuk mempermudah interpretasi dan menghindari pengulangan penyajian grafik, grafik hubungan tegangan–regangan yang ditampilkan hanya ditunjukkan pada satu contoh representatif, yaitu beton dengan metode perawatan perendaman sebagai metode kontrol. Grafik ini digunakan untuk menggambarkan respons mekanis beton terhadap pembebanan secara umum.

Grafik hubungan tegangan–regangan beton pada metode perendaman memperlihatkan hubungan linier antara tegangan dan regangan pada tahap awal pembebanan, yang menunjukkan perilaku elastis beton hingga mendekati batas elastisnya. Pola hubungan tegangan–regangan pada variasi metode perawatan lainnya menunjukkan kecenderungan yang serupa pada zona elastis, sehingga tidak ditampilkan secara terpisah. Oleh karena itu, perbedaan antar variasi metode perawatan selanjutnya dianalisis secara kuantitatif melalui perbandingan nilai modulus elastisitas beton.



Gambar 5.12 Grafik Tegangan Regangan Beton Metode Perawatan Perendaman Sampel 1

Nilai modulus elastisitas beton ditentukan dari kemiringan kurva linier pada daerah elastis dari grafik hubungan tegangan-regangan. Berdasarkan standar ASTM C-469 (1994), daerah elastis ditetapkan hingga 40% dari beban maksimum yang

mampu ditahan oleh benda uji. Dalam perhitungannya, standar tersebut juga menetapkan bahwa regangan awal (ε_1) bernilai 0,00005.

Untuk memperoleh nilai tegangan pada titik regangan ε_1, data hasil pengujian dapat diolah menggunakan *software AutoCAD* maupun *Microsoft Excel*. Pada *AutoCAD,* data tegangan dan regangan diubah menjadi kurva *polyline*, kemudian dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai tegangan pada regangan 0,00005. Setelah nilai tegangan dan regangan pada titik 1 (ε_1, σ_1) serta titik 2 (ε_2, σ_2) diketahui, maka modulus elastisitas beton (E) dapat dihitung dari kemiringan garis yang menghubungkan kedua titik tersebut.

Berikut disajikan contoh perhitungan nilai modulus elastisitas beton untuk setiap variasi perawatan pada sampel 1.

1. Perendaman
   a. S_1 = 1,13
      S_2 = 11,35
      ε_1 = 0,00005
      ε_2 = 0,00009
   b. Ec $= \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1}$
      $= \frac{11{,}35 - 1{,}13}{0{,}00009 - 0{,}00005}$
      = 11739,23 MPa
2. *Compound*
   a. S_1 = 1,13
      S_2 = 9,65
      ε_1 = 0,00005
      ε_2 = 0,00008
   b. Ec $= \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1}$
      $= \frac{9{,}65 - 1{,}13}{0{,}00008 - 0{,}00005}$
      = 11987,25 MPa
3. *Plastic sheeting*
   a. S_1 = 1,13

S_2 = 9,62

ε_1 = 0,00005

ε_2 = 0,00006

b. Ec $= \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1}$

$= \frac{9,62 - 1,13}{0,00006 - 0,00005}$

= 16323,58 MPa

4. Penyiraman

a. S_1 = 1,70

S_2 = 9,05

ε_1 = 0,00005

ε_2 = 0,00040

b. Ec $= \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1}$

$= \frac{9,05 - 1,0}{0,00040 - 0,00005}$

= 20293,78 MPa

5. Karung basah

a. S_1 = 1,70

S_2 = 10,79

ε_1 = 0,00005

ε_2 = 0,00040

b. Ec $= \frac{S^2 - S_1}{\varepsilon^2 - \varepsilon_1}$

$= \frac{10,79 - 1,70}{0,00040 - 0,00005}$

= 24241,26 MPa

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, perhitungan di atas merupakan cara untuk menentukan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan ketentuan ASTM C-469-1994. Selain metode tersebut, terdapat pula pendekatan empiris yang diatur dalam SNI 2847-2019, yang dapat digunakan untuk memperkirakan nilai modulus elastisitas beton. Berikut ini disajikan perhitungan modulus elastisitas beton berdasarkan rumus yang tercantum dalam SNI 2847-2019.

1. Perendaman
   a. Ec $= 4700 \times \sqrt{f'c}$
      $= 4700 \times \sqrt{28,3}$
      = 24987,47 MPa
   b. Ec $= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$
      $= 2366,690^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{28,3}$
      = 26337,45 MPa
2. *Compound*
   a. Ec $= 4700 \times \sqrt{f'c}$
      $= 4700 \times \sqrt{23,8}$
      = 22940,14 MPa
   b. Ec $= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$
      $= 2270,908^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{23,8}$
      = 22701,59 MPa
3. *Plastic sheeting*
   a. Ec $= 4700 \times \sqrt{f'c}$
      $= 4700 \times \sqrt{25,2}$
      = 23606,92 MPa
   b. Ec $= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$
      $= 2353,603^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{25,2}$
      = 24647,25 MPa
4. Penyiraman
   a. Ec $= 4700 \times \sqrt{f'c}$
      $= 4700 \times \sqrt{22,0}$
      = 22039,44 MPa
   b. Ec $= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$
      $= 2346,556^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{22,0}$
      = 22925,89 MPa

5. Karung basah

a. Ec $= 4700 \times \sqrt{f'c}$

$= 4700 \times \sqrt{27,6}$

= 24708,77 MPa

b. Ec $= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$

$= 2397,552^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{27,6}$

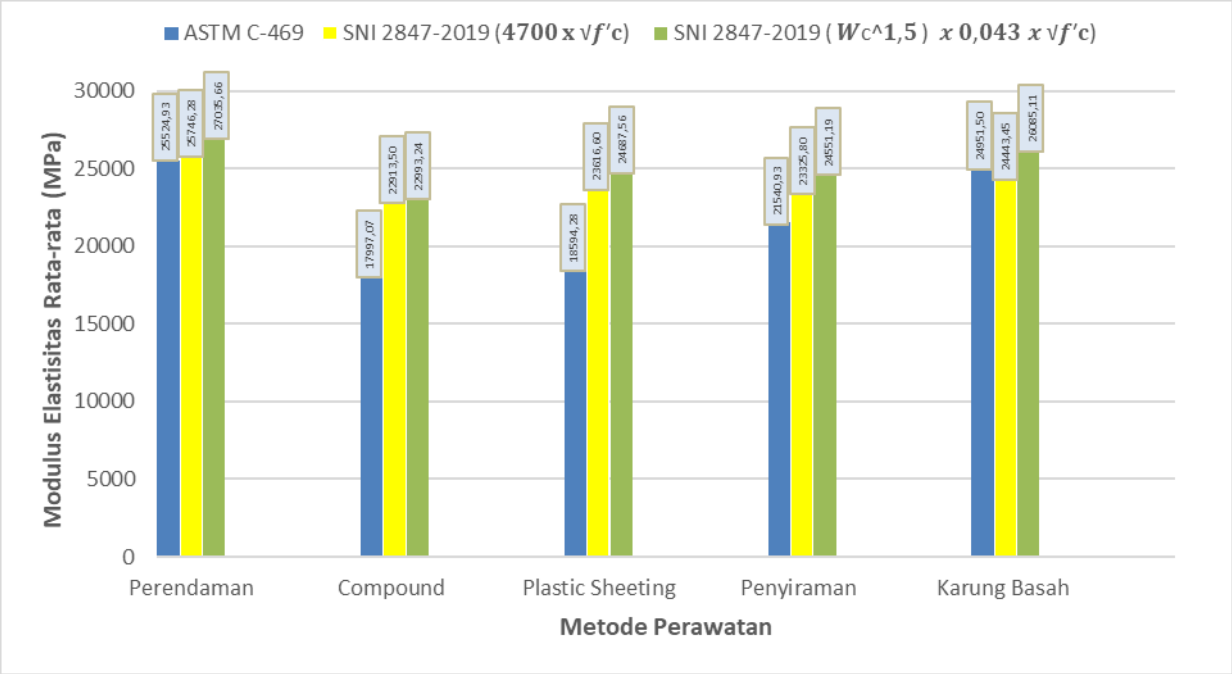
= 26520,09 MPa

Rekapitulasi hasil pengujian modulus elastisitas beton untuk setiap variasi metode perawatan dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Wc	Kuat Tekan	ASTM C-469 ($Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1}$)	Rata-rata	SNI 2847-2019 ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	Rata-rata	SNI 2847-2019 ($Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)	Rata-rata
			(Kg/m³)	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
Perendaman	28 Hari	S1-R	2366,689895	28,27	11739,23	25524,93	24987,47	25746,28	26321,15758	27035,66
		S2-R	2338,233688	32,20	38745,23		26668,93		27587,22579	
		S3-R	2381,348272	29,63	26090,34		25582,42		27198,60738	
Compound		S1-C	2270,908203	23,82	11987,25	17997,07	22940,14	22913,50	22712,55802	22993,24
		S2-C	2320,658054	23,00	25658,59		22538,45		23052,14454	
		S3-C	2282,979636	24,50	16345,37		23261,91		23215,02196	
Plastic Sheeting		S1-P	2353,602629	25,23	16323,58	18594,28	23606,92	23616,60	24660,93721	24687,56
		S2-P	2350,305886	26,89	17411,82		24371,21		25405,88264	
		S3-P	2360,362701	23,68	22047,44		22871,67		23995,87491	
Penyiraman		S1-S	2346,555914	21,99	20293,78	21540,93	22039,44	23325,80	22920,1553	24551,19
		S2-S	2393,179345	25,86	23415,90		23899,86		25599,34126	
		S3-S	2355,021588	26,16	20913,11		24038,10		25134,08399	
Karung Basah		S1-K	2397,551878	27,64	24241,26	24951,50	24708,77	24443,45	26538,3417	26085,11
		S2-K	2368,051363	30,69	25306,62		26038,59		27452,05132	
		S3-K	2398,194986	23,09	25306,62		22583,00		24264,92443	

Nilai modulus elastisitas beton yang telah diperoleh dari hasil perhitungan sebelumnya, baik berdasarkan rumus ASTM C-469 (1994) maupun SNI 2847-2019, kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah perbandingan hasil antar metode. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5.13 Nilai Modulus Elastisitas Pada Tiap Metode Perawatan Berdasarkan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019

Berdasarkan grafik pada gambar di atas, terlihat bahwa beton dengan metode perendaman menghasilkan nilai modulus elastisitas tertinggi, kemudian diikuti secara berurutan oleh karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan *curing compound*. Pola tersebut menunjukkan konsistensi hasil, baik pada perhitungan menggunakan ASTM C-469 (1994) maupun SNI 2847-2019.

Pada grafik tersebut, perbedaan nilai modulus elastisitas antar variasi ditampilkan dalam satuan MPa, yang menunjukkan selisih absolut nilai modulus elastisitas masing-masing metode perawatan terhadap metode perendaman sebagai acuan. Penyajian dalam satuan MPa dimaksudkan untuk memperlihatkan besarnya perbedaan kekakuan beton secara nyata.

Selanjutnya, selisih nilai modulus elastisitas yang sama dihitung kembali dalam bentuk persentase terhadap metode perendaman, untuk menunjukkan selisih relatif kinerja masing-masing metode *curing*. Penyajian dalam bentuk persentase digunakan agar perbandingan antar variasi menjadi lebih proporsional dan mudah diinterpretasikan, terutama dalam evaluasi tingkat penurunan kekakuan beton akibat perbedaan metode perawatan.

Adapun contoh perhitungan persentase selisih nilai modulus elastisitas antara setiap variasi metode perawatan terhadap metode perendaman disajikan pada bagian berikut.

1. *Compound* $= \frac{\text{Ec } perendaman - \text{Ec } compound}{\text{Ec } perendaman} \; x \; 100$

$= \frac{25524{,}93 - 17997{,}07}{25524{,}93} \; x \; 100$

$= 29{,}492\ \%$

Perhitungan serupa kemudian dilakukan untuk variasi metode perawatan lainnya. Hasil persentase selisih nilai modulus elastisitas antara setiap metode perawatan dibandingkan dengan metode perendaman disajikan pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

No	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Modulus Elastisitas (%)		
		ASTM C-469 ($Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1}$)	**SNI 2847-2019** ($4700 \text{ x } \sqrt{f'c}$)	**SNI 2847-2019** ($Wc^{1,5} \; x \; 0{,}043 \; x \sqrt{f'c}$)
1	Perendaman	0,000	0,000	0,000
2	*Compound*	29,492	11,003	14,952
3	*Plastic Sheeting*	27,152	8,272	8,685
4	Penyiraman	15,608	9,401	9,190
5	Karung Basah	2,247	5,060	3,516

Untuk setiap metode perawatan, dilakukan perhitungan lanjutan guna membandingkan hasil modulus elastisitas yang diperoleh dari ketiga rumus perhitungan, yakni ASTM dan dua versi SNI 2847-2019. Ringkasan persentase selisih antar rumus ditampilkan pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

No	Metode Perawatan	Selisih Perbandingan Antar Rumus (%)	
		ASTM vs SNI-2847-2019 ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	ASTM vs SNI-2847-2019 ($Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)
1	Perendaman	0,87	5,92
2	*Compound*	27,32	27,76
3	*Plastic Sheeting*	27,01	32,77
4	Penyiraman	8,29	13,97
5	Karung Basah	2,04	4,54

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel dan grafik sebelumnya, dapat diketahui bahwa nilai modulus elastisitas beton tertinggi diperoleh pada metode perawatan perendaman, diikuti secara berurutan oleh karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan *curing compound*. Hal ini menunjukkan bahwa metode perendaman mampu memberikan kondisi paling optimal bagi proses hidrasi semen, sehingga menghasilkan struktur beton yang lebih padat dan kuat. Sementara itu, metode *curing compound* menghasilkan nilai modulus elastisitas terendah dibandingkan variasi perawatan lainnya karena efektivitasnya dalam mempertahankan kelembapan tidak sebaik metode berbasis air secara langsung.

Menariknya, hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas yang diperoleh menggunakan persamaan ASTM C-469 (1994) secara konsisten lebih rendah dibandingkan dengan nilai yang dihitung menggunakan dua versi rumus empiris SNI 2847-2019. Perbedaan ini dapat terjadi karena pengujian berdasarkan ASTM merupakan pengukuran eksperimental langsung terhadap benda uji di laboratorium, sehingga hasilnya sangat bergantung pada kondisi nyata beton seperti homogenitas campuran, kelembapan saat pengujian, pemasangan alat

ukur, serta kemungkinan adanya mikroretak pada permukaan beton. Sebaliknya, rumus dalam SNI 2847-2019 merupakan pendekatan empiris teoretis yang disusun berdasarkan data beton normal dengan kondisi ideal, sehingga nilai yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dibanding hasil uji langsung.

Apabila dilakukan perbandingan antar rumus, diperoleh bahwa selisih hasil perhitungan modulus elastisitas antara ASTM dan SNI 2847-2019 berkisar antara 0,8% hingga 14% untuk sebagian besar metode perawatan, sedangkan beberapa metode seperti *compound* dan *plastic sheeting* menunjukkan deviasi yang lebih besar, yaitu sekitar 25–30%. Berdasarkan ketentuan dalam SNI 7656:2012 tentang Tata Cara Pemilihan Proporsi Campuran Beton Normal serta acuan mutu dalam SNI 2847:2019, variasi hasil pengujian atau perhitungan yang masih berada dalam batas toleransi ±15% terhadap nilai acuan dapat dikategorikan masih wajar dan dapat diterima. Dengan demikian, sebagian besar hasil perbandingan antar rumus masih tergolong relevan dan valid terutama pada metode perawatan yang menjaga kelembapan secara optimal seperti perendaman dan karung basah.

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023) yang menyimpulkan bahwa perlakuan perawatan beton berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai modulus elastisitas. Semakin baik dan konsisten metode *curing* yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai modulus elastisitas yang dihasilkan. Meskipun demikian, metode perendaman dalam penelitian ini berperan sebagai kontrol laboratorium dan tidak selalu dapat diterapkan secara langsung di lapangan karena keterbatasan teknis. Oleh karena itu, metode karung basah dapat dianggap sebagai alternatif terbaik untuk aplikasi lapangan, karena mampu menjaga kelembapan permukaan beton secara efektif dan berkelanjutan, mendekati kondisi perendaman.

Perbedaan pola urutan nilai modulus elastisitas dalam penelitian ini juga dipengaruhi oleh pendekatan perhitungan yang digunakan. Hasil menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dihitung berdasarkan ASTM C469 (1994) memiliki urutan yang lebih konsisten dengan berat volume beton, sedangkan modulus elastisitas yang dihitung menggunakan rumus empiris SNI 2847:2019 menunjukkan kecenderungan mengikuti urutan kuat tekan beton. Kondisi ini dapat

dijelaskan karena metode ASTM C469 merupakan pengukuran eksperimental langsung yang menangkap respons elastis aktual beton pada tahap awal pembebanan. Pada tahap ini, perilaku elastis beton lebih dipengaruhi oleh kerapatan material dan tingkat porositas internal, yang secara langsung tercermin pada nilai berat volume beton.

Sebaliknya, rumus empiris dalam SNI 2847:2019 secara matematis diturunkan dari hubungan empiris antara modulus elastisitas dan kuat tekan beton, sehingga hasil perhitungannya secara alami akan mengikuti tren kuat tekan. Rumus tersebut diasumsikan berlaku untuk beton normal dengan kondisi material dan curing yang relatif ideal, sehingga tidak secara eksplisit mempertimbangkan variasi mikrostruktur dan kepadatan aktual beton akibat perbedaan metode perawatan. Oleh karena itu, ketika digunakan pada beton dengan variasi metode *curing* seperti dalam penelitian ini, nilai modulus elastisitas hasil perhitungan SNI cenderung merepresentasikan pengaruh kuat tekan dibandingkan kondisi elastis riil beton. Perbedaan ini menunjukkan bahwa pendekatan ASTM lebih sensitif terhadap perubahan fisik beton yang tercermin dalam berat volume, sedangkan pendekatan SNI lebih bersifat prediktif berbasis kekuatan tekan.

Dengan demikian, metode perawatan karung basah menunjukkan kinerja yang relatif konsisten dalam menjaga kelembapan beton, yang tercermin pada berat volume yang tinggi serta nilai modulus elastisitas hasil pengujian langsung (ASTM C-469) yang mendekati metode perendaman, sementara nilai kuat tekan tetap berada pada kisaran yang tinggi. Adapun dokumentasi sampel setelah dilakukan pengujian ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 5.14 Kerusakan Benda Uji Silinder Setelah Pengujian

5.9 Hasil Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilaksanakan pada saat benda uji berumur 28 hari, setelah melalui proses perawatan dengan berbagai variasi metode perawatan beton, kemudian dikeringkan selama 1 hari sebelum pengujian. Proses pengujian dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton sebelum mengalami keruntuhan atau retak belah. Dari hasil pembebanan tersebut, nilai kuat tarik belah beton selanjutnya dihitung menggunakan rumus yang telah ditetapkan sesuai standar pengujian.



Gambar 5.15 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton dapat dilihat pada perhitungan berikut.

