

TUGAS AKHIR

**PENGARUH METODE PERAWATAN BETON
TERHADAP MUTU BETON DITINJAU DARI KUAT
TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR
(*THE EFFECT OF CONCRETE CARE METHOD ON
CONCRETE QUALITY IN TERMS OF COMPRESSIVE
STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND
FLEXIBLE STRENGTH*)**

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



Umar

20511056

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025**

TUGAS AKHIR

PENGARUH METODE PERAWATAN BETON TERHADAP MUTU BETON DITINJAU DARI KUAT TEKAN, MODULUS ELASTISITAS DAN KUAT LENTUR (THE EFFECT OF CONCRETE CARE METHOD ON CONCRETE QUALITY IN TERMS OF COMPRESSIVE STRENGTH, MODULUS OF ELASTICITY AND

Disusun Oleh :



Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

06/03
25

Jafar S.T., MURP., M.T.

NIK: 185111305

Penguji I

06.03.25

Astriaana Hardawati S.T., M.Eng.

NIK: 165111301

Penguji II

Elvis Saputra S.T., M.T.

NIK: 205111302



Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

10/3 2025
Dr. 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, 13 Januari 2025

Yang membuat pernyataan,


Umar
20511056

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. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. 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, 13 Januari 2025

Penulis,

Umar
20511056

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Halaman Pengesahan	
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN UMUM	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan	9
2.3 Tinjauan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya	13
BAB III LANDASAN TEORI	14

3.1	Beton	14
3.2	Perawatan beton	18
3.3	Perencanaan beton	24
3.4	Pengujian Beton	34
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		42
4.1	Tinjauan Umum	42
4.2	Variabel Penelitian	43
4.3	Bahan–bahan	43
4.4	Alat–alat	44
4.5	Benda Uji	46
4.6	Proses Pelaksanaan Penelitian	49
BAB V HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN		59
5.1	Tinjauan Umum	59
5.2	Hasil Pemeriksaan Material Penyusutan Beton	59
5.3	Hasil Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	74
5.4	Hasil Pengujian <i>Trial</i>	85
5.5	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	87
5.6	Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton	88
5.7	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	93
5.8	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	100
5.9	Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton	122
5.10	Rangkuman Hasil Pembahasan	127
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		129

6.1	Kesimpulan	129
6.2	Saran	131
DAFTAR PUSTAKA		132
LAMPIRAN		134

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan rencana penelitian	10
Tabel 3.1 Faktor pengali untuk standar deviasi apabila data kurang dari 30	25
Tabel 3.2 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan FAS, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia	27
Tabel 3.3 Perkiraan kadar air bebas (kg/m ³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton	29
Tabel 3.4 Persyaratan jumlah semen minimum dengan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	30
Tabel 3.5 Angka konversi umur beton terhadap kuat tekan	37
Tabel 4.1 Rincian benda uji penelitian	46
Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus	61
Tabel 5.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus	63
Tabel 5.3 Gradasi agregat halus	64
Tabel 5.4 Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus	66
Tabel 5.5 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus	66
Tabel 5. 6 Hasil pengujian lolos saringan no. 200	67
Tabel 5.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar	68
Tabel 5.8 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar	70
Tabel 5.9 Gradasi agregat kasar	71
Tabel 5.10 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar	73
Tabel 5.11 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar	74
Tabel 5.12 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan FAS 0,5 dan jenis semen serta agregat yang dipakai di Indonesia	75
Tabel 5.13 Persyaratan jumlah semen minimum dan FAS maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus	78

Tabel 5.14 Perkiraan kadar air bebas (kg/m ³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton	79
Tabel 5.15 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran	84
Tabel 5.16 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton trial	86
Tabel 5.17 Hasil pengujian nilai slump	87
Tabel 5.18 Rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume beton	90
Tabel 5.19 Persentase selisih berat volume untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman	92
Tabel 5.20 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton	96
Tabel 5.21 Persentase selisih kuat tekan untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman	98
Tabel 5.22 Tegangan regangan beton metode perendaman sampel 1	103
Tabel 5.23 Tegangan regangan beton metode penyiraman sampel 1	106
Tabel 5.24 Tegangan regangan beton metode penyemprotan curing compound sampel 1	108
Tabel 5.25 Tegangan regangan beton tanpa perawatan sampel 1	110
Tabel 5.26 Rekapitulasi hasil pengujian modulus elastisitas beton	119
Tabel 5.27 Persentase selisih modulus elastisitas untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman	121
Tabel 5.28 Rekapitulasi hasil pengujian kuat lentur beton	124
Tabel 5.29 Persentase selisih kuat lentur untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Metode perawatan penyiraman beton	19
Gambar 3.2 Metode perawatan penutupan beton menggunakan plastik	20
Gambar 3.3 Metode perawatan steam curing beton	21
Gambar 3.4 Metode perawatan sinar inframerah beton	22
Gambar 3.5 Metode perawatan hidrotermal beton	23
Gambar 3.6 Metode perawatan curing compound beton	24
Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen (FAS)	28
Gambar 3.8 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm	31
Gambar 3.9 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm	32
Gambar 3.10 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm	32
Gambar 3.11 Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah didapatkan	33
Gambar 3.12 Sketsa pengujian kuat tekan beton	36
Gambar 3.13 Kurva hubungan tegangan dan regangan beton	38
Gambar 3.14 Modulus sekan dan modulus tangen beton	39
Gambar 3.15 Sketsa pengujian kuat lentur beton	41
Gambar 4.1 Perendaman benda uji beton	51
Gambar 4.2 Penyiraman benda uji beton	52
Gambar 4.3 Penyemprotan <i>curing compound</i>	53
Gambar 4.4 Tanpa perawatan di ruang terbuka	53
Gambar 4.5 Diagram alir penelitian	57
Gambar 5.1 Kurva gradasi agregat halus	64
Gambar 5.2 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm	72
Gambar 5.3 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	77

Gambar 5.4 Grafik persen agregat halus terhadap kadar total dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm	80
Gambar 5.5 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan	82
Gambar 5.6 Pengujian slump	88
Gambar 5.7 Hubungan antara berat volume dengan metode perawatan	91
Gambar 5.8 Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton	93
Gambar 5.9 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap metode perawatan	97
Gambar 5.10 Pemasangan alat uji deformasi modulus elastisitas pada sampel	100
Gambar 5.11 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan perendaman sampel 1	113
Gambar 5.12 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan penyiraman sampel 1	113
Gambar 5.13 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan penyemprotan <i>curing compound</i> sampel 1	114
Gambar 5.14 Grafik tegangan regangan beton perlakuan tanpa perawatan sampel 1	114
Gambar 5.15 Nilai modulus elastisitas pada tiap metode perawatan berdasarkan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019	120
Gambar 5.16 Kerusakan benda uji silinder setelah pengujian	122
Gambar 5.17 Pengujian kuat lentur	123
Gambar 5.18 Grafik nilai kuat lentur beton pada tiap metode perawatan	125
Gambar 5.19 Kerusakan benda uji balok setelah pengujian	127

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	135
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	136
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran	148
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Berat Volume Beton	149
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan	150
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	151
Lampiran 7 Dokumentasi Material Penelitian	230
Lampiran 8 Dokumentasi Peralatan Penelitian	232

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

f'_c	= Kuat tekan beton (MPa)
MPa	= Megapascal
FAS	= Faktor air semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Sd	= Standar Deviasi
M	= Nilai Tambah
Sr	= Deviasi standar rencana
f'_{cr}	= Kuat tekan beton rencana
W	= Jumlah air yang dibutuhkan
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
C	= Jumlah Semen
W	= Kadar air bebas
SSD	= <i>Suturated Surface</i>
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
E_c	= Modulus elastisitas (MPa)
R	= Kuat lentur/ Modulus runtuh (MPa atau N/mm^2)
L	= Panjang bentang diantara kedua tumpuan (mm)
b	= Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)
d	= Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

ABSTRAK

Beton merupakan salah satu material utama dalam konstruksi yang kekuatannya sangat dipengaruhi oleh metode perawatan selama proses hidrasi. Perawatan beton bertujuan menjaga kelembapan agar hidrasi semen berjalan optimal dan menghasilkan beton dengan kekuatan sesuai mutu rencana. Metode perawatan paling optimal adalah perendaman, tetapi sulit diterapkan di lapangan. Oleh karena itu, dikembangkan berbagai metode alternatif, seperti penyiraman dan penyemprotan *curing compound*. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh empat metode perawatan perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton.

Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan campuran beton normal berdasarkan SNI 2834-2000 dengan mutu rencana 30 MPa. Perawatan beton dilakukan secara berkelanjutan hingga umur beton 28 hari. Digunakan sampel berupa 20 silinder untuk uji kuat tekan dan modulus elastisitas serta 12 balok untuk uji kuat lentur. Hasil pengujian kuat tekan dengan metode perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan berturut-turut 30,59 MPa, 23,36 MPa, 21,94 MPa, dan 19,95 MPa. Modulus elastisitas berturut-turut adalah 28464,34 MPa, 24387,47 MPa, 23693,22 MPa, dan 22694,22 MPa. Kuat lentur berturut-turut adalah 4,6029 MPa, 4,1136 MPa, 3,5228 MPa, dan 3,2509 MPa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman merupakan metode perawatan terbaik. Namun, karena tidak dapat diterapkan di lapangan, penyiraman direkomendasikan untuk konstruksi gedung, sedangkan penyemprotan *curing compound* cocok untuk perkerasan jalan. Beton tanpa perawatan mengalami penurunan kekuatan yang signifikan hingga 34%, menunjukkan pentingnya metode perawatan yang tepat guna menjaga mutu dan durabilitas beton.

Kata kunci: Metode perawatan, Perendaman, Penyiraman, *Curing compound*, Tanpa perawatan

ABSTRACT

Concrete is a key construction material whose strength is significantly influenced by the curing method during hydration. Curing aims to maintain moisture, ensuring optimal cement hydration and achieving the planned concrete strength. The most effective method is soaking, but it is difficult to implement in the field. Therefore, alternative methods such as watering and curing compound spraying have been developed. This study evaluates the effects of four curing methods—soaking, watering, curing compound spraying, and no curing—on the compressive strength, modulus of elasticity, and flexural strength of concrete.

The concrete mix was designed based on SNI 2834-2000 for a target strength of 30 MPa. Curing was performed continuously until the concrete reached 28 days. A total of 20 cylindrical samples were used for compressive strength and modulus of elasticity tests, while 12 beam samples were used for flexural strength tests. The compressive strength results for soaking, watering, curing compound spraying, and no curing were 30.59 MPa, 23.36 MPa, 21.94 MPa, and 19.95 MPa, respectively. The modulus of elasticity values were 28,464.34 MPa, 24,387.47 MPa, 23,693.22 MPa, and 22,694.22 MPa, while the flexural strengths were 4.6029 MPa, 4.1136 MPa, 3.5228 MPa, and 3.2509 MPa.

The results show that soaking provides the best curing. However, as it is impractical in the field, watering is recommended for buildings, while curing compound spraying is suitable for road pavements. Concrete without curing experienced up to a 34% strength reduction, highlighting the importance of proper curing methods to ensure concrete quality and durability.

Keywords: *Treatment method, Soaking, Watering, Curing compound, Without treatment*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*). Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah umur beton serta perlakuan perawatan setelah pengecoran. Perlakuan ini dapat berupa perendaman dalam air tawar, penyemprotan air, penutupan dengan membran plastik, penyemprotan senyawa *curing compound*, atau penyalutan dengan bahan basah seperti karung goni. Perawatan tersebut bertujuan untuk menjaga kelembapan agar proses hidrasi semen berjalan optimal, sehingga beton dapat mencapai kekuatan yang direncanakan.

Proses perawatan beton merupakan langkah penting setelah dibukanya bekisting. Perawatan ini bertujuan untuk mencegah kehilangan air selama proses hidrasi. Jika air berkurang terlalu cepat, proses hidrasi akan terganggu dan menyebabkan terbentuknya beton yang tidak sempurna. Akibatnya, kekuatan beton tidak dapat mencapai kekuatan rencana. Mulyati dan Arkis (2020) menyatakan bahwa beton yang dibiarkan tanpa perawatan di ruangan terbuka cenderung mengalami kehilangan kelembapan yang cepat akibat penguapan, yang mengganggu proses hidrasi. Hal ini menyebabkan kekuatan beton berkurang dan meningkatkan resiko kerusakan, seperti retakan. Beton yang tidak dirawat dengan baik atau dibiarkan tanpa perawatan sama sekali, akan memiliki kekuatan di bawah standar yang direncanakan, sehingga fungsinya dalam struktur menjadi kurang optimal.

Berbagai metode perawatan beton telah dikembangkan untuk menjaga kelembapan dan mencegah penguapan air yang terlalu cepat. Metode-metode tersebut antara lain perendaman beton dalam air tawar, penutupan dengan karung goni basah,

penutupan dengan plastik, penyemprotan dengan *curing compound*, dan penyiraman air secara berkala. Penelitian yang dilakukan oleh Evert dan Kushartomo (2024) menunjukkan bahwa perawatan dengan metode perendaman memberikan hasil kekuatan beton yang paling tinggi dibandingkan dengan metode penyiraman air dan beton yang dibiarkan tanpa perawatan. Hal ini disebabkan oleh proses hidrasi yang optimal selama perendaman, sehingga kekuatan beton yang dihasilkan sesuai atau mendekati kekuatan rencana.

Selain metode perawatan, kekuatan beton juga sangat dipengaruhi oleh umur beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sumajouw dkk (2014), hubungan antara umur beton dan kuat tekan menunjukkan bahwa semakin lama umur beton, semakin tinggi pula kekuatannya. Kekuatan maksimum umumnya dicapai pada umur beton 28 hari. Dengan demikian, perawatan beton selama 28 hari, khususnya dengan metode perendaman, sangat disarankan untuk mencapai kekuatan optimal.

Perendaman beton dalam air tawar terbukti sebagai metode paling efektif untuk menjaga kekuatan beton agar sesuai mutu rencana, aplikasi metode ini di lapangan sangat sulit dilakukan. Kendala dalam penerapan metode perendaman di lapangan menyebabkan penggunaan metode alternatif seperti penyiraman berkala atau penyemprotan *curing compound* menjadi lebih umum. Oleh karena itu, penelitian ini menguji pengaruh empat metode perawatan beton terhadap kekuatan beton, yaitu, perendaman beton dalam air tawar selama 28 hari, membiarkan beton tanpa perawatan di ruang terbuka selama 28 hari, penyiraman air secara berkala pagi, siang, dan sore selama 28 hari, serta penyemprotan *curing compound* pada beton.

Setelah pelaksanaan berbagai metode perawatan, beton tersebut dilakukan tiga pengujian, yaitu uji kuat tekan beton, uji modulus elastisitas beton, dan uji lentur beton. Sampel yang digunakan adalah beton berbentuk silinder dan balok. Hasil dari ketiga pengujian ini dibandingkan untuk menentukan metode perawatan yang paling efektif dalam mencapai kekuatan beton rencana.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh dari empat metode perawatan beton (perendaman, penyiraman berkala, penyemprotan *curing compound*, dan dibiarkan tanpa perawatan) terhadap kekuatan tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur beton?
2. Metode perawatan beton manakah yang paling efektif dalam mencapai kekuatan beton yang optimal?
3. Apa dampak dari tidak dilakukannya perawatan beton terhadap kualitas dan kekuatan beton?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh dari empat metode perawatan beton (perendaman air tawar, penyiraman berkala, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan) terhadap kekuatan beton.
2. Mengidentifikasi metode perawatan beton yang paling efektif dalam mencapai kekuatan optimal berdasarkan uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan uji lentur.
3. Menganalisis dampak dari perawatan beton yang tidak dilakukan secara optimal terhadap kualitas dan kekuatan beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh melalui penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Memberikan panduan praktis bagi para praktisi di lapangan mengenai metode perawatan beton yang paling efektif dan sesuai dengan kondisi lapangan.

2. Memberikan informasi ilmiah mengenai hubungan antara metode perawatan beton dengan peningkatan kekuatan beton, sehingga bisa menjadi referensi dalam perencanaan proyek konstruksi.
3. Meningkatkan pemahaman mengenai pentingnya perawatan beton untuk memastikan kualitas struktur beton yang sesuai dengan kekuatan rencana, serta mengurangi potensi kerusakan dan kegagalan konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terarah dan tidak keluar dari tujuan maka perlu adanya cakupan ataupun batasan pada penelitian kali ini. Adapun batasan-batasan penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana (f'_c) sebesar 30 MPa
2. Metode *Mix Design* menggunakan SNI 2843-2000
3. Metode perawatan yang digunakan adalah:
 - Perendaman dalam air tawar selama 28 hari (variasi 1)
 - Penyiraman air tawar secara berkala pagi, siang, dan sore selama 28 hari (variasi 2). Adapun rentang waktu penyiraman sebagai berikut
 - Pagi : pukul 06.00 - 09.00 WIB
 - Siang: pukul 11.00 - 14.00 WIB
 - Sore: pukul 16.00 - 19.00 WIB

Penyiraman air pada beton dilakukan dengan volume 1,5 hingga 3 liter setiap kali penyiraman.
 - Penyemprotan *curing compound* pada hari ke-3, 7, 14, 21, dan 28 (variasi 3)
 - Membiarkan beton tanpa perawatan di ruang terbuka selama 28 hari (variasi 4)
4. Semen yang digunakan adalah semen PCC merek Semen Gresik
5. Agregat kasar yang digunakan maksimum berukuran 20 mm
6. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng

7. Agregat halus yang digunakan berasal dari Progo
8. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
9. *Curing Compound* yang digunakan adalah merek *Consol Cure S*, dan tidak meneliti kandungannya.
10. Benda uji yang digunakan adalah:
 - Silinder berdiameter 15 cm dengan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan
 - Balok dengan ukuran 40 cm x 10 cm x 10 cm untuk uji lentur
11. Pengujian beton keras dilakukan pada umur 28 hari
12. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011
13. Pengujian modulus elastisitas beton menggunakan SNI 4169-1966
14. Pengujian kuat lentur beton menggunakan SNI 4154-2014

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan tema pengaruh metode perawatan beton telah beberapa kali dilakukan oleh peneliti terdahulu, sehingga dapat dijadikan referensi pada penelitian kali ini. Berikut beberapa penelitian terdahulu dengan tema pengaruh metode perawatan beton.

1. Pengaruh Metode Rawatan Beton Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur Beton

Penelitian ini dilakukan oleh Agustina (2023), menggunakan 3 metode perawatan beton, dengan mutu beton rencana 30 MPa, metode perendaman beton dengan air tawar, menutupi permukaan beton dengan karung goni basah, dan menyemprotkan *curing compound* merek Antisol-S. Perawatan ini dilakukan berkelanjutan hingga umur 28 hari.

Pada penelitian ini, peneliti akan melakukan 3 pengujian, uji kuat tekan, uji modulus elastisitas, dan uji kuat lentur beton. Sampel yang di gunakan berbentuk balok yang akan di uji kuat lentur dan silinder yang akan di uji modulus elastisitas dan kuat tekan beton, masing–masing sampel berjumlah 15.

Hasil pengujian kuat tekan dengan metode perendaman, menutupi permukaan dengan karung goni basah, dan menyemprotkan *curing compound* secara berurutan sebesar 32,0399 MPa, 29,2338 MPa, dan 24,4444 MPa. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas secara berurutan sebesar 24770,7 MPa, 23672,9 MPa, dan 23019,5 MPa. Hasil Pengujian kuat lentur secara berurutan sebesar 4,95146 MPa, 4,35532 MPa, dan 3,97008 MPa.

Dari hasil penelitian tersebut, selisih nilai kuat tekan beton antara metode perendaman dengan ditutup karung goni sebesar 2,81 MPa atau 8,76%.

Sedangkan, selisih antara metode perendaman dengan *curing compound* sebesar 7,60 MPa atau 23,71%. Adapun uji modulus elastisitas pada penelitian ini dihitung berdasarkan ASTM C-469, selisih antara metode rendaman dengan ditutup karung goni sebesar 1097,78 MPa atau 4,43%. Sedangkan antara metode rendaman dengan *curing compound* sebesar 1661,18 MPa atau 6,71 %. Dan untuk uji lentur, selisih antara metode perendaman dengan ditutup karung goni sebesar 0,60 MPa atau 12,04 %. Sedangkan selisih antara metode perendaman dengan *curing compound* sebesar 0,98 MPa atau sebesar 19,82 %. Perendaman beton merupakan metode paling efektif untuk mendapatkan nilai atau mutu optimum beton, akan tetapi metode ini tidak bisa dilakukan di lapangan, sehingga dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa metode perawatan dengan ditutup karung goni lebih di anjurkan dibandingkan dengan metode perawatan *curing compound*.

2. Pengaruh Perawatan Beton (*Curing*) Menggunakan *Water Curing* dan *Membrane Curing* Terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian ini dilakukan oleh Fernando dkk (2023), untuk mengetahui pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan. Mutu beton rencana pada penelitian kali ini sebesar 25 MPa, dengan sampel berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 42 sampel. Metode yang digunakan adalah dengan perendaman di dalam air tawar, penyiraman dengan air, pembungkusan dengan karung goni basah, pembungkusan dengan plastik *wrap*, dan tanpa perawatan pada suhu luar ruangan. Perawatan dilakukan selama 7, 14, dan 28 hari untuk masing-masing metode. Untuk hasil pengujian kuat tekan dengan metode perendaman selama 7, 14, dan 28 hari secara berurutan adalah sebesar 22,18 MPa, 23,12 MPa dan 25,29 MPa. Perawatan dengan disiram air selama 7, 14, dan 28 hari secara berurutan adalah sebesar 21,51 MPa, 22,36 MPa dan 22,65 MPa. Perawatan dengan dibungkus karung goni basah selama 7, 14, dan 28 hari secara berurutan adalah sebesar 22,27 MPa, 22,84 MPa dan 23,87

MPa. Perawatan dengan dibungkus plastik *wrap* selama 7, 14, dan 28 hari secara berurutan adalah sebesar 21,33 MPa, 21,89 MPa dan 22,65 MPa. Dan metode tanpa perawatan pada suhu luar ruangan selama 28 hari adalah sebesar 18,68 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kuat tekan yang dihasilkan dengan berbagai metode selama 28 hari, apabila dibandingkan dengan kuat tekan beton dengan umur 7, 14, dan 28 hari secara berurutan untuk metode perawatan direndam air mengalami penurunan sebesar 12,30%, 8,58% dan 0%, perawatan disiram air mengalami penurunan sebesar 14,95%, 11,59% dan 10,44%, perawatan dibungkus karung goni basah mengalami penurunan sebesar 11,94%, 9,69% dan 5,61%, perawatan dibungkus plastik wrap mengalami penurunan sebesar 15,66%, 13,44% dan 10,44% dan tanpa perawatan pada suhu luar ruangan mengalami penurunan sebesar 26,14%.

3. Analisis Perbandingan Perawatan Beton Terhadap Mutu beton

Penelitian kali ini dilakukan oleh Evert dan Kushartomo (2024). Penelitian ini dilakukan untuk memahami pengaruh metode perawatan pada beton rencana dengan mutu 20 MPa dan 30 MPa terhadap kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan adalah berupa silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Pengujian kuat tekan beton dilakukan ketika beton berumur 14 dan 28 hari, dengan menggunakan 3 variasi metode perawatan.

Metode perawatan yang digunakan adalah perendaman, penyiraman, dan tanpa perawatan. Dari pengujian yang dilakukan untuk sampel mutu beton rencana 20 MPa dengan umur 28 hari, didapatkan nilai sebesar 16,39 MPa untuk metode perendaman, 11,44 MPa untuk metode penyiraman, dan 9,74 MPa untuk metode tanpa perawatan. Adapun untuk mutu beton rencana 30 MPa dengan umur 28 hari, didapatkan nilai sebesar 32,32 MPa untuk metode perendaman, 30,34 MPa untuk metode penyiraman, dan 20,35 MPa untuk metode tanpa perawatan.

Perawatan beton dilapangan tanpa metode ataupun dibiarkan tanpa perawatan sangat tidak disarankan, karena mutu beton tidak akan optimal dan sesuai dengan mutu beton rencana. Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan di laboratorium,

mutu beton yang diperlakukan tanpa perawatan akan mengalami penurunan yang signifikan, berkisar antara 59-69%.

4. Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal

Mulyati dan Arkis (2020) melakukan penelitian berupa pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan beton normal dengan kuat tekan rencana 18,675 MPa. Terdapat 4 metode perawatan yang digunakan pada penelitian kali ini, yaitu metode perawatan berupa perendaman dengan air tawar, dibungkus dengan plastik hitam, dibungkus dengan karung goni basah, dan permukaan beton dibasahi dengan air.

Kuat tekan rencana yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebesar 18,675 MPa, dengan menggunakan cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 12 buah untuk pengujian umur beton 28 hari. Nilai rata-rata kuat tekan yang didapatkan dengan metode pengujian berupa perendaman, dibungkus plastik hitam, dibungkus karung goni basah, dan dibasahi permukaan beton dengan air pada umur 28 hari secara berurutan adalah sebesar, 18,95 MPa, 18,93 MPa, 17,41 MPa, dan 13,70 MPa. Dari nilai hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa metode perawatan beton paling efektif untuk mencapai mutu optimum beton adalah metode perendaman dalam air dan dibungkus dengan plastik hitam.

2.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dicantumkan diatas, penulis akan menguraikan perbedaan-perbedaan penelitian yang dilakukan antara satu dengan lain. Adapaun perbedaan penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan rencana penelitian

Penelitian Terdahulu					Rencana Penelitian
Penelitian	Ezra E, dkk (2024)	Hasnaa A (2023)	Vicky F, dkk (2023)	Mulyati, dkk (2020)	Umar (2025)
Judul Penelitian	Analisis Perbandingan Perawatan Beton Terhadap Mutu beton	Pengaruh Metode Rawatan Beton Terhadap Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur Beton	Pengaruh Perawatan Beton (<i>Curing</i>) Menggunakan <i>Water Curing</i> dan <i>Membrane Curing</i> Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Mutu Beton Ditinjau dari Kuat Tekan, Modulus Elastisitas dan Kuat Lentur.
Tujuan	memahami pengaruh metode perawatan pada beton rencana dengan mutu 20 MPa dan 30 MPa terhadap kuat tekan beton	Mengetahui pengaruh metode rawatan terhadap mutu dan kualitas beton serta mengetahui metode curing yang paling efektif dalam menunjang mutu dan kualitas beton	Mengetahui pengaruh perawatan beton terhadap kuat tekan beton	Mengetahui pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan beton normal	Mengetahui pengaruh metode perawatan beton terhadap mutu beton dari aspek kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton, serta metode paling efektif yang cocok digunakan di lapangan.
Kuat Tekan Rencana	20 MPa dan 30 MPa	30 MPa	25 MPa	18,675 MPa	30 MPa

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan rencana penelitian

Penelitian Terdahulu					Rencana Penelitian
Penelitian	Ezra E, dkk (2024)	Hasnaa A (2023)	Vicky F, dkk (2023)	Mulyati, dkk (2020)	Umar (2025)
Metode Perawatan	Perawatan dengan perendaman, penyiraman, dan dibiarkan tanpa perawatan	Perawatan perendaman, perawatan dengan menutup beton menggunakan goni basah, dan perawatan dengan <i>curing compound</i>	Perawatan dengan perendaman air tawar, penyiraman dengan air secara berkala, pembungkusan dengan karung goni basah, pembungkusan dengan plastik <i>wrap</i> , dan dibiarkan tanpa perawatan pada suhu terbuka	Perawatan berupa perendaman menggunakan air tawar, pembungkusan dengan plastik hitam, pembungkusan dengan karung goni basah, dan membasahi permukaan beton	Perendaman pada air tawar, dibiarkan pada ruangan terbuka tanpa perawatan, penyiraman permukaan beton sebanyak tiga kali dalam sehari, dan menggunakan <i>curing compound</i>
Jenis Pengujian	Kuat tekan	Kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur	Kuat tekan	Kuat tekan	Kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur
Benda Uji	Silinder diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm	Silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm, dan balok dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm	Silinder diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm	Silinder diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm	Silinder diameter 15 cm, tinggi 30 cm, dan balok dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm
Umur beton	14 dan 28 hari	28 Hari	7, 14, dan 28 Hari	28 Hari	28 Hari

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

Penelitian Terdahulu					Rencana Penelitian
Penelitian	Ezra E, dkk (2024)	Hasnaa A (2023)	Vicky F, dkk (2023)	Mulyati, dkk (2020)	Umar (2025)
Hasil Penelitian	<p>Pengujian untuk sampel mutu beton rencana 20 MPa umur 28 hari, didapatkan nilai sebesar 16,39 MPa metode perendaman, 11,44 MPa metode penyiraman, dan 9,74 MPa metode tanpa perawatan. Adapun untuk mutu beton rencana 30 MPa dengan umur 28 hari, didapatkan nilai sebesar 32,32 MPa untuk metode perendaman, 30,34 MPa metode penyiraman, dan 20,35 MPa metode tanpa perawatan.</p>	<p>Hasil pengujian kuat tekan dengan metode perendaman, menutupi permukaan dengan karung goni basah, dan menyemprotkan <i>curing compound</i> secara berurutan sebesar 32,0399 MPa, 29,2338 MPa, dan 24,4444 MPa. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas secara berurutan sebesar 24770,7 MPa, 23672,9 MPa, dan 23019,5 MPa. Hasil Pengujian kuat lentur secara berurutan sebesar 4,95146 MPa, 4,35532 MPa, dan 3,97008 MPa.</p>	<p>Hasil pengujian kuat tekan metode perendaman selama 7, 14, dan 28 hari secara berurutan adalah sebesar 22,18 MPa, 23,12 MPa dan 25,29 MPa. Perawatan dengan disiram air selama 7, 14, dan 28 hari adalah sebesar 21,51 MPa, 22,36 MPa dan 22,65 MPa. Perawatan dengan dibungkus karung goni basah selama 7, 14, dan 28 hari adalah sebesar 22,27 MPa, 22,84 MPa dan 23,87 MPa. Perawatan dengan dibungkus plastik <i>wrap</i> selama 7, 14, dan 28 hari adalah sebesar 21,33 MPa, 21,89 MPa dan 22,65 MPa. Dan metode tanpa perawatan pada suhu luar ruangan selama 28 hari adalah sebesar 18,68 MPa.</p>	<p>Nilai rata – rata kuat tekan yang didapatkan dengan metode pengujian berupa perendaman, dibungkus plastik hitam, dibungkus karung goni basah, dan dibasahi permukaan beton dengan air pada umur 28 haru secara berurutan adalah sebesar, 18,95 MPa, 18,93 MPa, 17,41 MPa, dan 13,70 MPa. Metode perawatan beton paling efektif untuk mencapai mutu optimum beton adalah metode perendaman dalam air dan dibungkus dengan plastik hitam.</p>	

2.3 Tinjauan Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini mengkaji pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur, dengan cakupan metode yang lebih bervariasi. Dibandingkan dengan Agustina (2023), penelitian ini mencakup metode tanpa perawatan di ruang terbuka, sehingga dapat mengevaluasi efektivitas perawatan yang lebih luas dalam kondisi lapangan. Selain itu, penelitian Fernando dkk (2023) hanya berfokus pada kuat tekan beton dengan mutu 25 MPa. Penelitian ini menggunakan mutu 30 MPa dan mengukur tiga parameter kekuatan, yang memberikan pemahaman komprehensif terkait pengaruh metode perawatan terhadap mutu beton.

Selanjutnya, penelitian ini melampaui cakupan Evert dan Kushartomo (2024) yang membatasi variabel metode perawatan pada tiga teknik tanpa menggunakan *curing compound*. Dengan menambahkan *curing compound*, penelitian ini lebih relevan untuk menentukan metode perawatan yang optimal di lapangan. Terakhir, Mulyati dan Arkis (2020) memfokuskan analisis pada beton dengan mutu rencana 18,675 MPa, sementara penelitian ini mengkaji mutu yang lebih tinggi (30 MPa) serta menguji tambahan parameter modulus elastisitas dan kuat lentur, sehingga menghasilkan wawasan yang lebih luas tentang pengaruh perawatan beton.

Pada penelitian kali ini juga akan diberikan batasan volume air yang disiramkan kepada benda uji, yaitu sebanyak 1,5-3 liter air tiap penyiraman dan digunakan cairan *curing compound* dengan merek *Consol Cure S* yang masih jarang digunakan pada penelitian sebelumnya. Secara keseluruhan, penelitian ini menawarkan cakupan yang lebih luas dalam analisis pengaruh metode perawatan beton terhadap berbagai aspek mutu beton dan mencoba menjawab kebutuhan aplikasi lapangan dengan mempertimbangkan metode yang paling praktis dan efektif.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan suatu bahan bangunan komposit yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat. Beton terlihat mengering setelah rangkaian pencampuran material-material dan didiamkan beberapa saat, bukan dikarenakan terjadinya penguapan air, melainkan karena adanya proses hidrasi dan merekatkan material yang ada sehingga terbentuk material seperti batu.

Beton banyak sekali digunakan sebagai material utama pada bangunan-bangunan di sekitar kita, seperti rumah tinggal, gedung, tempat ibadah, drainase, bandara, bahkan bendungan. Hal ini karena beton adalah sebuah material yang memiliki kekuatan, keawetan, relatif murah, mudah di produksi, dan mudah dalam pengerjaan.

Pada penelitian kali ini akan digunakan beton normal. Apabila mengacu pada SNI 2834-2000 beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi antara 2200-2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang pecah.

3.1.1. Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan suatu material komposit, yang mana arti komposit sendiri adalah suatu material yang terdiri dari dua material atau lebih material yang berbeda yang digabungkan dan membentuk suatu material dengan sifat yang lebih kuat dari material penyusunnya. Adapun material penyusun beton adalah sebagai berikut.

1. Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen Portland adalah suatu jenis semen yang paling banyak digunakan dalam konstruksi. Digunakan sebagai perekat yang mampu merekatkan serta mengikat bahan-bahan menjadi satu kesatuan karena memiliki sifat

pengikatan yang kuat dan tahan lama. Semen Portland dikembangkan dari jenis lain kapur hidraulis di Britania Raya pada pertengahan abad ke 19.

Semen terbuat dari beberapa bahan dasar, seperti serbuk halus dari kapur (CaO), alumina (Al_2O_3), lempung yang mengandung silika (SiO_2), oksida besi (Fe_2O_3), magnesium (MgO), sulfur (SO_3) dan soda/potash ($\text{Na}_2+\text{K}_2\text{O}$). Selain bahan-bahan dasar tersebut, semen portland memiliki empat unsur utama dari bahan semen tersebut, seperti Trikalsium Silikat (C_3S), Dikalsium Silikat (C_2S), Trikalsium Aluminat (C_3A), dan Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF).

Berdasarkan dari jenis dan penggunaannya, semen portland dibagi menjadi 5 jenis sebagaimana tertera pada SNI 2049-2015. Adapaun 5 jenis tersebut adalah sebagai berikut.

- a. Jenis I : semen portland untuk penggunaan umum, di mana penggunaannya tidak terdapat persyaratan–persyaratan khusus.
- b. Jenis II : semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III : semen portland yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah terjadinya pengikatan.
- d. Jenis IV : semen portland yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
- e. Jenis V : semen portkand yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2. Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan baku material penyusun beton. Berdasarkan SNI 2847-2019 agregat merupakan bahan berbutir seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Terdapat dua asal agregat, alam dan buatan, berasal dari alam yang terbentuk secara alami melalui aliran sungai dan degradasi,

maupun buatan dengan dibuat secara pengolahan, pemecah batu dengan mesin *crushe*, dan untuk memenuhi permintaan agregat berbentuk kubus atau bersudut dengan permukaan kasar.

a. Agregat Halus

Agregat halus merupakan suatu butiran mineral dengan maksimal ukuran 4,75 mm atau lolos saringan no. 4 yang berperan sebagai pengisi dalam campuran mortar dan beton yang mengikat agregat kasar. Agregat halus memiliki ukuran antara 0,063–4,75 mm dengan bentuk cenderung bulat serta bertekstur kasar.

Beton dengan nilai kuat tinggi tidak terlepas dari kualitas agregat halus yang digunakan, sehingga agregat halus harus memenuhi persyaratan-persyaratan menurut SK SNI S-04-1989-F. Adapun persyaratannya adalah sebagai berikut,

- 1.) Agregat halus harus meliputi butiran–butiran tajam, keras, dan tahan lama, sehingga tidak mudah hancur akibat pengaruh lingkungan seperti suhu dan cuaca.
- 2.) Kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus tidak boleh lebih dari 5% dari berat kering, apabila melebihi maka harus dicuci terlebih dahulu sebelum dicampurkan ke dalam beton
- 3.) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik, yang dapat membentuk raksi antara bahan organik dengan semen. Hal ini harus dibuktikan dengan uji ABRAMS–HARDER menggunakan larutan NaOH 3%
- 4.) Angka modulus kehalusan (*fineness modulus*) harus berada di antara 1,5–3,5.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan suatu butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi mortar dan beton dengan ukuran lebih besar dari 4,74 mm hingga 40 mm. Agregat kasar dapat berupa hasil disintegrasi alam dari

batuan–batuan, seperti batu sungai, batu gunung, hasil tambang atau berupa batu pecah dari industri pemecah batu.

Agregat kasar berfungsi sebagai bahan pengisi utama campuran beton, kurang lebih sebesar 70% beton merupakan agregat. Berperan dalam memberikan stabilitas volume, keawetan serta kekuatan pada beton. Agar kualitas beton yang dihasilkan memiliki mutu terbaik, maka agregat kasar yang digunakan harus memenuhi persyaratan–persyaratan menurut SK SNI S-04-1989-F. Adapun persyaratannya adalah sebagai berikut.

- 1.) Agregat kasar harus terdiri dari butiran–butiran keras, tidak memiliki pori, dan bersifat kekal, sehingga tidak pecah ataupun hancur karena pengaruh cuaca
- 2.) Agregat kasar tidak boleh terkandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi kadar tersebut maka agregat harus dicuci terlebih dahulu.
- 3.) Agregat kasar tidak boleh mengandung senyawa–senyawa yang mudah bereaksi terhadap alkali
- 4.) Angka modulus kehalusan (*fineness modulus*) harus berada di antara 6–7,1.

3. Air

Air merupakan salah satu elemen penting dalam penyusun beton, air akan menjadi reaktor semen pada proses hidrasi dan menjadi suatu pasta, sehingga beton akan lecah (*workable*). Agar peran air pada suatu beton bisa maksimal, air yang digunakan harus air murni yang tidak mengandung asam, alkali, oli minyak, bahan organik, dll. Air yang digunakan pada campuran beton harus memenuhi persyaratan–persyaratan menurut SK SNI S-04-1989-F. Adapun persyaratannya adalah sebagai berikut.

- 1.) Air harus bersih tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter
- 2.) Air harus murni, tidak boleh memiliki kandungan lumpur minyak serta benda–benda lain yang dapat dilihat secara visual

- 3.) Tidak boleh memiliki kandungan senyawa yang dapat merusak beton, seperti garam, zat organik, senyawa sulfat, dan chlorida

3.2 Perawatan beton

Curing Beton adalah suatu proses perawatan suatu beton untuk menjaga kelembapan dan suhu selama periode awal setelah pengecoran agar beton dapat mencapai kekuatan dan daya tahan optimal. Pada periode ini terjadi reaksi kimia antara semen dan air yang biasa disebut hidrasi, dan sangat rentan terhadap suhu, sehingga perlu adanya suatu perawatan. Menurut Mulyati dan Arkis (2020), Perawatan (*curing*) beton adalah cara yang digunakan untuk menjaga kestabilan temperatur dan perubahan baik di dalam maupun luar beton, dan untuk membantu proses hidrasi beton.

Menurut SNI 03-2847-2002 bahwa beton normal selain beton kuat awal tinggi harus dirawat dengan suhu 10°C dalam kondisi lembab minimal selama 7 hari setelah pengecoran, kecuali apabila dilakukan perawatan yang dipercepat dengan menggunakan proses-proses tertentu.

Terdapat beberapa jenis metode *curing* yang biasa digunakan. Beberapa metode *curing* adalah sebagai berikut.

1. *Water Curing* (Perawatan dengan air)

Perawatan dengan air merupakan perawatan yang umum digunakan, dengan tujuan untuk menghambat penguapan air pada campuran beton cor. Perawatan dengan air dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut.

- a. Meletakkan beton pada ruangan dengan kelembapan tinggi
- b. Meletakkan beton pada genangan air atau merendamnya di dalam air
- c. Menyelimuti beton dengan karung goni basah
- d. Menyirami permukaan beton secara berkala dan terus menerus

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



Gambar 3.1 Metode perawatan penyiraman beton
(Sumber: Internet)

2. *Membrane Curing* (Perawatan dengan membran)

Perawatan dengan membran adalah dengan menggunakan penghalang fisik yang kedap air, dengan tujuan untuk menghambat penguapan air pada beton. Dapat dilakukan dengan cara menutupi beton menggunakan lembaran plastik yang kedap air. Adapun contoh dari perawatan beton di lapangan dengan menggunakan metode *membrane curing* berupa penutupan permukaan beton menggunakan lembaran plastik dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Metode perawatan penutupan beton menggunakan plastik
(Sumber : Internet)

3. *Steam Curing* (Perawatan dengan penguapan)

Perawatan metode ini digunakan pada daerah yang memiliki musim dingin, sebelum dilakukan proses *steam*, suhu beton harus dipertahankan antara $10^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{C}$ selama beberapa jam. Pembasahan tetap dilakukan setelah lebih 24 jam, minimal umur 7 hari. Agar kekuatan beton tercapai, penguapan dilakukan dengan 2 cara, yaitu

- a. Perawatan dengan tekanan rendah berkisar $40^{\circ}\text{--}55^{\circ}\text{C}$ selama 10–12 jam
- b. Perawatan tekanan tinggi dengan suhu berkisar $65^{\circ}\text{--}95^{\circ}\text{C}$, dengan suhu akhir $40^{\circ}\text{--}55^{\circ}\text{C}$, dan berlangsung selama 10–16 jam.

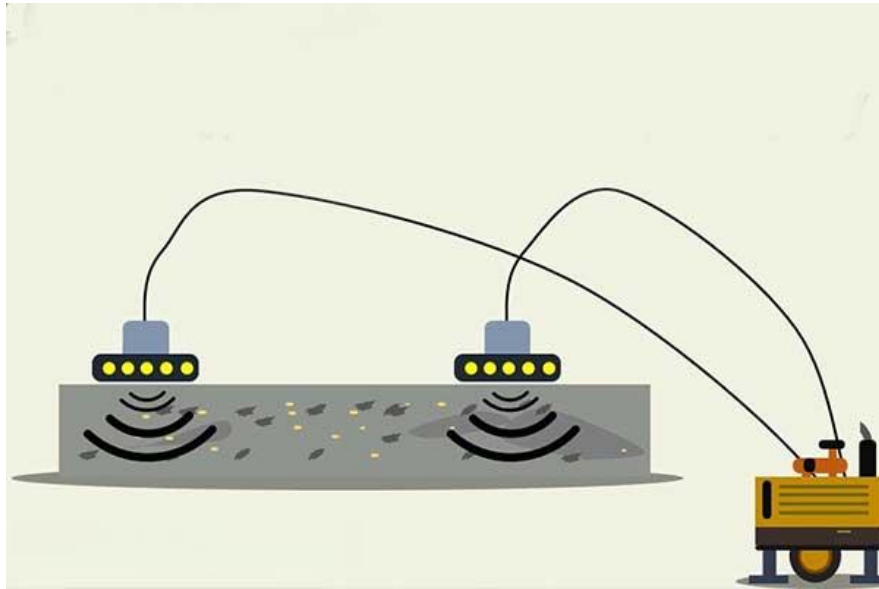
Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode *steam curing* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.3 Metode perawatan *steam curing* beton
(Sumber: Internet)

4. Sinar Inframerah

Metode ini masih jarang digunakan, yaitu dengan menyinari beton dengan sinar inframerah selama batas waktu 2 hingga 4 jam di suhu 90°C , dengan tujuan untuk mempercepat proses penguapan air, sehingga diperoleh beton kualitas tinggi. Adapun ilustrasi dari perawatan beton dengan menggunakan metode sinar inframerah dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.4 Metode perawatan sinar inframerah beton
(Sumber: Internet)

5. Hidrotermal

Metode ini dilakukan dengan cara memanaskan permukaan cetakan untuk membuat beton pra cetak dengan suhu 65°C . Cara ini lebih banyak digunakan pada industri besar, dan jarang digunakan pada proses konstruksi biasa. Adapun contoh dari perawatan beton dilapangan dengan menggunakan metode hidrotermal dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.5 Metode perawatan hidrotermal beton
(Sumber: Internet)

6. *Curing Compound* (Perawatan dengan cairan khusus)

Merupakan metode perawatan beton dengan melapisi permukaan beton dengan cairan tertentu yang kedap air, untuk mencegah masuk atau keluarnya air dari beton. Pada penelitian kali ini digunakan cairan *Consol Cure S*. Adapun contoh dari perawatan beton di lapangan dengan menggunakan metode *curing compound* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.6 Metode perawatan curing compound beton
(Sumber: Internet)

3.3 Perencanaan beton

Perencanaan beton adalah suatu proses yang dilakukan untuk merancang suatu beton dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada perancangan ini akan diketahui bahan-bahan penyusun beton serta proporsinya masing masing yang ditentukan dengan menggunakan cara *mix design*. Perencanaan campuran beton atau *mix design* dalam penelitian kali ini akan mengacu pada SNI 03-2834-2000. Adapun langkah-langkah dalam menentukan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Menetapkan nilai kuat tekan beton rencana sesuai persyaratan (f'_c) dengan umur dan bentuk benda uji tertentu.
2. Menghitung nilai deviasi standar (S_r)

Nilai deviasi standar dapat didapatkan berdasarkan pengalaman di lapangan dengan rumus 3.1 berikut.

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Dengan,

S_r = Deviasi standar

x_i = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

$\bar{x}$ = Kuat beton rerata

$$X_{\text{rerata}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

n = merupakan jumlah nilai hasil uji, minimum diambil sebanyak 30 buah (nilai satu hasil uji merupakan nilai rerata dari hasil 2 buah benda uji)

Dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung standar deviasi harus memenuhi kriteria berikut :

- Mewakili bahan–bahan prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang sama dengan pekerjaan yang diusulkan.
- Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f'_{cr} yang ditentukan.
- Paling sedikit terdapat 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- Apabila produksi beton tidak memiliki dua hasil uji yang memenuhi syarat standar deviasi, tetapi hanya terdapat sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Faktor pengali untuk standar deviasi apabila data kurang dari 30

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

Sumber : SNI 2834 (2000)

- Apabila data uji lapangan kurang dari 15, maka kuat tekan rerata yang di targetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_c + 12 \text{ MPa})$.

3. Menghitung nilai tambah dengan rumus sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.2)$$

Dengan,

M = Nilai tambah

S_r = Deviasi standar

4. Menghitung kuat tekan beton rerata (f'_{cr}) yang ditargetkan dengan menggunakan rumus berhitungan berikut.

$$f'_{cr} = f'_c \times M \quad (3.3)$$

Dengan,

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

f'_c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah

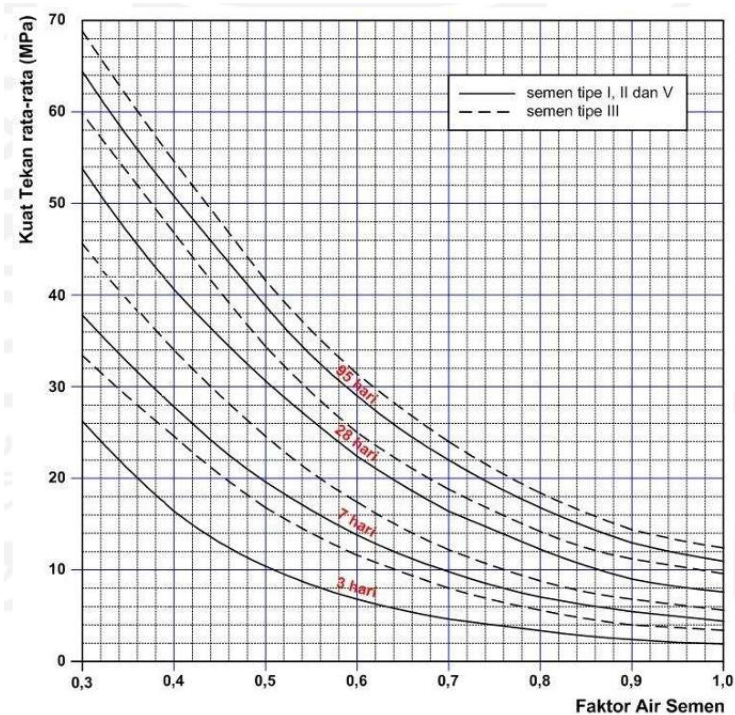
5. Menentukan tipe semen.
6. Menentukan jenis agregat kasar dan halus yang akan digunakan.
7. Menentukan faktor air semen atau FAS, dengan tahapan sebagai berikut.
- a. Menetapkan nilai kuat tekan pada umur beton 28 hari dengan menggunakan Tabel 3.2 dibawah. Penentuan kuat tekan pada umur 28 hari berdasarkan jenis semen yang digunakan dan jenis agregat kasar yang akan dipakai untuk pembuatan benda uji.

Tabel 3.2 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan FAS, dan agregat kasar yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)			
		Pada Umur (hari)		Bentuk Benda Uji	
		3	7		
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40
	Batu pecah	19	27	37	45
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44
	Batu pecah	25	33	44	48
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53
	Batu pecah	30	40	53	60

Sumber : SNI 2834 (2000)

- b. Menetapkan kurva lengkung baru yang didapatkan dengan cara menarik garis berdasarkan nilai kuat tekan yang didapat pada poin 7a dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen (FAS)
(Sumber : SNI 2834-2000)

- c. Menetapkan nilai faktor air semen yang dibutuhkan dengan cara menarik garis menggunakan grafik pada Gambar 3.1 dari nilai kuat tekan beton rencana hingga menyentuh kurva lengkung baru yang didapat pada poin 7b sebelumnya.
8. Menentukan nilai faktor air maksimum, kemudian nilai yang digunakan adalah nilai faktor air semen terkecil yang didapat antara nilai faktor air semen pada nomor 7 dan 8.
9. Menentukan tinggi *slump*.
10. Menentukan ukuran agregat maksimum berdasarkan hasil dari pengujian *properties* agregat.
11. Menetapkan nilai kadar air bebas dengan menggunakan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	Nilai slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 2834 (2000)

Dalam penetapan nilai kadar air bebas bisa didapatkan dengan Tabel 3.3 diatas dan dengan persamaan berikut.

$$w = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.4)$$

Dengan,

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

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

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

12. Mencari kadar semen yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$c = \frac{w}{f_{as}} \quad (3.5)$$

Dengan,

c = Kadar semen (kg/m^3)

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

FAS = Faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen minimum menurut SNI 03-2834-2000 yang didasarkan dengan kondisi lokasi beton rencana, dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

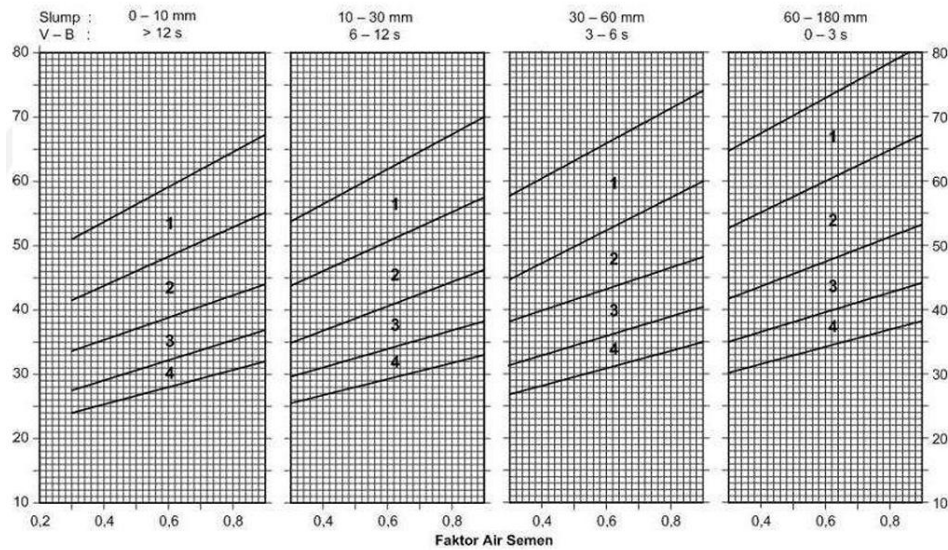
Tabel 3.4 Persyaratan jumlah semen minimum dengan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah Semen minimum /m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. air tawar		
b. air laut		Lihat Tabel 6

Sumber : SNI 2834 (2000)

14. Menentukan banyak semen yang digunakan, mengambil nilai tertinggi antara hasil perhitungan jumlah semen maksimum (jika ditetapkan) dengan jumlah semen minimum.
15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan apabila terdapat perubahan kadar semen (jika jumlah semen berubah menjadi lebih kecil dari jumlah semen yang ditetapkan atau lebih besar dari jumlah semen maksimum yang disyaratkan)
16. Menentukan susunan butir agregat halus yang diperoleh dari pengujian *properties* agregat

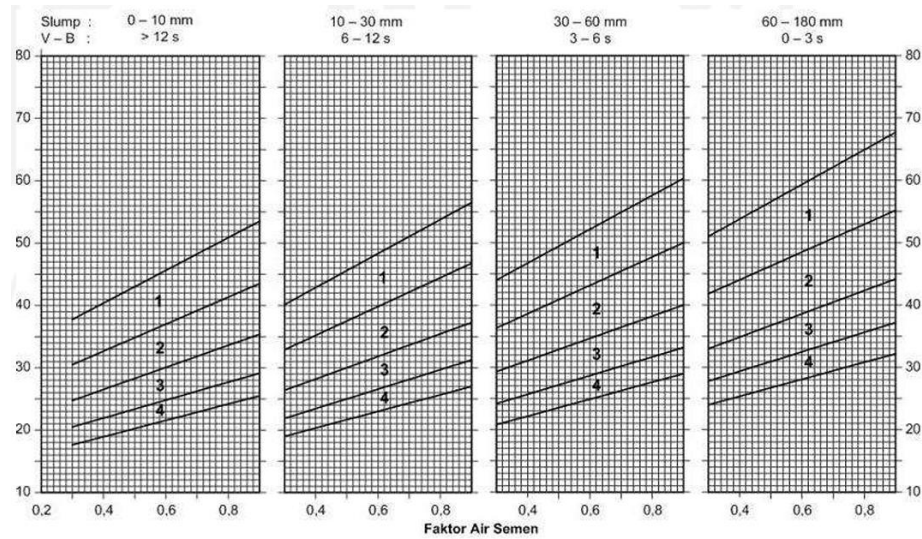
17. Menentukan susunan butir agregat kasar yang diperoleh dari pengujian *properties* agregat
18. Menentukan presentase agregat halus atau pasir dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.8 sampai dengan Gambar 3.10



Grafik13: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 10 mm

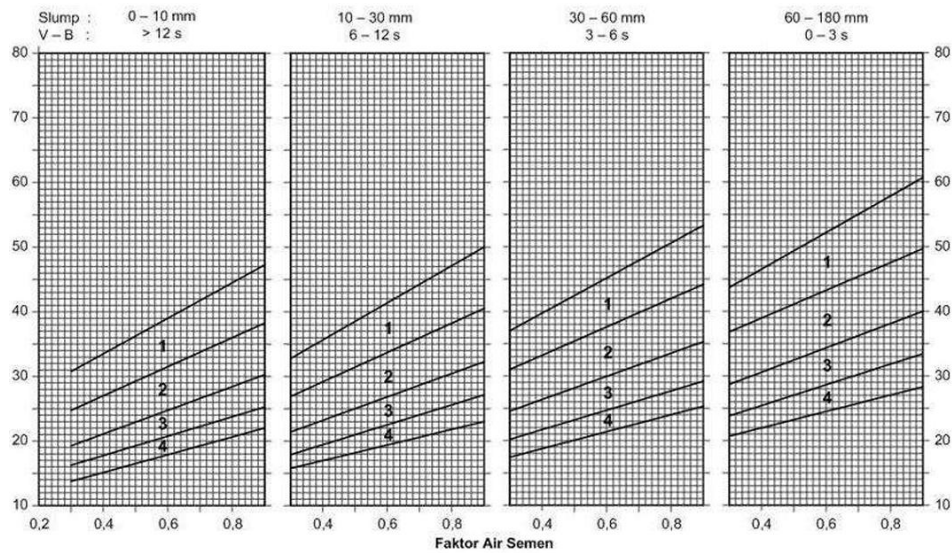
**Gambar 3.8 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 10 mm**