1. Perendaman
   a. Beban maksimum (P) = 166 kN
      = 166000 N
   b. Panjang benda uji (L) = 300,5 mm
   c. Diameter benda uji (D) = 150 mm
   d. Kuat tarik belah beton *(Fct)* = $\frac{2P}{\pi\, L\, D}$
      = $\frac{2 \times 166000}{\pi \times 300{,}5 \times 150}$
      = 2,3445 MPa

2. *Compound*
   a. Beban maksimum (P) = 147 kN
      = 147000 N
   b. Panjang benda uji (L) = 300,2 mm
   c. Diameter benda uji (D) = 150 mm
   d. Kuat tarik belah beton *(Fct)* = $\frac{2P}{\pi L D}$
      = $\frac{2 \times 147000}{\pi \times 300{,}2 \times 150}$
      = 2,0782 MPa
3. *Plastic Sheeting*
   a. Beban maksimum (P) = 144 kN
      = 144000 N
   b. Panjang benda uji (L) = 299,7 mm
   c. Diameter benda uji (D) = 150 mm
   d. Kuat tarik belah beton *(Fct)* = $\frac{2P}{\pi L D}$
      = $\frac{2 \times 144000}{\pi \times 299{,}7 \times 150}$
      = 2,0392 MPa
4. Penyiraman
   a. Beban maksimum (P) = 165 kN
      = 165000 N
   b. Panjang benda uji (L) = 300,6 mm
   c. Diameter benda uji (D) = 150 mm
   d. Kuat tarik belah beton *(Fct)* = $\frac{2P}{\pi L D}$
      = $\frac{2 \times 165000}{\pi \times 300{,}6 \times 150}$
      = 2,3296 MPa
5. Karung Basah
   a. Beban maksimum (P) = 119 kN
      = 119000 N
   b. Panjang benda uji (L) = 300,6 mm
   c. Diameter benda uji (D) = 149,7 mm

d. Kuat tarik belah beton *(Fct)* = $\frac{2P}{\pi\, L\, D}$

$= \frac{2 \times 119000}{\pi \times 300{,}6 \times 149{,}7}$

= 1,6835 MPa

Dengan menggunakan metode perhitungan di atas, dilakukan pula perhitungan kuat tarik belah beton untuk setiap sampel yang diuji, sehingga diperoleh nilai kuat tarik belah yang disajikan pada Tabel 5.26 rekapitulasi berikut.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

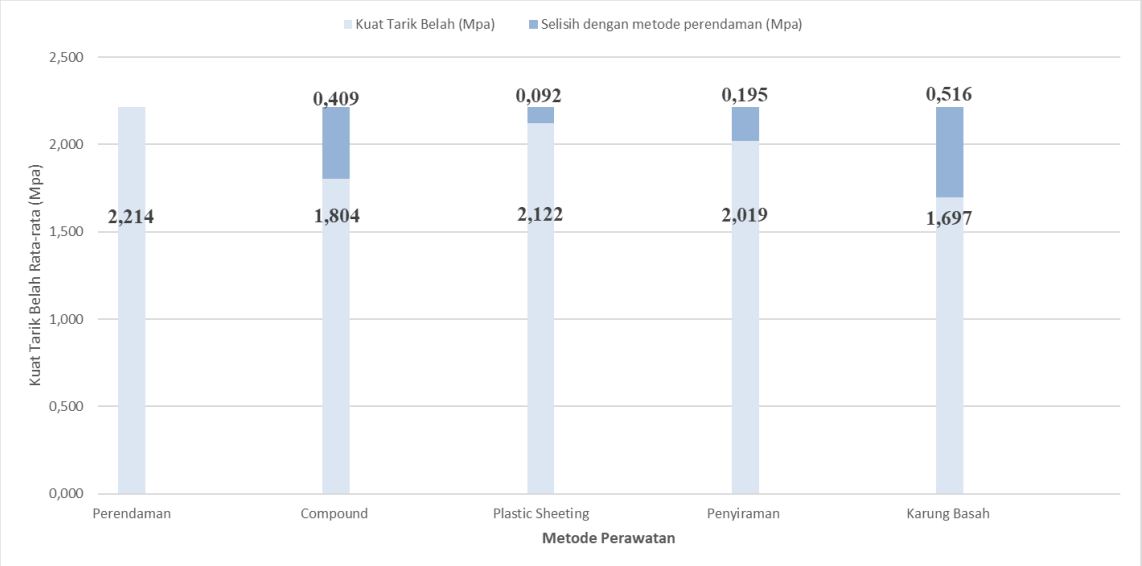
Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Panjang	Beban Maks	Kuat Tarik Belah	Rata-rata
			mm	mm	N	MPa	MPa
Perendaman	28 Hari	S1-R	150,000	300,500	166000	2,3445	2,214
		S2-R	150,000	300,000	124000	1,7542	
		S3-R	149,800	300,900	180000	2,5423	
Compound		S1-C	150,000	300,200	147000	2,0782	1,804
		S2-C	150,000	300,400	115000	1,6248	
		S3-C	150,000	300,250	121000	1,7104	
Plastic Sheeting		S1-P	150,000	299,700	144000	2,0392	2,122
		S2-P	150,000	300,000	142000	2,0089	
		S3-P	150,000	300,400	164000	2,3170	
Penyiraman		S1-S	150,000	300,600	165000	2,3296	2,019
		S2-S	150,000	299,000	125000	1,7743	
		S3-S	150,000	300,000	138000	1,9523	
Karung Basah		S1-K	149,700	300,600	119000	1,6835	1,697
		S2-K	150,000	300,000	137000	1,9382	
		S3-K	149,800	300,500	104000	1,4708	

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas, dapat diketahui bahwa kuat tarik belah beton rata-rata (MPa) untuk setiap variasi metode perawatan adalah sebagai berikut.

1. Kuat tarik belah rata-rata metode perendaman = 2,214 MPa
2. Kuat tarik belah rata-rata metode *compound* = 1,804 MPa
3. Kuat tarik belah rata-rata metode *plastic sheeting* = 2,122 MPa
4. Kuat tarik belah rata-rata metode penyiraman = 2,019 MPa
5. Kuat tarik belah rata-rata metode karung basah = 1,697 MPa

Berdasarkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton pada setiap metode perawatan, dapat dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara kuat tarik belah

beton dengan metode perendaman. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Beton Pada Tiap Metode Perawatan

Berdasarkan Gambar 5.16 di atas, terlihat adanya perbedaan nilai kuat tarik belah beton antara berbagai metode perawatan, yaitu penyemprotan *curing compound*, *plastic sheeting*, penyiraman, dan karung basah, jika dibandingkan dengan beton kontrol yang dirawat dengan metode perendaman. Nilai kuat tarik belah pada grafik tersebut disajikan dalam satuan MPa, yang merepresentasikan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Untuk mempermudah evaluasi perbedaan kinerja antar metode perawatan, selanjutnya dilakukan perhitungan persentase selisih kuat tarik belah terhadap metode perendaman sebagai acuan, sehingga perbedaan antar variasi dapat dianalisis secara relatif dan lebih mudah diinterpretasikan, sebagaimana ditunjukkan pada contoh perhitungan berikut.

1. *Compound*

$$= \frac{Fct\ perendaman - Fct\ compound}{Fct\ perendaman}\ x\ 100$$

$$= \frac{2{,}214 - 1{,}804}{2{,}214}\ x\ 100$$

$$= 18{,}49\ \%$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan serupa untuk setiap variasi metode perawatan. Adapun hasil perhitungan persentase selisih kuat tarik belah beton terhadap metode perendaman disajikan pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5.27 Persentase Selisih Kuat Tarik Belah Beton untuk Tiap Variasi Perawatan dengan Perendaman

No	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Kuat Tarik Belah (%)
1	Perendaman	0
2	*Compound*	18,49
3	*Plastic Sheeting*	4,15
4	Penyiraman	8,81
5	Karung Basah	23,32

Berdasarkan tabel persentase selisih nilai kuat tarik belah beton, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara setiap metode perawatan. Metode perendaman digunakan sebagai kontrol, dengan nilai kuat tarik belah sebesar 2,214 MPa dan selisih 0%. Metode ini terbukti paling efektif dalam menjaga kekuatan tarik beton karena mampu mempertahankan kelembapan secara optimal, sehingga proses hidrasi berlangsung sempurna dan menghasilkan ikatan pasta semen yang kuat.

Metode *curing compound* menunjukkan selisih kuat tarik belah sebesar 18,49% dengan nilai 1,804 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun *curing compound* membentuk lapisan pelindung pada permukaan beton untuk menghambat penguapan air, lapisan tersebut tidak mampu menambah suplai air yang dibutuhkan selama proses hidrasi. Akibatnya, beton menjadi lebih kering di bagian dalam dan kekuatannya menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Syahar (2015) yang menyatakan bahwa penggunaan *curing compound* hanya menghasilkan lapisan tipis yang mencegah penguapan, namun berpotensi menimbulkan retakan mikro pada permukaan beton, sehingga menurunkan kekuatan tariknya.

Metode *plastic sheeting* memiliki selisih 4,15% dengan nilai kuat tarik belah 2,122 MPa, menunjukkan hasil yang cukup baik setelah perendaman. Hal ini

disebabkan oleh kemampuannya menahan penguapan air secara efektif tanpa menghambat difusi kelembapan internal. Plastik menciptakan lingkungan lembap di sekitar beton, sehingga hidrasi tetap berlangsung meski tanpa perendaman langsung.

Metode penyiraman menghasilkan nilai kuat tarik belah sebesar 2,019 MPa dengan selisih 8,81% dibandingkan metode perendaman. Hasil ini menunjukkan bahwa penyiraman secara berkala dapat menjaga kelembapan permukaan beton, namun efektivitasnya tergantung pada frekuensi penyiraman dan kondisi lingkungan. Apabila suhu sekitar tinggi, air cepat menguap sehingga proses hidrasi tidak berlangsung optimal. Temuan ini sejalan dengan penelitian Akmal dan Walujodjati (2022) yang menunjukkan bahwa metode penyiraman menghasilkan kekuatan lebih rendah dibandingkan perendaman karena suplai air yang tidak kontinu.

Sementara itu, metode karung basah menunjukkan selisih terbesar, yaitu 23,32% dengan nilai kuat tarik belah 1,697 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun karung basah dapat menjaga kelembapan permukaan beton, metode ini kurang efektif karena penguapan tetap terjadi melalui pori karung dan kelembapan tidak merata pada seluruh permukaan beton. Akibatnya, proses hidrasi menjadi tidak sempurna dan kekuatan tarik beton menurun.

Selain dipengaruhi oleh metode perawatan, nilai kuat tarik belah beton juga berkaitan dengan kuat tekan, modulus elastisitas, dan berat volume beton yang diperoleh pada pengujian sebelumnya. Secara umum, beton dengan kuat tekan dan berat volume yang lebih tinggi cenderung memiliki ikatan internal yang lebih rapat dan homogen, sehingga mampu menahan tegangan tarik dengan lebih baik. Hal ini terlihat pada metode perendaman dan *plastic sheeting* yang tidak hanya menunjukkan nilai kuat tarik belah relatif tinggi, tetapi juga memiliki berat volume dan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan metode lainnya.

Namun demikian, hubungan kuat tarik belah dengan modulus elastisitas tidak selalu bersifat linier. Pada beberapa metode perawatan, seperti karung basah, meskipun berat volume dan modulus elastisitas relatif tinggi, nilai kuat tarik belah justru lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kuat tarik belah lebih sensitif

terhadap kualitas ikatan pasta semen-agregat dan keberadaan mikroretak akibat distribusi kelembapan yang tidak merata, dibandingkan terhadap kekakuan beton secara global. Dengan demikian, kuat tarik belah tidak hanya dipengaruhi oleh kepadatan atau kekakuan beton, tetapi juga oleh kondisi mikrostruktur yang terbentuk selama proses *curing*.

Secara keseluruhan, metode perendaman menunjukkan nilai kuat tarik belah tertinggi dibandingkan metode perawatan lainnya, yang mengindikasikan kondisi hidrasi beton berlangsung lebih optimal. Sementara itu, pada kondisi lapangan yang tidak memungkinkan dilakukan perendaman, metode *plastic sheeting* menunjukkan hasil kuat tarik belah yang relatif lebih tinggi dan stabil dibandingkan metode lain, sejalan dengan kemampuannya dalam mempertahankan kelembapan beton secara lebih merata. Adapun dokumentasi benda uji setelah dilakukan pengujian kuat tarik belah beton ditampilkan pada gambar berikut



Gambar 5.17 Kerusakan Benda Uji Silinder Setelah Pengujian

5.10 Uji Validitas menggunakan SPSS

Uji validitas menggunakan SPSS bertujuan untuk menilai keandalan serta kesesuaian data hasil pengujian terhadap asumsi statistik yang berlaku. Pengujian ini dilakukan guna memastikan bahwa data yang diperoleh dari setiap variasi metode perawatan beton memiliki distribusi yang wajar dan tidak mengandung penyimpangan signifikan. Dengan demikian, hasil analisis yang dilakukan

selanjutnya dapat dinyatakan valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Pada penelitian ini, pengolahan data menggunakan SPSS difokuskan pada uji normalitas dan uji homogenitas untuk masing-masing jenis pengujian beton, yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah. Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi data hasil pengujian mengikuti pola distribusi normal, sehingga data dapat dianalisis secara statistik dengan tingkat keandalan yang tinggi. Sementara itu, uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah varians data antar kelompok metode perawatan memiliki keseragaman atau tidak. Kedua uji ini penting dilakukan sebagai langkah awal dalam memastikan bahwa data yang diperoleh valid, reliabel, serta memenuhi asumsi dasar analisis statistik yang digunakan dalam penelitian ini.

5.10.1 Analisis Validitas Kuat Tekan Beton

Analisis validitas data kuat tekan beton dilakukan menggunakan SPSS melalui uji normalitas dan homogenitas untuk memastikan keandalan serta keseragaman data hasil pengujian.

1. Uji normalitas

   Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data kuat tekan beton berdistribusi normal. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Shapiro-Wilk*, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 5.18 berikut.

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	METODE	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	COMPOUND	.191	3	.	.997	3	.897
	KARUNG B	.219	3	.	.987	3	.783
	PENYIRAM	.362	3	.	.804	3	.123
	PERENDAM	.247	3	.	.969	3	.664
	PLASTIC	.177	3	.	1.000	3	.962

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 5.18 Validasi Data Uji Normalitas Kuat Tekan *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan hasil uji normalitas dengan metode *Shapiro-Wilk* yang ditampilkan pada tabel, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) untuk seluruh metode

perawatan yaitu *Compound* (0.897), Karung Basah (0.783), Penyiraman (0.123), Perendaman (0.664), dan *Plastic Sheeting* (0.962). Seluruh nilai signifikansi tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data kuat tekan beton dari setiap metode perawatan berdistribusi normal. Kondisi ini menunjukkan bahwa data hasil pengujian memenuhi salah satu asumsi dasar untuk analisis statistik parametrik.

2. Uji homogenitas

   Uji homogenitas dilakukan untuk memastikan bahwa data kuat tekan beton memiliki variansi yang seragam antar kelompok. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Levene's Test*, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 5.19 berikut.

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NILAI	Based on Mean	1.627	4	10	.242
	Based on Median	.650	4	10	.640
	Based on Median and with adjusted df	.650	4	6.002	.648
	Based on trimmed mean	1.548	4	10	.262

Gambar 5.19 Validasi Data Uji Homogenitas Kuat Tekan *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0.242 (berdasarkan mean). Karena nilai Sig. > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa variansi antar kelompok data kuat tekan beton bersifat homogen atau seragam. Artinya, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada variansi antar metode perawatan beton, sehingga data dapat dinyatakan memenuhi asumsi homogenitas.

3. Uji *One-Way* ANOVA

   Setelah data kuat tekan beton melewati uji normalitas dan uji homogenitas serta memenuhi kedua asumsi tersebut, dilakukan uji *One-Way* ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan rata-rata kuat tekan beton antar kelompok perlakuan. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS, dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.20 berikut.

ANOVA

NILAI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	74.028	4	18.507	3.407	.053
Within Groups	54.322	10	5.432		
Total	128.351	14			

Gambar 5.20 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Kuat Tekan *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,053. Karena nilai Sig. > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada rata-rata kuat tekan beton antar kelompok perlakuan. Artinya, metode perawatan beton tidak memberikan pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap kekuatan tekan, sehingga data tetap dapat dianalisis secara keseluruhan untuk evaluasi perbandingan antar kelompok. Karena tidak ada perbedaan signifikan, uji *Post-Hoc* tidak dilakukan, karena *Post-Hoc* hanya digunakan untuk membandingkan secara spesifik kelompok yang berbeda ketika ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan.

5.10.2 Analisis Validitas Modulus Elastisitas Beton

Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian dan keandalan data hasil pengujian modulus elastisitas beton sebelum digunakan dalam pembahasan. Pengujian validitas dilakukan melalui uji normalitas dan homogenitas menggunakan bantuan software SPSS.

1. Uji normalitas

   Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data modulus elastisitas beton berdistribusi secara normal sebagai syarat analisis statistik. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Shapiro-Wilk*, dan diperoleh hasil yang ditampilkan pada gambar 5.21 berikut.

Tests of Normality

	METODE	Kolmogorov-Smirnov[a] Statistic	df	Sig.	Shapiro-Wilk Statistic	df	Sig.
NILAI	PERENDAMAN	.183	3	.	.999	3	.931
	COMPOUND	.260	3	.	.958	3	.606
	PLASTIC SHEETING	.318	3	.	.887	3	.344
	PENYIRAMAN	.315	3	.	.892	3	.360
	KARUNG BASAH	.385	3	.	.750	3	<,001

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 5.21 Validasi Data Uji Normalitas Modulus Elastisitas *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan hasil uji normalitas dengan metode *Shapiro-Wilk*, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) untuk masing-masing metode perawatan, yaitu Perendaman (0.931), *Compound* (0.606), *Plastic Sheeting* (0.344), Penyiraman (0.360), dan Karung Basah (<0.001). Dari hasil tersebut, empat metode pertama memiliki nilai Sig. > 0,05 yang menunjukkan bahwa data berdistribusi normal, sedangkan metode Karung Basah memiliki nilai Sig. < 0,05 yang berarti data tidak berdistribusi normal. Secara umum, mayoritas data menunjukkan distribusi normal, sehingga masih dapat diterima untuk analisis statistik parametrik, dengan catatan bahwa metode Karung Basah perlu diperhatikan sebagai data penyimpang yang wajar dalam konteks variasi lapangan.

2. Uji homogenitas

   Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui keseragaman variansi data modulus elastisitas beton antar kelompok perlakuan. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Levene's Test*, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 5.22 berikut.

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NILAI	Based on Mean	2.816	4	10	.084
	Based on Median	2.048	4	10	.163
	Based on Median and with adjusted df	2.048	4	3.874	.256
	Based on trimmed mean	2.773	4	10	.087

Gambar 5.22 Validasi Data Uji Homogenitas Modulus Elastisitas *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji homogenitas dengan *Levene's Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0.084 (berdasarkan mean). Karena nilai tersebut lebih besar dari 0,05, maka data modulus elastisitas dari kelima metode perawatan dapat dinyatakan memiliki variansi yang homogen. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan nilai antar metode perawatan tidak disebabkan oleh ketidaksamaan variansi, melainkan oleh perbedaan perlakuan perawatan beton itu sendiri.

3. Uji *One-Way* Anova

Setelah data modulus elastisitas beton melewati uji normalitas dan uji homogenitas serta memenuhi kedua asumsi tersebut, dilakukan uji *One-Way* ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan rata-rata modulus elastisitas beton antar kelompok perlakuan. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS, dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.23 berikut.

ANOVA

NILAI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	145747482.31	4	36436870.579	.748	.581
Within Groups	487386802.07	10	48738680.207		
Total	633134284.38	14			

Gambar 5.23 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Modulus Elastisitas *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,581. Karena nilai Sig. > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat

perbedaan yang signifikan pada rata-rata modulus elastisitas beton antar kelompok perlakuan. Artinya, metode perawatan beton tidak memberikan pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap modulus elastisitas, sehingga data tetap dapat dianalisis secara keseluruhan untuk evaluasi perbandingan antar kelompok. Karena tidak ada perbedaan signifikan, uji *Post-Hoc* tidak dilakukan, karena *Post-Hoc* hanya digunakan untuk membandingkan secara spesifik kelompok yang berbeda ketika ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan.

5.10.3 Analisis Validitas Kuat Tarik Belah Beton

Analisis ini bertujuan untuk memeriksa keabsahan data hasil pengujian kuat tarik belah beton agar data yang digunakan dalam analisis memiliki distribusi dan variansi yang sesuai. Proses validitas dilakukan melalui uji normalitas dan homogenitas menggunakan software SPSS.

1. Uji normalitas

   Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data kuat tarik belah beton berdistribusi normal sebagai dasar kelayakan analisis statistik. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Shapiro-Wilk*, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 5.24 berikut.

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	METODE	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
NILAI	PERENDAMAN	.291	3	.	.925	3	.470
	COMPOUND	.316	3	.	.890	3	.355
	PLASTIC SHEETING	.354	3	.	.822	3	.168
	PENYIRAMAN	.259	3	.	.959	3	.612
	KARUNG BASAH	.195	3	.	.996	3	.883

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 5.24 Validasi Data Uji Normalitas Kuat Tarik Belah *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk*, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) untuk masing-masing metode perawatan, yaitu Perendaman (0.470), *Compound* (0.355), *Plastic Sheeting* (0.168), Penyiraman (0.612), dan Karung Basah (0.883). Seluruh nilai Sig. tersebut

lebih besar dari 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa data kuat tarik belah beton dari semua metode perawatan berdistribusi normal. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran data tidak menyimpang secara signifikan dari distribusi normal, sehingga dapat digunakan untuk analisis statistik parametrik pada tahap berikutnya.

2. Uji homogenitas

   Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui keseragaman variansi data kuat tarik belah beton antar kelompok perlakuan. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS dengan metode *Levene's Test*, dan hasilnya ditampilkan pada gambar 5.25 berikut.

Tests of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NILAI	Based on Mean	.934	4	10	.483
	Based on Median	.252	4	10	.902
	Based on Median and with adjusted df	.252	4	7.247	.900
	Based on trimmed mean	.862	4	10	.519

Gambar 5.25 Validasi Data Uji Homogenitas Kuat Tarik Belah *Software* SPSS

(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji homogenitas menggunakan *Levene's Test* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,483 (berdasarkan mean). Karena nilai tersebut lebih besar dari 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa variansi data antar kelompok homogen atau seragam. Dengan demikian, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada variansi data antar metode perawatan beton.

3. Uji *One-Way* ANOVA

   Setelah data kuat tarik belah beton melewati uji normalitas dan uji homogenitas serta memenuhi kedua asumsi tersebut, dilakukan uji *One-Way* ANOVA untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan signifikan rata-rata kuat tarik belah beton antar kelompok perlakuan. Pengujian dilakukan menggunakan SPSS, dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 5.26 berikut.