(Sumber : SNI 2834-2000)



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

**Gambar 3.9 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 20 mm
(Sumber : SNI 2834-2000)**



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

**Gambar 3.10 Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan
Untuk ukuran butir maksimum 40 mm
(Sumber : SNI 2834-2000)**

19. Menghitung berat jenis relatif agregat menggunakan persamaan berikut.

$$BJ_{Ag.Gab} = (\%Ag. Halus \times BJ_{Ag. Halus}) + (\%Ag. Kasar \times BJ_{Ag. Kasar}) \quad (3.6)$$

Dengan,

$BJ_{Ag.Gab}$ = Berat jenis relative agregat (gabungan)(%)

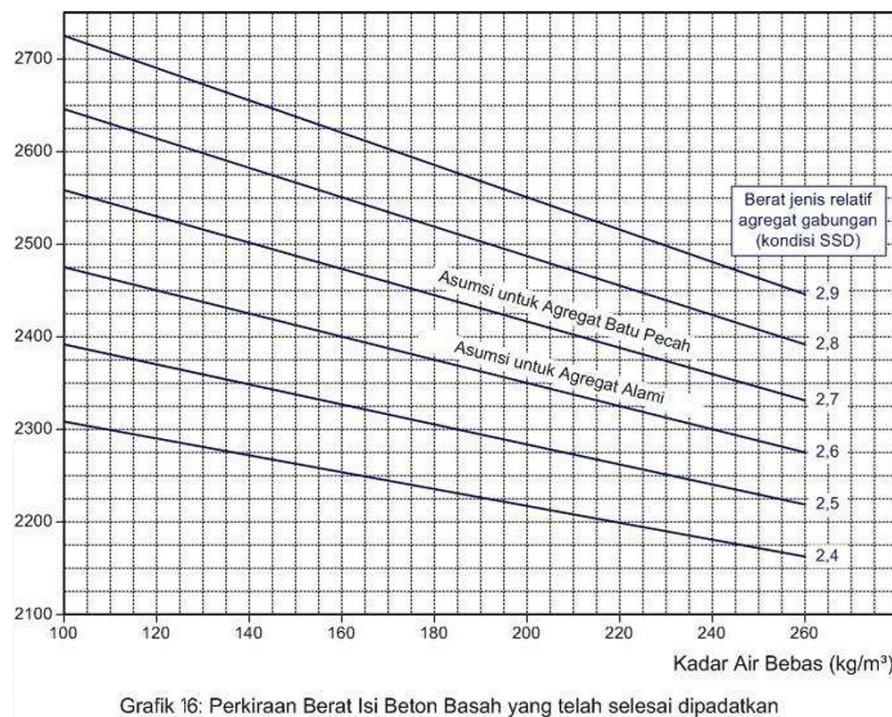
$\%Ag. Halus$ = Presentase agregat halus (%)

$\%Ag. Kasar$ = Presentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag. Halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag. Kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi beton sesuai dengan kadar air yang sudah didapatkan pada poin nomor 11 dan berat jenis relatif dari agregat gabungan yang sudah didapatkan juga pada nomor 18 dengan menggunakan grafik pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Grafik perkiraan berat isi beton basah yang telah didapatkan
(Sumber : SNI 2834-2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan dengan menggunakan rumus berikut.

$$W_{\text{Ag. Gab}} = W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \quad (3.7)$$

Dengan,

$$W_{\text{Ag. Gab}} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{beton}} = \text{Berat isi atau volume beton (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{semen}} = \text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)}$$

$$w = \text{Kadar air bebas (kg/m}^3\text{)}$$

22. Menghitung kadar agregat halus dengan menggunakan rumus berikut.

$$W_{\text{Ag. Halus}} = \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{Ag. Gab}} \quad (3.8)$$

Dengan,

$$W_{\text{Ag. Halus}} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$\% \text{Ag. Halus} = \text{Presentase agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Ag. Gab}} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

23. Menghitung kadar agregat kasar dengan menggunakan rumus berikut.

$$W_{\text{Ag. Kasar}} = W_{\text{Ag. Gab}} - W_{\text{Ag. Halus}} \quad (3.9)$$

Dengan,

$$W_{\text{Ag. Kasar}} = \text{Kadar agregat kasar (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Ag. Gab}} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{Ag. Halus}} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

3.4 Pengujian Beton

Pengujian beton merupakan serangkaian prosedur yang dilakukan untuk menentukan kualitas dari suatu beton, baik beton segar maupun yang sudah mengeras. Tujuan utama dilakukannya suatu pengujian beton adalah agar dapat dipastikan bahwa beton tersebut telah memenuhi persyaratan serta spesifikasi yang ada, sehingga akan mampu menahan beban.

Terdapat banyak macam pengujian beton untuk mengetahui kualitas spesifik dari suatu beton, seperti pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui kekuatan struktural beton, pengujian kuat tarik untuk mengetahui kekuatan tarik beton, pengujian lentur untuk mengetahui kemampuan beton untuk menahan beban lentur, pengujian modulus elastisitas untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan pada beton, dan lain sebagainya. Dalam penelitian kali ini dilakukan 3 pengujian untuk mengetahui spesifikasi beton. Berikut pengujian yang akan dilakukan

1. Uji kuat tekan beton

Uji kuat tekan beton merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan, pengujian ini merupakan salah satu pengujian yang utama pada beton. Nilai kuat tekan beton merupakan beban vertikal maksimum per satuan luas yang dapat ditahan oleh beton sebelum beton tersebut hancur atau mengalami keruntuhan. Berdasarkan SNI 1973-2011 nilai kuat tekan beton dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut.

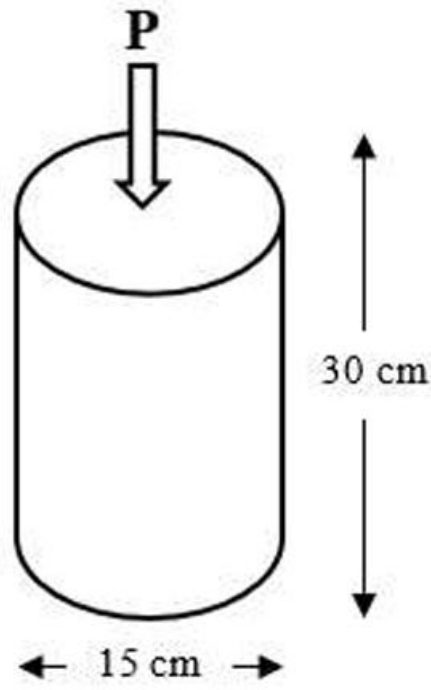
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.10)$$

Dengan,

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

P = Beban maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm²)



Gambar 3.12 Sketsa pengujian kuat tekan beton

Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan seluruh sampel, diperlukan uji *trial* untuk memastikan bahwa beton yang direncanakan mampu mencapai mutu yang diinginkan. Uji *trial* merupakan proses uji coba yang dilakukan menggunakan campuran sesuai rancangan (*mix design*) untuk memverifikasi apakah desain campuran dapat memenuhi spesifikasi teknis dan standar yang telah ditentukan. Benda uji *trial* umumnya diuji pada umur 7 hari, kemudian dikalikan dengan angka konversi tertentu untuk memperkirakan kuat tekan pada umur 28 hari. Adapun nilai konversi dapat merujuk pada PBI-1971 (Pedoman Beton Indonesia). Angka konversi umur beton terhadap nilai kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3.5 Angka konversi umur beton terhadap kuat tekan

Umur Beton (Hari)	Koefisien Kuat Tekan
3	0,46
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1,00

Sumber : PBI-1971

Perhitungan konversi nilai kuat tekan dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$f'_c = f'_{c_{aktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \quad (3.11)$$

Dengan,

f'_c = Kuat tekan (MPa)

$f'_{c_{aktual}}$ = Kuat tekan pada umur 7 hari (MPa)

Angka konversi = Angka konversi pada Tabel 3.5

2. 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.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.12)$$

Dengan,

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

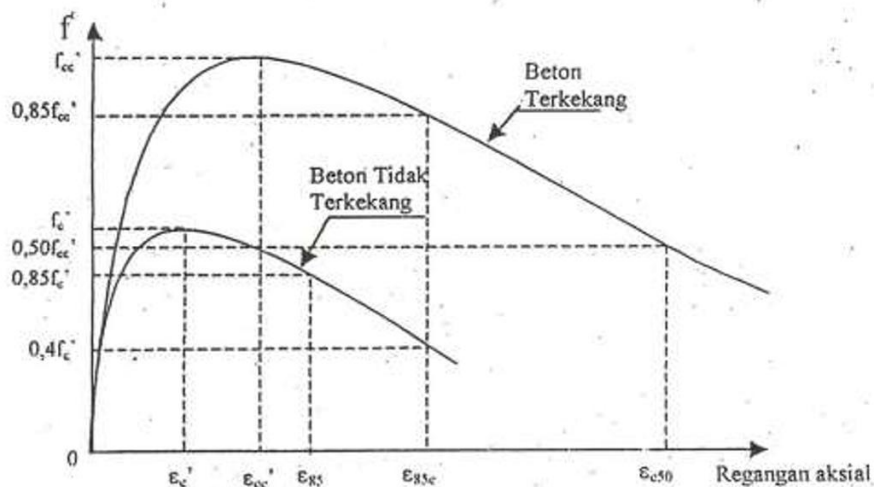
S_2 = Tegangan ketika 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa)

ε_2 = Regangan akibat tegangan S_2

ε_1 = 0,000050

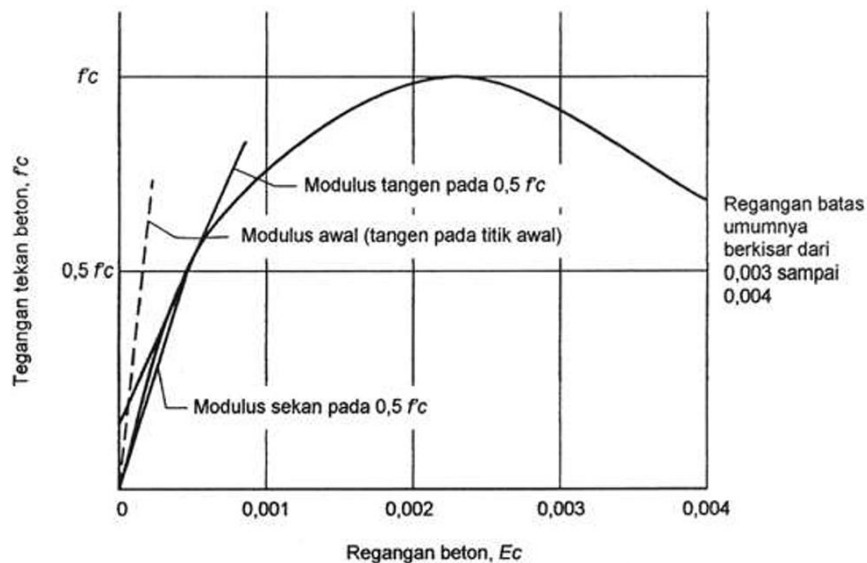
Berikut adalah gambar kurva hubungan tegangan dan regangan beton modulus elastisitas beton, dapat dilihat pada Gambar 3.13



Gambar 3.13 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 3.4



Gambar 3.14 Modulus sekan dan modulus tangen beton
(Sumber : I Wayan)

Persamaan 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

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.13)$$

Dengan,

W_c = Rentang 1400-2560 kg/m³

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W = Berat volume beton normal (kg/m³)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

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

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.14)$$

Dengan,

E_c = Modulus elastitas beton (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

3. Uji kuat lentur beton

Kuat lentur beton merupakan kemampuan beton untuk menahan beban lentur sebelum mengalami keruntuhan, pengukuran kuat lentur beton dengan menggunakan sampel berupa balok yang diletakkan pada dua titik tumpu kemudian diberikan beban di titik–titik tertentu hingga mengalami keruntuhan. Metode pengujian kali ini menggunakan sistem satu titik pembebanan yang didasarkan dari SNI 4154-2014, berikut persamaan untuk mencari nilai kuat lentur.

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.15)$$

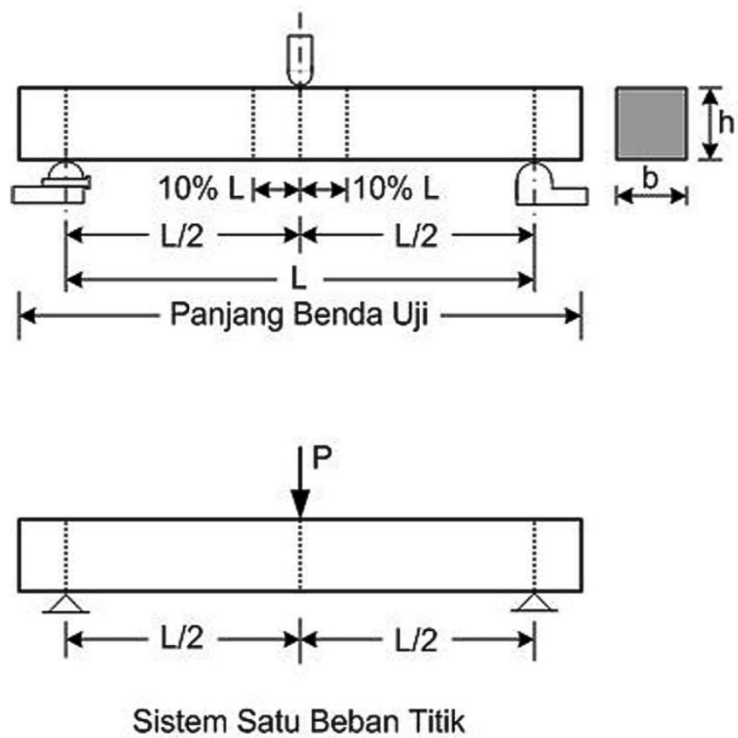
Dengan,

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

L = Panjang bentang diantara kedua tumpuan (mm)

b = Lebar balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)

d = Tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh (mm)



Gambar 3.15 Sketsa pengujian kuat lentur beton

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metodologi penelitian merupakan suatu serangkaian prinsip, prosedur, langkah, dan teknik yang digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasikan data untuk menjawab pertanyaan penelitian atau validasi hipotesis. Metodologi mencakup keseluruhan proses dari perancangan, pengumpulan data, analisis data, hingga pengambilan kesimpulan dalam penelitian.

Pendekatan kuantitatif akan diterapkan pada penelitian kali ini, dengan menggunakan data numerik dan statistik dalam menjawab pertanyaan penelitian. Metode yang digunakan adalah eksperimental, yaitu berupa penelitian yang akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Objek penelitian kali ini adalah pengujian beberapa metode perawatan beton dalam menunjang kekuatan beton, khususnya pada kuat tekan, lentur dan modulus elastisitas beton. Terdapat 4 metode perawatan yang dilakukan, dan di uji pada umur beton 28 hari.

Pemilihan metode perawatan didasarkan pada analisis literatur yang menunjukkan kelebihan dan keterbatasan metode konvensional. Penelitian sebelumnya oleh Mulyati dan Arkis (2020), mengungkapkan bahwa metode perendaman memberikan hasil optimal di laboratorium, tetapi sulit diterapkan di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini menguji efektivitas metode perawatan alternatif berupa penyiraman dan *curing compound*, sebagai solusi praktis dan membandingkannya dengan kondisi tanpa perawatan

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian mencerminkan tujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode perawatan yang berbeda. Terdapat beberapa variabel dalam penelitian ini, berikut variabel yang digunakan pada penelitian kali ini.

1. Variabel bebas (Independen), merupakan variabel yang dikendalikan, meliputi metode perawatan beton berupa perendaman dalam air, penyiraman secara berkala, penyemprotan *curing compound* dan tanpa perawatan
2. Variabel terikat (Dependen), merupakan variabel yang diukur untuk melihat pengaruh dari variabel bebas, meliputi kuat tekan, kuat lentur, dan modulus elastisitas
3. Variabel kendali (Kontrol), merupakan variabel yang tetap dijaga konstan agar tidak mempengaruhi hasil penelitian, meliputi komposisi campuran beton, waktu pengujian, bentuk sampel, ukuran sampel dan metode pengujian.

4.3 Bahan–bahan

Bahan–bahan yang akan digunakan pada penelitian kali ini untuk pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*
Semen *portland* merupakan jenis semen yang sering digunakan pada konstruksi, pada penelitian kali ini akan digunakan semen *portland* tipe I dengan merek Semen Gresik yang banyak tersebar di pasaran.
2. Agregat Halus
Agregat halus atau pasir yang digunakan berasal dari sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Dilakukan pengujian agregat halus untuk mendapat modulus halus butir dan berat volume dalam kondisi kering permukaan (SSD)
3. Agregat Kasar
Agregat kasar atau kerikil yang digunakan berasal dari Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan ukuran maksimum 20 mm. Agregat kasar dicuci terlebih

dahulu kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui berat jenis dan berat volume dalam keadaan SSD

4. Air

Air pada penelitian kali ini diambil dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia.

5. *Curing Compound*

Curing compound yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *Consol Cure S* yang diproduksi oleh PT. Kimia Konstruksi Indonesia, serta mudah didapatkan di pasar online.

4.4 Alat-alat

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian untuk pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat material yang dibutuhkan untuk setiap sampel beda uji.

2. Ayakan *Mesh*

Ayakan *mesh* merupakan saringan agregat yang digunakan untuk memisah agregat sesuai dengan ukuran yang telah ditetapkan.

3. Piknometer

Berfungsi untuk menentukan massa jenis suatu cairan, yang pada penelitian kali ini digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

4. Oven

Berfungsi untuk mengeringkan agregat halus maupun kasar. Pada penelitian kali ini, oven biasanya digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat

5. Cetakan Silinder

Berfungsi untuk wadah dalam membentuk sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, yang nantinya sampel bentuk silinder akan dilakukan uji kuat tekan dan modulus elastisitas

6. Cetakan Balok
Berfungsi sebagai wadah dalam membentuk sampel balok, dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm, yang nantinya sampel berbentuk balok akan dilakukan uji kuat lentur
7. Ember
Ember digunakan sebagai penampung ataupun wadah material-material yang dibutuhkan
8. Alat Semprot
Alat semprot berfungsi sebagai alat bantu untuk menyemprotkan *curing compound* pada salah satu metode perawatan
9. *Concrete Mixer*
Berfungsi untuk mencampurkan material-material beton agar campuran dapat tercampur dengan merata.
10. Sekop
Berfungsi sebagai alat bantu dalam pengambilan material dan penaruhan material, khususnya agregat kasar dan halus
11. Kerucut Abrams
Kerucut abrams berfungsi untuk mengecek nilai *slump* beton segar sebelum dilakukan pembentukan benda uji
12. Mesin Uji Tekan atau CTM (*compression testing machine*)
Mesin uji tekan digunakan untuk mengetahui nilai kuat tekan yang dimiliki suatu beton, di mana mesin akan memberikan beban sejajar kepada sampel hingga sampel mengalami keruntuhan
13. Mesin Uji Lentur atau UTM (*universal testing machine*)
Mesin uji tekan digunakan untuk mengetahui kekuatan beton menahan tegangan lentur, dengan memberikan beban di arah tertentu.

4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian kali ini adalah beton normal dengan kuat rencana 30 MPa. Terdapat dua bentuk benda uji, berupa silinder dengan diameter 30 cm dan tinggi 15 cm, dan kubus dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm. Terdapat empat metode perawatan yang akan dilakukan pada setiap benda uji yang ada, nantinya akan dilakukan tiga pengujian. Metode perawatan yang dilakukan adalah metode perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan dibiarkan pada ruang terbuka, sedangkan pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan, uji modulus elastisitas, dan uji lentur.

Menurut SNI 2493-2011 benda uji biasanya berjumlah 3 atau lebih bergantung pada kebiasaan dan sifat program pengujian. Berikut adalah jumlah benda uji serta rinciannya yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah.

Tabel 4.1 Rincian benda uji penelitian

Jenis Pengujian	Benda Uji	Jenis Perawatan	Kode Benda	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Perendaman	S1-R	5
			S2-R	
			S3-R	
			S4-R	
			S5-R	
		Penyiraman	S1-P	5
			S2-P	
			S3-P	
			S4-P	
			S5-P	
		<i>Curing Compound</i>	S1-C	5
			S2-C	
			S3-C	

Lanjutan Tabel 4.1 Rincian benda uji penelitian

Jenis Pengujian	Benda Uji	Jenis Perawatan	Kode Benda	Jumlah Sampel
			S4-C	
			S5-C	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	Tanpa Perawatan	S1-T	5
			S2-T	
			S3-T	
			S4-T	
			S5-T	
Kuat Lentur	Balok	Perendaman	B1-R	3
			B2-R	
			B3-R	
		Penyiraman	B1-P	3
			B2-P	
			B3-P	
		<i>Curing Compound</i>	B1-C	3
			B2-C	
			B3-C	
		Tanpa Perawatan	B1-T	3
			B2-T	
			B3-T	
Total Sampel				32

Keterangan :

S1-R = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 1, metode perendaman

- S2-R = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 2, metode perendaman
- S3-R = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 3, metode perendaman
- S1-P = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 1, metode penyiraman
- S2-P = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 2, metode penyiraman
- S3-P = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 3, metode penyiraman
- S1-C = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 1, metode *curing compound*
- S2-C = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 2, metode *curing compound*
- S3-C = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 3, metode *curing compound*
- S1-T = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 1, metode tanpa perawatan
- S2-T = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 2, metode tanpa perawatan
- S3-T = Uji kuat tekan + Modulus elastisitas, sampel silinder 3, metode tanpa perawatan
- B1-R = Uji kuat lentur, sampel balok 1, metode perendaman
- B2-R = Uji kuat lentur, sampel balok 2, metode perendaman
- B3-R = Uji kuat lentur, sampel balok 3, metode perendaman
- B1-P = Uji kuat lentur, sampel balok 1, metode penyiraman
- B2-P = Uji kuat lentur, sampel balok 2, metode penyiraman
- B3-P = Uji kuat lentur, sampel balok 3, metode penyiraman
- B1-C = Uji kuat lentur, sampel balok 1, metode *curing compound*

- B2-C = Uji kuat lentur, sampel balok 2, metode *curing compound*
- B3-C = Uji kuat lentur, sampel balok 3, metode *curing compound*
- B1-T = Uji kuat lentur, sampel balok 1, metode tanpa perawatan
- B2-T = Uji kuat lentur, sampel balok 2, metode tanpa perawatan
- B3-T = Uji kuat lentur, sampel balok 3, metode tanpa perawatan

4.6 Proses Pelaksanaan Penelitian

Banyak tahapan yang harus dilakukan dalam proses pelaksanaan penelitian, seperti persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, dan lain sebagainya. Berikut rincian proses pelaksanaan penelitian pada kali ini.

1. Persiapan

Sebelum pelaksanaan penelitian, tentunya penulis mempersiapkan segala hal untuk menunjang lancarnya jalan penelitian. Dimulai dari membaca referensi serta literatur yang berkaitan demi menambah wawasan, hingga persiapan peralatan serta material untuk pembuatan benda uji

2. Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar maupun halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari material tersebut, dan untuk mengetahui apakah agregat yang digunakan telah memenuhi persyaratan-persyaratan yang ada. Berikut standar pengujian - pengujian agregat berdasarkan Standar Nasional Indonesia.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus sesuai dengan SNI 1970-2016
- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar sesuai dengan SNI 1969-2016
- c. Pengujian analisa saringan agregat kasar sesuai dengan SNI 1968-1990
- d. Pengejian analisa saringan agregat halus seusai dengan SNI 1968-1990
- e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar sesuai dengan SNI 4804-1998
- f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus sesuai dengan SNI 4804-1998

g. Pengujian butiran lolos ayakan no.200 (Uji kandungan lumpur dalam pasir) sesuai dengan SNI 4142-1996

3. Perencanaan Campuran Beton (*mix design*)

Perencanaan campuran beton atau *mix design* dilakukan setelah selesai pengujian agregat pada poin sebelumnya dan didapatkan karakteristik serta sifat-sifat dari agregat tersebut. Perencanaan campuran beton direncanakan sesuai dengan SNI 2834-2000, adapun perhitungan detail perencanaan campuran beton akan dibahas pada bab V.

4. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* dengan umur 7 hari

Setelah dilakukan perencanaan campuran atau *mix design* dengan mutu rencana 30 MPa, maka dilakukan pembuatan sampel *trial*, dimana sampel tersebut dibuat untuk mengetahui apakah nilai beton berdasarkan *mix design* memiliki nilai mutu rencana yaitu sebesar 30 MPa. Apabila benda uji *trial* memiliki nilai yang sesuai dengan rencana, maka penelitian dilanjutkan dengan menggunakan perencanaan campuran tersebut.

5. Pembuatan dan Perawatan Sampel

Setelah dilakukan *mix design* dan pembuatan benda uji *trial*, maka bisa dilanjutkan dengan pembuatan benda uji penelitian. Setelah dilakukan pencampuran material-material beton di dalam *concrete mixer* maka dilakukan uji *slump* sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Apabila nilai *slump* sudah terpenuhi, maka beton segar dimasukkan kedalam cetakan benda uji, baik berupa balok maupun silinder.

Setelah beton mengeras maka selanjutnya melepaskan cetakan pada benda uji untuk dilakukan perawatan dengan empat metode yang telah direncanakan. Perawatan akan dilakukan hingga umur beton sampai 28 hari, berikut metode perawatan yang akan dilakukan.

a. Perendaman dalam air

Metode perendaman dilakukan dengan merendam secara keseluruhan benda uji (tenggelam) di dalam air selama 28 hari, dan akan dijadikan sebagai

kontrol ideal bagi metode perawatan lainnya. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Ilustrasi metode perendaman dalam air dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah.



Gambar 4.1 Perendaman benda uji beton

b. Penyiraman permukaan beton secara berkala

Metode penyiraman cukup efektif dalam menjaga kelembapan beton, sehingga mendukung proses hidrasi semen. Metode ini mencerminkan kondisi di lapangan, mudah diterapkan, tidak memerlukan peralatan khusus, sehingga praktis dan ekonomis. Metode penyiraman permukaan beton secara berkala adalah dengan membasahi beton seperti diguyur dengan air atau disemprot dengan bantuan selang air secara berkala. Pada penelitian kali ini akan disiram sebanyak 3 kali dalam sehari, yaitu pada pagi (06.00-09.00), siang (11.00-14.00) dan sore hari (16.00-19.00), dengan volume 1,5 hingga 3 liter air pada setiap penyiraman untuk simulasi kondisi penyiraman di lapangan. Ilustrasi metode penyiraman beton dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah.



Gambar 4.2 Penyiraman benda uji beton

c. Penyemprotan *curing compound*

Penyemprotan cairan *curing compound* dipilih karena mampu membentuk lapisan pelindung guna mengurangi penguapan air, sehingga dapat mencegah retak akibat kehilangan air yang terlalu cepat. Selain itu penerapannya lebih praktis dibandingkan penyiraman, karena tidak memerlukan aplikasi yang berulang.