ANOVA

NILAI

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.557	4	.139	1.766	.212
Within Groups	.789	10	.079		
Total	1.346	14			

Gambar 5.26 Validasi Data Uji *One-Way* ANOVA Kuat Tarik Belah *Software* SPSS
(Sumber: Hasil Analisis)

Hasil uji *One-Way* ANOVA menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,212. Karena nilai Sig. > 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada rata-rata kuat tarik belah beton antar kelompok perlakuan. Artinya, metode perawatan beton tidak memberikan pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap kuat tarik belah, sehingga data tetap dapat dianalisis secara keseluruhan untuk evaluasi perbandingan antar kelompok. Karena tidak ada perbedaan signifikan, uji *Post-Hoc* tidak dilakukan, karena *Post-Hoc* hanya digunakan untuk membandingkan secara spesifik kelompok yang berbeda ketika ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan.

5.11 Rangkuman Hasil Pembahasan

Rangkuman dan pembahasan dilakukan untuk mengevaluasi performa masing-masing variasi beton berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan, yaitu berat volume, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Analisis ini dimulai dengan perhitungan nilai relatif setiap parameter untuk setiap variasi beton, kemudian dilakukan perhitungan indeks kinerja sebagai dasar pengambilan keputusan. Selanjutnya, dilakukan analisis statistik dan perbandingan tabel untuk menilai performa antar variasi berdasarkan beberapa parameter statistik kuantitatif, sehingga dapat ditentukan variasi beton yang paling optimum secara kuantitatif dan objektif.

5.11.1 Verifikasi Analisis Statistik

Pada tahap ini dilakukan verifikasi analisis statistik terhadap data hasil pengujian beton yang telah dibahas pada subbab sebelumnya. Verifikasi ini mencakup hasil uji normalitas, uji homogenitas, serta uji ANOVA satu arah yang

telah dilakukan untuk memastikan bahwa data memenuhi kaidah statistik dan analisis yang digunakan telah tepat. Ringkasan hasil pengujian statistik disajikan untuk memberikan gambaran umum mengenai kelayakan data dan keputusan statistik sebelum dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

Tabel 5.28 Verifikasi Analisis Statistik

Parameter	Normalitas	Homogenitas	Anova (Sig.)	Keputusan
Kuat Tekan	Normal	Homogen	> 0,05	Tidak signifikan
Modulus Elastisitas	Mayoritas Normal	Homogen	> 0,05	Tidak signifikan
Kuat Tarik Belah	Normal	Homogen	> 0,05	Tidak signifikan

Berdasarkan hasil verifikasi analisis statistik, seluruh parameter pengujian secara umum memenuhi kaidah statistik yang dipersyaratkan. Pada parameter modulus elastisitas, terdapat satu variasi yang tidak memenuhi uji normalitas, namun hasil uji homogenitas menunjukkan varians yang homogen dan hasil uji ANOVA tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik.

Hasil uji ANOVA dengan nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata secara statistik antar variasi beton pada parameter yang diuji. Keputusan tidak signifikan ini berarti bahwa perbedaan nilai yang muncul antar variasi beton masih berada dalam batas variasi data dan belum cukup kuat secara statistik untuk menyatakan adanya pengaruh perlakuan yang berbeda.

Oleh karena itu, hasil pengujian ini tidak mengharuskan dilakukan pengujian lanjutan *(post hoc test),* dan analisis selanjutnya lebih tepat dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif dan evaluasi kinerja secara keseluruhan, tanpa menafsirkan adanya perbedaan signifikan antar variasi beton.

5.11.2 Perbandingan Nilai Relatif Variasi Beton

Nilai relatif dihitung untuk mempermudah perbandingan performa antar variasi beton pada masing-masing parameter pengujian. Nilai relatif digunakan

untuk menstandarisasi hasil pengujian yang memiliki satuan atau skala berbeda, sehingga setiap parameter dapat dibandingkan secara seimbang. Dengan menggunakan nilai relatif, kinerja setiap variasi beton dapat dinilai secara komparatif, baik untuk menentukan kesetaraan antar variasi maupun mengevaluasi variasi mana yang mendekati nilai optimum. Nilai relatif setiap parameter dihitung dengan rumus:

$$R = \frac{Xi}{Xmaks}$$

Keterangan :

R : Nilai relatif

Xi : Nilai pengujian beton untuk tiap variasi

Xmaks : Nilai maksimum pada parameter yang sama

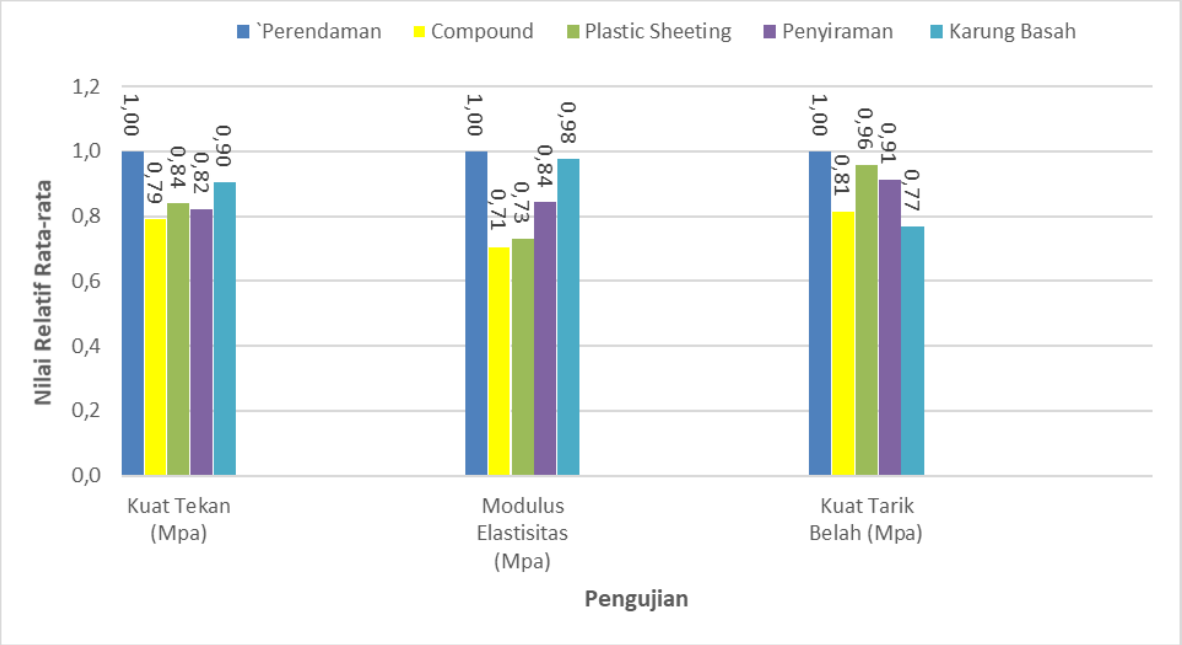
Tabel rekapitulasi berikut menyajikan performa masing-masing variasi secara komparatif, sehingga perbedaan dan kecenderungan kinerja antar variasi dapat diamati dengan jelas dan menjadi dasar untuk perhitungan indeks kinerja selanjutnya.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Nilai Relatif Variasi Beton pada Setiap Pengujian

Metode Perawatan	Kuat Tekan (Mpa)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Kuat Tarik Belah (Mpa)
Perendaman	1,00	1,00	1,00
Compound	0,79	0,71	0,81
Plastic Sheeting	0,84	0,73	0,96
Penyiraman	0,82	0,84	0,91
Karung Basah	0,90	0,98	0,77

Untuk mempermudah interpretasi perbandingan performa antar variasi beton, nilai relatif setiap parameter kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik batang berikut ini. Visualisasi ini memungkinkan pembaca untuk mengamati kecenderungan performa secara cepat, melihat variasi mana yang mendekati nilai

maksimum pada setiap parameter, serta memudahkan evaluasi komparatif sebelum perhitungan indeks kinerja dilakukan.



Gambar 5.27 Grafik Nilai Relatif Variasi Beton pada Setiap Pengujian

Gambar di atas menunjukkan perbandingan nilai relatif rata-rata dari masing-masing variasi beton pada tiga parameter pengujian, yaitu kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah. Dari chart terlihat bahwa variasi Perendaman *consistently* memiliki nilai relatif tertinggi pada semua parameter, dengan nilai 1,000, menunjukkan bahwa metode perendaman memberikan performa optimal pada semua aspek mekanik beton yang diuji.

Untuk parameter kuat tekan, variasi Karung Basah berada di posisi kedua (0,904), diikuti *Plastic Sheeting* (0,841), Penyiraman (0,821), dan *Compound* (0,792). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perendaman menghasilkan kekuatan maksimum, variasi lain masih menunjukkan performa yang relatif baik, dengan selisih antara 8–20% dibanding perendaman.

Pada modulus elastisitas, Perendaman juga tertinggi (1,000), disusul Karung Basah (0,978), Penyiraman (0,844), *Plastic Sheeting* (0,729), dan *Compound* (0,705). Hal ini menunjukkan bahwa variasi Karung Basah mampu menjaga kekakuan beton hampir setara dengan perendaman, sedangkan *Compound* memiliki kekakuan terendah.

Untuk kuat tarik belah, Perendaman tetap tertinggi (1,000), diikuti *Plastic Sheeting* (0,958), Penyiraman (0,912), *Compound* (0,815), dan Karung Basah (0,767). Menariknya, *Plastic Sheeting* menunjukkan performa tarik belah yang lebih baik dibandingkan Karung Basah dan Penyiraman, meskipun pada kuat tekan dan modulus elastisitas posisinya lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa metode *curing* dapat mempengaruhi perilaku tarik beton secara berbeda dibandingkan tekan dan kekakuan.

Secara keseluruhan, *chart* ini memperlihatkan kecenderungan bahwa metode Perendaman secara konsisten memberikan performa terbaik, sementara variasi lain menunjukkan kelebihan dan kekurangan spesifik pada masing-masing parameter, yang menjadi dasar perhitungan indeks kinerja untuk menentukan variasi beton optimal secara keseluruhan.

5.11.3 Indeks Kinerja Variasi Beton

Indeks kinerja dihitung untuk menilai performa keseluruhan masing-masing variasi beton dengan menggabungkan nilai relatif dari seluruh parameter pengujian, yaitu berat volume, kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Pendekatan ini digunakan agar penilaian kinerja setiap variasi beton menjadi lebih komprehensif, tidak hanya berdasarkan satu parameter saja, sehingga memudahkan pengambilan keputusan terkait variasi terbaik. Nilai indeks kinerja (IK) dihitung dengan rumus:

$$IK = \frac{\Sigma Ri}{n}$$

Keterangan :

IK : Indeks kinerja variasi beton

Ri : Nilai relative pada parameter ke-i

n : Jumlah parameter yang dianalisis

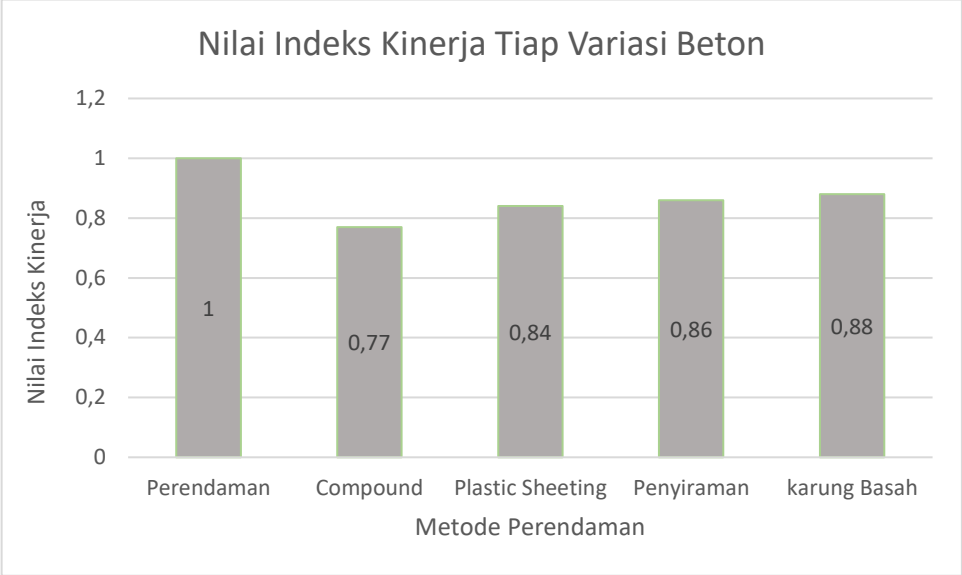
Tabel rekapitulasi berikut menyajikan indeks kinerja masing-masing variasi beton, yang diperoleh dari penggabungan nilai relatif seluruh parameter pengujian. Penyajian ini memungkinkan pembaca untuk mengamati performa keseluruhan setiap variasi secara komparatif, melihat kecenderungan variasi mana yang memiliki kinerja terbaik, serta menjadi dasar objektif dalam pengambilan

keputusan variasi beton optimal sebelum dilakukan evaluasi lebih lanjut. Hasil indeks kinerja ini selanjutnya akan menjadi acuan dalam penarikan kesimpulan, sehingga dapat ditentukan variasi beton yang paling sesuai untuk diaplikasikan berdasarkan kriteria kinerja yang telah ditetapkan.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Nilai Indeks Kinerja Variasi Beton

Metode Perawatan	Nilai Indeks Kinerja Variasi Beton
Perendaman	1,00
Compound	0,77
Plastic Sheeting	0,84
Penyiraman	0,86
Karung Basah	0,88

Untuk mempermudah interpretasi perbandingan indeks kinerja antar variasi beton, nilai indeks setiap variasi kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik batang sebagai berikut. Visualisasi ini memungkinkan pembaca untuk mengamati performa keseluruhan setiap variasi secara cepat, melihat variasi mana yang memiliki indeks kinerja tertinggi maupun terendah, serta memudahkan evaluasi komparatif sebelum dilakukan penarikan kesimpulan mengenai variasi beton yang paling optimal. Berdasarkan grafik dan perhitungan indeks ini, dapat ditentukan variasi beton yang menunjukkan kinerja terbaik sesuai kriteria pengujian yang telah dilakukan, sehingga keputusan pemilihan variasi beton menjadi lebih objektif dan akurat.



Gambar 5.28 Grafik Nilai Indeks Kinerja Variasi Beton

Berdasarkan grafik indeks kinerja variasi beton, terlihat perbedaan performa yang jelas antar metode perawatan *(curing).* Metode perendaman menunjukkan nilai indeks kinerja tertinggi, yaitu sebesar 1,00, yang menandakan bahwa metode ini memberikan kinerja beton paling optimal berdasarkan penggabungan seluruh parameter pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi perawatan dengan perendaman mampu menjaga kelembapan beton secara maksimal dan merata selama proses hidrasi berlangsung.

Metode karung basah berada pada peringkat kedua dengan nilai indeks kinerja 0,88, diikuti oleh metode penyiraman sebesar 0,86. Kedua metode ini masih menunjukkan kinerja yang relatif baik, terutama karena mampu mempertahankan kelembapan permukaan beton, meskipun tidak seoptimal perendaman penuh. Selanjutnya, metode *plastic sheeting* menghasilkan indeks kinerja 0,84, yang menunjukkan performa cukup baik namun dengan efektivitas yang lebih terbatas.

Nilai indeks kinerja terendah diperoleh pada metode *curing compound*, yaitu sebesar 0,77, yang mengindikasikan bahwa metode ini memberikan performa keseluruhan paling rendah dibandingkan variasi lainnya pada penelitian ini.

Secara umum, grafik indeks kinerja menunjukkan kecenderungan bahwa metode *curing* dengan tingkat pengendalian kelembapan yang lebih tinggi dan

merata menghasilkan kinerja beton yang lebih baik. Oleh karena itu, metode perendaman dapat disimpulkan sebagai variasi *curing* paling optimal, diikuti secara berurutan oleh karung basah, penyiraman, *plastic sheeting*, dan *curing compound*.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lima metode perawatan beton, yaitu perendaman, karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan penyemprotan *curing compound*, terhadap karakteristik mekanis beton. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode perawatan yang paling efektif dalam menghasilkan mutu beton optimal berdasarkan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton, serta mengevaluasi dampak metode perawatan yang kurang optimal terhadap kualitas dan kekakuan beton.

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh masing-masing metode *curing* beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton

   Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dan analisis statistik yang telah dilakukan, secara umum seluruh metode *curing* yang diuji menunjukkan perbedaan nilai rata-rata sifat mekanik beton, namun hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan bahwa perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik (nilai signifikansi > 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik inferensial, variasi metode *curing* belum memberikan pengaruh yang nyata, meskipun secara deskriptif terdapat kecenderungan perbedaan kinerja antar metode.

   a. Kuat Tekan Beton

      Nilai kuat tekan rata-rata beton yang dirawat dengan metode perendaman, karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan *curing compound* masing-masing adalah 30,03 MPa, 27,14 MPa, 25,27 MPa, 24,67 MPa, dan 23,77 MPa.

      Secara deskriptif, metode perendaman menghasilkan kuat tekan tertinggi karena proses hidrasi berlangsung lebih optimal akibat suplai air yang

kontinu. Sebaliknya, metode *curing compound* menghasilkan kuat tekan terendah yang menunjukkan bahwa keterbatasan suplai air selama proses perawatan dapat menghambat perkembangan kekuatan beton. Meskipun demikian, berdasarkan hasil ANOVA perbedaan kuat tekan antar metode tersebut masih berada dalam rentang variasi data dan belum dapat dinyatakan signifikan secara statistik.

b. Modulus Elastisitas Beton

Nilai modulus elastisitas beton rata-rata berdasarkan ASTM C-469 (1994) untuk metode perendaman, karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan *curing compound* berturut-turut adalah 25.524,93 MPa, 24.951,50 MPa, 18.594,28 MPa, 21.540,93 MPa, dan 17.997,07 MPa.

Metode perendaman menunjukkan nilai modulus elastisitas tertinggi yang mengindikasikan beton memiliki tingkat kekakuan paling baik, sedangkan metode *curing compound* menghasilkan nilai terendah akibat proses hidrasi yang kurang optimal. Meskipun terdapat satu variasi yang tidak memenuhi uji normalitas, hasil uji homogenitas dan ANOVA menunjukkan bahwa data masih layak dianalisis dan tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antar metode *curing*.

c. Kuat Tarik Belah Beton

Nilai kuat tarik belah beton rata-rata untuk metode perendaman, karung basah, *plastic sheeting*, penyiraman, dan *curing compound* berturut-turut adalah 2,214 MPa, 1,697 MPa, 2,122 MPa, 2,019 MPa, dan 1,804 MPa.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode perendaman memberikan nilai kuat tarik belah tertinggi. Metode *plastic sheeting* juga menunjukkan performa yang relatif baik karena lapisan plastik mampu mempertahankan kelembapan permukaan beton dan mengurangi potensi retak susut dini. Namun demikian, berdasarkan hasil uji statistik, perbedaan kuat tarik belah antar metode *curing* tidak signifikan secara statistik.

2. Metode *curing* beton yang paling efektif dan efisien ditinjau dari mutu beton serta relevansi terhadap kondisi pelaksanaan di lapangan

a. Metode paling efektif berdasarkan mutu beton

   Berdasarkan analisis deskriptif, nilai relatif, dan indeks kinerja variasi beton, metode perendaman menunjukkan performa paling optimal pada seluruh parameter mekanik yang diuji. Metode ini mampu menjaga kelembapan beton secara merata sehingga mendukung proses hidrasi semen secara maksimal. Oleh karena itu, metode perendaman dapat dinyatakan sebagai metode *curing* paling efektif dalam menghasilkan mutu beton optimal, meskipun hasil uji statistik menunjukkan bahwa keunggulan tersebut bersifat kecenderungan dan belum signifikan secara statistik.

b. Metode paling efisien dan realistis untuk pelaksanaaan di lapangan

   Ditinjau dari aspek kepraktisan dan efisiensi pelaksanaan di lapangan, metode karung basah dapat direkomendasikan sebagai alternatif terbaik. Metode ini menghasilkan nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah yang relatif mendekati metode perendaman, dengan kebutuhan air dan peralatan yang lebih sederhana serta mudah diaplikasikan pada berbagai kondisi proyek.

c. Evaluasi metode *curing* lainnya

   1) *Plastic sheeting* memberikan performa yang cukup baik, khususnya pada kuat tarik belah beton, karena mampu mengurangi penguapan air dari permukaan beton.
   2) Penyiraman masih dapat digunakan, namun efektivitasnya sangat bergantung pada konsistensi dan frekuensi penyiraman selama periode *curing*.
   3) *Curing compound* menghasilkan nilai terendah pada seluruh parameter mekanik, yang menunjukkan bahwa metode ini kurang optimal apabila digunakan tanpa dukungan suplai air tambahan.

Secara keseluruhan, metode perendaman menghasilkan mutu beton paling optimal berdasarkan seluruh parameter pengujian, namun penerapannya lebih sesuai untuk kondisi laboratorium. Untuk pelaksanaan di lapangan, metode karung basah dapat direkomendasikan sebagai metode *curing* yang paling efektif dan

efisien karena mampu menjaga mutu beton dengan hasil yang mendekati perendaman serta lebih praktis dalam implementasinya.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun penerapan di lapangan adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai efektivitas metode perawatan beton dengan kombinasi beberapa teknik *curing*, seperti penggunaan karung lembap yang ditutup dengan plastik atau penyiraman yang dikombinasikan dengan *curing compound*. Kombinasi ini berpotensi menghasilkan kelembapan yang lebih stabil dan memperpanjang proses hidrasi semen tanpa membutuhkan perendaman penuh.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap pengaruh variasi suhu dan kelembapan udara terhadap hasil perawatan beton, terutama pada daerah dengan iklim tropis seperti Indonesia. Hasil penelitian tersebut dapat menjadi acuan dalam menentukan metode *curing* yang paling efisien dan sesuai dengan kondisi lingkungan setempat.
3. Penelitian berikutnya dapat difokuskan pada analisis perkembangan kekuatan beton dari umur awal (1–7 hari) hingga 28 hari, untuk melihat sejauh mana efektivitas tiap metode perawatan dalam mempertahankan kekuatan jangka panjang. Pendekatan ini juga dapat membantu dalam menentukan durasi minimal perawatan beton yang efisien tanpa menurunkan mutu.
4. Untuk mendukung penerapan di proyek lapangan, disarankan adanya pengembangan panduan praktis perawatan beton berbasis kondisi lapangan, seperti pengaturan waktu penyiraman, pemilihan bahan penutup, dan penggunaan alat bantu sederhana yang hemat air. Panduan ini diharapkan dapat membantu pelaksana proyek dalam menjaga mutu beton tetap stabil meskipun dihadapkan pada keterbatasan sumber daya dan kondisi lingkungan ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, H.A. 2023. Pengaruh Metode Rawatan Beton Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas Dan Kuat Lentur Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

American Society for Testing and Materials. 1961. *ASTM C-469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. Philadelphia.

Arief Syahar A P. 2015. Pengaruh Cara Perawatan Terhadap Kuat Lentur Beton. *Proyek Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta

Badan Standardisasi Nasional. 1966. SNI 4169 *Metode Pengujian Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson Beton*. Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 2834 Tata Cara Pembuatan Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.* Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 1974 *Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 2493:2011 *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium, Badan Standar Nasional Indonesia*. Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2014. *SNI 4154 Metode uji kekuatan lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang).* Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 2049:2015 Semen Portland, Standar Nasional Indonesia*. Jakarta

Badan Standardisasi Nasional. 2016. *SNI 1970-2016 Metode Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum. 1989. *SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam).* Jakarta.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971*. Jakarta

Evert, E. dan Kushartomo, W. 2024. Analisis Perbandingan Perawatan Beton Terhadap Mutu Beton. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Jakarta

H. Mallisa. 2008. Pengaruh Lamanya Pengadukan Terhadap Nilai Slump Dan Kandungan Udara Campuran Beton. *Jurnal SMARTek*. Palu

Mulyati, M. dan Arkis, Z. 2020. Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*. Padang

Sumajouw, M.D.J., Dapas, S.O. dan Windah, R.S. 2014. Pengujian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Manado

Supriani, F. dan Islam, M. 2019. Pengaruh Metode Perlakuan Dalam Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Durabilitas Beton. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*. Bengkulu

Badan Standarisasi Nasional. 1990. *Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. SNI 03-1968-1990. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm)*. SNI 03-4142-1996. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. SNI 03-4804-1998. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. SNI 03-2834-2000. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974-2011. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. SNI 2493-2011. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2016. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 1970-2016. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. SNI 2847-2019. Jakarta.

Program Studi Teknik Sipil. 2022. *Pedoman Tugas Akhir*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Mulyono, T. (2006). *Teknologi Beton*. Penerbit Andi.

Agustina, R., & Musthofa, M. (2023). *Pengaruh jenis semen dan lama perawatan yang berbeda terhadap kuat tekan beton normal*. Jurnal Handasah: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Al-Azhar.

Mujiyati, A. T. M., Hunggurami, E., & Nasjono, J. K. (2022). *Pengaruh perawatan water-curing dengan variasi lama perawatan dan tinggi perendaman terhadap kuat tekan beton.* Jurnal Teknik Sipil, 11(2), 183–189.

Mulyati, V., Fernando, V., Hunggurami, E., & Sir, T. M. W. (2023*). Pengaruh perawatan beton (curing) menggunakan water curing dan membrane curing terhadap kuat tekan beton.* Jurnal Teknik Sipil, 12(2), 137–144.

Budi, S., Arianti, S., Amalia, A., & Edistria, E. (2023). *Pengaruh curing di lapangan terhadap hasil uji dengan alat hammer test.* Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, e-ISSN 2715-5668.

Sariman, S., Setiawan, A., & Ridwan. (2023). *Analisis waktu curing dan bentuk spesimen terhadap kuat tekan beton PCC.* Jurnal Ilmiah Ecosystem, 23(1), 102–110.

Haekal, D. F. (2022). *Analisis kuat tarik belah dan kuat tekan beton dengan bahan tambah serat potongan limbah banner*. Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium

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

Nomor : 590/Sek. Prodi PSTS/20/TA/IX/2025
Hal : **Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium**

Kepada Yth:
Ketua Jurusan Teknik Sipil
FTSP UII
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Melalui surat ini kami memohon kepada pimpinan Jurusan Teknik Sipil untuk dapat memberikan izin penelitian untuk keperluan penyusunan Tugas Akhir bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama	:	**Habib Husein Syafa**
NIM	:	**21511176**
No. HP Mahasiswa	:	**082335054163**
Judul Tugas Akhir	:	**Pengaruh Metode Curing Terhadap Kinerja Beton Untuk Efektivitas Pekerjaan Lapangan**

Kami mohon bantuan untuk dapat memberikan perizinan peminjaman laboratorium untuk kebutuhan Tugas Akhir di Laboratorium **Bahan Konstruksi Teknik**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia untuk beberapa pengujian berikut:

1. Pengujian kuat tekan
2. Pengujian Kuat Tarik Belah
3. Pengujian Modulus Elastisitas

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, September 2025

Sek.Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

Dinia Anggraheni, S.T., M. Eng

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Jafar, S.T., M.T., MURP

Lampiran 2 Surat Keterangan Bebas Laboratorium

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

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 51/Ka.Lab/60/LBKT/XI/2025

Bismillahirrohmaanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama	: Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK	: 165111301
Jabatan Struktural	: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Tenik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama	: **Habib Husein Syafa**
N I M	: 21511176
Program Studi	: S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Jafar, S.T., M.T., MURP
Instansi	: Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"Pengaruh Metode *Curing* Terhadap Kinerja Beton Untuk Efektivitas Pekerjaan Lapangan"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya*).

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 04 November 2025

Diperiksa oleh :	Di data oleh :
Kepala Laboratorium BKT,	PLP/Teknisi
Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.	Zahwa Imnahosa Puty Pramadi, S.Tr.T.

Lampiran 3 Laporan Hasil Pemeriksaan Agregat

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	**Hasil Pengamatan**	**Satuan**
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	781,5	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	463,5	gram
Berat Jenis Curah, Bk / (B+500-Bt)	2,67	gram
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), 500 / (B+500-Bt	2,75	gram
Berat Jenis semu, Bk / (B+Bk-Bt)	2,91	gram
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	3,09	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (Gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (Gram)	Persen Lolos Komulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
2,4	107	5,35	5,35	94,65
1,2	426	21,30	26,65	73,35
0,6	603	30,15	56,80	43,20
0,3	390	19,50	76,30	23,70
0,15	350	17,50	93,80	6,20
Sisa	125	6,20	100,00	0,00
Jumlah	2000	100	258,9	641,1

Modulus Halus Butir $= \frac{258,9}{100}$

= 2,589

GRADASI AGREGAT HALUS

Gradasi Agregat Halus				
Lubang ayakan (mm)	**Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)**			
	Daerah I	**Daerah II**	**Daerah III**	**Daerah IV**
10,00	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	60-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

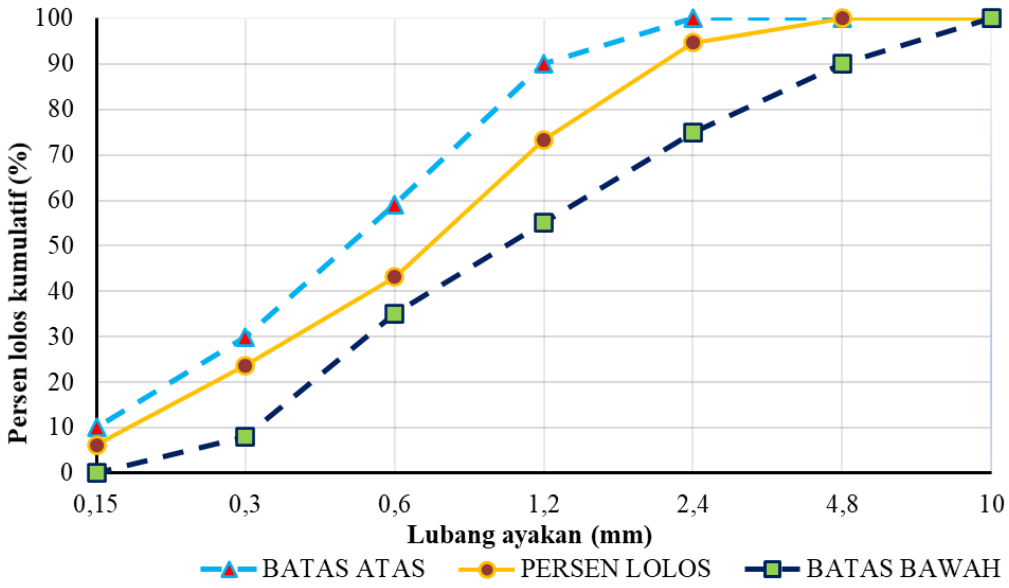
Daerah IV : Pasir Halus

Hasli Analisa Saringan

Pasir Masuk Daerah : Daerah II

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	10 cm
Tinggi Silinder	20 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	5202	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2)	7628	gram
Berat Agregat (W3)	2426	gram
Diameter Tabung (d)	10	cm
Tinggi Tabung (t)	20	cm
Volume Tabung (V)	1656	cm^3
Berat Volume Gembur	1,46	$gram/cm^3$

Berat Volume Gembur $= \frac{\textbf{Berat Agregat}}{\textbf{Volume Tabung}}$

$= \frac{2426}{1656}$

= 1,46 gram/cm³

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	10 cm
Tinggi Silinder	20 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	5202	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2)	8064	gram
Berat Agregat (W3)	2862	gram
Diameter Tabung (d)	10	cm
Tinggi Tabung (t)	20	cm
Volume Tabung (V)	1656	cm^3
Berat Volume Gembur	1,73	$gram/cm^3$

Berat Volume Padat $= \frac{\textbf{Berat Agregat}}{\textbf{Volume Tabung}}$

$= \frac{2862}{1656}$

= 1,73 gram/cm³

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Agregat Kering Oven (W1)	500	gram
Berat Agregat Kering Oven Setelah Di Cuci (W2)	488	gram
Berat Yang Lolos Ayakan No. 200	2,50	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4945	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3074,50	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,57	gram
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,60	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,64	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,11	%

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (Gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Komulatif (Gram)	Persen Lolos Komulatif (%)
40	0	0	0	100
20	75	1,5	1,5	98,5
10	3060	61,2	62,7	37,3
4,8	1562	31,24	93,94	6,06
2,4	166	3,32	97,26	2,74
1,2	4	0,08	97,34	2,66
0,6	0	0	97,34	2,66
0,3	0	0	97,34	2,66
0,15	0	0	97,34	2,66
Sisa	133	2,66	100,00	0
Jumlah	5000	100	644,76	255,24

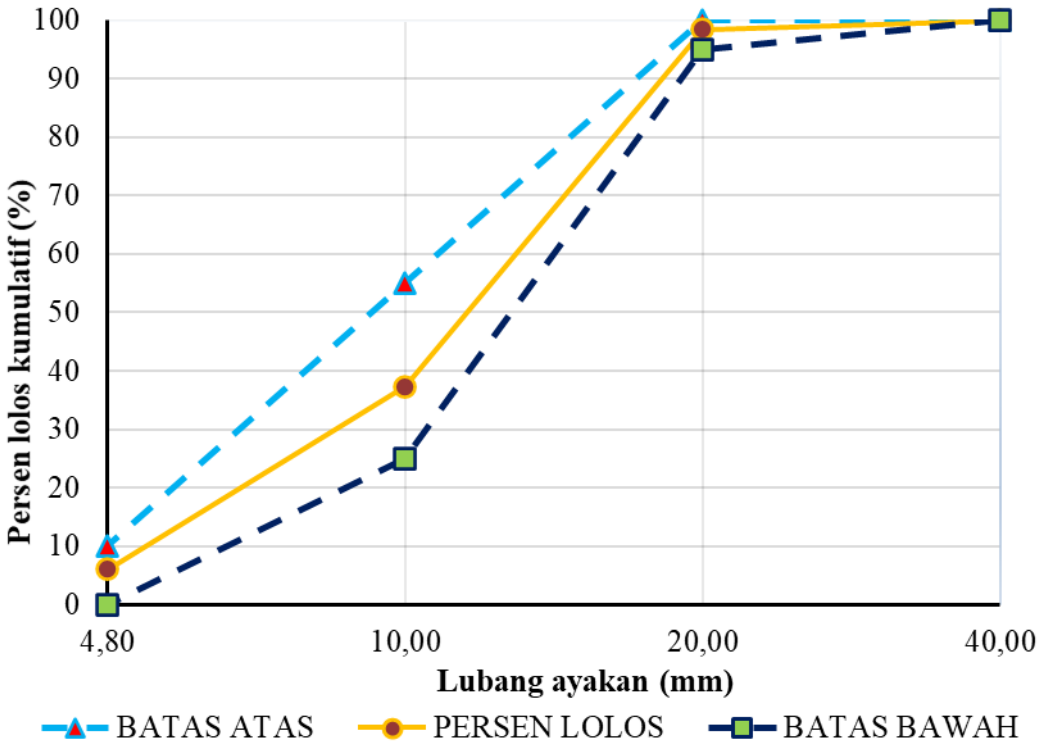
Modulus Halus Butir $= \frac{644,76}{100}$

= 6,45

GRADASI AGREGAT KASAR

Gradasi Agregat Kasar		
Lubang ayakan (mm)	**Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/ Besar Butiran Maksimum**	
	40 mm	**20 mm**
40	95 - 100	100
20	30 - 70	95-100
10	10 - 35	25-55
4,8	0 - 5	0 - 10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR

AGREGAT KASAR (SNI 4804-1998)

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	10 cm
Tinggi Silinder	20 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	5202	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2)	7384	gram
Berat Agregat (W3)	2182	gram
Diameter Tabung (d)	10	cm
Tinggi Tabung (t)	20	cm
Volume Tabung (V)	1656	cm^3
Berat Volume Gembur	1,32	$gram/cm^3$

$$\textbf{Berat Volume Gembur} = \frac{\textbf{Berat Agregat}}{\textbf{Volume Tabung}}$$

$$= \frac{2182}{1656}$$

$$= 1{,}32\ gram/cm^3$$

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	10 cm
Tinggi Silinder	20 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	5202	gram
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2)	7847	gram
Berat Agregat (W3)	2646	gram
Diameter Tabung (d)	10	cm
Tinggi Tabung (t)	20	cm
Volume Tabung (V)	1656	cm^3
Berat Volume Gembur	1,60	$gram/cm^3$

Berat Volume Padat $= \frac{\textbf{Berat Agregat}}{\textbf{Volume Tabung}}$

$= \frac{2646}{1656}$

= 1,60 gram/cm³

Lampiran 4 Laporan Hasil Perencanaan Campuran

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaraatkan	30	Mpa
2	Standar Deviasi	7	Mpa
3	Nilai Tambah/ Margin	12	Mpa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar (Kerikil)	Batu Pecah	
	Jenis Agregat Halus (Pasir)	Alami	
7	Faktor air semen bebas	0,44	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,44	
9	Slump	60 - 180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	Kg/m³
12	Kadar semen	466	Kg/m³
13	Kadar semen maksimum	-	Kg/m³
14	Kadar semen minimum	275	Kg/m³
15	Kadar semen digunakan	466	Kg/m³
16	FAS disesuaikan	0,44	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,60	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,75	
19	Persen agregat halus	40,50	%
20	Persen agregat kasar	59,50	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan	2,66	
22	Berat isi beton	2378	Kg/m³
23	Kadar agregat gabungan	1707	Kg/m³
24	Kadar agregat halus	691,37	Kg/m³
25	Kadar agregat kasar	1015,72	Kg/m³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	628,98	Kg/m³
27	Kadar agregat halus dengan angka	933,35	Kg/m³
28	Kadar agregat kasar dengan angka	1371,22	Kg/m³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	276,75	Kg/m³

Lampiran 5 Laporan Hasil Berat Volume Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Volume	Berat	Berat Volume	Berat Volume Rata-rata
			m	m	m^3	Kg	Kg/m^3	Kg/m^3
Perendaman	28 Hari	S1-R	0,150	0,298	0,00525	12,430	2366,690	2386,523
		S2-R	0,150	0,300	0,00530	12,396	2338,234	
		S3-R	0,150	0,301	0,00529	12,595	2381,348	
		S4-R	0,150	0,301	0,00531	12,750	2401,006	
		S5-R	0,150	0,300	0,00530	12,810	2416,326	
		S6-R	0,150	0,301	0,00530	12,810	2415,536	
Compound		S1-C	0,150	0,300	0,00529	12,015	2270,908	2303,472
		S2-C	0,150	0,300	0,00529	12,270	2320,658	
		S3-C	0,150	0,300	0,00530	12,095	2282,980	
		S4-C	0,150	0,300	0,00530	12,440	2344,970	
		S5-C	0,150	0,300	0,00531	12,165	2291,605	
		S6-C	0,150	0,300	0,00531	12,255	2309,712	
Plastic Sheeting		S1-P	0,150	0,300	0,00530	12,465	2353,603	2346,302
		S2-P	0,150	0,300	0,00530	12,460	2350,306	
		S3-P	0,150	0,300	0,00531	12,530	2360,363	
		S4-P	0,150	0,300	0,00530	12,446	2350,015	
		S5-P	0,150	0,300	0,00530	12,275	2315,410	
		S6-P	0,150	0,300	0,00531	12,465	2348,118	
Penyiraman		S1-S	0,150	0,301	0,00531	12,465	2346,556	2360,505
		S2-S	0,150	0,299	0,00528	12,645	2393,179	
		S3-S	0,150	0,300	0,00530	12,485	2355,022	
		S4-S	0,150	0,301	0,00531	12,450	2343,732	
		S5-S	0,150	0,299	0,00528	12,520	2369,522	
		S6-S	0,150	0,300	0,00530	12,485	2355,022	
Karung Basah		S1-K	0,150	0,301	0,00529	12,685	2397,552	2374,237
		S2-K	0,150	0,301	0,00531	12,575	2368,051	
		S3-K	0,150	0,300	0,00529	12,680	2398,195	
		S4-K	0,150	0,301	0,00529	12,630	2387,157	
		S5-K	0,150	0,300	0,00530	12,495	2356,908	
		S6-K	0,150	0,301	0,00530	12,380	2337,559	

Lampiran 6 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tekan

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

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON (SNI 1974 : 2011)

Nama : Habib Husein Syafa
NIM : 21511176
Asal Instansi : Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir
Hasil :

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Tinggi	Luas Penampang	Beban Maks	Kuat Tekan	Rata-rata
			mm	mm	mm²	Kn	Mpa	Mpa
Perendaman	28 Hari	S1-R	149,800	298,000	17624,366	498,153	28,27	30,030
		S2-R	150,000	300,000	17671,459	568,968	32,20	
		S3-R	149,600	300,900	17577,337	520,764	29,63	
Compound		S1-C	149,800	300,200	17624,366	421,000	23,82	23,772
		S2-C	149,700	300,400	17600,844	405,850	23,00	
		S3-C	149,900	300,200	17647,905	432,880	24,50	
Plastik Sheeting		S1-P	150,000	299,700	17671,459	445,810	25,23	25,266
		S2-P	150,000	300,000	17671,459	475,150	26,89	
		S3-P	150,000	300,400	17671,459	418,480	23,68	
Penyiraman		S1-S	150,000	300,600	17671,459	388,580	21,99	24,668
		S2-S	150,000	299,000	17671,459	456,950	25,86	
		S3-S	150,000	300,000	17671,459	462,240	26,16	
Karung Basah		S1-K	149,700	300,600	17600,844	488,410	27,64	27,139
		S2-K	150,000	300,500	17671,459	542,380	30,69	
		S3-K	149,800	300,000	17624,366	407,980	23,09	