Curing compound cocok diterapkan di lapangan, terutama pada proyek dengan area luas atau kondisi lingkungan yang panas, sehingga metode penyiraman sulit dilakukan. Pada penelitian kali ini akan digunakan cairan *curing compound* yang berasal dari PT Kimia Konstruksi Indonesia, dengan merek *Consol Cure S*. Cara pakai cairan tersebut dapat dengan *roll* maupun alat semprot. Cairan *curing compound* biasanya akan disemprot pada beton tepat setelah dilepasnya bekesting, kemudian hari ke 3 dan juga hari ke 7. Penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023), penyemprotan *curing compound* dilakukan pada hari ke 3, 7, 14, 21, dan 28 hari dengan menggunakan *curing compound* merek Sika Antisol S. Pada penelitian kali ini penyemprotan akan dilakukan pada hari ke 3, 7, 14, 21, dan 28 hari. Metode penyemprotan *curing compound* sebagai solusi praktis perawatan beton di

lapangan. Ilustrasi perawatan beton dengan menggunakan *curing compound* dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Penyemprotan *curing compound*

d. Dibiarkan tanpa perawatan

Metode perawatan terakhir adalah tanpa perawatan, benda uji dibiarkan pada ruangan terbuka tanpa diberikan perawatan apapun, hal ini untuk menggambarkan kondisi konstruksi dilapangan, sehingga dapat diketahui seberapa besar pengaruh beton yang dibiarkan tanpa perawatan pada ruangan terbuka terhadap mutu beton. Ilustrasi metode tanpa perawatan dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Tanpa perawatan di ruang terbuka

6. Pengujian Sampel

Setelah seluruh benda uji dilakukan perawatan dengan berbagai metode yang berbeda selama 28 hari, maka dilakukan pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, dan lentur beton. Adapun tahapan pengujian adalah sebagai berikut.

a. Pengujian Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, acuan yang digunakan pada uji kuat tekan beton adalah SNI 1974-2011, berikut tahapan uji kuat tekan beton

1. Menyiapkan benda uji silinder yang telah dilakukan perawatan selama 28 hari.
2. Mengukur dimensi benda uji silinder dan menimbang berat benda uji
3. Melapisi permukaan benda uji dengan mortar belerang
4. Melekatkan benda uji pada alat uji tekan, dan dipastikan dial beban berada di angka 0.
5. Mulai pengujian dengan menjalankan mesin uji tekan, memberikan pembebanan berkecepatan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik hingga benda uji hancur.
6. Setelah benda uji hancur, lakukan pencatatan pada beban maksimumnya.

b. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas di laboratorium merupakan proses menentukan kekakuan suatu beton dengan mengukur perubahan deformasi yang terjadi akibat pemberian beban tertentu, tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui tegangan regangan yang terjadi pada beton. Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, karena kedua pengujian ini saling berkaitan. Berdasarkan SNI 03-4169-1996 langkah-langkah pengujian modulus elastisitas adalah sebagai berikut.

1. Persiapan seluruh beton uji yang akan diuji dan peralatannya.
 2. Ukur berat, diameter, dan tinggi benda uji dengan timbangan dan kaliper.
 3. Pasang alat kompresometer ektensiometer pada benda uji, kemudian pasang alat pengukur deformasi.
 4. Letakkan benda uji dalam mesin uji tekan, lalu jalankan mesin uji hidraulik akan menekan benda uji perlahan
 5. Lakukan pembacaan dan catat deformasi setiap peningkatan beban 10 kN.
 6. Pembacaan selesai ketika benda uji runtuh atau hancur.
 7. Lakukan pembacaan beban maksimum.
- c. Pengujian Kuat Lentur Beton
- Uji kuat lentur beton dilakukan untuk menentukan kekuatan beton dalam menahan beban lentur atau beban tarik, pengujian ini sangat penting karena dapat menunjukkan bagaimana perilaku beton ketika mengalami beban lentur sebagaimana yang terjadi pada balok dan pelat lantai. Pada pengujian kali ini digunakan sampel dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm, mengacu pada SNI 4154-2014, berikut langkah–langkah uji kuat lentur beton.
1. Menyiapkan benda uji berupa balok
 2. Buat garis-garis melintang sebagai tanda dan petunjuk letak titik perletakan dan titik pembebanan. Garis sejauh 10% dari jarak bentang, diluar titik perletakan beban.
 3. Ukur dimensi dan timbang berat benda uji.
 4. Meletakkan benda uji pada mesin uji lentur sesuai dengan posisi pada saat dicetak dan dipasang pada tengah blok tumpuan
 5. Letakkan balok beban sampai menyentuh permukaan spesimen di tengah bentang.
 6. Jalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Beban diatur sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan efek beban kejut.

7. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 0,9 MPa/menit dan 1,2 MPa/menit hingga mengalami keruntuhan.

8. Catat beban maksimum yang dapat diterima benda uji.

7. Olah Data

Data–data kasar ataupun mentah yang didapatkan dari berbagai pengujian diolah lebih lanjut untuk setiap sampelnya, dengan landasan teori yang ada, sehingga akan didapatkan parameter–parameter yang dibutuhkan pada tahapan selanjutnya.

8. Analisis Pengujian

Pada tahapan kali ini adalah dengan membandingkan parameter–parameter yang telah didapatkan pada tahapan selanjutnya, kemudian dibandingkan satu dengan yang lainnya, sehingga terlihat perbedaan nilai yang didapat akibat perbedaan metode perawatan antar sampel pada setiap pengujian, baik uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan uji kuat lentur.

9. Pembahasan

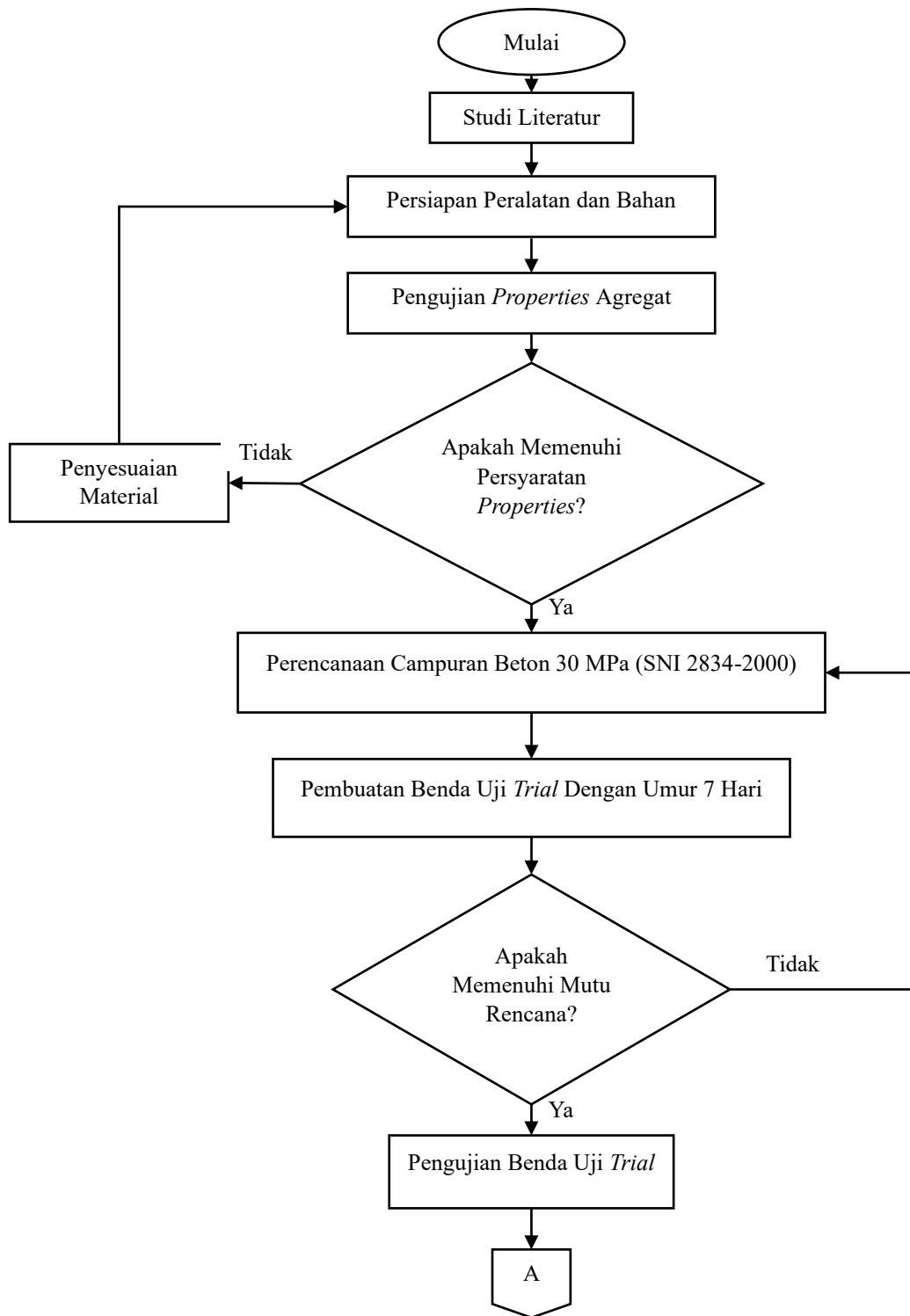
Pada tahap pembahasan, penulis membahas hasil analisis yang telah didapatkan pada tahapan sebelumnya, dan memberikan jawaban terhadap perbedaan nilai ataupun parameter yang didapatkan dari setiap metode pengujian yang ada.

10. Kesimpulan dan Saran

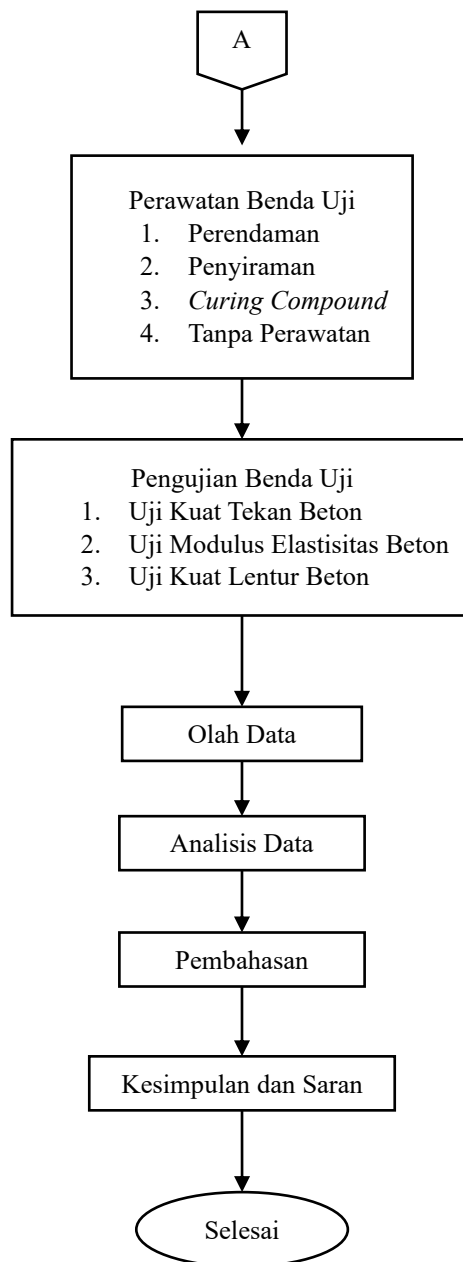
Kesimpulan adalah ringkasan hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah atau tujuan penelitian secara jelas dan singkat. Sementara itu, saran berisi rekomendasi berdasarkan kesimpulan untuk perbaikan, aplikasi, atau penelitian lanjutan yang relevan.

11. Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep penelitian pada kali ini dapat dilihat pada diagram bagan alir, adapun diagram bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut



Gambar 4.5 Diagram alir penelitian



Lanjutan Gambar 4.5 Diagram alir penelitian

BAB V

HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Setelah selesainya rangkain penelitian di laboratorium, maka didapatkan data–data dari setiap pengujian yang ada, dari data tersebut akan dilakukan suatu analisis yang dilanjutkan dengan pembahasan. Pembahasan dan analisis dari data tersebut diperoleh hasil penelitian, dan mencapai tujuan dari penelitian ini.

Pada Bab V ini, dijelaskan secara lengkap hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (TBK). Penelitian mencakup pemeriksaan material untuk penyusutan beton, perencanaan campuran beton (*mix design*), proses pencampuran material, pelaksanaan pengujian beton, serta hasil dari setiap pengujian yang dilakukan.

5.2 Hasil Pemeriksaan Material Penyusutan Beton

Tujuan dari pemeriksaan agregat adalah untuk memastikan bahwa kualitas, karakteristik dan sifat dari agregat tersebut telah memenuhi persyaratan yang ada, karena apabila material agregat tidak memenuhi persyaratan maka mutu beton yang dihasilkan akan berbeda dengan mutu rencana. Untuk memastikan kualitas dari suatu agregat maka perlu dilakukan beberapa rangkaian pengujian, diantaranya uji berat jenis dan penyerapan air, uji analisa saringan, uji berat volume gampur dan padat pada agregat, dan uji kadar lumpur.

Pemeriksaan material penyusutan beton kali ini dibagi menjadi 2, yaitu pemeriksaan agregat kasar dan pemeriksaan agregat halus, berikut pembahasan terkait dengan pemeriksaan material penyusutan beton.

1. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui karakteristik dari agregat halus yang dipakai. Berikut hasil pemeriksaan agregat halus yang digunakan.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Langkah pengujian yang dilakukan didasarkan pada SNI 1970-2016, kemudian diperoleh nilai hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 5.1. Adapun contoh perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan dibawah.

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{479}{852+500-1166} \\ &= 2,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Berat jenis SSD} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\ &= \frac{500}{852+500-1166} \\ &= 2,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \\ &= \frac{479}{852+479-1166} \\ &= 2,90 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{500-Bk}{Bk} \\ &= \frac{500-479}{479} \\ &= 4,38\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berikut.

Tabel 5.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	479
Berat pasir kondisi jenuh kering muka, gram (SSD)	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1166
Berat piknometer berisi air, gram (B)	852
Berat Jenis Curah $BK/(B+500-Bt)$	2,58
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) $500/(B+500- Bt)$	2,69
Berat Jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$	2,90
Penyerapan air $(500-Bk)/(Bk \times 100\%)$	4,38%

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh modulus butir halus, dengan mengacu pada SNI 1968-1990. Agregat halus yang digunakan adalah agregat yang telah di oven dan memiliki berat tetap, yaitu ketika di timbang 2 hingga 3 kali berat nya tetap sama, agregat halus yang digunakan sebanyak 2000 gram. Hasil rekapitulasi pengujian dapat dilihat pada tabel 5.2, adapun contoh perhitungannya adalah sebagai berikut.

1) Presentase berat tertinggal

Presentase berat tertinggal merupakan berat agregat yang tertinggal pada setiap ayakan dibagi dengan total seluruh agregat, kemudian dikali seratus, berikut hasil perhitungan presentase berat tertinggal

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{3}{2000} \times 100\% = 0,15\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{102}{2000} \times 100\% = 5,10\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{284}{2000} \times 100\% = 14,2\%
 \end{aligned}$$

d) Lubang ayakan 0,6 mm	$= \frac{646}{2000} \times 100\%$	$= 32,30\%$
e) Lubang ayakan 0,3 mm	$= \frac{591}{2000} \times 100\%$	$= 29,55\%$
f) Lubang ayakan 0,15 mm	$= \frac{315}{2000} \times 100\%$	$= 15,75\%$
g) Pan	$= \frac{59}{2000} \times 100\%$	$= 2,95\%$

2) Presentase berat tertinggal kumulatif

Presentase berat tertinggal kumulatif adalah jumlah presentase berat tertinggal yang di akumulasi pada setiap ayakan, berikut hasil perhitungan presentase berat tertinggal kumulatif

a) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 0,15\%$	
b) Lubang ayakan 2,4 mm	$= 0,15\% + 5,10\%$	$= 5,25\%$
c) Lubang ayakan 1,2 mm	$= 5,25\% + 14,2\%$	$= 19,45\%$
d) Lubang ayakan 0,6 mm	$= 19,45\% + 32,30\%$	$= 51,75\%$
e) Lubang ayakan 0,3 mm	$= 51,75\% + 29,55\%$	$= 81,3\%$
f) Lubang ayakan 0,15 mm	$= 81,3\% + 15,75\%$	$= 97,05\%$
g) Pan	$= 97,05\% + 2,95\%$	$= 100\%$

3) Presentase lolos kumulatif

Presentase lolos kumulatif merupakan seratus persen dikurangi dengan berat tertinggal kumulatif pada setiap ayakan, berikut hasil perhitungan presentase lolos kumulatif

a) Lubang ayakan 4,8 mm	$= 100\% - 0,15\%$	$= 99,85\%$
b) Lubang ayakan 2,4 mm	$= 100\% - 5,25\%$	$= 94,75\%$
c) Lubang ayakan 1,2 mm	$= 100\% - 19,45\%$	$= 80,55\%$
d) Lubang ayakan 0,6 mm	$= 100\% - 51,75\%$	$= 48,25\%$
e) Lubang ayakan 0,3 mm	$= 100\% - 81,3\%$	$= 18,7\%$
f) Lubang ayakan 0,15 mm	$= 100\% - 97,05\%$	$= 2,95\%$
g) Pan	$= 100\% - 100\%$	$= 0\%$

Hasil rekapitulasi perhitungan analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4.8	3	0.15	0.15	99.85
2.4	102	5.10	5.25	94.75
1.2	284	14.2	19.45	80.55
0.6	646	32.30	51.75	48.25
0.3	591	29.55	81.3	18.7
0.15	315	15.75	97.05	2.95
Sisa	59	2.95	100	0
Jumlah	2000	100	354,95	

Berdasarkan hasil perhitungan analisa saringan diatas, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari modulus halus butir (MHB), dengan perhitungan sebagai berikut.

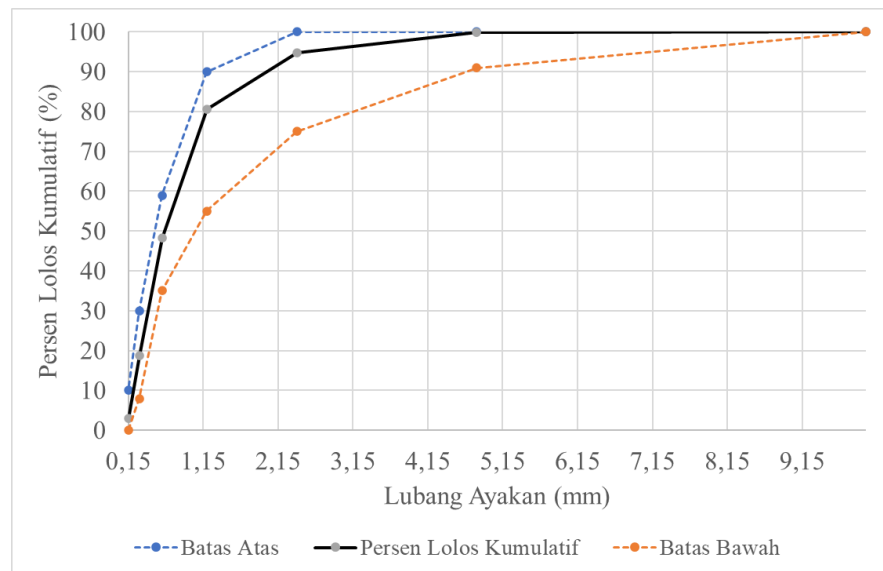
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus halus butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{354,95}{100} \\
 &= 3,55
 \end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir (MHB) dari agregat halus pada kali ini adalah 3,55. Berdasarkan SNI 1969-1990, nilai modulus halus butir agregat halus harus berada dalam rentang 1,5–3,8. Sehingga nilai modulus halus butir yang didapatkan pada pengujian kali ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi. Dari hasil pengujian analisa saringan juga dilakukan pengolahan data untuk menentukan gradasi agregat yang berdasarkan pada Tabel 5.3 berikut.

Sehingga berdasarkan batas atas dan batas bawah pada Tabel 5.3 diperoleh kurva gradasi agregat halus, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.3 Gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90 - 100	91 - 100	92 - 100	95 - 100
2.4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1.2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0.6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0.3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0.15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15



Gambar 5.1 Kurva gradasi agregat halus

Berdasarkan gambar kurva diatas, dapat disimpulkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian kali ini termasuk dalam daerah gradasi II (pasir agak kasar)

c. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat halus mengacu pada SNI 4804-1998. Adapun perhitungan pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus dapat dilihat sebagai berikut.

1) Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18360 - 10959 \\
 &= 7765 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5301,44 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7765}{5301,44} \\
 &= 1,46 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19774 - 10959 \\
 &= 8815 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5301,44 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8815}{5301,44} \\
 &= 1,66 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapat nilai berat volume gembur dan padat pada agregat halus berturut–turut sebesar 1,46 gram/cm³ dan 1,66 gram/cm³.

Hasil rekapitulasi perhitungan diatas dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan 5.5 berikut.

Tabel 5.4 Hasil pengujian berat volume gembur agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (W_1), cm	10595
Berat tabung + Agregat kering tungku (W_2), gram	18360
Berat agregat (W_3), gram	7765
Diameter tabung (d), cm	15
Tinggi tabung (t), cm	30
Volume tabung (V), cm^3	5301.44
Berat volume gembur, gram/cm^3	1.46

Tabel 5.5 Hasil pengujian berat volume padat agregat halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (W_1), cm	10959
Berat tabung + Agregat kering tungku (W_2), gram	19774
Berat agregat (W_3), gram	8815
Diameter tabung (d), cm	15
Tinggi tabung (t), cm	30
Volume tabung (V), cm^3	5301.44
Berat volume padat, gram/cm^3	1.66

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

Uji kadar lumpur dalam pasir dilakukan dengan menaruh 500 gram pasir pada saringan, kemudian dialiri air secara terus-menerus hingga air yang mengalir melewati pasir tidak keruh atau bening. Pengujian lolos saringan No.200 atau uji kadar lumpur mengacu pada SNI 4142-1996. Adapun perhitungan pada pengujian kali ini adalah sebagai berikut.

$$\text{Kadar lumpur dalam pasir} = \frac{W_1 - W_2}{W_1}$$

$$= \frac{500 - 498}{500}$$

$$= 0,4 \%$$

Didapatkan nilai kadar lumpur pada pasir sebesar 0,4% pada agregat kali ini, adapun yang disyaratkan pada SK SNI S-04-1989-F, kandungan kadar lumpur dalam agregat halus maksimum sebesar 5%, sehingga agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan. Adapun hasil rekapitulasi kadar lumpur dalam agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 6 Hasil pengujian lolos saringan no. 200

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat agregat kering oven (W_1), gram	500
Berat agregat kering oven setelah di cuci (W_2), gram	498
Berat yang lolos Ayakan N0. 200, %	0.4

2. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Hasil dari pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan benda uji agregat yang telah di oven dan memiliki berat tetap, di mana ketika ditimbang 2 hingga 3 kali beratnya tetap sama. Kemudian agregat kasar direndam selama 24 jam, setelah itu dikeringkan untuk mendapatkan agregat jenuh kering permukaan (SSD). Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969-2016, berikut perhitungan pada data yang didapatkan dari pengujian.

$$1) \text{ Berat jenis curah } = \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{4920}{5000 - 3003}$$

$$= 2,46$$

$$2) \text{ Berat jenis SSD } = \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{5000}{5000 - 3003}$$

$$= 2,50$$

$$3) \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba}$$

$$= \frac{4920}{4920 - 3003}$$

$$= 2,57$$

$$4) \text{ Penyerapan air} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$$

$$= \frac{5000 - 4920}{4920} \times 100$$

$$= 1,63\%$$

Persyaratan penyerapan air dalam agregat kasar maksimum menurut SK SNI S-04-1989-F adalah sebesar 3%, sehingga dari nilai yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang digunakan telah memenuhi persyaratan. Adapun hasil rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4920
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), (Bj), gram	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba), gram	3003
Berat jenis curah, Bk / (Bj-Ba)	2.46
Berat jenis jenuh kering kering muda (SSD), Bj / (Bj-Ba)	2.50
Berat jenis semu, Bk / (Bk-Ba)	2.57
Penyerapan air (Bj-Bk) / Bk x 100%	1.63

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1958-1990, benda uji yang digunakan adalah agregat kasar kondisi kering oven sebanyak 5000 gram, adapun perhitungan analisa saringan sebagai berikut.

1) Presentase berat tertinggal

Presentase berat tertinggal merupakan berat agregat yang tertinggal pada setiap ayakan dibagi dengan total seluruh agregat, kemudian dikali seratus, berikut hasil perhitungan presentase berat tertinggal

a) Lubang ayakan 40 mm	$= \frac{0}{4996} \times 100\%$	= 0%
b) Lubang ayakan 20 mm	$= \frac{68}{4996} \times 100\%$	= 1,36%
c) Lubang ayakan 10 mm	$= \frac{3514}{4996} \times 100\%$	= 70,34%
d) Lubang ayakan 4,8 mm	$= \frac{1339}{4996} \times 100\%$	= 26,80%
e) Lubang ayakan 2,4 mm	$= \frac{4}{4996} \times 100\%$	= 0,08%
f) Lubang ayakan 1,2 mm	$= \frac{2}{4996} \times 100\%$	= 0,04%
g) Pan	$= \frac{69}{4996} \times 100\%$	= 1,38%

2) Presentase berat tertinggal kumulatif

Presentase berat tertinggal kumulatif adalah jumlah presentase berat tertinggal yang di akumulasi pada setiap ayakan, berikut hasil perhitungan presentase berat tertinggal kumulatif

a) Lubang ayakan 40 mm	= 0%	
b) Lubang ayakan 20 mm	= 0% + 1,36%	= 1,36%
c) Lubang ayakan 10 mm	= 1,36% + 70,34%	= 71,70%
d) Lubang ayakan 4,8 mm	= 71,70% + 26,80%	= 98,50%
e) Lubang ayakan 2,4 mm	= 98,50% + 0,08%	= 98,58%
f) Lubang ayakan 1,2 mm	= 98,58% + 0,04%	= 98,62%
g) Pan	= 98,62% + 1,38%	= 100%

3) Presentase lolos kumulatif

Presentase lolos kumulatif merupakan seratus persen dikurangi dengan berat tertinggal kumulatif pada setiap ayakan, berikut hasil perhitungan presentase lolos kumulatif

a) Lubang ayakan 40 mm	= 100% - 0%	= 100%
b) Lubang ayakan 20 mm	= 100% - 1,36%	= 98,64%
c) Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 71,70%	= 28,30%
d) Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 98,50%	= 1,50%
e) Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 98,58%	= 1,42%
f) Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 98,62%	= 1,38%
g) Pan	= 100% - 100%	= 0%

Hasil perhitungan analisa saringan diatas, dapat dilihat rekapitulasinya pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0.00	0.00	100.00
20	68	1.36	1.36	98.64
10	3514	70.34	71.70	28.30
4.8	1339	26.80	98.50	1.50
2.4	4	0.08	98.58	1.42
1.2	2	0.04	98.62	1.38
0.6	0	0.00	98.62	1.38
0.3	0	0.00	98.62	1.38
0.15	0	0.00	98.62	1.38
Sisa	69	1.38	100.00	0.00
Jumlah	4996	100	764.61	-

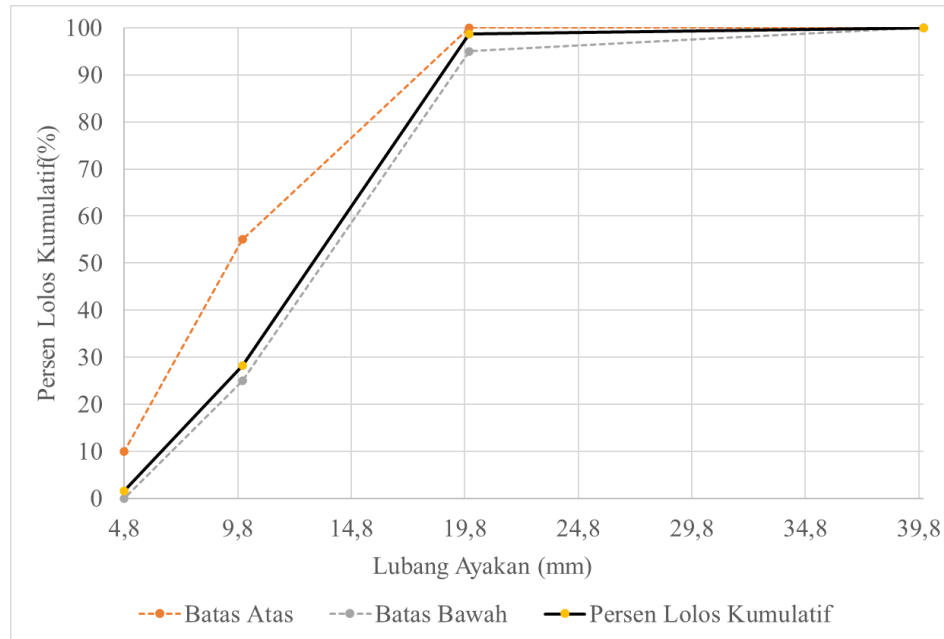
Berdasarkan hasil perhitungan analisa saringan diatas, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari modulus halus butir (MHB), dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Modulus halus butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{764,61}{100} \\ &= 7,65\end{aligned}$$

Nilai modulus halus butir (MHB) dari agregat kasar pada kali ini adalah 7,65. Berdasarkan SNI 03-1968-1990, nilai modulus halus butir agregat kasar harus berada dalam rentang 5–8. Sehingga nilai modulus halus butir yang didapatkan pada pengujian kali ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi. Dari hasil pengujian analisa saringan juga dilakukan pengolahan data untuk menentukan gradasi agregat yang berdasarkan pada Tabel 5.9 berikut. Sehingga berdasarkan batas atas dan batas bawah pada Tabel 5.9 diperoleh kurva gradasi agregat kasar, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.9 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 5.2 Kurva gradasi agregat kasar maksimum 20 mm

c. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

Pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998. Adapun perhitungan pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

1) Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18322 - 10959 \\
 &= 7363 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5301,44 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7363}{5301,44}
 \end{aligned}$$

$$= 1,39 \text{ gram/cm}^3$$

2) Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} \text{a) Berat Agregat (W}_3\text{)} &= W_2 - W_1 \\ &= 19268 - 10959 \\ &= 8673 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Volume Tabung (V)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 5301,44 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Berat Volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{8673}{5301,44} \\ &= 1,64 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapat nilai berat volume gembur dan padat pada agregat kasar berturut–turut sebesar 1,39 gram/cm³ dan 1,64 gram/cm³. Hasil rekapitulasi data diatas dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan 5.11 berikut.

Tabel 5.10 Hasil pengujian berat volume gembur agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (W ₁), cm	10595
Berat tabung + Agregat kering tungku (W ₂), gram	18322
Berat agregat (W ₃), gram	7363
Diameter tabung (d), cm	15
Tinggi tabung (t), cm	30
Volume tabung (V), cm ³	5301.44
Berat volume gembur, gram/cm ³	1.39

Tabel 5.11 Hasil pengujian berat volume padat agregat kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat tabung (W_1), cm	10959
Berat tabung + Agregat kering tungku (W_2), gram	19268
Berat agregat (W_3), gram	8673
Diameter tabung (d), cm	15
Tinggi tabung (t), cm	30
Volume tabung (V), cm^3	5301.44
Berat volume padat, gram/cm^3	1.64

5.3 Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini digunakan perencanaan campuran berdasarkan SNI 2834-2000. Mutu rencana pada penelitian kali ini adalah sebesar 30 MPa. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 30 MPa menggunakan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Benda uji dilakukan pengujian pada umur 28 hari.
3. Semen yang digunakan adalah semen PCC tipe I merek Semen Gresik.
4. Berat jenis agregat halus adalah 3,69 % dan berat jenis agregat kasar adalah 2,50 % yang diperoleh dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dan agregat kasar.
5. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II yang diperoleh dari pengujian analisa saringan agregat halus.
6. Ukuran agregat kasar maksimum 20 mm yang diperoleh dari pengujian analisa saringan agregat kasar.

7. Nilai standar deviasi (S) adalah 7 MPa, diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
8. Nilai tambah atau margin (M) adalah 12 Mpa, didapatkan dari rumus,

$$M = 1,64 \times S$$

$$= 1,64 \times 7$$

$$= 11,48 \text{ atau } 12 \text{ MPa}$$
9. Kekuatan beton rata-rata yang ditargetkan, dengan rumus sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

$$= 30 + 12$$

$$= 42 \text{ MPa}$$
10. Menentukan nilai faktor air semen (FAS), menggunakan Tabel 5.12 dan Gambar 5.3 berikut.

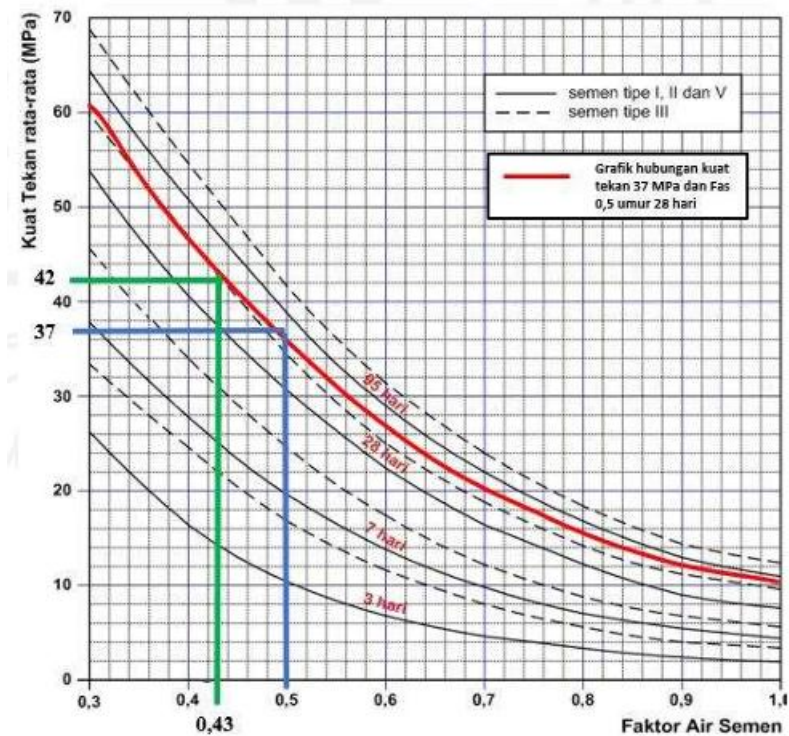
Tabel 5.12 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan FAS 0,5 dan jenis semen serta agregat yang dipakai di Indonesia

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

Sumber : SNI 2834 (2000)

- a. Pada penelitian kali ini digunakan semen portland tipe I, jenis agregat kasar berupa batu pecah, dan dilakukan uji tekan pada umur 28 hari dengan bentuk

- benda uji silinder. Berdasarkan tabel diatas dapat disimpulkan bahwa perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 adalah sebesar 37 Mpa.
- b. Menggunakan gambar 5.3 berikut ini, tarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan 37 Mpa dan Tarik garis vertical ke atas dengan acuan FAS 0,5 sampai didapatkan titik perpotongan antara 2 garis tersebut kemudian dibuat kurva baru berbentuk parabola (lengkung) yang memotong titik perpotongan tersebut.
 - c. Setelah terbentuk kurva parabola baru atau lengkung, kemudian tarik garis secara horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) sebesar 42 Mpa hingga menyentuh kurva parabola baru. Selanjutnya tarik garis yang menyentuh kurva parabola baru vertikal kebawah hingga mnyentuh sumbu x. Dan berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa nilai x sebesar 0,43. Sehingga nilai FAS bebas sebesar 0,43



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

11. Menetapkan jumlah semen minimum dan FAS maksimum

Penentuan jumlah semen minimum dan FAS maksimum pada tahap ini adalah berdasarkan lokasi pengecoran. Berikut tabel persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus.

Tabel 5.13 Persyaratan jumlah semen minimum dan FAS maksimum untuk berbagai macam pembetonan dalam lingkungan khusus

Lokasi	Jumlah semen minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfar dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan		
a. Air tawar		
b. Air laut		Tabel 6

FAS maksimum dan jumlah semen minimum pada pengujian kali ini diambil jenis pembetonan diluar ruangan bangunan kondisi terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka didapat jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m³ dan FAS maksimum sebesar 0,60. Berdasarkan Gambar 5.3 hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air semen, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai faktor air semen, maka semakin kecil kuat tekan beton. Terdapat tiga nilai FAS, faktor air semen 0,5, faktor air semen bebas 0,43, dan faktor air semen maksimum 0,60. Sehingga nilai FAS yang akan digunakan adalah nilai yang terkecil, yaitu sebesar 0,43.

12. Menentukan kadar air yang dibutuhkan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Perkiraan kadar air bebas (kg/m³) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton

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

- Pada penelitian kali ini digunakan agregat kasar berukuran maksimum 20 mm yang ditentukan dari hasil pengujian analisa saringan. Jenis agregat halus yang digunakan adalah batu tak dipecahkan, sedangkan agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah.
- Nilai *slump* yang dipakai adalah 60-180 mm
- Kadar air yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

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

13. Menetapkan kadar semen yang digunakan

Pada poin nomor 11 telah ditentukan jumlah semen minimum per-m³ beton, pada kali ini akan dihitung kadar semen yang akan digunakan. Berikut perhitungannya

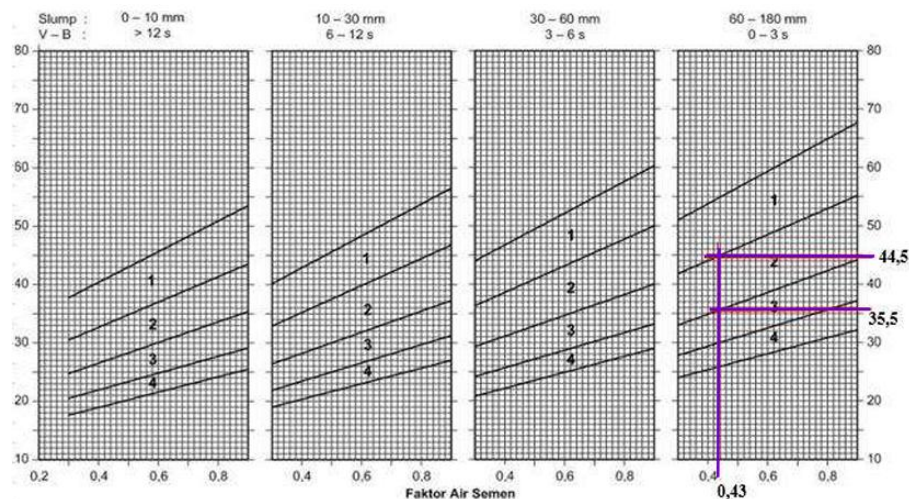
$$w = \frac{w}{f_{as}}$$

$$= \frac{205}{0,43}$$

$$= 476,74 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan bahwa kadar semen yang digunakan sebesar $476,74 \text{ kg/m}^3$

14. Menetapkan persentase agregat halus dan kasar
 - a. Nilai *slump* yang direncanakan antara 60–180 mm, agregat kasar maksimum berukuran 20 mm, nilai FAS yang digunakan adalah 0,43, dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi II
 - b. Berdasarkan gambar grafik 5.4 dibawah, tarik garis secara vertikal dari FAS 0,43 hingga menyentuh kurva batas atas dan bawah pada zona gradasi II. Setelah menyentuh kurva batas atas dan bawah, maka tarik secara horizontal ke kanan, sehingga didapatkan nilai persentase batas atas dan bawah seperti grafik pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Grafik persen agregat halus terhadap kadar total dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

$$\text{c. Persentase agregat halus rata-rata} = \frac{44,5\% + 35,5\%}{2}$$

$$= 40\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{persen agregat halus} \\
 &= 100\% - 40\% \\
 &= 60\%
 \end{aligned}$$

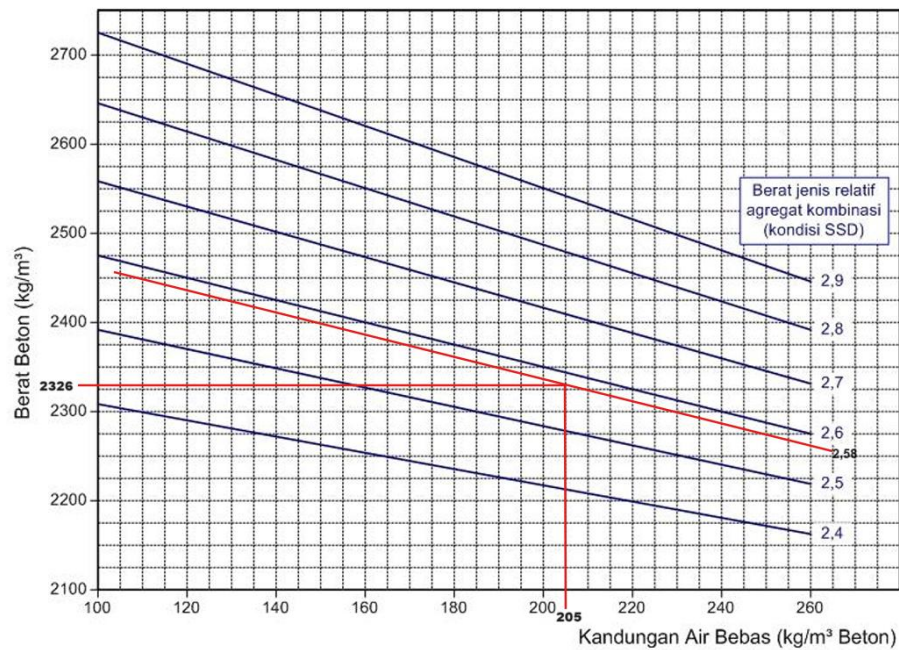
15. Menetapkan berat jenis relatif agregat gabungan kondisi jenuh kering permukaan (SSD)

$$\begin{aligned}
 BJ_{Ag.Gab} &= (\%Ag. Halus \times BJ_{Ag.Halus}) + (\%Ag. Kasr \times BJ_{Ag.Kasar}) \\
 &= (40\% \times 2,69) + (60\% \times 2,50) \\
 &= 2,58
 \end{aligned}$$

16. Menetapkan berat isi/volume beton

Berat isi/volume beton dapat ditentukan dengan sebuah grafik yang terdapat pada SNI 2834-2000. Berikut langkah–langkah untuk mencari berat isi beton.

- Berdasarkan gambar grafik 5.5 dibawah. Membuat kurva baru berdasarkan nilai berat jenis relatif agregat gabungan yaitu sebesar 2,58. Kemudian tarik garis vertikal keatas dari nilai kadar air yang dibutuhkan yaitu sebesar 205 kg/m³ hingga menyentuh kurva baru
- Dari titik perpotongan antara garis dan kurva pada poin a, kemudian ditarik garis horizontal ke kiri, sehingga akan didapatkan nilai perkiraan berat isi beton, yaitu sebesar 2326 kg/m³



Gambar 5.5 Perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai didapatkan
(Sumber : SNI 2834-2000)

17. Menghitung kadar agregat gabungan

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - W \\ &= 2326 - 476,74 - 205 \\ &= 1644,26 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Menghitung kadar agregat halus

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Halus}} &= \% \text{Ag. Halus} \times W_{\text{Ag.Gab}} \\ &= 40\% \times 1644,26 \\ &= 657,70 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Menghitung kadar agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag.Kasar}} &= W_{\text{Ag.Gab}} - W_{\text{Ag.Halus}} \\ &= 1644,26 - 657,70 \\ &= 986,55 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

20. Proporsi campuran per 1 m³ beton.

Dari hasil perencanaan campuran beton yang telah dihitung pada poin-poin sebelumnya, diperoleh proporsi tiap material untuk 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 476,74 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 657,70 kg
- d. Agregat kasar = 986,55 kg

21. Hasil perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada tabel 5.15 berikut.

Tabel 5.15 Rekapitulasi hasil perencanaan campuran

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaraatkan	30	MPa
2	Standar Deviasi	7	
3	Nilai Tambah/ Margin	11.48	
4	Nilai Tambah/ Margin dibulatkan	12	MPa
5	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
6	Jenis Semen	Tipe 1	
7	Jenis Agregat Kasar (Kerikil)	Batu Pecah	
8	Jenis Agregat Halus (Pasir)	Alami	
9	Faktor air semen (FAS)	0,5	
10	Faktor air semen bebas	0,43	
11	Faktor air semen maksimum	0,6	
12	FAS digunakan	0,43	
13	Slump	60-180	mm
14	Ukuran agregat maksimum	20	mm
15	Kadar air bebas	205	kg/m ³
16	Kadar semen	476,74	kg/m ³
17	Kadar semen maksimum	-	
18	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
19	Kadar semen digunakan	476,744	kg/m ³
20	FAS disesuaikan	0,43	
21	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
22	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,50	
23	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,69	
24	Persen agregat halus	40	%
25	Persen agregat kasar	60	%
26	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
27	Berat isi beton	2326	kg/m ³
28	Kadar agregat gabungan	1644,26	kg/m ³
29	Kadar agregat halus	657,70	kg/m ³
30	Kadar agregat kasar	986,55	kg/m ³

22. Volume benda uji

Benda uji pada penelitian kali ini berbentuk silinder dan balok, dengan diameter silinder sebesar 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan balok berdimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm. Volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu

kali *mixing*. Pada penelitian kali ini dilakukan 4 kali *mixing*, dalam setiap kali *mixing* terdiri dari 5 sampel silinder dan 3 balok. Adapun volume benda uji pada tiap kali *mixing* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Volume silinder} &= (5 \times \frac{1}{4}\pi \times d^2 \times t) \\
 &= (5 \times \frac{1}{4}\pi \times 0,15^2 \times 0,3) \\
 &= 0,02651 \text{ m}^3 \\
 \text{b. Volume balok} &= (3 \times b \times h \times t) \\
 &= (3 \times 3 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,4) \\
 &= 0,012 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

23. Proporsi campuran untuk setiap *mixing*

Proporsi campuran untuk setiap kali *mixing*

$$\begin{aligned}
 \text{a. Semen} &= 18,359 \text{ kg} \\
 \text{b. Air} &= 7,895 \text{ kg} \\
 \text{c. Agregat halus} &= 25,328 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat kasar} &= 37,992 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

24. Proporsi campuran setiap *mixing* dengan angka penyusutan

Diambil angka penyusutan sebesar 25%, sebagai langkah antisipatif dalam menghindari kekurangan volume beton yang dihasilkan akibat kehilangan material selama proses campuran dengan *concrete mixer*. Berikut proporsi tiap material setiap *mixing* ditambah dengan angka penyusutan.

Proporsi campuran untuk setiap kali *mixing*

$$\begin{aligned}
 \text{a. Semen} &= 22,948 \text{ kg} \\
 \text{b. Air} &= 9,867 \text{ kg} \\
 \text{c. Agregat halus} &= 31,658 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat kasar} &= 47,487 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.4 Hasil Pengujian *Trial*

Pengujian *trial* ditujukan untuk mengetahui bahwa proporsi campuran yang telah dihitung sebelumnya menghasilkan mutu beton sesuai rencana, yang pada

penelitian kali ini sebesar 30 MPa. Benda Uji *trial* dibuat sebanyak 5 sampel berbentuk silinder, dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji *trial* dilakukan pengujian ketika berumur 7 hari, adapun metode perawatan yang digunakan untuk benda uji *trial* adalah dengan perendaman. Setelah didapatkan nilai kuat tekan beton pada umur 7 hari, maka nilai tersebut perlu dikali dengan angka konversi umur uji. Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton *trial* aktual dan setelah dikonversi umur dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 1. \quad f'_{c_{\text{aktual}}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{389,14}{\frac{1}{4} \times \pi \times 151^2} \\
 &= 21,73 \text{ MPa} \\
 2. \quad f'_{c_{\text{terkonversi}}} &= f'_{c_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 21,73 \times \frac{1}{0,65} \\
 &= 33,43 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara diatas, maka dihitung juga sampel-sampel benda uji yang lain. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton *trial* dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut.

Tabel 5.16 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton trial

No.	Kode	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Mutu Rencana (MPa)	Beban Maks (kN)	Mutu Umur 7 Hari	Angka Konversi	Konversi 28 Hari (MPa)
1	UT1	151	300	17907,8635	30	472,43	21,73	0,65	33,43
2	UT2	152,7	300	18313,3567	30	452,87	22,127	0,65	34,04
3	UT3	151,7	303,3	18074,2815	30	419,42	21,235	0,65	32,67
4	UT4	151	302	17907,8635	30	422,68	21,619	0,65	33,26
5	UT5	148,6	301,35	17343,1308	30	368,11	19,531	0,65	30,05

Berdasarkan Tabel 5.16 diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian benda uji *trial* mencapai kekuatan 30 MPa, sehingga penelitian dapat dilanjutkan.

5.5 Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* berfungsi untuk menilai tingkat *workability* atau kemudahan dalam pengerjaan campuran beton. Semakin tinggi nilai *slump*, tekstur campuran beton menjadi semakin cair, sehingga beton lebih mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya, nilai *slump* yang rendah menandakan campuran lebih kental dan sulit dikerjakan. Beton yang ideal adalah beton yang mudah dikerjakan namun tetap stabil, tidak mengalami pemisahan antara agregat dan campuran (*segregasi*) serta tidak terjadi pemisahan air dari campuran (*bleeding*). Pada penelitian kali ini dilakukan 4 kali *mixing*, dengan 5 sampel silindir dan 3 sampel balok untuk setiap kali *mixing*. Berikut merupakan hasil pengujian *slump* pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, sebagaimana tercantum pada Tabel 5.17 berikut

Tabel 5.17 Hasil pengujian nilai *slump*

Keterangan	Tinggi <i>Slump</i> (mm)	Syarat Nilai <i>Slump</i> (60-180 mm)
<i>Mixing</i> 1	170	Memenuhi
<i>Mixing</i> 2	150	Memenuhi
<i>Mixing</i> 3	160	Memenuhi
<i>Mixing</i> 4	90	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 5.17 diatas, dapat dilihat bahwa hasil nilai *slump* yang didapatkan untuk setiap kali *mixing* telah memenuhi persyaratan nilai *slump* yaitu antara 60-180 mm menurut SNI 2834-2000. Pada penelitian kali ini, nilai *slump* pada tiap *mixing* cukup beragam, hal ini dikarenakan beberapa faktor, seperti durasi yang tidak seragam ketika pengadukan, dan terdapat sisa-sisa air pada *concrete mixer* sebelum dimasukkannya material. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mallisa (2008) bahwa semakin lama pengadukan akan mempengaruhi turunnya nilai *slump*. Pada penelitian tersebut beton yang dilakukan pengadukan selama 2 menit memiliki

nilai *slump* 125 mm, sedangkan pengadukan beton selama 32 menit, menghasilkan nilai *slump* sebesar 45 mm. Gambar 5.6 berikut menunjukkan salah satu hasil dokumentasi pengukuran nilai *slump* pada *mixing* 4.



Gambar 5.6 Pengujian *slump*

5.6 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Pemeriksaan berat volume beton dilakukan pada benda uji berbentuk silinder yang telah melalui proses perawatan beton selama 28 hari. Benda uji ditimbang untuk mendapatkan beratnya, dan dimensinya diukur untuk menghitung volume beton. Pemeriksaan ini dilaksanakan sebelum pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton, dengan tujuan untuk mengetahui rasio antara berat beton dan volume beton. Berikut merupakan contoh perhitungan dari pemeriksaan berat volume beton untuk setiap sampel pada variasi yang ada.

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Perendaman} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{12,751}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1506^2 \times 0,299} \\
 &= 2394,0501 \text{ kg/m}^3 \\
 2. \quad \text{Penyiraman} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{12,391}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1508^2 \times 0,304}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2282,1291 \text{ kg/m}^3 \\
 3. \quad \text{Penyemprotan curing} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{12,354}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1501^2 \times 0,302} \\
 &= 2311,0301 \text{ kg/m}^3 \\
 4. \quad \text{Tanpa perawatan} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{12,320}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,1515^2 \times 0,304} \\
 &= 2248,1329 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan pemeriksaan berat volume beton untuk seluruh sampel yang ada. Adapun hasil perhitungan pemeriksaan berat volume beton dapat dilihat pada rekapitulasi pada Tabel 5.18 berikut.

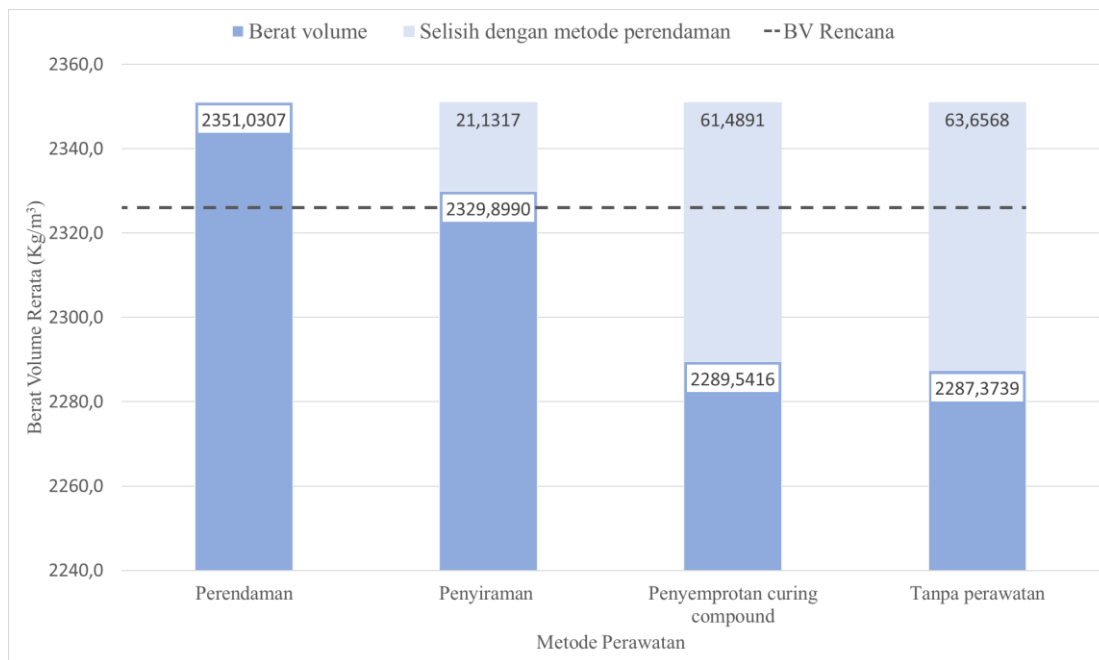
Tabel 5.18 Rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m³)	Berat Volume Rerata (kg/m³)
Perendaman	28 Hari	S1-R	0,150	0,302	0,00532	12,531	2355,126	2351,031
		S2-R	0,151	0,304	0,00543	12,751	2348,433	
		S3-R	0,150	0,302	0,00532	12,496	2348,521	
		S4-R	0,151	0,304	0,00544	12,957	2380,056	
		S5-R	0,151	0,303	0,00541	12,559	2323,019	
Penyiraman		S1-P	0,151	0,299	0,00533	12,391	2326,459	2329,899
		S2-P	0,151	0,302	0,00538	12,505	2323,001	
		S3-P	0,151	0,300	0,00534	12,559	2350,132	
		S4-P	0,151	0,306	0,00549	12,694	2310,381	
		S5-P	0,150	0,301	0,00534	12,494	2339,522	
Penyemprotan curing		S1-C	0,150	0,302	0,00535	12,354	2311,030	2289,542
		S2-C	0,150	0,300	0,00533	12,273	2303,880	
		S3-C	0,152	0,302	0,00544	12,386	2278,162	
		S4-C	0,151	0,304	0,00544	12,467	2290,048	
		S5-C	0,152	0,305	0,00550	12,447	2264,588	
Tanpa Perawatan		S1-T	0,151	0,301	0,00538	12,320	2289,404	2287,374
		S2-T	0,150	0,300	0,00530	12,081	2278,059	
		S3-T	0,152	0,300	0,00544	12,425	2282,433	
		S4-T	0,150	0,302	0,00532	12,126	2278,255	
		S5-T	0,150	0,301	0,00529	12,215	2308,719	

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas, dapat dilihat bahwa berat volume beton rata-rata (kg/m^3) untuk setiap variasi perawatan adalah sebagai berikut.

1. Berat volume rata-rata metode perendaman = 2351,031
2. Berat volume rata-rata metode penyiraman = 2329,899
3. Berat volume rata-rata metode penyemprotan *curing* = 2289,542
4. Berat volume rata-rata metode tanpa perawatan = 2287,374

Berdasarkan nilai rata-rata volume beton tiap metode perawatan dapat di plot menjadi grafik hubungan antara berat volume dengan metode perawatan. Berikut dapat dilihat pada gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Hubungan antara berat volume dengan metode perawatan

Berdasarkan Gambar 5.7 di atas, terlihat adanya perbedaan berat volume beton antara perawatan menggunakan penyiraman, *curing compound* dan tanpa perawatan dibandingkan dengan berat volume beton kontrol (beton yang dirawat dengan perendaman). Adapun contoh perhitungan persentase selisih antara berat volume tiap variasi perawatan dengan metode perendaman dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Penyiraman} &= \frac{W_c \text{ perendaman} - W_c \text{ penyiraman}}{W_c \text{ perendaman}} \times 100 \\
 &= \frac{2351,031 - 2329,899}{2351,031} \times 100 \\
 &= 0,899\%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagaimana yang diatas untuk variasi perawatan lainnya, adapun hasil dari perhitungan persentase selisih berat volume untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman ditunjukkan pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Persentase selisih berat volume untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman

No.	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Berat Volume (%)
1	Perendaman	0
2	Penyiraman	0,8988
3	Penyemprotan <i>curing compound</i>	2,6154
4	Tanpa perawatan	2,7076

Perbedaan ini mungkin disebabkan oleh variasi kandungan air dalam beton. Metode perendaman menunjukkan hasil terbaik karena mampu menjaga kelembapan beton secara kontinu, sehingga proses hidrasi berjalan sempurna. Sementara itu, metode penyiraman dan penyemprotan *curing compound* menunjukkan hasil yang lebih rendah akibat keterbatasan dalam mempertahankan kelembapan. Beton tanpa perawatan menunjukkan hasil paling rendah dengan selisih 2,71% apabila dibandingkan dengan metode perendaman. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023) bahwa metode perawatan dengan perendaman memiliki berat volume beton paling besar, kemudian diikuti oleh metode ditutup karung goni, kemudian metode disemprot *curing compound*. Dengan selisih nilai berat volume metode ditutup karung goni sebesar 1,8955% dan metode disemprot *curing compound* sebesar 3,3686% apabila dibandingkan dengan metode perendaman.