Mengetahui,
Kepala Lab. BKT

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

Di periksa oleh
PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

Lampiran 7 Laporan Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Sampel 1

Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	28,265 MPa
Diameter	149,8 mm
Tinggi	298 mm
Luas	17624,366 mm^2
L_o	200,0 mm

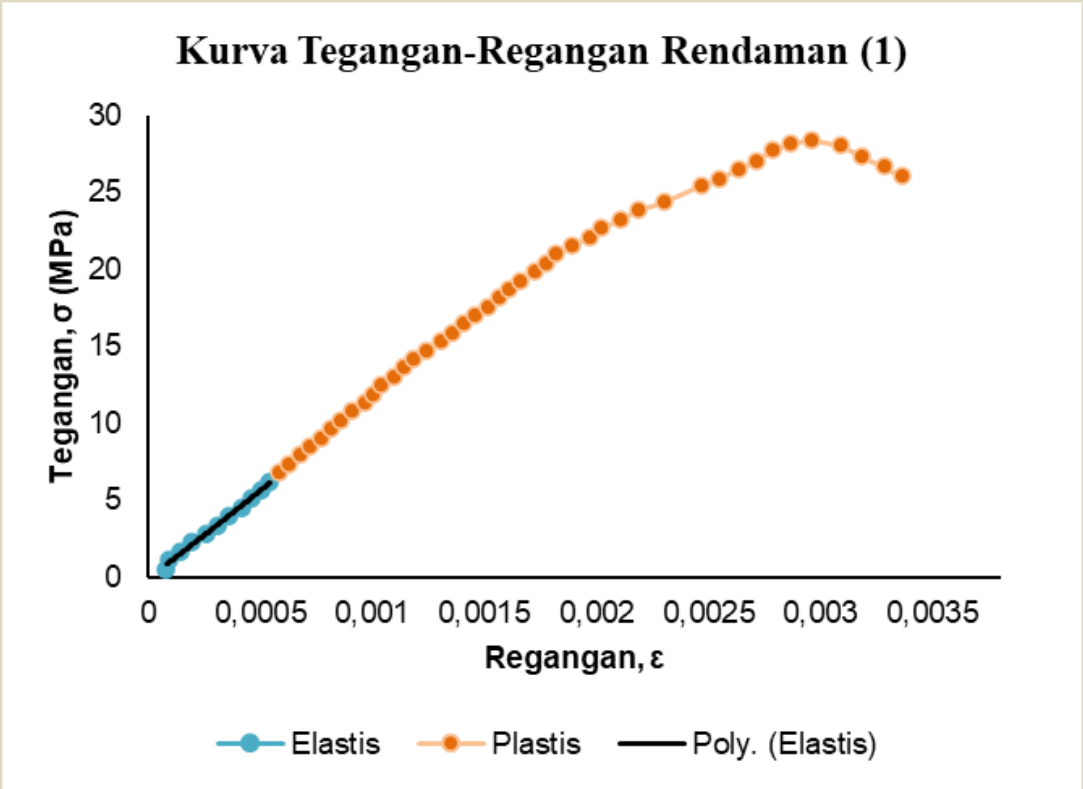
Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (∆L)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	14	0,007	0,004%	0,57
20	20000	19	0,0095	0,005%	1,13
30	30000	39	0,0195	0,010%	1,70
40	40000	60	0,03	0,015%	2,27
50	50000	85	0,0425	0,021%	2,84
60	60000	104	0,052	0,026%	3,40
70	70000	125	0,0625	0,031%	3,97
80	80000	147	0,0735	0,037%	4,54
90	90000	166	0,083	0,042%	5,11
100	100000	182	0,091	0,046%	5,67
110	110000	198	0,099	0,050%	6,24
120	120000	215	0,1075	0,054%	6,81
130	130000	233	0,1165	0,058%	7,38
140	140000	252	0,126	0,063%	7,94
150	150000	270	0,135	0,068%	8,51

160	160000	290	0,145	0,073%	9,08
170	170000	308	0,154	0,077%	9,65
180	180000	325	0,1625	0,081%	10,21
190	190000	345	0,1725	0,086%	10,78
200	200000	367	0,1835	0,092%	11,35
210	210000	381	0,1905	0,095%	11,92
220	220000	397	0,1985	0,099%	12,48
230	230000	418	0,209	0,105%	13,05
240	240000	438	0,219	0,110%	13,62
250	250000	455	0,2275	0,114%	14,18
260	260000	478	0,239	0,120%	14,75
270	270000	502	0,251	0,126%	15,32
280	280000	522	0,261	0,131%	15,89
290	290000	543	0,2715	0,136%	16,45
300	300000	565	0,2825	0,141%	17,02
310	310000	586	0,293	0,147%	17,59
320	320000	608	0,304	0,152%	18,16
330	330000	625	0,3125	0,156%	18,72
340	340000	645	0,3225	0,161%	19,29
350	350000	669	0,3345	0,167%	19,86
360	360000	690	0,345	0,173%	20,43
370	370000	708	0,354	0,177%	20,99
380	380000	737	0,3685	0,184%	21,56
390	390000	768	0,384	0,192%	22,13
400	400000	790	0,395	0,198%	22,70
410	410000	823	0,4115	0,206%	23,26
420	420000	854	0,427	0,214%	23,83
430	430000	900	0,45	0,225%	24,40
449	449000	968	0,484	0,242%	25,48
456	456000	998	0,499	0,250%	25,87
468	468000	1034	0,517	0,259%	26,55
477	477000	1065	0,5325	0,266%	27,06
489	489000	1095	0,5475	0,274%	27,75
496	496000	1127	0,5635	0,282%	28,14
500	500000	1164	0,582	0,291%	28,37
494	494000	1216	0,608	0,304%	28,03

482	482000	1254	0,627	0,314%	27,35
470	470000	1293	0,6465	0,323%	26,67
460	460000	1325	0,6625	0,331%	26,10

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Sampel 1



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	11739,23	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	24987,47	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	26321,16	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Sampel 2

Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	32,197 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

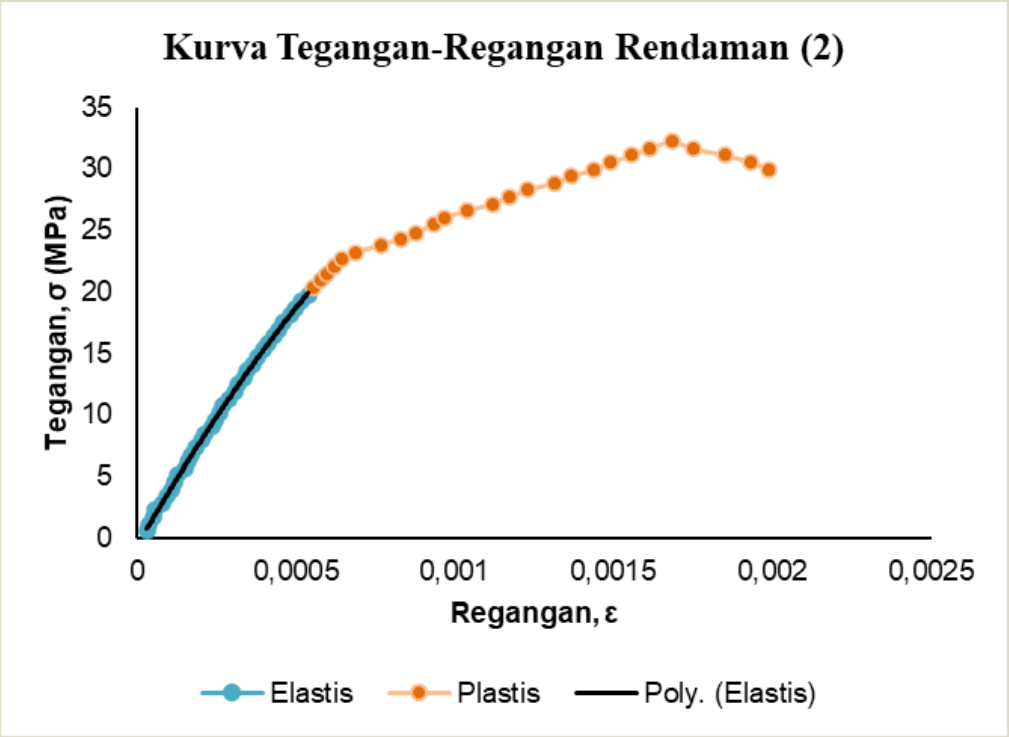
Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	9	0,0045	0,002%	0,57
20	20000	12	0,006	0,003%	1,13
30	30000	17	0,0085	0,004%	1,70
40	40000	19	0,0095	0,005%	2,26
50	50000	28	0,014	0,007%	2,83
60	60000	34	0,017	0,009%	3,40
70	70000	39	0,0195	0,010%	3,96
80	80000	43	0,0215	0,011%	4,53
90	90000	48	0,024	0,012%	5,09
100	100000	56	0,028	0,014%	5,66
110	110000	60	0,03	0,015%	6,22
120	120000	65	0,0325	0,016%	6,79
130	130000	70	0,035	0,018%	7,36
140	140000	78	0,039	0,020%	7,92
150	150000	82	0,041	0,021%	8,49
160	160000	90	0,045	0,023%	9,05

170	170000	94	0,047	0,024%	9,62
180	180000	100	0,05	0,025%	10,19
190	190000	105	0,0525	0,026%	10,75
200	200000	112	0,056	0,028%	11,32
210	210000	119	0,0595	0,030%	11,88
220	220000	123	0,0615	0,031%	12,45
230	230000	130	0,065	0,033%	13,02
240	240000	135	0,0675	0,034%	13,58
250	250000	143	0,0715	0,036%	14,15
260	260000	148	0,074	0,037%	14,71
270	270000	155	0,0775	0,039%	15,28
280	280000	162	0,081	0,041%	15,84
290	290000	169	0,0845	0,042%	16,41
300	300000	174	0,087	0,044%	16,98
310	310000	180	0,09	0,045%	17,54
320	320000	189	0,0945	0,047%	18,11
330	330000	195	0,0975	0,049%	18,67
340	340000	203	0,1015	0,051%	19,24
350	350000	212	0,106	0,053%	19,81
360	360000	218	0,109	0,055%	20,37
370	370000	227	0,1135	0,057%	20,94
380	380000	236	0,118	0,059%	21,50
390	390000	245	0,1225	0,061%	22,07
400	400000	254	0,127	0,064%	22,64
410	410000	271	0,1355	0,068%	23,20
420	420000	303	0,1515	0,076%	23,77
430	430000	329	0,1645	0,082%	24,33
438	438000	348	0,174	0,087%	24,79
450	450000	369	0,1845	0,092%	25,46
460	460000	383	0,1915	0,096%	26,03

470	470000	412	0,206	0,103%	26,60
480	480000	444	0,222	0,111%	27,16
490	490000	465	0,2325	0,116%	27,73
500	500000	488	0,244	0,122%	28,29
510	510000	521	0,2605	0,130%	28,86
520	520000	543	0,2715	0,136%	29,43
530	530000	572	0,286	0,143%	29,99
540	540000	592	0,296	0,148%	30,56
550	550000	619	0,3095	0,155%	31,12
560	560000	642	0,321	0,161%	31,69
570	570000	670	0,335	0,168%	32,26
560	560000	696	0,348	0,174%	31,69
550	550000	737	0,3685	0,184%	31,12
540	540000	769	0,3845	0,192%	30,56
530	530000	792	0,396	0,198%	29,99

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Sampel 2



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	38745,23	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	26668,93	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	27587,23	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Sampel 3

Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	29,627 MPa
Diameter	149,6 mm
Tinggi	300,9 mm
Luas	17577,337 mm^2
L_o	200,0 mm

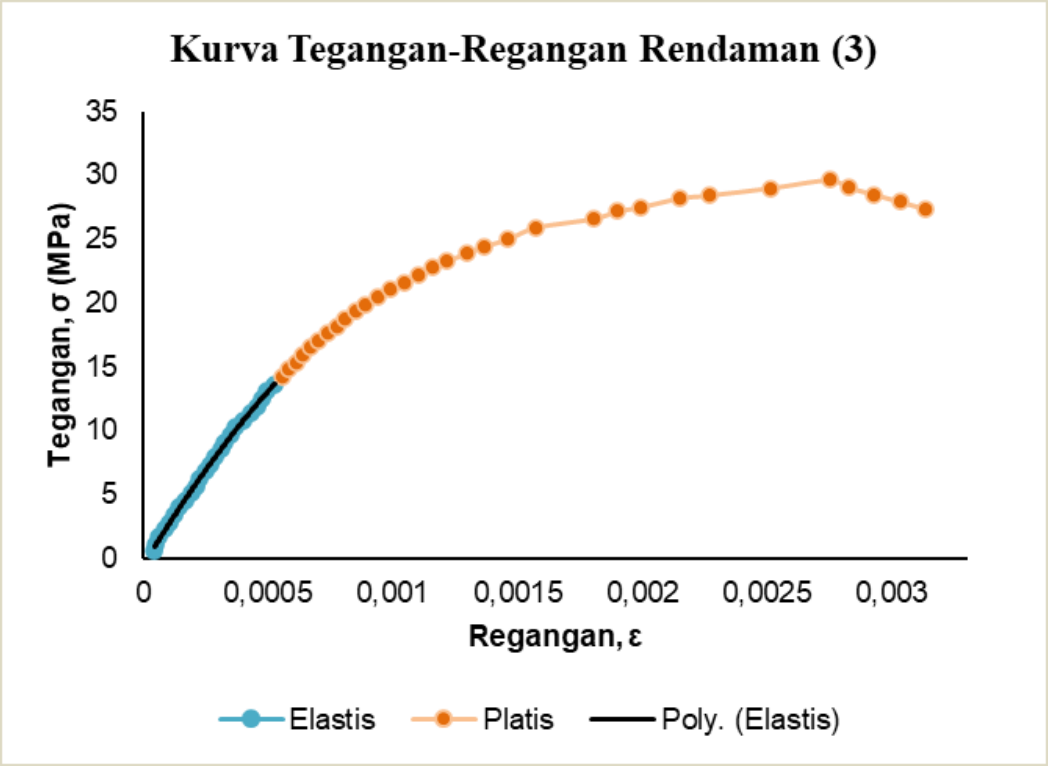
Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	11	0,0055	0,003%	0,57
20	20000	14	0,007	0,004%	1,14
30	30000	19	0,0095	0,005%	1,71
40	40000	28	0,014	0,007%	2,28
50	50000	36	0,018	0,009%	2,84
60	60000	43	0,0215	0,011%	3,41
70	70000	52	0,026	0,013%	3,98
80	80000	60	0,03	0,015%	4,55
90	90000	70	0,035	0,018%	5,12
100	100000	78	0,039	0,020%	5,69
110	110000	84	0,042	0,021%	6,26
120	120000	93	0,0465	0,023%	6,83
130	130000	102	0,051	0,026%	7,40
140	140000	109	0,0545	0,027%	7,96
150	150000	118	0,059	0,030%	8,53
160	160000	123	0,0615	0,031%	9,10
170	170000	133	0,0665	0,033%	9,67
180	180000	142	0,071	0,036%	10,24
190	190000	154	0,077	0,039%	10,81

200	200000	165	0,0825	0,041%	11,38
210	210000	176	0,088	0,044%	11,95
220	220000	183	0,0915	0,046%	12,52
230	230000	192	0,096	0,048%	13,09
240	240000	204	0,102	0,051%	13,65
250	250000	217	0,1085	0,054%	14,22
260	260000	227	0,1135	0,057%	14,79
270	270000	238	0,119	0,060%	15,36
280	280000	250	0,125	0,063%	15,93
290	290000	262	0,131	0,066%	16,50
300	300000	275	0,1375	0,069%	17,07
310	310000	288	0,144	0,072%	17,64
320	320000	303	0,1515	0,076%	18,21
330	330000	317	0,1585	0,079%	18,77
340	340000	334	0,167	0,084%	19,34
350	350000	350	0,175	0,088%	19,91
360	360000	368	0,184	0,092%	20,48
370	370000	388	0,194	0,097%	21,05
380	380000	412	0,206	0,103%	21,62
390	390000	434	0,217	0,109%	22,19
400	400000	458	0,229	0,115%	22,76
410	410000	480	0,24	0,120%	23,33
420	420000	511	0,2555	0,128%	23,89
430	430000	540	0,27	0,135%	24,46
440	440000	578	0,289	0,145%	25,03
456	456000	623	0,3115	0,156%	25,94
468	468000	715	0,3575	0,179%	26,63
478	478000	752	0,376	0,188%	27,19
484	484000	791	0,3955	0,198%	27,54
496	496000	853	0,4265	0,213%	28,22
500	500000	899	0,4495	0,225%	28,45
510	510000	998	0,499	0,250%	29,01
521	521000	1092	0,546	0,273%	29,64
511	511000	1122	0,561	0,281%	29,07
501	501000	1164	0,582	0,291%	28,50
491	491000	1206	0,603	0,302%	27,93

481	481000	1247	0,6235	0,312%	27,36

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Perendaman Sampel 3



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	26090,34	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	25582,42	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	27198,61	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Compound* Sampel 1

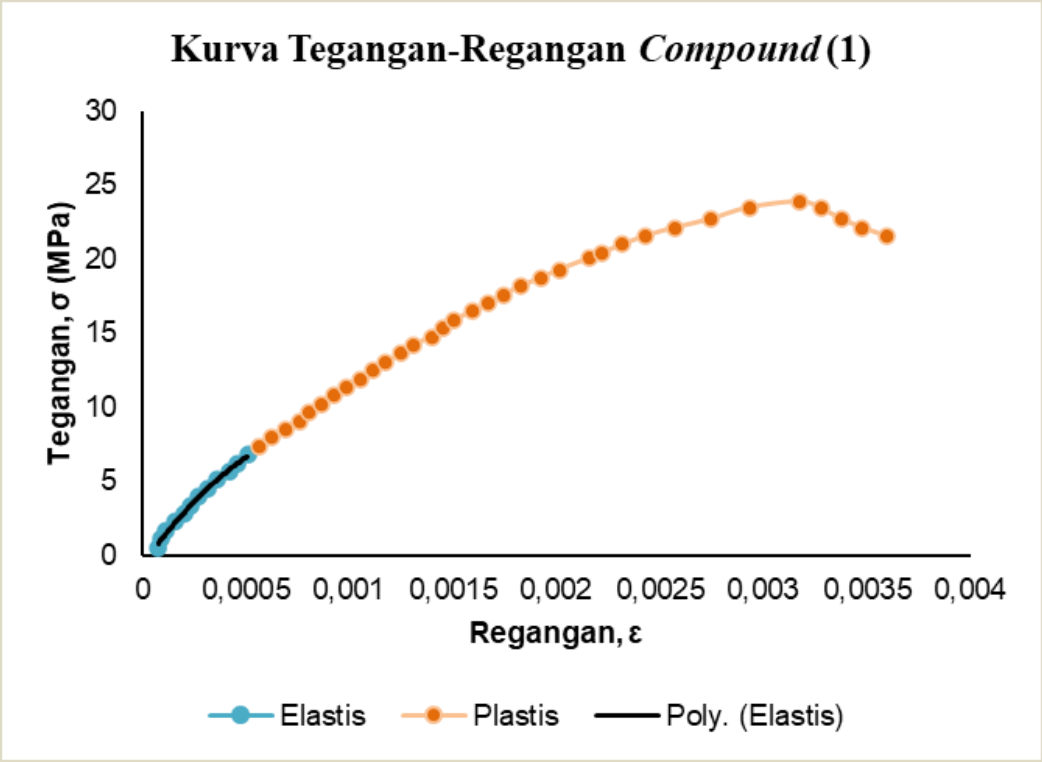
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Compound*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,823 MPa
Diameter	149,8 mm
Tinggi	300,2 mm
Luas	17624,366 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	12	0,006	0,003%	0,57
20	20000	19	0,0095	0,005%	1,13
30	30000	27	0,0135	0,007%	1,70
40	40000	44	0,022	0,011%	2,27
50	50000	62	0,031	0,016%	2,84
60	60000	75	0,0375	0,019%	3,40
70	70000	91	0,0455	0,023%	3,97
80	80000	108	0,054	0,027%	4,54
90	90000	127	0,0635	0,032%	5,11
100	100000	150	0,075	0,038%	5,67
110	110000	166	0,083	0,042%	6,24
120	120000	185	0,0925	0,046%	6,81
130	130000	207	0,1035	0,052%	7,38
140	140000	230	0,115	0,058%	7,94
150	150000	258	0,129	0,065%	8,51
160	160000	284	0,142	0,071%	9,08
170	170000	303	0,1515	0,076%	9,65
180	180000	327	0,1635	0,082%	10,21
190	190000	352	0,176	0,088%	10,78