5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah pemeriksaan berat volume beton. Langkah ini bertujuan agar peneliti dapat memperoleh nilai kuat tekan beton dari pembebanan yang diberikan oleh mesin kuat tekan (*compression machine*). Sebelum pengujian dimulai, bagian atas permukaan beton diberi lapisan *capping* untuk meratakan permukaannya, sehingga beban yang diterapkan dapat terdistribusi merata pada sampel. Dengan distribusi beban yang merata, hasil pengujian diharapkan lebih akurat. Beban diberikan secara konstan hingga beton mengalami retakan (*crack*), menandakan bahwa benda uji tidak lagi mampu menahan beban dari mesin kuat tekan. Retakan ini ditandai dengan turunnya jarum dial beban hingga nilai beban menunjukkan angka nol, yang mengindikasikan bahwa beton telah mencapai batas ketahanannya. Dokumentasi pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton

Dalam penelitian ini, uji tekan dilakukan pada lima sampel silinder untuk setiap variasi, sehingga total sampel yang diuji berjumlah 20. Nilai kuat tekan yang diperoleh kemudian digunakan sebagai indikator kualitas beton, dengan nilai yang tinggi menunjukkan beton yang tahan terhadap beban struktural. Sebaliknya, nilai yang lebih rendah dapat mengindikasikan perlunya evaluasi kembali terhadap bahan, proses pencampuran dan metode perawatan. Dengan penelitian ini, diharapkan pemahaman

yang lebih baik tentang pengaruh metode perawatan terhadap kekuatan beton dapat diterapkan untuk meningkatkan desain beton dalam konstruksi yang lebih kuat dan tahan lama. Berikut dapat dilihat contoh perhitungan kuat tekan pada tiap variasi.

1. Perendaman

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ S1-R} &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{542100}{\frac{1}{4} \times \pi \times 149,7^2} \\
 &= \frac{542100}{17600,8435} \\
 &= 30,80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Penyiraman

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ S1-P} &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{424000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 1506^2} \\
 &= \frac{424000}{17813,1131} \\
 &= 24 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ S1-R} &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{378000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 150,1^2} \\
 &= \frac{378000}{17695,0285} \\
 &= 21,30 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Tanpa perawatan

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ S1-R} &= \frac{P (N)}{A (mm^2)} \\
 &= \frac{329300}{\frac{1}{4} \times \pi \times 151^2} \\
 &= \frac{329300}{17907,8635} \\
 &= 18,60 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dalam menggunakan cara perhitungan diatas, dihitung pula kuat tekan beton untuk setiap sampel yang ada, sehingga didapatkan nilai kuat tekan yang dapat dilihat pada Tabel 5.20 rekapitulasi berikut.

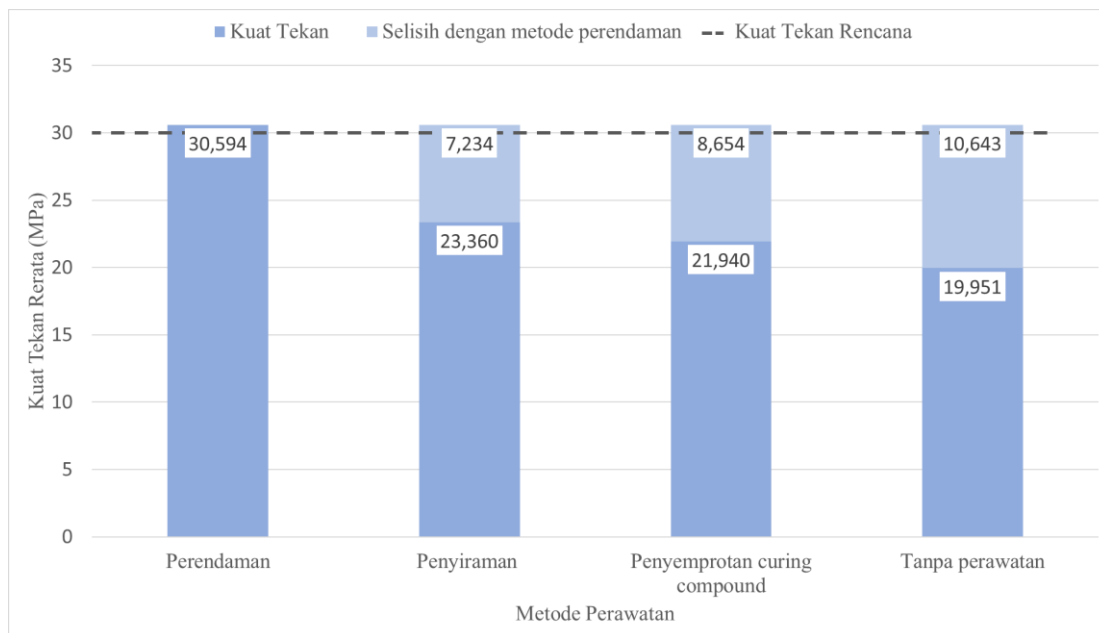
Tabel 5.20 Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
Perendaman	28 Hari	S1-R	149,700	302,300	17600,8435	542,100	30,80	30,59
		S2-R	150,800	304,000	17860,4569	528,900	29,61	
		S3-R	149,800	301,900	17624,3662	574,500	32,60	
		S4-R	151,000	304,000	17907,8635	504,300	28,16	
		S5-R	150,700	303,100	17836,7771	567,200	31,80	
Penyiraman		S1-P	150,600	299,000	17813,1131	424,000	24,00	23,36
		S2-P	150,600	302,200	17813,1131	440,700	24,90	
		S3-P	150,500	300,400	17789,4648	399,000	22,60	
		S4-P	151,200	306,000	17955,3330	390,000	22,10	
		S5-P	150,300	301,000	17742,2152	411,000	23,20	
Penyemprotan <i>curing</i>		S1-C	150,100	302,100	17695,0285	378,000	21,30	21,94
		S2-C	150,300	300,250	17742,2152	407,000	23,00	
		S3-C	151,500	301,600	18026,6550	421,000	23,80	
		S4-C	151,000	304,000	17907,8635	367,000	20,80	
		S5-C	151,600	304,500	18050,4604	368,000	20,80	
Tanpa Perawatan		S1-T	151,000	300,500	17907,8635	329,300	18,60	19,95
		S2-T	150,100	299,700	17695,0285	355,500	20,10	
		S3-T	152,000	300,000	18145,8392	383,900	21,16	
		S4-T	149,700	302,400	17600,8435	353,000	20,00	
		S5-T	149,700	300,600	17600,8435	352,200	19,90	

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas, dapat dilihat bahwa kuat tekan beton rata-rata (MPa) untuk setiap variasi perawatan adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rata-rata metode perendaman = 30,59
2. Kuat tekan rata-rata metode penyiraman = 23,36
3. Kuat tekan rata-rata metode penyemprotan *curing* = 21,94
4. Kuat tekan rata-rata metode tanpa perawatan = 19,95

Berdasarkan nilai rata-rata kuat tekan beton tiap metode perawatan dapat di plot menjadi grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan metode perawatan. Berikut dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Grafik nilai kuat tekan beton pada tiap metode perawatan

Berdasarkan Gambar 5.9 di atas, terlihat adanya perbedaan kuat tekan beton antara perawatan menggunakan penyiraman, *curing compound* dan tanpa perawatan dibandingkan dengan kuat tekan beton kontrol (beton yang dirawat dengan perendaman). Adapun contoh perhitungan persentase selisih antara kuat tekan tiap variasi perawatan dengan metode perendaman dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Penyiraman} &= \frac{f'c \text{ perendaman} - f'c \text{ penyiraman}}{f'c \text{ perendaman}} \times 100 \\
 &= \frac{30,59 - 23,36}{30,59} \times 100 \\
 &= 23,645\%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagaimana yang diatas untuk variasi perawatan lainnya, adapun hasil dari perhitungan persentase selisih kuat tekan untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman ditunjukkan pada Tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.21 Persentase selisih kuat tekan untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman

No.	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Kuat Tekan (%)
1	Perendaman	0
2	Penyiraman	23,645
3	Penyemprotan <i>curing compound</i>	28,286
4	Tanpa perawatan	34,787

Metode perendaman digunakan sebagai metode acuan dengan persentase selisih kuat tekan 0%, yang menunjukkan bahwa metode ini dianggap sebagai standar dalam menjaga kekuatan beton. Metode ini sering digunakan dalam pengujian laboratorium karena mampu mempertahankan kelembapan beton dengan baik. Sementara itu, metode penyiraman mengalami penurunan kuat tekan sebesar 23,645% dibandingkan metode perendaman. Hasil ini menunjukkan bahwa penyiraman secara berkala mampu menjaga kelembapan permukaan beton, walau tidak optimal. Hal ini sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Evert dan Kushartomo (2024) dimana metode perawatan dengan penyiraman mengalami penurunan dibawah mutu rencana, dengan hasil kuat tekan sebesar 11,44 MPa, atau penurunan sebesar 42,8% dari mutu rencana 20 MPa.

Selain itu, metode penyemprotan *curing compound* mengalami penurunan kuat tekan sebesar 28,286%. *Curing compound* bekerja dengan membentuk lapisan

pelindung di permukaan beton, yang mencegah penguapan air sehingga mendukung proses hidrasi berjalan optimal. Di sisi lain, kondisi tanpa perawatan mengalami penurunan kuat tekan beton sebesar 34,787%, menunjukkan bahwa tanpa adanya perawatan, beton akan kehilangan kelembapannya dengan cepat, yang berakibat pada penurunan kualitas dan kekuatannya. Selisih perlakuan tanpa perawatan cukup signifikan, 30% lebih kecil dari mutu rencana atau 33,5% dari mutu rencana yang sebesar 30 MPa. Beton yang mengalami penurunan kuat tekan signifikan tidak akan berperan dengan baik sebagai elemen struktural, karena daya dukungnya berkurang dan tidak mampu menahan beban sesuai perencanaan. Selain itu beton yang lebih leman juga rentan retak, sehingga mempercepat kerusakan bangunan. Oleh karena itu, perawatan yang tepat sangat diperlukan untuk menjaga kinerja dan kekuatan beton selama masa pengerasan. Melihat nilai kuat tekan berdasarkan hasil penelitian, dapat dilihat bahwa selisih antara metode perendaman dengan penyiraman cukup jauh, dengan kekuatan tekan rata-rata 23,36 MPa, dimana ini sangat jauh dari mutu rencana yang sebesar 30 MPa. Hal ini dapat disebabkan karena perletakan sampel uji di ruang terbuka yang hanya memiliki atap saja, sehingga suhu ruangan tidak jauh berbeda dengan suhu diluar ruangan, yang menyebabkan penguapan air lebih cepat, disisi lain volume air yang disiramkan untuk 5 sampel silinder dan 3 balok hanya sebanyak 1,5-3 liter. Begitu pula untuk metode penyemprotan *curing compound*. Sesuai dengan penelitian oleh Fernando dkk (2023) dimana perawatan beton dengan penyiraman air secara berkala pada suhu luar ruangan menghasilkan nilai kuat tekan beton paling rendah, yaitu sebesar 18,68 MPa, lebih rendah 26,14% dibandingkan metode perendaman dengan nilai sebesar 25,29 MPa. Hal ini disebabkan penguapan air yang lebih cepat pada suhu tinggi, sehingga metode penyiraman kurang efektif dalam menjaga kelembapan beton. Metode penyiraman cocok diterapkan pada proyek konstruksi gedung, terutama untuk pelat lantai, karena tersedia sumber air yang dapat digunakan secara berulang. Selain itu, penyiraman yang dilakukan secara berkala memungkinkan terbentuknya genangan air di permukaan beton, sehingga proses hidrasi berlangsung optimal. Sementara itu, metode penyemprotan *curing compound*

lebih efektif untuk proyek dengan keterbatasan sumber air, seperti di daerah kering atau konstruksi yang bersifat *mobile*, seperti proyek perkerasan jalan. Penggunaan *curing compound* lebih efisien karena membentuk lapisan tipis yang menghambat penguapan air tanpa memerlukan penyemprotan berulang.

5.8 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan setelah benda uji berbentuk silinder berusia 28 hari, sama seperti pengujian kuat tekan. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana beton dapat kembali ke bentuk semula setelah diberi beban dan dilepaskan, yang menjadi indikator dari sifat elastisitasnya. Sebelum pengujian dimulai, benda uji diberi beban awal (*pre-load*) yang tidak menyebabkan kerusakan, untuk memastikan bahwa peralatan dan benda uji berada dalam kondisi stabil dan sesuai dengan standar yang digunakan. Setelah itu, beban diberikan secara bertahap dengan kecepatan tertentu hingga mencapai nilai beban tertentu atau hingga beton menunjukkan gejala deformasi permanen. Dokumentasi pemasangan alat uji deformasi modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Pemasangan alat uji deformasi modulus elastisitas pada sampel

Untuk setiap variasi perawatan, pengujian dilakukan pada lima sampel silinder, sehingga total sampel pengujian modulus elastisitas berjumlah 20. Modulus elastisitas dihitung berdasarkan hubungan antara tegangan dan regangan yang dihasilkan dari pengujian. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh menggambarkan tingkat kekakuan

beton, semakin tinggi nilainya, semakin kaku beton tersebut dan semakin kecil deformasi yang terjadi ketika diberi beban. Hasil pengujian ini memberikan gambaran penting mengenai kinerja struktural beton, terutama dalam aplikasinya pada elemen struktural yang akan menahan beban jangka panjang. Beton dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi biasanya diinginkan untuk konstruksi yang membutuhkan kekakuan tinggi dan minimalisasi deformasi. Pengujian Modulus Elastisitas dilakukan bersamaan dengan uji kuat tekan beton berdasarkan SNI 4169-1996. Berikut contoh perhitungan nilai tegangan dan regangan untuk setiap metode perawatan.

1. Perendaman

$$\begin{aligned} \text{a. } \Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{3}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,0015 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0015}{200} \\ &= 0,0000075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17600,844} \\ &= 0,57 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Penyiraman

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

$$\begin{aligned} \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,001}{200} \\ &= 0,000005 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{10000}{17813,113} \\
 &= 0,56 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

$$\begin{aligned}
 \text{a. } \Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\
 &= \frac{5}{2} \times 10^{-3} \\
 &= 0,0025 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L}{L_0} \\
 &= \frac{0,0025}{200} \\
 &= 0,0000125
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{10000}{17695,028} \\
 &= 0,57 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Tanpa perawatan

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

$$\begin{aligned}
 \text{b. Regangan} &= \frac{\Delta L}{L_0} \\
 &= \frac{0,002}{200} \\
 &= 0,00001
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Tegangan} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{10000}{17907,864} \\
 &= 0,56 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan selanjutnya dengan cara yang sama diatas, dan didapatkan nilai tegangan dan regangan untuk setiap penambahan beban 10 kN. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan tegangan dan regangan pada sampel 1 tiap varian.

Tabel 5.22 Tegangan regangan beton metode perendaman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	7	0,0035	0,0000175	1,14
30	30000	13	0,0065	0,0000325	1,70
40	40000	21	0,0105	0,0000525	2,27
50	50000	30	0,0150	0,0000750	2,84
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,41
70	70000	48	0,0240	0,0001200	3,98
80	80000	55	0,0275	0,0001375	4,55
90	90000	63	0,0315	0,0001575	5,11
100	100000	74	0,0370	0,0001850	5,68
110	110000	82	0,0410	0,0002050	6,25
120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,82
130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,39
140	140000	102	0,0510	0,0002550	7,95
150	150000	111	0,0555	0,0002775	8,52
160	160000	119	0,0595	0,0002975	9,09
170	170000	130	0,0650	0,0003250	9,66
180	180000	138	0,0690	0,0003450	10,23
190	190000	144	0,0720	0,0003600	10,79

Lanjutan Tabel 5.22 Tegangan regangan beton metode perendaman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
200	200000	154	0,0770	0,0003850	11,36
210	210000	166	0,0830	0,0004150	11,93
217	217000	181,4	0,0907	0,0004535	12,33
220	220000	188	0,0940	0,0004700	12,50
230	230000	201	0,1005	0,0005025	13,07
240	240000	217	0,1085	0,0005425	13,64
250	250000	232	0,1160	0,0005800	14,20
260	260000	241	0,1205	0,0006025	14,77
270	270000	254	0,1270	0,0006350	15,34
280	280000	268	0,1340	0,0006700	15,91
290	290000	282	0,1410	0,0007050	16,48
300	300000	292	0,1460	0,0007300	17,04
310	310000	308	0,1540	0,0007700	17,61
320	320000	321	0,1605	0,0008025	18,18
330	330000	333	0,1665	0,0008325	18,75
340	340000	344	0,1720	0,0008600	19,32
350	350000	355	0,1775	0,0008875	19,89
360	360000	371	0,1855	0,0009275	20,45
370	370000	383	0,1915	0,0009575	21,02
380	380000	395	0,1975	0,0009875	21,59
390	390000	411	0,2055	0,0010275	22,16
400	400000	423	0,2115	0,0010575	22,73
410	410000	434	0,2170	0,0010850	23,29

Lanjutan Tabel 5.22 Tegangan regangan beton metode perendaman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
420	420000	451	0,2255	0,0011275	23,86
430	430000	465	0,2325	0,0011625	24,43
440	440000	481	0,2405	0,0012025	25,00
450	450000	498	0,2490	0,0012450	25,57
460	460000	514	0,2570	0,0012850	26,14
470	470000	533	0,2665	0,0013325	26,70
480	480000	564	0,2820	0,0014100	27,27
490	490000	586	0,2930	0,0014650	27,84
500	500000	611	0,3055	0,0015275	28,41
510	510000	645	0,3225	0,0016125	28,98
520	520000	667	0,3335	0,0016675	29,54
530	530000	703	0,3515	0,0017575	30,11
540	540000	747	0,3735	0,0018675	30,68
542	542000	801	0,4005	0,0020025	30,79
540	540000	837	0,4185	0,0020925	30,68
530	530000	877	0,4385	0,0021925	30,11
520	520000	921	0,4605	0,0023025	29,54
510	510000	983	0,4915	0,0024575	28,98
500	500000	1031	0,5155	0,0025775	28,41
490	490000	1072	0,5360	0,0026800	27,84
480	480000	1120	0,5600	0,0028000	27,27

Tabel 5.23 Tegangan regangan beton metode penyiraman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,0010	0,0000050	0,56
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,12
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,68
40	40000	26	0,0130	0,0000650	2,25
50	50000	34	0,0170	0,0000850	2,81
60	60000	44	0,0220	0,0001100	3,37
70	70000	52	0,0260	0,0001300	3,93
80	80000	59	0,0295	0,0001475	4,49
90	90000	69	0,0345	0,0001725	5,05
100	100000	77	0,0385	0,0001925	5,61
110	110000	85	0,0425	0,0002125	6,18
120	120000	95	0,0475	0,0002375	6,74
130	130000	104	0,0520	0,0002600	7,30
140	140000	115	0,0575	0,0002875	7,86
150	150000	125	0,0625	0,0003125	8,42
160	160000	135	0,0675	0,0003375	8,98
170	170000	144	0,0720	0,0003600	9,54
180	180000	154	0,0770	0,0003850	10,10
190	190000	164	0,0820	0,0004100	10,67
200	200000	175	0,0875	0,0004375	11,23
210	210000	185	0,0925	0,0004625	11,79
220	220000	196	0,0980	0,0004900	12,35
230	230000	208	0,1040	0,0005200	12,91

Lanjutan Tabel 5.23 Tegangan regangan beton metode penyiraman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
240	240000	220	0,1100	0,0005500	13,47
250	250000	232	0,1160	0,0005800	14,03
260	260000	248	0,1240	0,0006200	14,60
270	270000	263	0,1315	0,0006575	15,16
280	280000	280	0,1400	0,0007000	15,72
290	290000	297	0,1485	0,0007425	16,28
300	300000	330	0,1650	0,0008250	16,84
310	310000	365	0,1825	0,0009125	17,40
320	320000	395	0,1975	0,0009875	17,96
330	330000	425	0,2125	0,0010625	18,53
340	340000	452	0,2260	0,0011300	19,09
350	350000	476	0,2380	0,0011900	19,65
360	360000	498	0,2490	0,0012450	20,21
370	370000	534	0,2670	0,0013350	20,77
380	380000	565	0,2825	0,0014125	21,33
390	390000	595	0,2975	0,0014875	21,89
400	400000	628	0,3140	0,0015700	22,46
410	410000	662	0,3310	0,0016550	23,02
420	420000	698	0,3490	0,0017450	23,58
424	424000	750	0,3750	0,0018750	23,80
420	420000	772	0,3860	0,0019300	23,58
410	410000	795	0,3975	0,0019875	23,02
400	400000	828	0,4140	0,0020700	22,46

Lanjutan Tabel 5.23 Tegangan regangan beton metode penyiraman sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
390	390000	951	0,4755	0,0023775	21,89
380	380000	987	0,4935	0,0024675	21,33
370	370000	1025	0,5125	0,0025625	20,77

Tabel 5.24 Tegangan regangan beton metode penyemprotan *curing compound* sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	30	0,0150	0,0000750	2,26
50	50000	40	0,0200	0,0001000	2,83
60	60000	48	0,0240	0,0001200	3,39
70	70000	56	0,0280	0,0001400	3,96
80	80000	63	0,0315	0,0001575	4,52
90	90000	72	0,0360	0,0001800	5,09
100	100000	81	0,0405	0,0002025	5,65
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,22
120	120000	98	0,0490	0,0002450	6,78
130	130000	108	0,0540	0,0002700	7,35
140	140000	118	0,0590	0,0002950	7,91

Lanjutan Tabel 5.24 Tegangan regangan beton metode penyemprotan *curing compound* sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
150	150000	127	0,0635	0,0003175	8,48
151	151000	128,1	0,0641	0,0003203	8,53
160	160000	138	0,0690	0,0003450	9,04
170	170000	148	0,0740	0,0003700	9,61
180	180000	158	0,0790	0,0003950	10,17
190	190000	169	0,0845	0,0004225	10,74
200	200000	180	0,0900	0,0004500	11,30
210	210000	191	0,0955	0,0004775	11,87
220	220000	203	0,1015	0,0005075	12,43
230	230000	215	0,1075	0,0005375	13,00
240	240000	227	0,1135	0,0005675	13,56
250	250000	239	0,1195	0,0005975	14,13
260	260000	253	0,1265	0,0006325	14,69
270	270000	267	0,1335	0,0006675	15,26
280	280000	282	0,1410	0,0007050	15,82
290	290000	298	0,1490	0,0007450	16,39
300	300000	312	0,1560	0,0007800	16,95
310	310000	328	0,1640	0,0008200	17,52
320	320000	349	0,1745	0,0008725	18,08
330	330000	368	0,1840	0,0009200	18,65
340	340000	390	0,1950	0,0009750	19,21
350	350000	416	0,2080	0,0010400	19,78
360	360000	444	0,2220	0,0011100	20,34

Lanjutan Tabel 5.24 Tegangan regangan beton metode penyemprotan *curing compound* sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
370	370000	483	0,2415	0,0012075	20,91
378	378000	540	0,2700	0,0013500	21,36
370	370000	638	0,3190	0,0015950	20,91
360	360000	735	0,3675	0,0018375	20,34
350	350000	828	0,4140	0,0020700	19,78
340	340000	913	0,4565	0,0022825	19,21
330	330000	995	0,4975	0,0024875	18,65

Tabel 5.25 Tegangan regangan beton tanpa perawatan sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0,0020	0,000010	0,56
20	20000	14	0,0070	0,000035	1,12
30	30000	21	0,0105	0,000053	1,68
40	40000	28	0,0140	0,000070	2,23
50	50000	39	0,0195	0,000098	2,79
60	60000	48	0,0240	0,000120	3,35
70	70000	57	0,0285	0,000143	3,91
80	80000	64	0,0320	0,000160	4,47
90	90000	73	0,0365	0,000183	5,03
100	100000	82	0,0410	0,000205	5,58

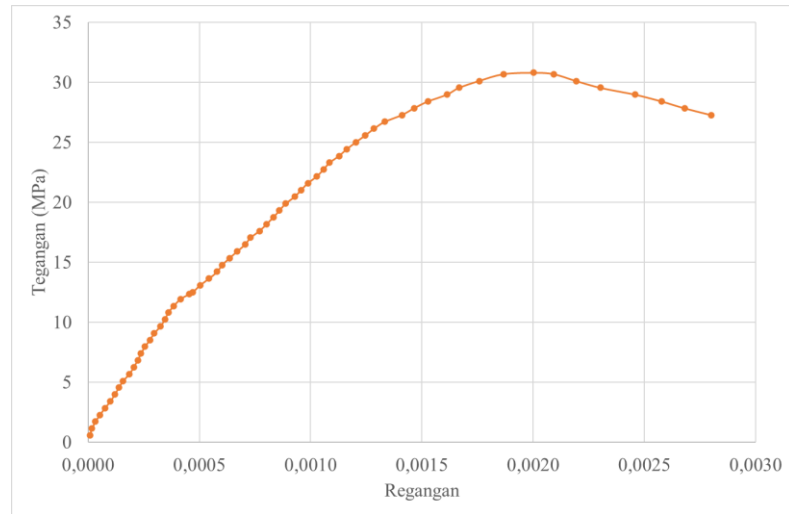
Lanjutan Tabel 5.25 Tegangan regangan beton tanpa perawatan sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
110	110000	92	0,0460	0,000230	6,14
120	120000	101	0,0505	0,000253	6,70
130	130000	112	0,0560	0,000280	7,26
132	132000	113,8	0,0569	0,000285	7,37
140	140000	121	0,0605	0,000303	7,82
150	150000	132	0,0660	0,000330	8,38
160	160000	142	0,0710	0,000355	8,93
170	170000	154	0,0770	0,000385	9,49
180	180000	165	0,0825	0,000413	10,05
190	190000	175	0,0875	0,000438	10,61
200	200000	186	0,0930	0,000465	11,17
210	210000	198	0,0990	0,000495	11,73
220	220000	208	0,1040	0,000520	12,29
230	230000	218	0,1090	0,000545	12,84
240	240000	229	0,1145	0,000573	13,40
250	250000	240	0,1200	0,000600	13,96
260	260000	253	0,1265	0,000633	14,52
270	270000	263	0,1315	0,000658	15,08
280	280000	278	0,1390	0,000695	15,64
290	290000	296	0,1480	0,000740	16,19
300	300000	311	0,1555	0,000778	16,75
310	310000	346	0,1730	0,000865	17,31
320	320000	403	0,2015	0,001008	17,87

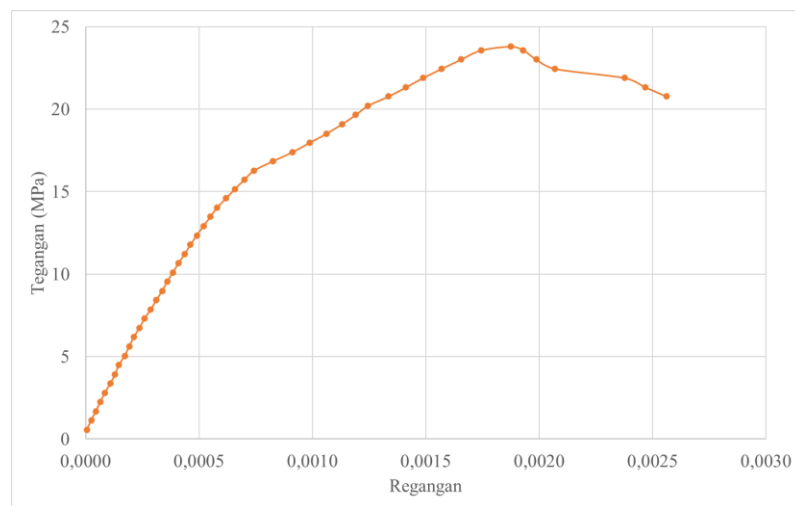
Lanjutan Tabel 5.25 Tegangan regangan beton tanpa perawatan sampel 1

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
329	329000	596	0,2980	0,001490	18,37
320	320000	680	0,3400	0,001700	17,87
310	310000	745	0,3725	0,001863	17,31
300	300000	799	0,3995	0,001998	16,75
290	290000	846	0,4230	0,002115	16,19

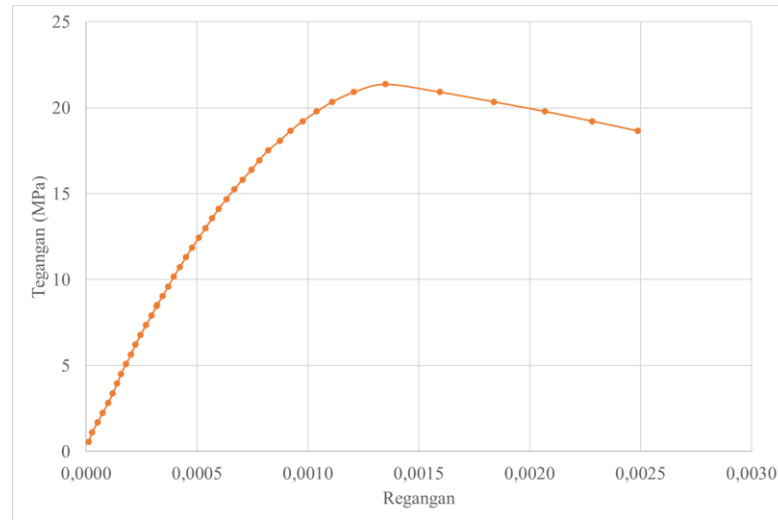
Berdasarkan nilai tegangan dan regangan pada tabel-tabel diatas, kemudian dibuat suatu grafik hubungan antara regangan dan tegangan beton untuk setiap variasi metode perawatan. Adapun grafik hubungan tegangan dan regangan beton metode perawatan berupa perendaman sampel 1, metode perawatan berupa penyiraman sampel 1, metode perawatan berupa penyemprotan *curing compound* sampel 1, dan perlakuan tanpa perawatan diruang terbuka sampel 1, dapat dilihat secara berturut-turut pada gambar grafik berikut.