200	200000	375	0,1875	0,094%	11,35
210	210000	402	0,201	0,101%	11,92
220	220000	428	0,214	0,107%	12,48
230	230000	452	0,226	0,113%	13,05
240	240000	482	0,241	0,121%	13,62
250	250000	504	0,252	0,126%	14,18
260	260000	540	0,27	0,135%	14,75
270	270000	562	0,281	0,141%	15,32
280	280000	582	0,291	0,146%	15,89
290	290000	620	0,31	0,155%	16,45
300	300000	648	0,324	0,162%	17,02
310	310000	679	0,3395	0,170%	17,59
320	320000	712	0,356	0,178%	18,16
330	330000	750	0,375	0,188%	18,72
340	340000	787	0,3935	0,197%	19,29
354	354000	846	0,423	0,212%	20,09
360	360000	870	0,435	0,218%	20,43
370	370000	909	0,4545	0,227%	20,99
380	380000	953	0,4765	0,238%	21,56
390	390000	1010	0,505	0,253%	22,13
400	400000	1078	0,539	0,270%	22,70
414	414000	1153	0,5765	0,288%	23,49
421	421000	1252	0,626	0,313%	23,89
413	413000	1292	0,646	0,323%	23,43
400	400000	1332	0,666	0,333%	22,70
390	390000	1372	0,686	0,343%	22,13
380	380000	1418	0,709	0,355%	21,56

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Compound* Sampel 1



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	11987,25	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	22940,14	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	22712,56	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Compound* Sampel 2

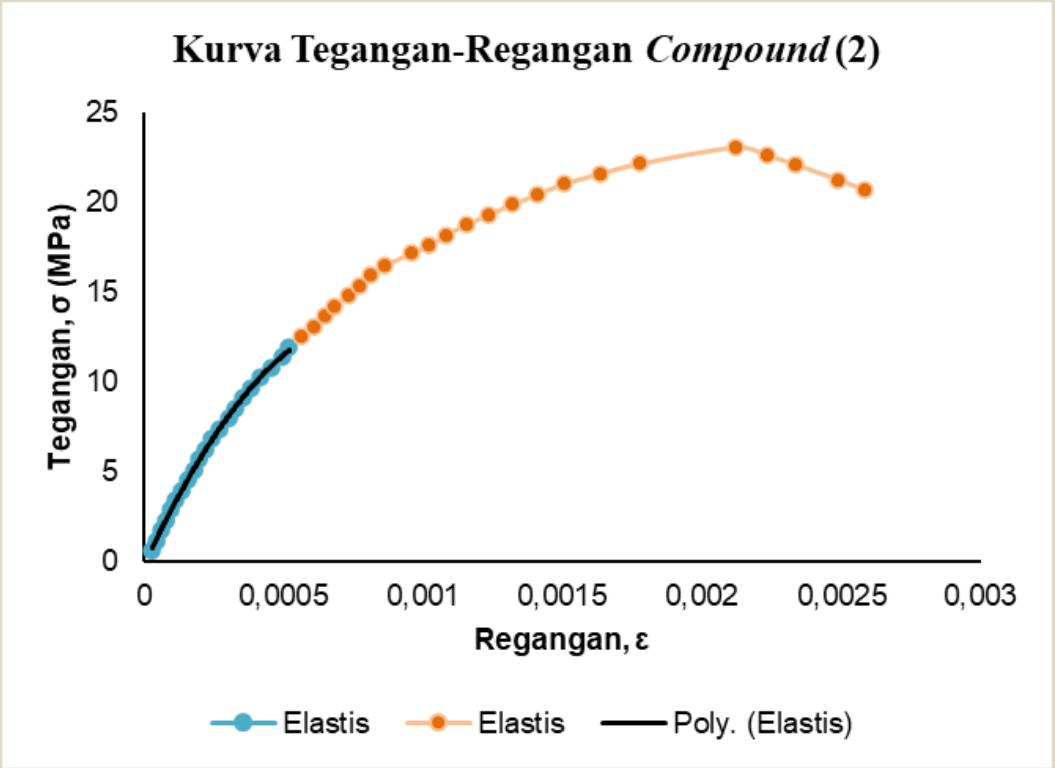
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Compound*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,996 MPa
Diameter	149,7 mm
Tinggi	300,4 mm
Luas	17600,844 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	10	0,005	0,003%	0,57
20	20000	16	0,008	0,004%	1,14
30	30000	23	0,0115	0,006%	1,70
40	40000	30	0,015	0,008%	2,27
50	50000	37	0,0185	0,009%	2,84
60	60000	43	0,0215	0,011%	3,41
70	70000	53	0,0265	0,013%	3,98
80	80000	62	0,031	0,016%	4,55
90	90000	70	0,035	0,018%	5,11
100	100000	77	0,0385	0,019%	5,68
110	110000	87	0,0435	0,022%	6,25
120	120000	96	0,048	0,024%	6,82
130	130000	107	0,0535	0,027%	7,39
140	140000	120	0,06	0,030%	7,95
150	150000	130	0,065	0,033%	8,52
160	160000	140	0,07	0,035%	9,09
170	170000	152	0,076	0,038%	9,66
180	180000	166	0,083	0,042%	10,23
190	190000	181	0,0905	0,045%	10,79

200	200000	197	0,0985	0,049%	11,36
210	210000	207	0,1035	0,052%	11,93
220	220000	225	0,1125	0,056%	12,50
230	230000	242	0,121	0,061%	13,07
240	240000	257	0,1285	0,064%	13,64
250	250000	272	0,136	0,068%	14,20
260	260000	292	0,146	0,073%	14,77
270	270000	308	0,154	0,077%	15,34
280	280000	324	0,162	0,081%	15,91
290	290000	344	0,172	0,086%	16,48
302	302000	382	0,191	0,096%	17,16
310	310000	408	0,204	0,102%	17,61
320	320000	432	0,216	0,108%	18,18
330	330000	460	0,23	0,115%	18,75
340	340000	493	0,2465	0,123%	19,32
350	350000	527	0,2635	0,132%	19,89
360	360000	563	0,2815	0,141%	20,45
370	370000	600	0,3	0,150%	21,02
380	380000	652	0,326	0,163%	21,59
390	390000	709	0,3545	0,177%	22,16
406	406000	847	0,4235	0,212%	23,07
398	398000	892	0,446	0,223%	22,61
389	389000	933	0,4665	0,233%	22,10
374	374000	994	0,497	0,249%	21,25
364	364000	1032	0,516	0,258%	20,68

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Compound* Sampel 2



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	25658,59	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	22538,45	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	23052,15	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Compound* Sampel 3

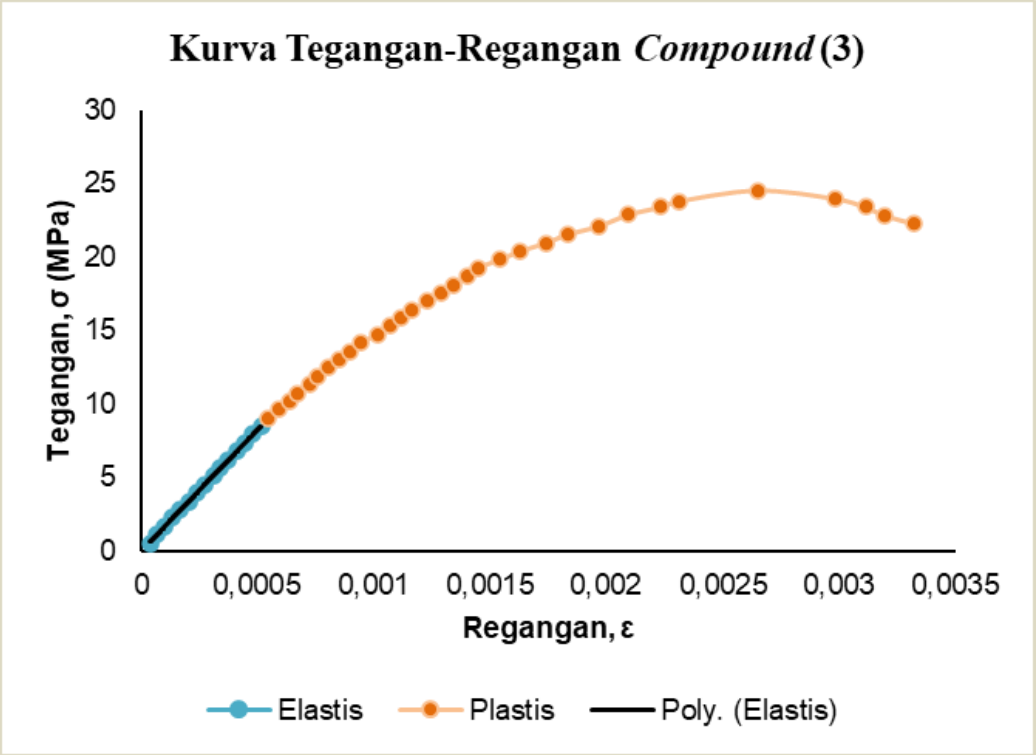
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Compound*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,496 MPa
Diameter	149,9 mm
Tinggi	300,2 mm
Luas	17647,905 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	9	0,0045	0,002%	0,57
20	20000	21	0,0105	0,005%	1,13
30	30000	33	0,0165	0,008%	1,70
40	40000	48	0,024	0,012%	2,27
50	50000	60	0,03	0,015%	2,83
60	60000	75	0,0375	0,019%	3,40
70	70000	90	0,045	0,023%	3,97
80	80000	104	0,052	0,026%	4,53
90	90000	119	0,0595	0,030%	5,10
100	100000	128	0,064	0,032%	5,67
110	110000	143	0,0715	0,036%	6,23
120	120000	159	0,0795	0,040%	6,80
130	130000	173	0,0865	0,043%	7,37
140	140000	185	0,0925	0,046%	7,93
150	150000	200	0,1	0,050%	8,50
160	160000	212	0,106	0,053%	9,07
170	170000	229	0,1145	0,057%	9,63
180	180000	250	0,125	0,063%	10,20
190	190000	262	0,131	0,066%	10,77

200	200000	283	0,1415	0,071%	11,33
210	210000	297	0,1485	0,074%	11,90
220	220000	314	0,157	0,079%	12,47
230	230000	334	0,167	0,084%	13,03
240	240000	353	0,1765	0,088%	13,60
250	250000	370	0,185	0,093%	14,17
260	260000	400	0,2	0,100%	14,73
270	270000	422	0,211	0,106%	15,30
280	280000	440	0,22	0,110%	15,87
290	290000	460	0,23	0,115%	16,43
300	300000	485	0,2425	0,121%	17,00
310	310000	510	0,255	0,128%	17,57
320	320000	530	0,265	0,133%	18,13
330	330000	555	0,2775	0,139%	18,70
340	340000	573	0,2865	0,143%	19,27
350	350000	610	0,305	0,153%	19,83
360	360000	645	0,3225	0,161%	20,40
370	370000	690	0,345	0,173%	20,97
380	380000	726	0,363	0,182%	21,53
390	390000	780	0,39	0,195%	22,10
404	404000	832	0,416	0,208%	22,89
413	413000	887	0,4435	0,222%	23,40
420	420000	918	0,459	0,230%	23,80
433	433000	1053	0,5265	0,263%	24,54
423	423000	1188	0,594	0,297%	23,97
413	413000	1239	0,6195	0,310%	23,40
403	403000	1272	0,636	0,318%	22,84
393	393000	1322	0,661	0,331%	22,27

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Compound* Sampel 3



ASTM C-469	$(Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	16345,37	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \text{ x } \sqrt{f'c})$	23261,91	MPa
	$(Wc^{1,5} \ x \ 0,043 \ x \ \sqrt{f'c})$	23215,02	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Plastic Sheeting* Sampel 1

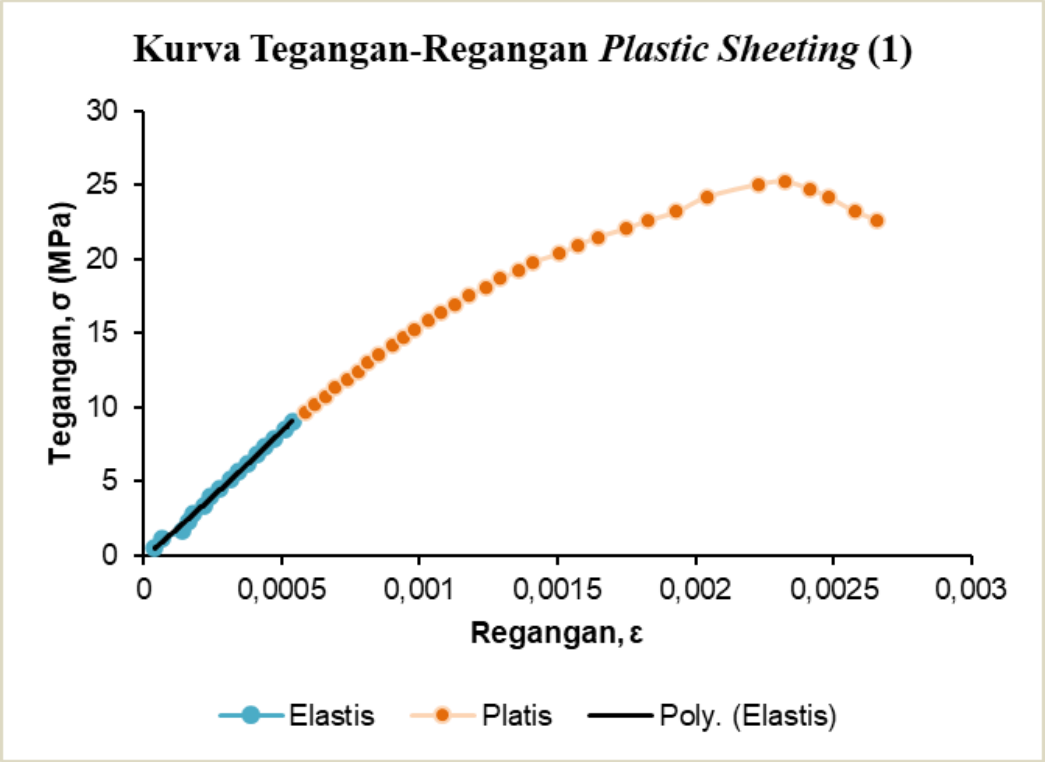
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Plastic Sheeting*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,228 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	299,7 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	8	0,004	0,002%	0,57
20	20000	19	0,0095	0,005%	1,13
30	30000	47	0,0235	0,012%	1,70
40	40000	58	0,029	0,015%	2,26
50	50000	63	0,0315	0,016%	2,83
60	60000	80	0,04	0,020%	3,40
70	70000	88	0,044	0,022%	3,96
80	80000	103	0,0515	0,026%	4,53
90	90000	118	0,059	0,030%	5,09
100	100000	129	0,0645	0,032%	5,66
110	110000	143	0,0715	0,036%	6,22
120	120000	156	0,078	0,039%	6,79
130	130000	168	0,084	0,042%	7,36
140	140000	180	0,09	0,045%	7,92
150	150000	196	0,098	0,049%	8,49
160	160000	208	0,104	0,052%	9,05
170	170000	227	0,1135	0,057%	9,62
180	180000	240	0,12	0,060%	10,19
190	190000	256	0,128	0,064%	10,75

200	200000	270	0,135	0,068%	11,32
210	210000	287	0,1435	0,072%	11,88
220	220000	303	0,1515	0,076%	12,45
230	230000	317	0,1585	0,079%	13,02
240	240000	332	0,166	0,083%	13,58
250	250000	352	0,176	0,088%	14,15
260	260000	368	0,184	0,092%	14,71
270	270000	385	0,1925	0,096%	15,28
280	280000	404	0,202	0,101%	15,84
290	290000	423	0,2115	0,106%	16,41
300	300000	442	0,221	0,111%	16,98
310	310000	463	0,2315	0,116%	17,54
320	320000	487	0,2435	0,122%	18,11
330	330000	508	0,254	0,127%	18,67
340	340000	535	0,2675	0,134%	19,24
350	350000	556	0,278	0,139%	19,81
360	360000	593	0,2965	0,148%	20,37
370	370000	620	0,31	0,155%	20,94
380	380000	650	0,325	0,163%	21,50
390	390000	690	0,345	0,173%	22,07
400	400000	723	0,3615	0,181%	22,64
410	410000	763	0,3815	0,191%	23,20
428	428000	808	0,404	0,202%	24,22
443	443000	883	0,4415	0,221%	25,07
446	446000	920	0,46	0,230%	25,24
437	437000	956	0,478	0,239%	24,73
427	427000	984	0,492	0,246%	24,16
410	410000	1022	0,511	0,256%	23,20
400	400000	1054	0,527	0,264%	22,64

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Plastic Sheeting* Sampel 1



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	16323,58	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	23606,92	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	24660,94	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Plastic Sheeting* Sampel 2

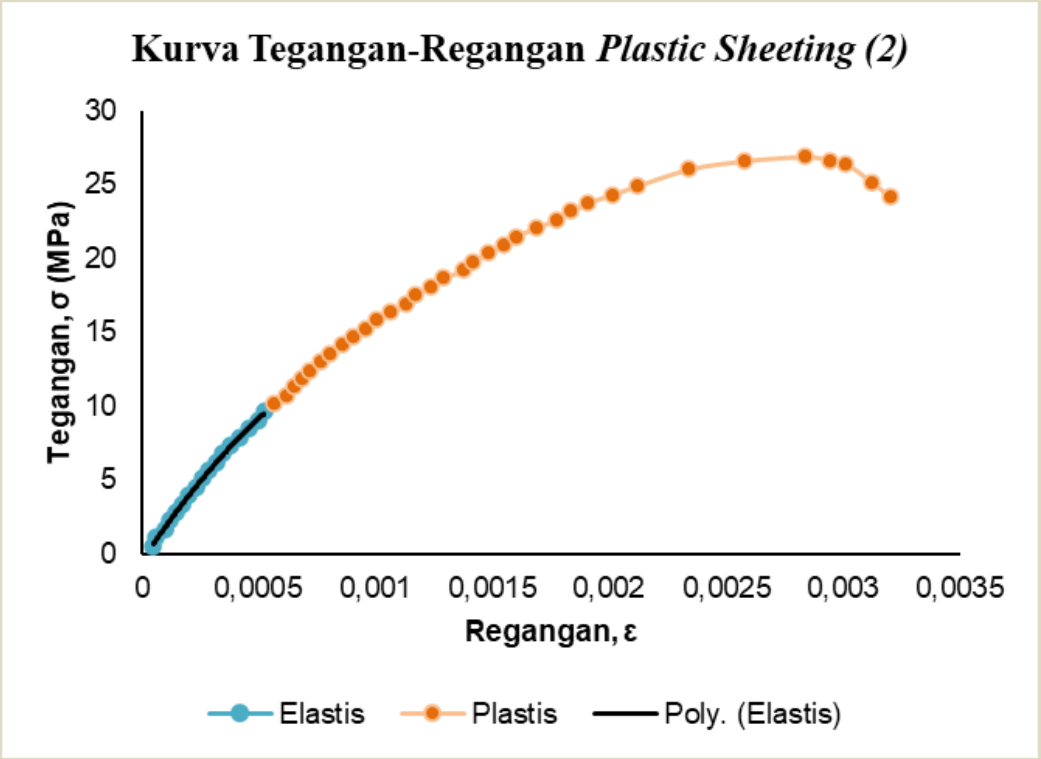
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Plastic Sheeting*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,888 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	7	0,0035	0,002%	0,57
20	20000	12	0,006	0,003%	1,13
30	30000	26	0,013	0,007%	1,70
40	40000	34	0,017	0,009%	2,26
50	50000	46	0,023	0,012%	2,83
60	60000	57	0,0285	0,014%	3,40
70	70000	68	0,034	0,017%	3,96
80	80000	80	0,04	0,020%	4,53
90	90000	92	0,046	0,023%	5,09
100	100000	103	0,0515	0,026%	5,66
110	110000	116	0,058	0,029%	6,22
120	120000	126	0,063	0,032%	6,79
130	130000	138	0,069	0,035%	7,36
140	140000	154	0,077	0,039%	7,92
150	150000	172	0,086	0,043%	8,49
160	160000	186	0,093	0,047%	9,05
170	170000	197	0,0985	0,049%	9,62
180	180000	214	0,107	0,054%	10,19
190	190000	234	0,117	0,059%	10,75

200	200000	248	0,124	0,062%	11,32
210	210000	260	0,13	0,065%	11,88
220	220000	275	0,1375	0,069%	12,45
230	230000	294	0,147	0,074%	13,02
240	240000	310	0,155	0,078%	13,58
250	250000	330	0,165	0,083%	14,15
260	260000	349	0,1745	0,087%	14,71
270	270000	370	0,185	0,093%	15,28
280	280000	389	0,1945	0,097%	15,84
290	290000	413	0,2065	0,103%	16,41
300	300000	438	0,219	0,110%	16,98
310	310000	455	0,2275	0,114%	17,54
320	320000	482	0,241	0,121%	18,11
330	330000	504	0,252	0,126%	18,67
340	340000	538	0,269	0,135%	19,24
350	350000	553	0,2765	0,138%	19,81
360	360000	580	0,29	0,145%	20,37
370	370000	606	0,303	0,152%	20,94
380	380000	628	0,314	0,157%	21,50
390	390000	662	0,331	0,166%	22,07
400	400000	697	0,3485	0,174%	22,64
410	410000	722	0,361	0,181%	23,20
420	420000	751	0,3755	0,188%	23,77
430	430000	793	0,3965	0,198%	24,33
440	440000	835	0,4175	0,209%	24,90
460	460000	924	0,462	0,231%	26,03
470	470000	1018	0,509	0,255%	26,60
475	475000	1123	0,5615	0,281%	26,88
471	471000	1165	0,5825	0,291%	26,65
467	467000	1192	0,596	0,298%	26,43
445	445000	1236	0,618	0,309%	25,18
428	428000	1267	0,6335	0,317%	24,22

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Plastic Sheeting* Sampel 2



ASTM C-469	$(Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	17411,82	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \text{ x } \sqrt{f'c})$	24371,21	MPa
	$(Wc^{1,5} \; x\, 0,043\, x \sqrt{f'c})$	25405,88	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode *Plastic Sheeting* Sampel 3

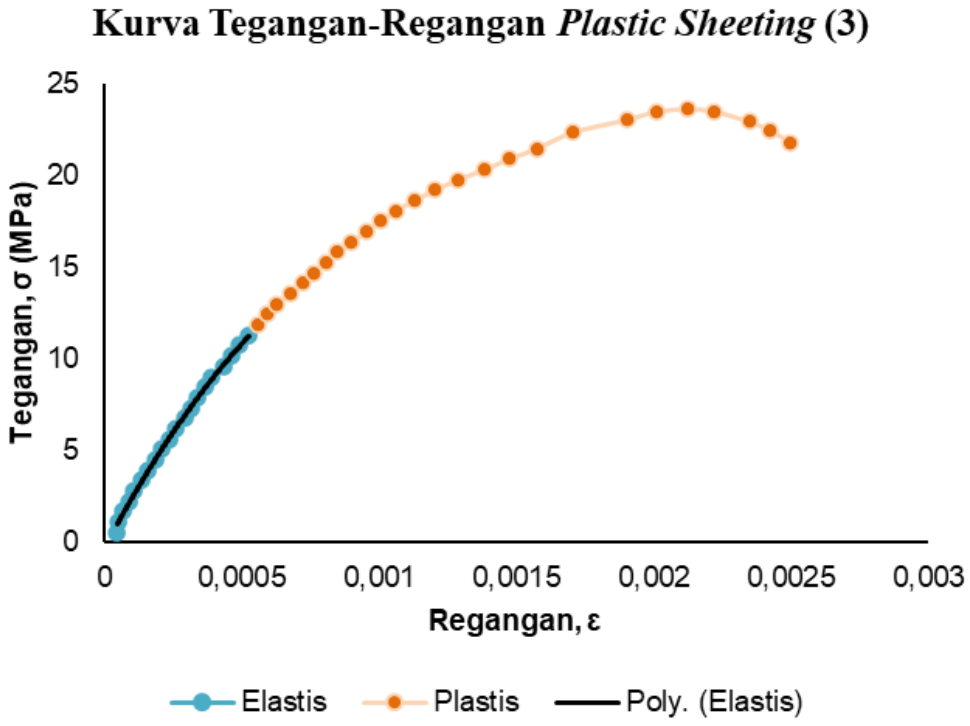
Data Sampel	
Metode Perawatan	*Plastic Sheeting*
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,681 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300,4 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	17	0,0085	0,004%	0,57
20	20000	19	0,0095	0,005%	1,13
30	30000	26	0,013	0,007%	1,70
40	40000	35	0,0175	0,009%	2,26
50	50000	42	0,021	0,011%	2,83
60	60000	52	0,026	0,013%	3,40
70	70000	63	0,0315	0,016%	3,96
80	80000	74	0,037	0,019%	4,53
90	90000	83	0,0415	0,021%	5,09
100	100000	93	0,0465	0,023%	5,66
110	110000	102	0,051	0,026%	6,22
120	120000	117	0,0585	0,029%	6,79
130	130000	126	0,063	0,032%	7,36
140	140000	135	0,0675	0,034%	7,92
150	150000	146	0,073	0,037%	8,49
160	160000	155	0,0775	0,039%	9,05
170	170000	173	0,0865	0,043%	9,62
180	180000	184	0,092	0,046%	10,19
190	190000	196	0,098	0,049%	10,75

200	200000	210	0,105	0,053%	11,32
210	210000	222	0,111	0,056%	11,88
220	220000	236	0,118	0,059%	12,45
230	230000	250	0,125	0,063%	13,02
240	240000	270	0,135	0,068%	13,58
250	250000	287	0,1435	0,072%	14,15
260	260000	303	0,1515	0,076%	14,71
270	270000	321	0,1605	0,080%	15,28
280	280000	338	0,169	0,085%	15,84
290	290000	359	0,1795	0,090%	16,41
300	300000	380	0,19	0,095%	16,98
310	310000	400	0,2	0,100%	17,54
320	320000	423	0,2115	0,106%	18,11
330	330000	450	0,225	0,113%	18,67
340	340000	480	0,24	0,120%	19,24
350	350000	513	0,2565	0,128%	19,81
360	360000	553	0,2765	0,138%	20,37
370	370000	588	0,294	0,147%	20,94
380	380000	628	0,314	0,157%	21,50
396	396000	682	0,341	0,171%	22,41
408	408000	760	0,38	0,190%	23,09
416	416000	803	0,4015	0,201%	23,54
418	418000	847	0,4235	0,212%	23,65
416	416000	886	0,443	0,222%	23,54
406	406000	938	0,469	0,235%	22,97
398	398000	967	0,4835	0,242%	22,52
386	386000	998	0,499	0,250%	21,84

Grafik Modulus Elastisitas

Metode *Plastic Sheeting* Sampel 3



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	22047,44	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	22871,67	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	23995,87	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 1

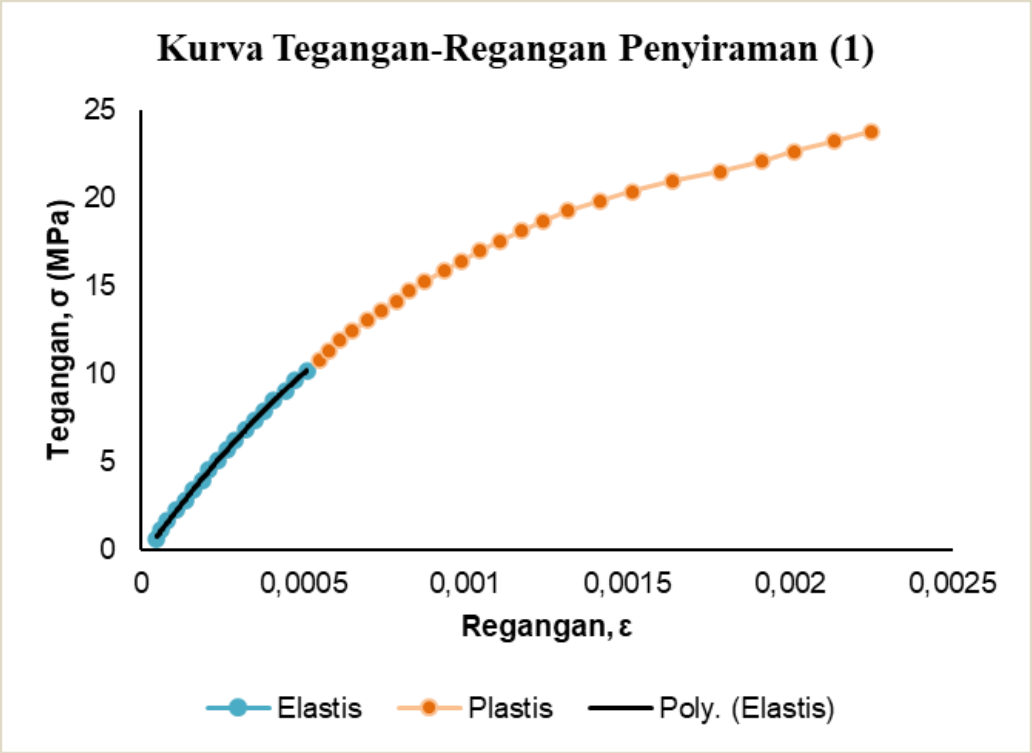
Data Sampel	
Metode Perawatan	Penyiraman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,989 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300,6 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	7	0,0035	0,002%	0,57
20	20000	13	0,0065	0,003%	1,13
30	30000	21	0,0105	0,005%	1,70
40	40000	32	0,016	0,008%	2,26
50	50000	43	0,0215	0,011%	2,83
60	60000	52	0,026	0,013%	3,40
70	70000	64	0,032	0,016%	3,96
80	80000	72	0,036	0,018%	4,53
90	90000	83	0,0415	0,021%	5,09
100	100000	94	0,047	0,024%	5,66
110	110000	104	0,052	0,026%	6,22
120	120000	117	0,0585	0,029%	6,79
130	130000	128	0,064	0,032%	7,36
140	140000	139	0,0695	0,035%	7,92
150	150000	152	0,076	0,038%	8,49
160	160000	166	0,083	0,042%	9,05
170	170000	178	0,089	0,045%	9,62
180	180000	192	0,096	0,048%	10,19
190	190000	208	0,104	0,052%	10,75

200	200000	220	0,11	0,055%	11,32
210	210000	233	0,1165	0,058%	11,88
220	220000	248	0,124	0,062%	12,45
230	230000	267	0,1335	0,067%	13,02
240	240000	284	0,142	0,071%	13,58
250	250000	302	0,151	0,076%	14,15
260	260000	318	0,159	0,080%	14,71
270	270000	338	0,169	0,085%	15,28
280	280000	362	0,181	0,091%	15,84
290	290000	383	0,1915	0,096%	16,41
300	300000	406	0,203	0,102%	16,98
310	310000	430	0,215	0,108%	17,54
320	320000	457	0,2285	0,114%	18,11
330	330000	484	0,242	0,121%	18,67
340	340000	514	0,257	0,129%	19,24
350	350000	553	0,2765	0,138%	19,81
360	360000	593	0,2965	0,148%	20,37
370	370000	642	0,321	0,161%	20,94
389	380000	702	0,351	0,176%	21,50
368	390000	753	0,3765	0,188%	22,07
352	400000	792	0,396	0,198%	22,64
341	410000	842	0,421	0,211%	23,20
324	420000	888	0,444	0,222%	23,77

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Penyiraman Sampel 1



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	20293,78	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	22039,44	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	22920,16	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 2

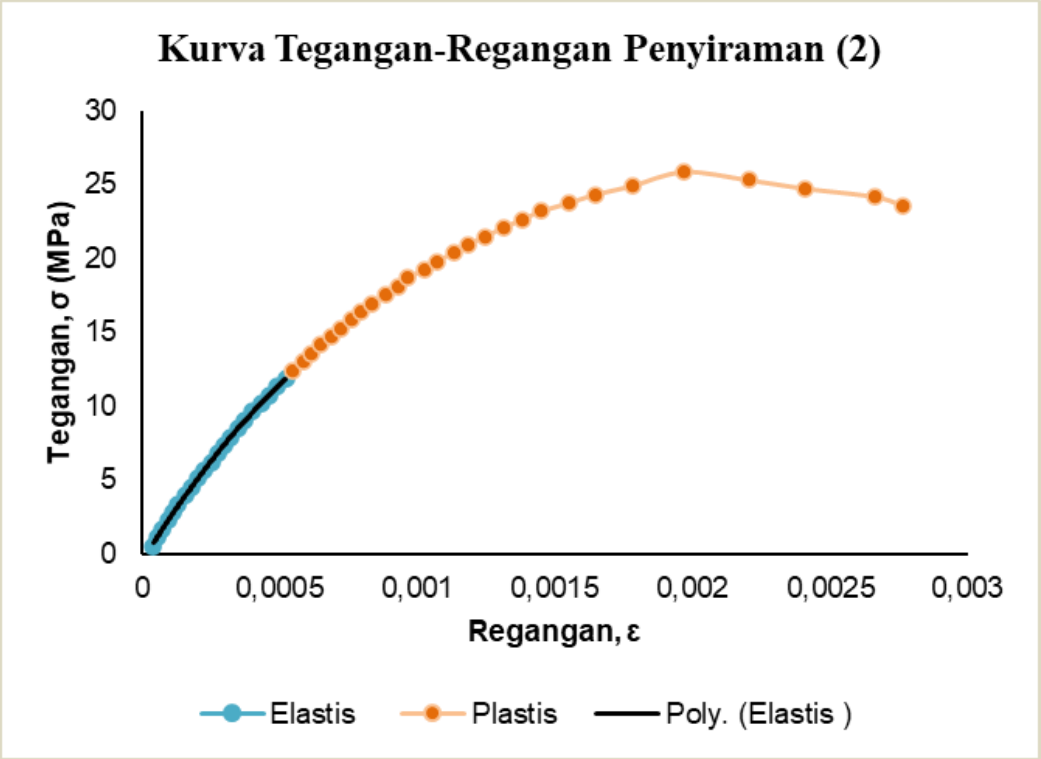
Data Sampel	
Metode Perawatan	Penyiraman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,858 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	299 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (∆L)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	9	0,0045	0,002%	0,57
20	20000	15	0,0075	0,004%	1,13
30	30000	21	0,0105	0,005%	1,70
40	40000	30	0,015	0,008%	2,26
50	50000	38	0,019	0,010%	2,83
60	60000	45	0,0225	0,011%	3,40
70	70000	55	0,0275	0,014%	3,96
80	80000	64	0,032	0,016%	4,53
90	90000	73	0,0365	0,018%	5,09
100	100000	82	0,041	0,021%	5,66
110	110000	93	0,0465	0,023%	6,22
120	120000	102	0,051	0,026%	6,79
130	130000	112	0,056	0,028%	7,36
140	140000	121	0,0605	0,030%	7,92
150	150000	132	0,066	0,033%	8,49
160	160000	142	0,071	0,036%	9,05
170	170000	153	0,0765	0,038%	9,62
180	180000	166	0,083	0,042%	10,19
190	190000	177	0,0885	0,044%	10,75

200	200000	188	0,094	0,047%	11,32
210	210000	202	0,101	0,051%	11,88
220	220000	212	0,106	0,053%	12,45
230	230000	227	0,1135	0,057%	13,02
240	240000	239	0,1195	0,060%	13,58
250	250000	252	0,126	0,063%	14,15
260	260000	268	0,134	0,067%	14,71
270	270000	282	0,141	0,071%	15,28
280	280000	296	0,148	0,074%	15,84
290	290000	311	0,1555	0,078%	16,41
300	300000	327	0,1635	0,082%	16,98
310	310000	346	0,173	0,087%	17,54
320	320000	364	0,182	0,091%	18,11
330	330000	378	0,189	0,095%	18,67
340	340000	402	0,201	0,101%	19,24
350	350000	420	0,21	0,105%	19,81
360	360000	445	0,2225	0,111%	20,37
370	370000	466	0,233	0,117%	20,94
380	380000	491	0,2455	0,123%	21,50
390	390000	517	0,2585	0,129%	22,07
400	400000	544	0,272	0,136%	22,64
410	410000	573	0,2865	0,143%	23,20
420	420000	613	0,3065	0,153%	23,77
430	430000	652	0,326	0,163%	24,33
440	440000	704	0,352	0,176%	24,90
457	457000	780	0,39	0,195%	25,86
447	447000	874	0,437	0,219%	25,30
437	437000	956	0,478	0,239%	24,73
427	427000	1058	0,529	0,265%	24,16
417	417000	1097	0,5485	0,274%	23,60

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Penyiraman Sampel 2



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	23415,90	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \text{ x } \sqrt{f'_c})$	23899,86	MPa
	$(W_C^{1,5} \; x \; 0,043 \; x \; \sqrt{f'_c})$	25599,34	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 3

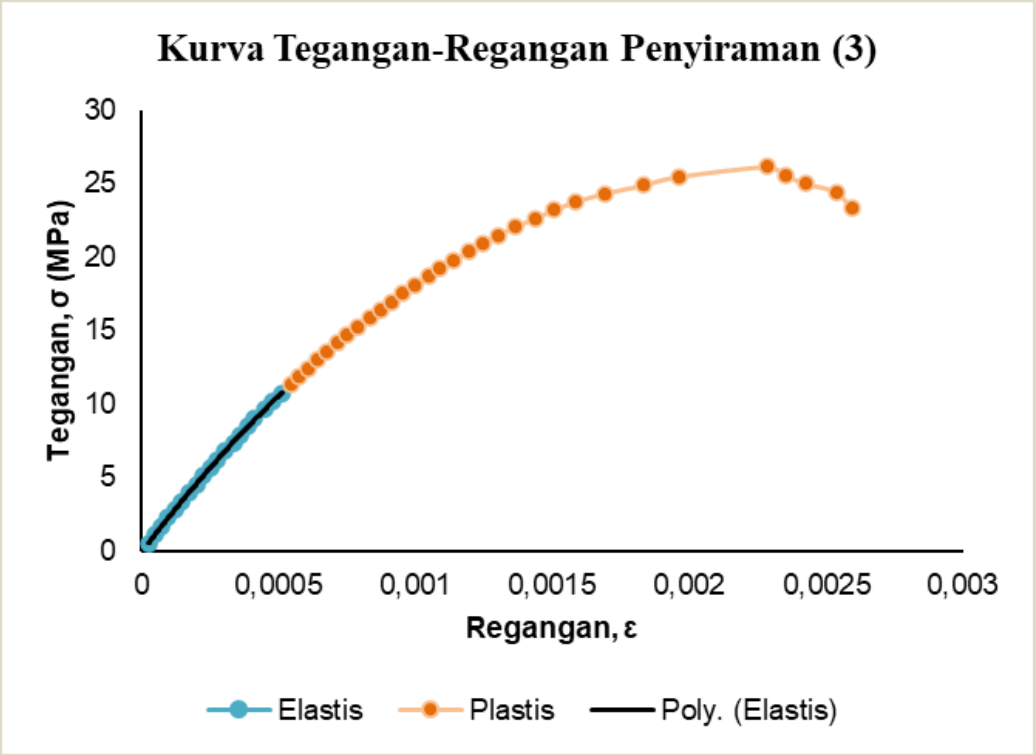
Data Sampel	
Metode Perawatan	Penyiraman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,158 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	8	0,004	0,002%	0,57
20	20000	19	0,0095	0,005%	1,13
30	30000	27	0,0135	0,007%	1,70
40	40000	36	0,018	0,009%	2,26
50	50000	47	0,0235	0,012%	2,83
60	60000	56	0,028	0,014%	3,40
70	70000	67	0,0335	0,017%	3,96
80	80000	78	0,039	0,020%	4,53
90	90000	88	0,044	0,022%	5,09
100	100000	99	0,0495	0,025%	5,66
110	110000	108	0,054	0,027%	6,22
120	120000	120	0,06	0,030%	6,79
130	130000	132	0,066	0,033%	7,36
140	140000	142	0,071	0,036%	7,92
150	150000	153	0,0765	0,038%	8,49
160	160000	162	0,081	0,041%	9,05
170	170000	178	0,089	0,045%	9,62
180	180000	190	0,095	0,048%	10,19
190	190000	203	0,1015	0,051%	10,75

200	200000	217	0,1085	0,054%	11,32
210	210000	228	0,114	0,057%	11,88
220	220000	241	0,1205	0,060%	12,45
230	230000	254	0,127	0,064%	13,02
240	240000	268	0,134	0,067%	13,58
250	250000	285	0,1425	0,071%	14,15
260	260000	298	0,149	0,075%	14,71
270	270000	314	0,157	0,079%	15,28
280	280000	331	0,1655	0,083%	15,84
290	290000	347	0,1735	0,087%	16,41
300	300000	362	0,181	0,091%	16,98
310	310000	378	0,189	0,095%	17,54
320	320000	398	0,199	0,100%	18,11
330	330000	418	0,209	0,105%	18,67
340	340000	433	0,2165	0,108%	19,24
350	350000	454	0,227	0,114%	19,81
360	360000	475	0,2375	0,119%	20,37
370	370000	496	0,248	0,124%	20,94
380	380000	518	0,259	0,130%	21,50
390	390000	544	0,272	0,136%	22,07
400	400000	572	0,286	0,143%	22,64
410	410000	600	0,3	0,150%	23,20
420	420000	632	0,316	0,158%	23,77
430	430000	675	0,3375	0,169%	24,33
440	440000	731	0,3655	0,183%	24,90
450	450000	782	0,391	0,196%	25,46
462	462000	912	0,456	0,228%	26,14
452	452000	938	0,469	0,235%	25,58
442	442000	967	0,4835	0,242%	25,01
432	432000	1012	0,506	0,253%	24,45
412	412000	1035	0,5175	0,259%	23,31

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Penyiraman Sampel 3



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	20913,11	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	24038,10	MPa
	$(W_C^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	25134,08	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Karung Basah Sampel 1