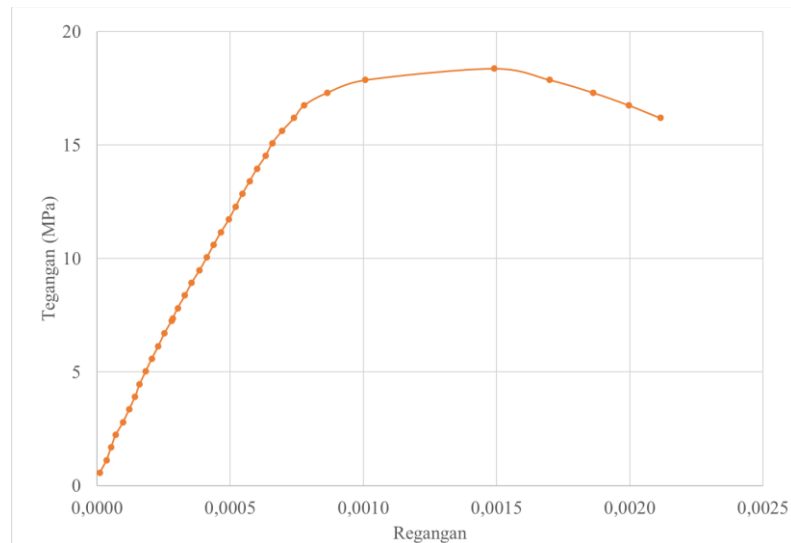
Gambar 5.11 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan perendaman sampel 1



Gambar 5.12 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan penyiraman sampel 1



Gambar 5.13 Grafik tegangan regangan beton metode perawatan penyemprotan *curing compound* sampel 1



Gambar 5.14 Grafik tegangan regangan beton perlakuan tanpa perawatan sampel 1

Nilai modulus elastisitas beton diperoleh dari kemiringan kurva linier pada daerah elastis, daerah elastis apabila mengacu pada ASTM C-469 (1994) yaitu 40% dari beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji. Dalam menghitung nilai modulus elastisitas berdasarkan ASTM C-469 (1994), mensyaratkan bahwa nilai

regangan 1 sebesar 0,00005. Untuk mencari nilai tegangan 1 dapat menggunakan bantuan software AutoCad maupun Excel. Apabila menggunakan AutoCad dapat dengan cara mengolah data nilai tegangan dan regangan, kemudian dikonversi menjadi *polyline* kemudian diambil nilai regangan 0,00005. Adapun menggunakan Excel dapat dengan pendekatan interpolasi, berikut contoh perhitungan interpolasi untuk mencari nilai tegangan 1 pada setiap variasi 1 sampel.

1. Perendaman

$$\begin{aligned} S_1 &= y_1 + \frac{(x-x_1) \times (y_2-y_1)}{x_2-x_1} \\ &= 1,70 + \frac{(0,00005-0,0000325) \times (2,27-1,70)}{0,0000525-0,0000325} \\ &= 2,2016 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Penyiraman

$$\begin{aligned} S_1 &= y_1 + \frac{(x-x_1) \times (y_2-y_1)}{x_2-x_1} \\ &= 1,68 + \frac{(0,00005-0,000045) \times (2,25-1,68)}{0,000065-0,000045} \\ &= 1,824 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

$$\begin{aligned} S_1 &= y_1 + \frac{(x-x_1) \times (y_2-y_1)}{x_2-x_1} \\ &= 1,13 + \frac{(0,00005-0,0000275) \times (1,70-1,13)}{0,0000525-0,0000275} \\ &= 1,639 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Tanpa perawatan

$$S_1 = 1,68 \text{ (pada variasi ini sudah terdapat nilai tegangan 1, sehingga tidak perlu interpolasi)}$$

Nilai modulus elastisitas beton dapat ditung setelah didapatkan nilai tegangan regangan 1 dan 2. Berikut contoh perhitungan modulus elastisitas beton untuk setiap varian 1 sampel.

1. Perendaman

$$a. S_1 = 2,2016$$

$$S_2 = 12,33$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$\varepsilon_2 = 0,0004535$$

$$\begin{aligned} \text{b. } E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{12,33 - 2,2016}{0,0004535 - 0,00005} \\ &= 25098,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Penyiraman

$$\text{a. } S_1 = 1,824$$

$$S_2 = 9,54$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$\varepsilon_2 = 0,000360$$

$$\begin{aligned} \text{b. } E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{9,54 - 1,824}{0,000360 - 0,00005} \\ &= 24900,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

$$\text{a. } S_1 = 1,639$$

$$S_2 = 8,53$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$\varepsilon_2 = 0,000320$$

$$\begin{aligned} \text{b. } E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{8,53 - 1,639}{0,000320 - 0,00005} \\ &= 25511,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Tanpa perawatan

$$\text{a. } S_1 = 1,68$$

$$S_2 = 7,37$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_2 &= 0,000280 \\
 \text{b. } E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \\
 &= \frac{7,37 - 1,68}{0,000280 - 0,00005} \\
 &= 24289,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Sebagaimana yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa perhitungan diatas adalah perhitungan untuk mencari nilai modulus elastisitas beton berdasarkan ASTM C-469-1994. Terdapat pendekatan empiris yang digunakan dalam SNI 2847-2019, berikut perhitungan untuk mencari nilai modulus elastisitas beton berdasarkan SNI 2847-2019.

1. Perendaman

$$\begin{aligned}
 \text{a. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30,8} \\
 &= 26083,80 \text{ MPa} \\
 \text{b. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2355,1257^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{30,8} \\
 &= 27274,86247 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Penyiraman

$$\begin{aligned}
 \text{a. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{24} \\
 &= 23025,20 \text{ MPa} \\
 \text{b. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2326,4587^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{24} \\
 &= 23638,35 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

$$\begin{aligned}
 \text{a. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{21,3} \\
 &= 21691,40 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2311,0301^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{21,3} \\
 &= 22047,87 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

4. Tanpa perawatan

$$\begin{aligned}
 \text{a. } E_c &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{18,6} \\
 &= 20270,03 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

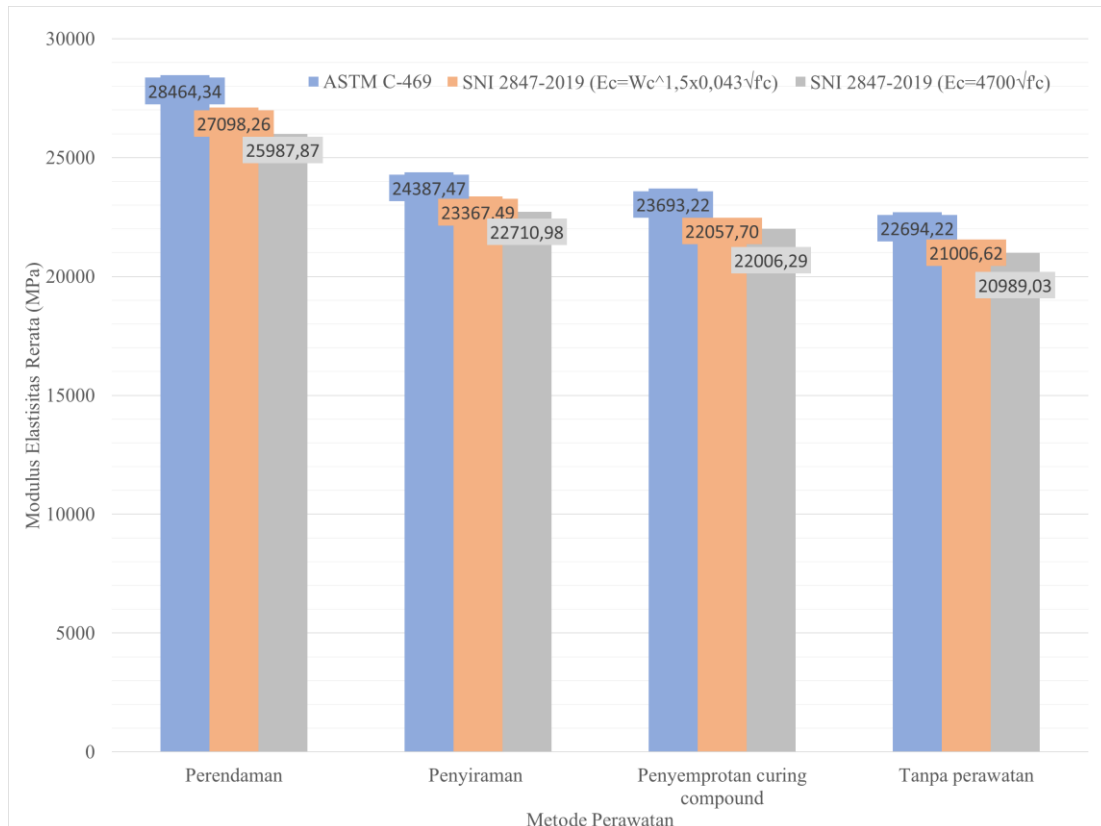
$$\begin{aligned}
 \text{b. } E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\
 &= 2289,4041^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{18,6} \\
 &= 20314,62 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Adapun rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk setiap sampel metode perawatan dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5.26 Rekapitulasi hasil pengujian modulus elastisitas beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Wc (Kg/m³)	Kuat Tekan (MPa)	ASTM C-469 ($E_c \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$) (MPa)	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 (4700 x $\sqrt{f'c}$) (MPa)	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 ($W_c^{1,5}$ x 0,043 x $\sqrt{f'c}$) (MPa)	Rerata (MPa)
Perendaman	28 Hari	S1-R	2355,1257	30,800	25099	28464,34	26083,80	25987,87	27274,86	27098,26
		S2-R	2348,4326	29,613	27358		25576,34		26630,30	
		S3-R	2348,5207	32,597	26577		26834,04		27941,41	
		S4-R	2380,0556	28,161	35433		24941,38		26495,47	
		S5-R	2323,0189	31,799	27855		26503,78		27149,23	
Penyiraman		S1-P	2326,4587	24,000	24900	24387,47	23025,20	22710,98	23638,35	23367,49
		S2-P	2323,0011	24,900	24123		23452,95		24023,83	
		S3-P	2350,1320	22,600	23729		22343,54		23289,55	
		S4-P	2310,3810	22,100	25435		22095,00		22448,64	
		S5-P	2339,5222	23,200	23750		22638,20		23437,06	
Penyemprotan <i>curing</i>		S1-C	2311,0301	21,300	25512	23693,22	21691,40	22006,29	22047,87	22057,70
		S2-C	2303,8801	23,000	20318		22540,41		22804,59	
		S3-C	2278,1619	23,800	22368		22929,06		22810,45	
		S4-C	2290,0481	20,800	23938		21435,30		21491,51	
		S5-C	2264,5875	20,800	26331		21435,30		21134,10	
Tanpa Perawatan		S1-T	2289,4041	18,600	24629,40	22694,22	20270,03	20989,03	20314,62	21006,62
		S2-T	2278,0585	20,100	22654		21071,52		20961,09	
		S3-T	2282,4333	21,156	19101		21618,14		21566,82	
		S4-T	2278,2548	20,000	23209		21019,04		20911,58	
		S5-T	2308,7187	19,900	23878		20966,43		21279,01	

Nilai modulus elastisitas beton yang telah didapatkan dalam perhitungan sebelumnya, baik yang dihitung menggunakan persamaan ASTM C-469 (1994) maupun SNI 2847-2019, dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar grafik berikut.



Gambar 5.15 Nilai modulus elastisitas pada tiap metode perawatan berdasarkan ASTM C-469 dan SNI 2847-2019

Berdasarkan gambar grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai modulus elastisitas terbesar adalah variasi beton yang dilakukan perawatan menggunakan metode perendaman, kemudian penyiraman, kemudian penyemprotan *curing compound*, dan yang terakhir adalah perlakuan tanpa perawatan. Hal ini berlaku untuk setiap perhitungan menggunakan persamaan ASTM C-469 (1994) dan SNI 2847-2019. Adapun contoh perhitungan persentase selisih antara modulus elastisitas tiap variasi perawatan dengan metode perendaman dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Penyiraman} &= \frac{E_c \text{ perendaman} - E_c \text{ penyiraman}}{E_c \text{ perendaman}} \times 100 \\
 &= \frac{28464,34 - 24387,47}{28464,34} \times 100 \\
 &= 14,323\%
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagaimana yang diatas untuk variasi perawatan lainnya, adapun hasil dari perhitungan persentase selisih modulus elastisitas untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman ditunjukkan pada Tabel 2.27 berikut.

Tabel 5.27 Persentase selisih modulus elastisitas untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman

No.	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Modulus Elastisitas (%)		
		ASTM C-469 ($E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$)	SNI 2847-2019 ($4700 \times \sqrt{f'c}$)	SNI 2847-2019 ($W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$)
1	Perendaman	0	0	0
2	Penyiraman	14,323	12,609	13,768
3	Penyemprotan <i>curing compound</i>	16,762	15,321	18,601
4	Tanpa perawatan	20,271	19,235	22,480

Nilai modulus elastisitas beton untuk metode perawatan perendaman menghasilkan nilai tertinggi dibandingkan perawatan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa metode perawatan perendaman memberikan kondisi optimal untuk proses hidrasi semen, sehingga beton memiliki daya tahan yang baik. Sebaliknya metode tanpa perawatan menghasilkan nilai modulus elastisitas paling rendah, hal ini menunjukkan bahwa beton mengalami penguapan air yang cepat, sehingga proses hidrasi tidak berjalan sempurna.

Metode penyiraman air dan penyemprotan *curing compound* menghasilkan nilai modulus elastisitas yang berada diantara perendaman dan tanpa perawatan. Metode penyiraman cenderung lebih efektif dibandingkan penyemprotan *curing*

compound karena proses penyiraman memberikan suplai air secara kontinu untuk mendukung proses hidrasi semen.

Nilai modulus elastisitas menggunakan persamaan ASTM C-469 umumnya lebih tinggi dibandingkan rumus SNI 2847-2019, hal ini dikarenakan metode ASTM C-469 merupakan pengukuran langsung modulus elastisitas berdasarkan uji tekan dengan pendekatan eksperimental. Rumus SNI 2847-2019 merupakan pendekatan empiris yang bersifat generalisasi berdasarkan karakteristik beton normal, oleh karena itu perhitungan ini memberikan estimasi yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan pengukuran langsung.

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustina (2023), dimana pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa metode perawatan beton berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton, semakin beton dirawat dengan baik dan benar, semakin besar juga nilai modulus elastisitasnya. Berikut dokumentasi sampel setelah dilakukan pengujian.



Gambar 5.16 Kerusakan benda uji silinder setelah pengujian

5.9 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur beton bertujuan untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan beban sebelum mengalami keruntuhan. Pengujian dilakukan ketika benda uji berumur 28 hari berdasarkan SNI 4154-2014. Pengujian dilakukan dengan

sistem pembebanan 1 titik pada benda uji dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 40 cm. Sistem pembebanan 1 titik terletak pada tengah bentang benda uji, kemudian akan memberikan beban secara tegak lurus sumbu benda uji hingga diperoleh beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji. Berikut dokumentasi benda uji ketika dipasang pada alat uji kuat lentur.



Gambar 5.17 Pengujian kuat lentur

Adapun contoh perhitungan kuat lentur beton dapat dilihat pada perhitungan berikut.

1. Perendaman

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{3PL}{2bd^2} \\
 &= \frac{3 \times (1010 \times 9,81) \times 300}{2 \times 100 \times 100^2} \\
 &= 4,4586 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Penyiraman

$$\begin{aligned}
 R_1 &= \frac{3PL}{2bd^2} \\
 &= \frac{3 \times (910 \times 9,81) \times 300}{2 \times 100 \times 100^2} \\
 &= 4,0172 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Penyemprotan *curing compound*

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

$$= \frac{3 \times (780 \times 9,81) \times 300}{2 \times 100 \times 100^2}$$

$$= 3,4433 \text{ MPa}$$

4. Tanpa Perawatan

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

$$= \frac{3 \times (785 \times 9,81) \times 300}{2 \times 103,1 \times 99,7^2}$$

$$= 3,2124 \text{ MPa}$$

Dalam menggunakan cara perhitungan diatas, dihitung pula kuat lentur beton untuk setiap sampel yang ada, sehingga didapatkan nilai kuat lentur yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 rekapitulasi berikut.

Tabel 5.28 Rekapitulasi hasil pengujian kuat lentur beton

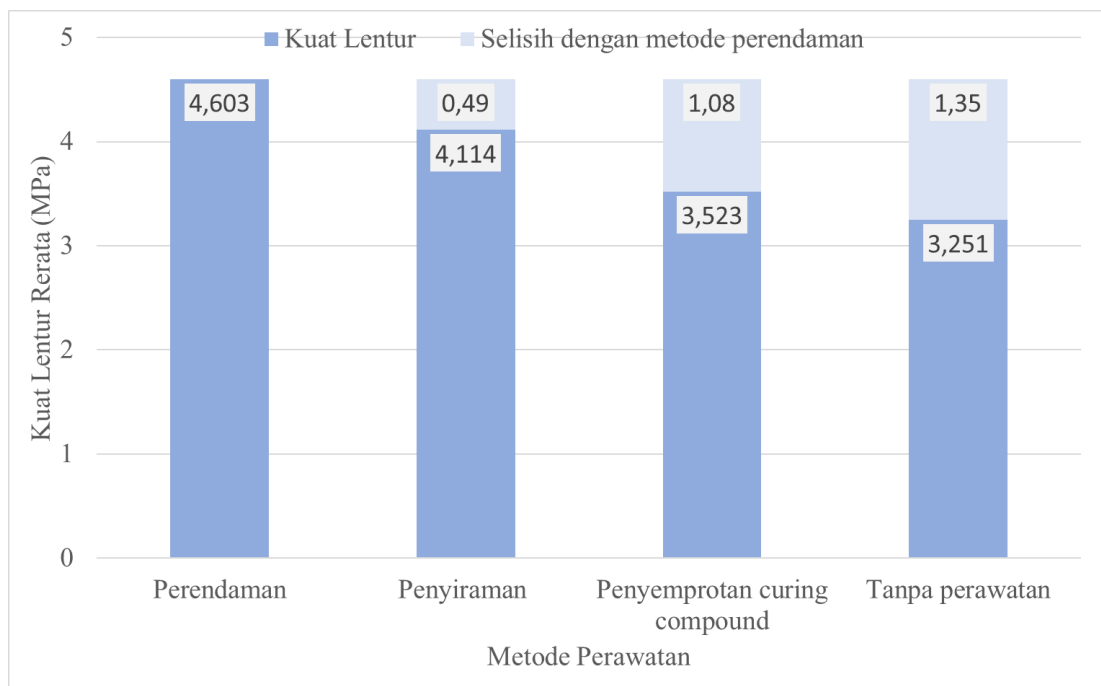
Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	No. Sampel	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Lentur Rerata (MPa)
Perendaman	28 Hari	B1-R	1	4,4586	4,6029
		B2-R	2	4,5690	
		B3-R	3	4,7809	
Penyiraman		B1-P	1	4,0172	4,1136
		B2-P	2	3,7325	
		B3-P	3	4,5911	
Penyemprotan <i>curing compound</i>		B1-C	1	3,4433	3,5228
		B2-C	2	3,0195	
		B3-C	3	4,1055	
Tanpa perawatan		B1-T	1	3,2124	3,2509
		B2-T	2	3,3557	
		B3-T	3	3,1846	

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas, dapat dilihat bahwa kuat lentur beton rata-rata (MPa) untuk setiap variasi perawatan adalah sebagai berikut.

1. Kuat lentur rata-rata metode perendaman = 4,6029

2. Kuat lentur rata-rata metode penyiraman = 4,1136
3. Kuat lentur rata-rata metode penyemprotan *curing* = 3,5228
4. Kuat lentur rata-rata metode tanpa perawatan = 3,2509

Berdasarkan nilai rata-rata kuat lentur beton tiap metode perawatan dapat di plot menjadi grafik hubungan antara kuat lentur beton dengan metode perendaman. Berikut dapat dilihat pada gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik nilai kuat lentur beton pada tiap metode perawatan

Berdasarkan Gambar 5.18 di atas, terlihat adanya perbedaan kuat lentur beton antara perawatan menggunakan penyiraman, *curing compound* dan tanpa perawatan dibandingkan dengan kuat lentur beton kontrol (beton yang dirawat dengan perendaman). Adapun contoh perhitungan persentase selisih antara kuat lentur tiap variasi perawatan dengan metode perendaman dapat dilihat pada perhitungan berikut.

1. Penyiraman
$$= \frac{R_{\text{perendaman}} - R_{\text{penyiraman}}}{R_{\text{perendaman}}} \times 100$$

$$= \frac{4,6029-4,1136}{4,6029} \times 100$$

$$= 10,630\%$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagaimana yang diatas untuk variasi perawatan lainnya, adapun hasil dari perhitungan persentase selisih kuat lentur untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman ditunjukkan pada Tabel 5.29 berikut.

Tabel 5.29 Persentase selisih kuat lentur untuk tiap variasi perawatan dengan perendaman

No.	Metode Perawatan	Persentase Selisih Nilai Kuat Lentur (%)
1	Perendaman	0
2	Penyiraman	10,630
3	Penyemprotan <i>curing compound</i>	23,465
4	Tanpa perawatan	29,373

Dilihat dari tabel persentase selisih nilai lentur dapat diketahui bahwa perawatan dengan menggunakan metode perawatan berupa penyiraman memiliki selisih kuat lentur sebesar 10,630% dari metode perendaman, metode perawatan dengan penyemprotan *curing compound* memiliki selisih kuat lentur sebesar 23,465% dari metode perendaman, dan perlakuan tanpa perawatan memiliki selisih sebesar 29,373% dari metode perendaman.

Hasil ini menunjukkan bahwa metode perendaman merupakan metode paling efektif dalam menjaga nilai kuat lentur beton. Efektivitas ini dapat disebabkan oleh suplai air yang merata dan berkelanjutan, sehingga proses hidrasi semen dapat berlangsung secara optimal. Metode perendaman tidak bisa diaplikasikan pada proyek lapangan, sehingga metode penyiraman dapat menjadi alternatif perawatan, walaupun nilai kuat lentur yang didapatkan tidak sebesar perendaman, namun memberikan hasil yang cukup baik. Hal ini karena penyiraman cenderung terbatas pada interval waktu tertentu. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Akmal dan Walujodjati (2022) bahwa

kuat lentur yang dihasilkan dari metode penyiraman lebih kecil dibandingkan dengan metode perendaman.

Metode penyemprotan *curing compound* memiliki efektivitas yang lebih rendah dibandingkan perendaman dan penyiraman, karena hanya membentuk lapisan tipis sebagai penghambat penguapan air. Namun *curing compound* tidak menambahkan suplai air, sehingga perkembangan kekuatan beton menjadi kurang maksimal. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Syahar (2015) bahwa perawatan menggunakan *curing compound* hanya memberikan selaput tipis pada permukaan beton yang terbuat dari bahan kimia. Hal ini mengakibatkan timbulnya retakan-retakan *micro* (sangat kecil) pada beton, sehingga mempengaruhi kuat lentur beton. Adapun perlakuan tanpa perawatan memberikan hasil terburuk, karena beton mengalami penguapan secara cepat, yang menyebabkan proses hidrasi semen tidak berjalan secara sempurna. Berikut dokumentasi benda uji setelah pengujian kuat lentur.



Gambar 5.19 Kerusakan benda uji balok setelah pengujian

5.10 Rangkuman Hasil Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode perendaman merupakan metode perawatan beton yang paling efektif dalam menjaga kualitas dan kekuatan beton. Perendaman dapat mempertahankan kelembapan beton secara optimal, yang mendukung proses hidrasi semen dan menghasilkan nilai terbaik pada semua parameter uji, termasuk kuat tekan, berat volume, modulus elastisitas, dan

kuat lentur. Sebaliknya, metode penyiraman dan penyemprotan *curing compound* menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah karena keterbatasan dalam menjaga kelembapan secara kontinu. Metode penyiraman menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dari perendaman, yaitu sebesar 23,36 MPa atau lebih rendah 23,645%. Meskipun lebih efektif dibandingkan penyemprotan *curing compound*, yang hanya membentuk lapisan pelindung tanpa menambah suplai air, yaitu sebesar 21,94 MPa. Beton yang tidak dirawat menghasilkan nilai kuat tekan paling rendah pada semua pengujian, akibat penguapan air yang cepat, yaitu sebesar 19,95 MPa.

Secara keseluruhan, meskipun perendaman memberikan hasil terbaik, metode penyiraman dapat menjadi alternatif yang cukup baik pada aplikasi di lapangan, meskipun hasilnya tidak seoptimal perendaman. Penyemprotan *curing compound*, meskipun dapat digunakan untuk mengurangi penguapan air, tidak memberikan hasil yang memadai dalam mempertahankan kekuatan beton, terutama pada kuat tekan dan kuat lentur. Oleh karena itu, pemilihan metode perawatan yang tepat sangat penting untuk memastikan kualitas dan kekuatan beton yang optimal, terutama pada proses perawatan beton di lingkungan lapangan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode perawatan dari empat metode perawatan beton, berupa perawatan dengan perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan terhadap kekuatan beton. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi metode perawatan yang paling efektif dalam mencapai kekuatan optimal berdasarkan uji kuat tekan, modulus elastisitas, dan uji lentur beton. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis dampak metode perawatan beton yang tidak dilakukan secara optimal terhadap kekuatan beton.

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

1. Metode perawatan sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton. Adapun nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton dengan perawatan berupa perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan adalah sebagai berikut.