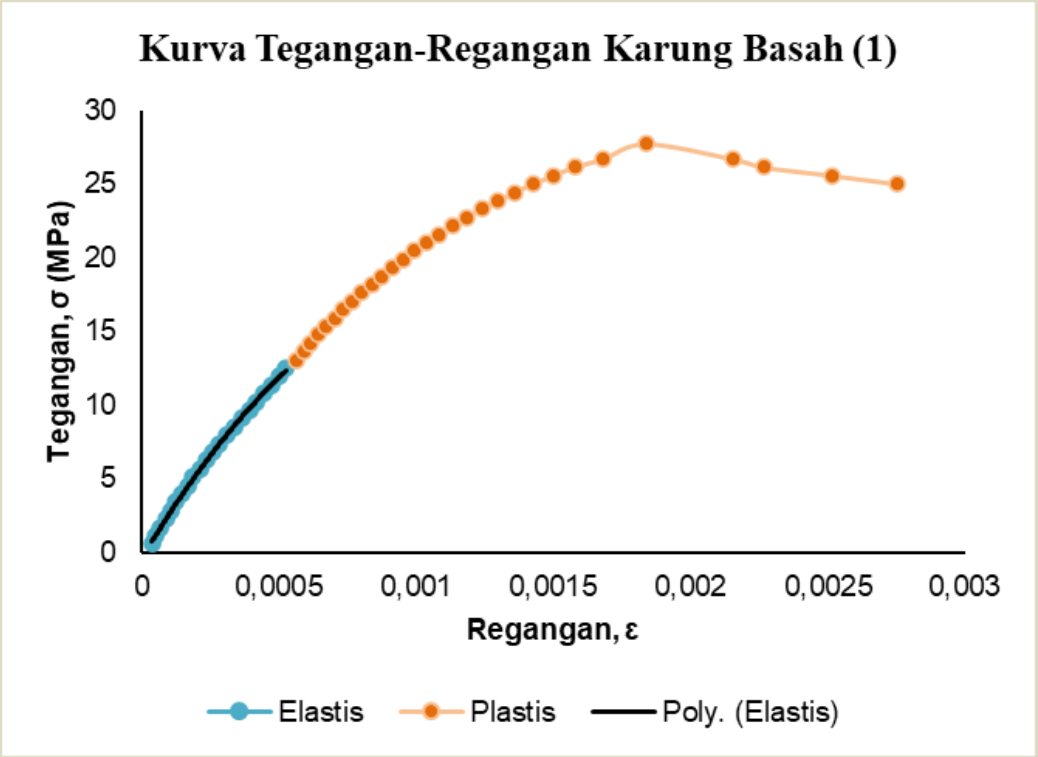
Data Sampel	
Metode Perawatan	Karung Basah
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	27,638 MPa
Diameter	149,7 mm
Tinggi	300,6 mm
Luas	17600,844 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	8	0,004	0,002%	0,57
20	20000	12	0,006	0,003%	1,14
30	30000	20	0,01	0,005%	1,70
40	40000	28	0,014	0,007%	2,27
50	50000	34	0,017	0,009%	2,84
60	60000	43	0,0215	0,011%	3,41
70	70000	52	0,026	0,013%	3,98
80	80000	60	0,03	0,015%	4,55
90	90000	67	0,0335	0,017%	5,11
100	100000	77	0,0385	0,019%	5,68
110	110000	86	0,043	0,022%	6,25
120	120000	97	0,0485	0,024%	6,82
130	130000	105	0,0525	0,026%	7,39
140	140000	117	0,0585	0,029%	7,95
150	150000	127	0,0635	0,032%	8,52
160	160000	138	0,069	0,035%	9,09
170	170000	150	0,075	0,038%	9,66
180	180000	159	0,0795	0,040%	10,23

190	190000	170	0,085	0,043%	10,79
200	200000	182	0,091	0,046%	11,36
210	210000	192	0,096	0,048%	11,93
220	220000	203	0,1015	0,051%	12,50
230	230000	217	0,1085	0,054%	13,07
240	240000	228	0,114	0,057%	13,64
250	250000	239	0,1195	0,060%	14,20
260	260000	250	0,125	0,063%	14,77
270	270000	261	0,1305	0,065%	15,34
280	280000	275	0,1375	0,069%	15,91
290	290000	286	0,143	0,072%	16,48
300	300000	298	0,149	0,075%	17,04
310	310000	313	0,1565	0,078%	17,61
320	320000	328	0,164	0,082%	18,18
330	330000	342	0,171	0,086%	18,75
340	340000	358	0,179	0,090%	19,32
350	350000	374	0,187	0,094%	19,89
360	360000	390	0,195	0,098%	20,45
370	370000	408	0,204	0,102%	21,02
380	380000	426	0,213	0,107%	21,59
390	390000	445	0,2225	0,111%	22,16
400	400000	465	0,2325	0,116%	22,73
410	410000	488	0,244	0,122%	23,29
420	420000	512	0,256	0,128%	23,86
430	430000	536	0,268	0,134%	24,43
440	440000	563	0,2815	0,141%	25,00
450	450000	592	0,296	0,148%	25,57
460	460000	623	0,3115	0,156%	26,14
470	470000	665	0,3325	0,166%	26,70
488	488000	727	0,3635	0,182%	27,73
470	470000	853	0,4265	0,213%	26,70
460	460000	899	0,4495	0,225%	26,14
450	450000	998	0,499	0,250%	25,57
440	440000	1092	0,546	0,273%	25,00

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Karung Basah Sampel 1



ASTM C-469	$(Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	24241,26	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \text{ x } \sqrt{f'c})$	24708,77	MPa
	$(Wc^{1,5} \ x \ 0,043 \ x \ \sqrt{f'c})$	26538,34	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Karung Basah Sampel 2

Data Sampel	
Metode Perawatan	Karung Basah
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,693 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300,5 mm
Luas	17671,459 mm^2
L_o	200,0 mm

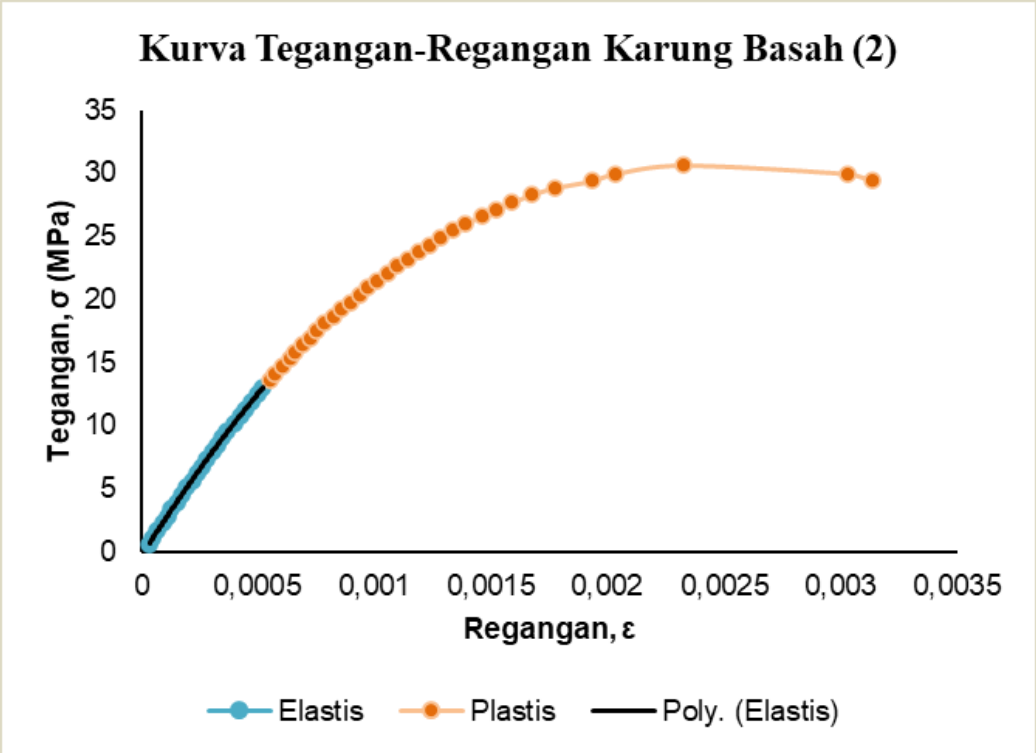
Beban (P)		**Ekstensiometer**	**Deformasi (ΔL)**	**Regangan (ε')**	**Tegangan (σ)**
kN	**N**	**... x 10^3 mm**	**mm**	**%**	**MPa**
10	10000	7	0,0035	0,002%	0,57
20	20000	12	0,006	0,003%	1,13
30	30000	20	0,01	0,005%	1,70
40	40000	30	0,015	0,008%	2,26
50	50000	38	0,019	0,010%	2,83
60	60000	45	0,0225	0,011%	3,40
70	70000	55	0,0275	0,014%	3,96
80	80000	62	0,031	0,016%	4,53
90	90000	72	0,036	0,018%	5,09
100	100000	80	0,04	0,020%	5,66
110	110000	88	0,044	0,022%	6,22
120	120000	97	0,0485	0,024%	6,79
130	130000	106	0,053	0,027%	7,36
140	140000	116	0,058	0,029%	7,92
150	150000	125	0,0625	0,031%	8,49
160	160000	133	0,0665	0,033%	9,05
170	170000	140	0,07	0,035%	9,62
180	180000	152	0,076	0,038%	10,19
190	190000	163	0,0815	0,041%	10,75

200	200000	172	0,086	0,043%	11,32
210	210000	181	0,0905	0,045%	11,88
220	220000	192	0,096	0,048%	12,45
230	230000	202	0,101	0,051%	13,02
240	240000	213	0,1065	0,053%	13,58
250	250000	223	0,1115	0,056%	14,15
260	260000	236	0,118	0,059%	14,71
270	270000	248	0,124	0,062%	15,28
280	280000	258	0,129	0,065%	15,84
290	290000	271	0,1355	0,068%	16,41
300	300000	283	0,1415	0,071%	16,98
310	310000	295	0,1475	0,074%	17,54
320	320000	308	0,154	0,077%	18,11
330	330000	324	0,162	0,081%	18,67
340	340000	337	0,1685	0,084%	19,24
350	350000	352	0,176	0,088%	19,81
360	360000	367	0,1835	0,092%	20,37
370	370000	382	0,191	0,096%	20,94
380	380000	398	0,199	0,100%	21,50
390	390000	416	0,208	0,104%	22,07
400	400000	431	0,2155	0,108%	22,64
410	410000	450	0,225	0,113%	23,20
420	420000	468	0,234	0,117%	23,77
430	430000	487	0,2435	0,122%	24,33
440	440000	507	0,2535	0,127%	24,90
450	450000	528	0,264	0,132%	25,46
460	460000	549	0,2745	0,137%	26,03
470	470000	578	0,289	0,145%	26,60
480	480000	602	0,301	0,151%	27,16
490	490000	630	0,315	0,158%	27,73
500	500000	662	0,331	0,166%	28,29
510	510000	702	0,351	0,176%	28,86
520	520000	767	0,3835	0,192%	29,43
530	530000	807	0,4035	0,202%	29,99
542	542000	923	0,4615	0,231%	30,67
530	530000	1206	0,603	0,302%	29,99

520	520000	1247	0,6235	0,312%	29,43
510	510000	1288	0,644	0,322%	28,86
500	500000	1329	0,6645	0,332%	28,29

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Karung Basah Sampel 2



ASTM C-469	$(Ec\frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	25306,62	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	26038,59	MPa
	$(Wc^{1,5} \; x\, 0,043\, x \sqrt{f'c})$	27452,05	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Karung Basah Sampel 3

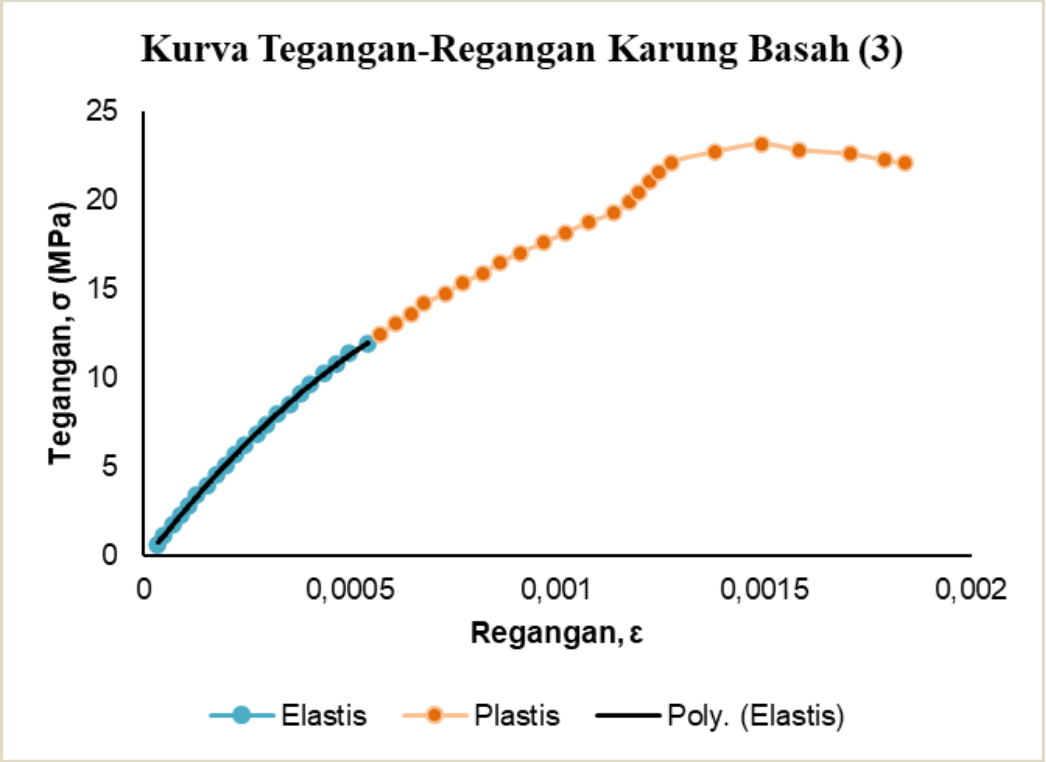
Data Sampel	
Metode Perawatan	Karung Basah
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,087 MPa
Diameter	149,8 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17624,366 mm^2
L_o	200,0 mm

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ε')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,57
20	20000	11	0,0055	0,003%	1,13
30	30000	19	0,0095	0,005%	1,70
40	40000	27	0,0135	0,007%	2,27
50	50000	34	0,017	0,009%	2,84
60	60000	42	0,021	0,011%	3,40
70	70000	52	0,026	0,013%	3,97
80	80000	61	0,0305	0,015%	4,54
90	90000	70	0,035	0,018%	5,11
100	100000	80	0,04	0,020%	5,67
110	110000	89	0,0445	0,022%	6,24
120	120000	100	0,05	0,025%	6,81
130	130000	110	0,055	0,028%	7,38
140	140000	120	0,06	0,030%	7,94
150	150000	132	0,066	0,033%	8,51
160	160000	142	0,071	0,036%	9,08
170	170000	152	0,076	0,038%	9,65
180	180000	166	0,083	0,042%	10,21
190	190000	178	0,089	0,045%	10,78

200	200000	190	0,095	0,048%	11,35
210	210000	208	0,104	0,052%	11,92
220	220000	220	0,11	0,055%	12,48
230	230000	234	0,117	0,059%	13,05
240	240000	250	0,125	0,063%	13,62
250	250000	262	0,131	0,066%	14,18
260	260000	282	0,141	0,071%	14,75
270	270000	299	0,1495	0,075%	15,32
280	280000	318	0,159	0,080%	15,89
290	290000	335	0,1675	0,084%	16,45
300	300000	354	0,177	0,089%	17,02
310	310000	378	0,189	0,095%	17,59
320	320000	398	0,199	0,100%	18,16
330	330000	421	0,2105	0,105%	18,72
340	340000	445	0,2225	0,111%	19,29
350	350000	460	0,23	0,115%	19,86
360	360000	469	0,2345	0,117%	20,43
370	370000	479	0,2395	0,120%	20,99
380	380000	489	0,2445	0,122%	21,56
390	390000	500	0,25	0,125%	22,13
400	400000	542	0,271	0,136%	22,70
408	408000	588	0,294	0,147%	23,15
402	402000	624	0,312	0,156%	22,81
398	398000	674	0,337	0,169%	22,58
392	392000	706	0,353	0,177%	22,24
389	389000	726	0,363	0,182%	22,07

Grafik Modulus Elastisitas

Metode Karung Basah Sampel 3



ASTM C-469	$(E_C \frac{S_2-S_1}{\varepsilon_2-\varepsilon_1})$	25306,62	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \text{ x } \sqrt{f'c})$	22583,00	MPa
	$(W_C^{1,5} \ x \ 0,043 \ x \ \sqrt{f'c})$	24264,92	MPa

Lampiran 8 Laporan Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

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

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON (SNI 03-2491-2014)

Nama : Habib Husein Syafa
NIM : 21511176
Asal Instansi : Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir
Hasil :

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter	Panjang	Beban Maks	Kuat Tarik Belah	Rata-rata
			mm	mm	N	Mpa	Mpa
Perendaman	28 Hari	S1-R	150,000	300,500	166000	2,3445	2,214
		S2-R	150,000	300,000	124000	1,7542	
		S3-R	149,800	300,900	180000	2,5423	
Compound		S1-C	150,000	300,200	147000	2,0782	1,804
		S2-C	150,000	300,400	115000	1,6248	
		S3-C	150,000	300,250	121000	1,7104	
Plastik Sheeting		S1-P	150,000	299,700	144000	2,0392	2,122
		S2-P	150,000	300,000	142000	2,0089	
		S3-P	150,000	300,400	164000	2,3170	
Penyiraman		S1-S	150,000	300,600	165000	2,3296	2,019
		S2-S	150,000	299,000	125000	1,7743	
		S3-S	150,000	300,000	138000	1,9523	
Karung Basah		S1-K	149,700	300,600	119000	1,6835	1,697
		S2-K	150,000	300,000	137000	1,9382	
		S3-K	149,800	300,500	104000	1,4708	

Mengetahui,
Kepala Lab. BKT

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

Di periksa oleh
PLP/Teknisi

Daru Salam, A.Md.

Lampiran 9 Dokumentasi Material Penelitian



Gambar L-8.1 Semen



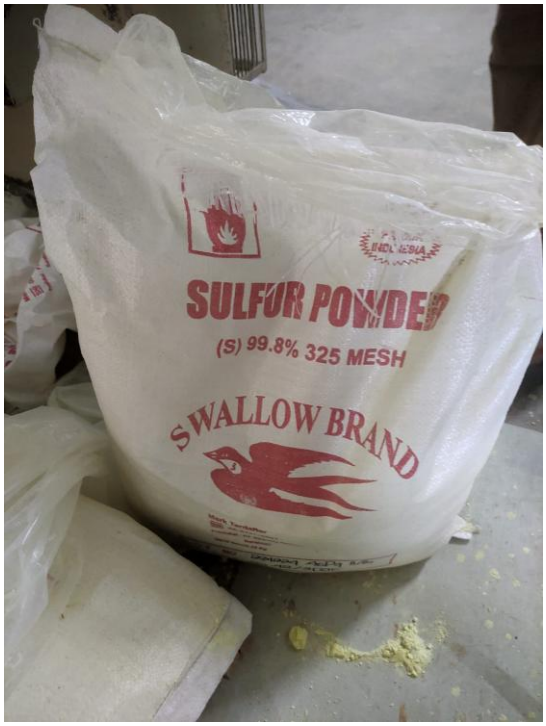
Gambar L-8.2 *Compound* Sika Antisol S



Gambar L-8.3 Agregat Halus



Gambar L-8.4 Agregat Kasar



Gambar L-8.5 *Sulfur Powder*

Lampiran 10 Dokumentasi Peralatan Penelitian



Gambar L-9.1 Gelas Ukur



Gambar L-9.2 Gelas Piknometer



Gambar L-9.3 Timbangan Digital



Gambar L-9.4 Saringan Agregat Kasar



Gambar L-9.5 Saringan Agregat Halus



Gambar L-9.6 Mesin Pengguncang Agregat Halus



Gambar L-9.7 Mesin Pengguncang Agregat Kasar



Gambar L-9.8 Oven



Gambar L-9.9 Jangka Sorong



Gambar L-9.10 Sekop



Gambar L-9.11 Ember



Gambar L-9.12 *Concrate Mixer*



Gambar L-9.13 Kerucut *Abrams*



Gambar L-9.14 Cetakan Silinder



Gambar L-9.15 Kompor Listrik



Gambar L-9.16 Cetakan *Capping*



Gambar L-9.17 ***Compression testing machine*** **tipe Controls Automax PRO-M**



Gambar L-9.18 ***Universal testing machine*** **tipe Controls – Matest NITON S**



Gambar L-9.19 Ekstensiometer



Gambar L-9.20 *Concrete Vibrator*