- a. Kuat Tekan

Berdasarkan penelitian kali ini, didapatkan nilai kuat tekan rata-rata, dimulai dari metode perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan berturut-turut adalah sebesar 30,594 MPa, 23,360 MPa, 21,940 MPa, dan 19,951 MPa

- b. Modulus Elastisitas

Berdasarkan penelitian kali ini, didapatkan nilai modulus elastisitas rata-rata dengan menggunakan persamaan ASTM C-469 (1994), dimulai dari metode perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan berturut-turut adalah sebesar 28464,34 MPa, 24387,47 MPa,

23693,22 MPa, dan 22694,22 MPa. Adapun apabila menggunakan persamaan SNI 2847-2019 ($4700 \times \sqrt{f'c}$) adalah sebesar 25987,87 MPa, 22710,98 MPa, 22006,29 MPa, dan 20989,03 MPa. Apabila menggunakan persamaan SNI 2847-2019 ($W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$) adalah sebesar 27098,26 MPa, 23367,49 MPa, 22057,70 MPa, dan 21006,62 MPa.

c. Kuat Lentur

Berdasarkan penelitian kali ini, didapatkan nilai kuat lentur rata-rata, dimulai dari metode perendaman, penyiraman, penyemprotan *curing compound*, dan tanpa perawatan berturut-turut adalah sebesar 4,603 MPa, 4,114 MPa, 3,523 MPa, dan 3,251 MPa

2. Dari hasil penelitian ini, metode perawatan berupa perendaman merupakan metode perawatan beton yang terbaik dalam menjaga kekuatan beton agar tetap optimal dan sesuai dengan mutu beton rencana. Beton tanpa perawatan memiliki sifat mekanis paling rendah, menunjukkan bahwa pentingnya penerapan metode perawatan yang tepat untuk memastikan mutu beton tetap optimal. Namun metode perawatan berupa perendaman tidak bisa diterapkan dalam lapangan, sehingga metode yang disarankan adalah berupa penyiraman untuk konstruksi gedung. Adapun metode penyemprotan *curing compound* juga bisa diterapkan pada konstruksi perkerasan jalan.
3. Beton tanpa perawatan sangat tidak disarankan karena proses hidrasi semen tidak optimal, mengakibatkan kekuatan beton jauh di bawah mutu rencana. Dalam penelitian ini, beton tanpa perawatan mengalami penurunan kekuatan hingga 34% dari mutu rencana 30 MPa, yang tergolong signifikan. Penurunan ini dapat berdampak serius terhadap daya dukung dan durabilitas struktur, sehingga perawatan beton yang tepat sangat diperlukan untuk memastikan mutu yang sesuai dengan perencanaan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hal berikut ini dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dengan judul atau pembahasan serupa, yaitu pengaruh metode perawatan beton terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan metode perawatan yang bisa diterapkan pada proyek lapangan, seperti perawatan dengan cara *curing in formwork* dan yang lainnya.
2. Perlunya penggunaan jenis *curing compound* lain yang tersedia di pasaran, untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menjaga kekuatan beton.
3. Penelitian berikutnya dapat menggunakan variasi lain dalam tata cara penyiraman, seperti dengan menambahkan volume air yang disiram ke sampel, atau dapat dengan durasi waktu tertentu untuk penyiraman dengan alat bantu selang. Adapun untuk metode *curing compound* dapat mengkaji waktu optimal penyemprotan *curing compound* dengan melakukan variasi jadwal aplikasi, seperti pada hari ke 3, 7, 14, dan 21, atau pada hari ke 1, 2, 3, 7, 14, dan 21, untuk menentukan efesiensi dan efektivitas penyemprotan terhadap kekuatan beton.

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.

Akmal, D.F. dan Walujodjati, E. 2022. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton dengan Tulangan Baja Ringan. *Jurnal Konstruksi*. Garut

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

Fernando, V., Hunggurami, E. dan Sir, T.M.W. 2023. Pengaruh Perawatan Beton(Curing)Menggunakan Water Curing dan Membrane Curing Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Kupang

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

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Nuhir
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 : 402/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VIII/2024
Hal : Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium

Kepada Yth:
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

Sehubungan dengan Penelitian untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan bantuan bagi mahasiswa Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah:

Nama : Umar
NIM : 20511056
CP Mahasiswa : 0857 7675 8596
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Mutu Beton Ditinjau Dari Kuat Tekan, Modulus Elastisitas Dan Kuat Lentur

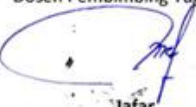
Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin peminjaman Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sek. Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,

Dina Anggraheni

Yogyakarta, 08 Agustus 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Jafar

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	479	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1166	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	852	gram
Berat jenis curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,58	
Berat jenis jenuh kering kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,69	
Berat jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,90	
Penyerapan air, $(500-Bk) / Bk \times 100\%$	4,38	%

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

**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 Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	3	0,15	0,15	99,85
2,4	102	5,10	5,25	94,75
1,2	284	14,2	19,45	80,55
0,6	646	32,30	51,75	48,25
0,3	591	29,55	81,3	18,7
0,15	315	15,75	97,05	2,95
Sisa	59	2,95	100	0
Jumlah	2000	100	354,95	645,05

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{354,85}{100} \\
 &= 3,55
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	91 - 100	92 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

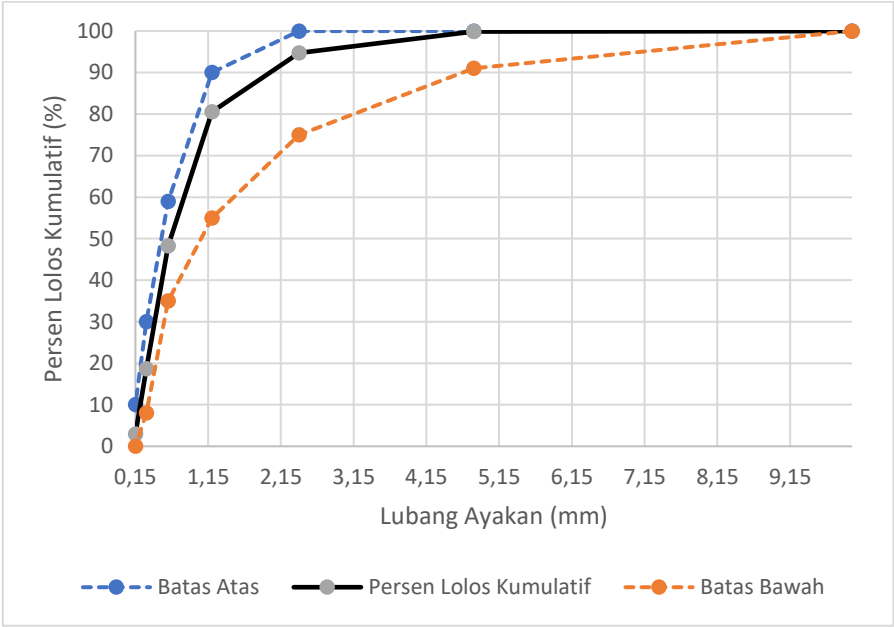
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan

Pasir Masuk Daerah : Daerah II

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	15 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat tabung (W1)	10595	gram
Berat tabung + Agregat kering tungku (W2)	18360	gram
Berat agregat (W3)	7765	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat volume gembur	1,46	gram/cm ³

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7765}{5301,44} \\
 &= 1,46 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	15 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat tabung (W1)	10959	gram
Berat tabung + Agregat kering tungku (W2)	19774	gram
Berat agregat (W3)	8815	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat volume gembur	1,66	gram/cm ³

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8815}{5301,44} \\
 &= 1,66 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

**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)	498	gram
Berat yang lolos Ayakan N0. 200	0,4	%

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat kerikil kering mutlak (Bk)	4920	gram
Berat kerikil jenuh kering muka (SSD), (Bj)	5000	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3003	gram
Berat jenis curah, $Bk / (Bj - Ba)$	2,46	
Berat jenis jenuh kering kering muda (SSD), $Bj / (Bj - Ba)$	2,50	
Berat jenis semu, $Bk / (Bk - Ba)$	2,57	
Penyerapan air $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	1,63	%

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

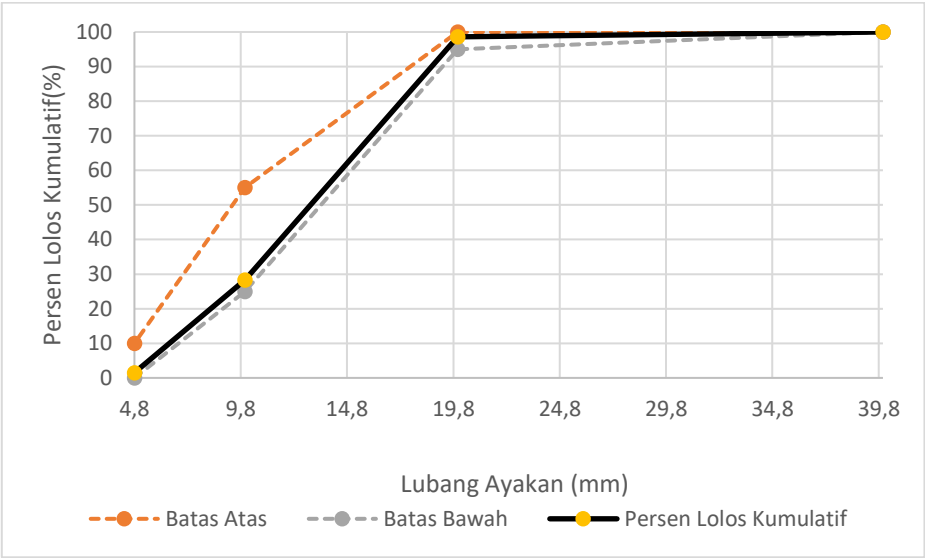
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100,00
20	68	1,36	1,36	98,64
10	3514	70,34	71,70	28,30
4,8	1339	26,80	98,50	1,50
2,4	4	0,08	98,58	1,42
1,2	2	0,04	98,62	1,38
0,6	0	0,00	98,62	1,38
0,3	0	0,00	98,62	1,38
0,15	0	0,00	98,62	1,38
Sisa	69	1,38	100,00	0,00
Jumlah	4996	100	764,61	-

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{764,61}{100} \\
 &= 7,65
 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

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

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	15 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat tabung (W1)	10959	gram
Berat tabung + Agregat kering tungku (W2)	18322	gram
Berat agregat (W3)	7363	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat volume gembur	1,39	gram/cm ³

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7363}{5301,44} \\
 &= 1,39 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan
Diameter Silinder	15 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat tabung (W1)	10595	gram
Berat tabung + Agregat kering tungku (W2)	19268	gram
Berat agregat (W3)	8673	gram
Diameter tabung (d)	15	cm
Tinggi tabung (t)	30	cm
Volume tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat volume gembur	1,64	gram/cm ³

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat Agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8673}{5301,44} \\
 &= 1,64 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa oleh :
Laboran

Yogyakarta, 16 Agustus 2024
Dikerjakan oleh :

(.....)

(Umar)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaraatkan	30	MPa
2	Standar Deviasi	7	
3	Nilai Tambah/ Margin	11.48	
4	Nilai Tambah/ Margin dibulatkan	12	MPa
5	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
6	Jenis Semen	Tipe 1	
7	Jenis Agregat Kasar (Kerikil)	Batu Pecah	
8	Jenis Agregat Halus (Pasir)	Alami	
9	Faktor air semen (FAS)	0,5	
10	Faktor air semen bebas	0,43	
11	Faktor air semen maksimum	0,6	
12	FAS digunakan	0,43	
13	Slump	60-180	mm
14	Ukuran agregat maksimum	20	mm
15	Kadar air bebas	205	kg/m ³
16	Kadar semen	476,74	kg/m ³
17	Kadar semen maksimum	-	
18	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
19	Kadar semen digunakan	476,744	kg/m ³
20	FAS disesuaikan	0,43	
21	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
22	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,50	
23	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,69	
24	Persen agregat halus	40	%
25	Persen agregat kasar	60	%
26	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
27	Berat isi beton	2326	kg/m ³
28	Kadar agregat gabungan	1644,26	kg/m ³
29	Kadar agregat halus	657,70	kg/m ³
30	Kadar agregat kasar	986,55	kg/m ³

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Berat Volume Beton

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (m)	Tinggi (m)	Volume (m³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m³)	Berat Volume Rerata (kg/m³)
Perendaman	28 Hari	S1-R	0,150	0,302	0,00532	12,531	2355,126	2351,031
		S2-R	0,151	0,304	0,00543	12,751	2348,433	
		S3-R	0,150	0,302	0,00532	12,496	2348,521	
		S4-R	0,151	0,304	0,00544	12,957	2380,056	
		S5-R	0,151	0,303	0,00541	12,559	2323,019	
Penyiraman		S1-P	0,151	0,299	0,00533	12,391	2326,459	2329,899
		S2-P	0,151	0,302	0,00538	12,505	2323,001	
		S3-P	0,151	0,300	0,00534	12,559	2350,132	
		S4-P	0,151	0,306	0,00549	12,694	2310,381	
		S5-P	0,150	0,301	0,00534	12,494	2339,522	
Penyemprotan <i>curing</i>		S1-C	0,150	0,302	0,00535	12,354	2311,030	2289,542
		S2-C	0,150	0,300	0,00533	12,273	2303,880	
		S3-C	0,152	0,302	0,00544	12,386	2278,162	
		S4-C	0,151	0,304	0,00544	12,467	2290,048	
		S5-C	0,152	0,305	0,00550	12,447	2264,588	
Tanpa Perawatan		S1-T	0,151	0,301	0,00538	12,320	2289,404	2287,374
		S2-T	0,150	0,300	0,00530	12,081	2278,059	
		S3-T	0,152	0,300	0,00544	12,425	2282,433	
		S4-T	0,150	0,302	0,00532	12,126	2278,255	
		S5-T	0,150	0,301	0,00529	12,215	2308,719	

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Metode Perawatan	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
Perendaman	28 Hari	S1-R	149,700	302,300	17600,8435	542,100	30,80	30,59
		S2-R	150,800	304,000	17860,4569	528,900	29,61	
		S3-R	149,800	301,900	17624,3662	574,500	32,60	
		S4-R	151,000	304,000	17907,8635	504,300	28,16	
		S5-R	150,700	303,100	17836,7771	567,200	31,80	
Penyiraman		S1-P	150,600	299,000	17813,1131	424,000	24,00	23,36
		S2-P	150,600	302,200	17813,1131	440,700	24,90	
		S3-P	150,500	300,400	17789,4648	399,000	22,60	
		S4-P	151,200	306,000	17955,3330	390,000	22,10	
		S5-P	150,300	301,000	17742,2152	411,000	23,20	
Penyemprotan curing		S1-C	150,100	302,100	17695,0285	378,000	21,30	21,94
		S2-C	150,300	300,250	17742,2152	407,000	23,00	
		S3-C	151,500	301,600	18026,6550	421,000	23,80	
		S4-C	151,000	304,000	17907,8635	367,000	20,80	
		S5-C	151,600	304,500	18050,4604	368,000	20,80	
Tanpa Perawatan	S1-T	151,000	300,500	17907,8635	329,300	18,60	19,95	
	S2-T	150,100	299,700	17695,0285	355,500	20,10		
	S3-T	152,000	300,000	18145,8392	383,900	21,16		
	S4-T	149,700	302,400	17600,8435	353,000	20,00		
	S5-T	149,700	300,600	17600,8435	352,200	19,90		

Lampiran 6 Laporan Sementara 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	30,80 MPa
Diameter	149,7 mm
Tinggi	302,3 mm
Luas	17600,844 mm ²
L ₀	200,0 mm

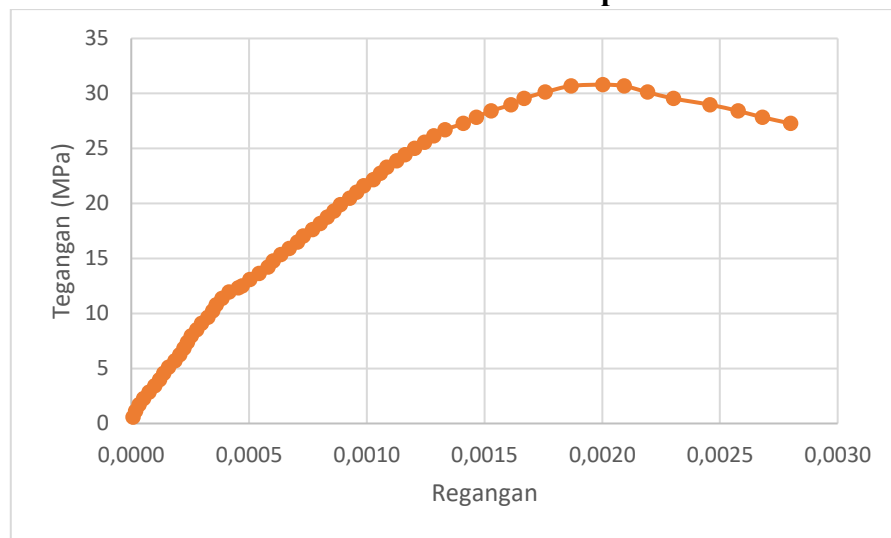
Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	7	0,0035	0,0000175	1,14
30	30000	13	0,0065	0,0000325	1,70
40	40000	21	0,0105	0,0000525	2,27
50	50000	30	0,0150	0,0000750	2,84
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,41
70	70000	48	0,0240	0,0001200	3,98
80	80000	55	0,0275	0,0001375	4,55
90	90000	63	0,0315	0,0001575	5,11

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
100	100000	74	0,0370	0,0001850	5,68
110	110000	82	0,0410	0,0002050	6,25
120	120000	89	0,0445	0,0002225	6,82
130	130000	95	0,0475	0,0002375	7,39
140	140000	102	0,0510	0,0002550	7,95
150	150000	111	0,0555	0,0002775	8,52
160	160000	119	0,0595	0,0002975	9,09
170	170000	130	0,0650	0,0003250	9,66
180	180000	138	0,0690	0,0003450	10,23
190	190000	144	0,0720	0,0003600	10,79
200	200000	154	0,0770	0,0003850	11,36
210	210000	166	0,0830	0,0004150	11,93
217	217000	181,4	0,0907	0,0004535	12,33
220	220000	188	0,0940	0,0004700	12,50
230	230000	201	0,1005	0,0005025	13,07
240	240000	217	0,1085	0,0005425	13,64
250	250000	232	0,1160	0,0005800	14,20
260	260000	241	0,1205	0,0006025	14,77
270	270000	254	0,1270	0,0006350	15,34
280	280000	268	0,1340	0,0006700	15,91
290	290000	282	0,1410	0,0007050	16,48
300	300000	292	0,1460	0,0007300	17,04
310	310000	308	0,1540	0,0007700	17,61
320	320000	321	0,1605	0,0008025	18,18

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
330	330000	333	0,1665	0,0008325	18,75
340	340000	344	0,1720	0,0008600	19,32
350	350000	355	0,1775	0,0008875	19,89
360	360000	371	0,1855	0,0009275	20,45
370	370000	383	0,1915	0,0009575	21,02
380	380000	395	0,1975	0,0009875	21,59
390	390000	411	0,2055	0,0010275	22,16
400	400000	423	0,2115	0,0010575	22,73
410	410000	434	0,2170	0,0010850	23,29
420	420000	451	0,2255	0,0011275	23,86
430	430000	465	0,2325	0,0011625	24,43
440	440000	481	0,2405	0,0012025	25,00
450	450000	498	0,2490	0,0012450	25,57
460	460000	514	0,2570	0,0012850	26,14
470	470000	533	0,2665	0,0013325	26,70
480	480000	564	0,2820	0,0014100	27,27
490	490000	586	0,2930	0,0014650	27,84
500	500000	611	0,3055	0,0015275	28,41
510	510000	645	0,3225	0,0016125	28,98
520	520000	667	0,3335	0,0016675	29,54
530	530000	703	0,3515	0,0017575	30,11
540	540000	747	0,3735	0,0018675	30,68
542	542000	801	0,4005	0,0020025	30,79
540	540000	837	0,4185	0,0020925	30,68

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
530	530000	877	0,4385	0,0021925	30,11
520	520000	921	0,4605	0,0023025	29,54
510	510000	983	0,4915	0,0024575	28,98
500	500000	1031	0,5155	0,0025775	28,41
490	490000	1072	0,5360	0,0026800	27,84
480	480000	1120	0,5600	0,0028000	27,27

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Sampel 1**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	25098,775	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	26083,798	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	27274,862	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	29,64 MPa
Diameter	150,6 mm
Tinggi	299 mm
Luas	17813,113 mm ²
L ₀	200,0 mm

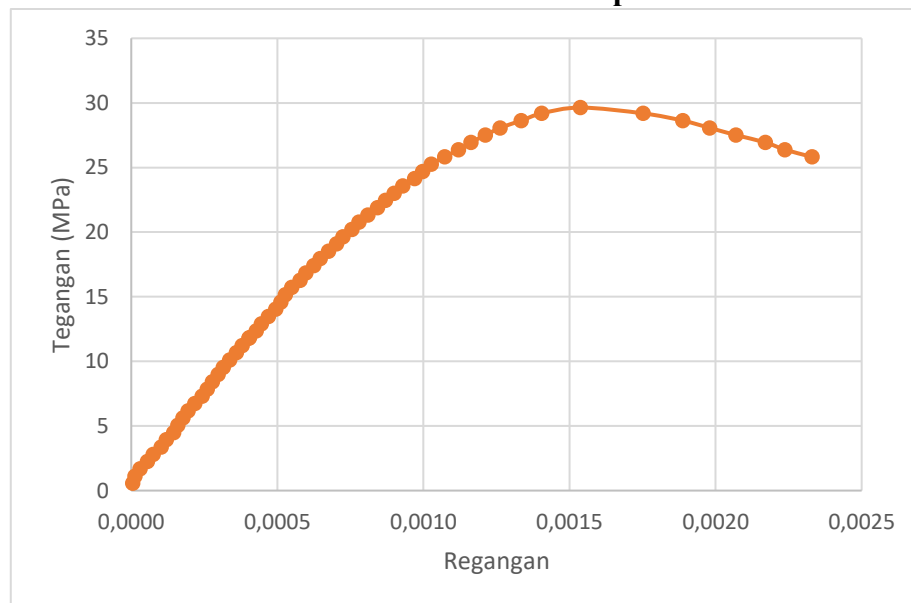
Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	5	0,003	0,000013	1,12
30	30000	12	0,006	0,000030	1,68
40	40000	22	0,011	0,000055	2,25
50	50000	30	0,015	0,000075	2,81
60	60000	41	0,021	0,000103	3,37
70	70000	48	0,024	0,000120	3,93
80	80000	58	0,029	0,000145	4,49
90	90000	64	0,032	0,000160	5,05
100	100000	71	0,036	0,000178	5,61
110	110000	78	0,039	0,000195	6,18

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	87	0,044	0,000218	6,74
130	130000	97	0,049	0,000243	7,30
140	140000	104	0,052	0,000260	7,86
150	150000	111	0,056	0,000278	8,42
160	160000	119	0,060	0,000298	8,98
170	170000	126	0,063	0,000315	9,54
180	180000	135	0,068	0,000338	10,10
190	190000	144	0,072	0,000360	10,67
200	200000	152	0,076	0,000380	11,23
210	210000	161	0,081	0,000403	11,79
211	211000	162	0,081	0,000405	11,85
220	220000	171	0,086	0,000428	12,35
230	230000	178	0,089	0,000445	12,91
240	240000	188	0,094	0,000470	13,47
250	250000	198	0,099	0,000495	14,03
260	260000	205	0,103	0,000513	14,60
270	270000	211	0,106	0,000528	15,16
280	280000	220	0,110	0,000550	15,72
290	290000	231	0,116	0,000578	16,28
300	300000	239	0,120	0,000598	16,84
310	310000	250	0,125	0,000625	17,40
320	320000	259	0,130	0,000648	17,96
330	330000	270	0,135	0,000675	18,53
340	340000	281	0,141	0,000703	19,09

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	290	0,145	0,000725	19,65
360	360000	302	0,151	0,000755	20,21
370	370000	312	0,156	0,000780	20,77
380	380000	324	0,162	0,000810	21,33
390	390000	337	0,169	0,000843	21,89
400	400000	348	0,174	0,000870	22,46
410	410000	360	0,180	0,000900	23,02
420	420000	372	0,186	0,000930	23,58
430	430000	388	0,194	0,000970	24,14
440	440000	399	0,200	0,000998	24,70
450	450000	411	0,206	0,001028	25,26
460	460000	429	0,215	0,001073	25,82
470	470000	448	0,224	0,001120	26,39
480	480000	465	0,233	0,001163	26,95
490	490000	485	0,243	0,001213	27,51
500	500000	505	0,253	0,001263	28,07
510	510000	534	0,267	0,001335	28,63
520	520000	562	0,281	0,001405	29,19
528	528000	615	0,308	0,001538	29,64
520	520000	701	0,351	0,001753	29,19
510	510000	755	0,378	0,001888	28,63
500	500000	792	0,396	0,001980	28,07
490	490000	828	0,414	0,002070	27,51
480	480000	868	0,434	0,002170	26,95

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
470	470000	895	0,448	0,002238	26,39
460	460000	932	0,466	0,002330	25,82

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Sampel 2**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	27357,596	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	25576,338	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	26630,303	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	32,60 MPa
Diameter	149,8 mm
Tinggi	301,9 mm
Luas	17624,366 mm ²
L ₀	200,0 mm

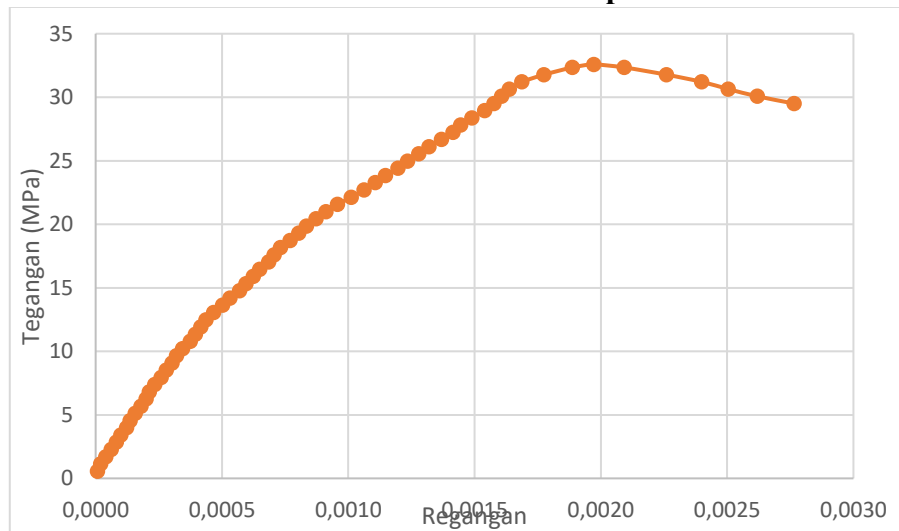
Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,13
30	30000	16	0,0080	0,0000400	1,70
40	40000	25	0,0125	0,0000625	2,27
50	50000	33	0,0165	0,0000825	2,84
60	60000	40	0,0200	0,0001000	3,40
70	70000	49	0,0245	0,0001225	3,97
80	80000	55	0,0275	0,0001375	4,54
90	90000	63	0,0315	0,0001575	5,11
100	100000	72	0,0360	0,0001800	5,67
110	110000	80	0,0400	0,0002000	6,24

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	85	0,0425	0,0002125	6,81
130	130000	94	0,0470	0,0002350	7,38
140	140000	104	0,0520	0,0002600	7,94
150	150000	112	0,0560	0,0002800	8,51
160	160000	121	0,0605	0,0003025	9,08
170	170000	128	0,0640	0,0003200	9,65
180	180000	138	0,0690	0,0003450	10,21
190	190000	150	0,0750	0,0003750	10,78
200	200000	158	0,0790	0,0003950	11,35
210	210000	167	0,0835	0,0004175	11,92
220	220000	175	0,0875	0,0004375	12,48
230	230000	187	0,0935	0,0004675	13,05
240	240000	201	0,1005	0,0005025	13,62
250	250000	213	0,1065	0,0005325	14,18
260	260000	228	0,1140	0,0005700	14,75
270	270000	238	0,1190	0,0005950	15,32
280	280000	250	0,1250	0,0006250	15,89
290	290000	260	0,1300	0,0006500	16,45
300	300000	274	0,1370	0,0006850	17,02
310	310000	283	0,1415	0,0007075	17,59
320	320000	293	0,1465	0,0007325	18,16
330	330000	308	0,1540	0,0007700	18,72
340	340000	322	0,1610	0,0008050	19,29
350	350000	334	0,1670	0,0008350	19,86

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
360	360000	349	0,1745	0,0008725	20,43
370	370000	365	0,1825	0,0009125	20,99
380	380000	383	0,1915	0,0009575	21,56
390	390000	405	0,2025	0,0010125	22,13
400	400000	425	0,2125	0,0010625	22,70
410	410000	443	0,2215	0,0011075	23,26
420	420000	459	0,2295	0,0011475	23,83
430	430000	479	0,2395	0,0011975	24,40
440	440000	494	0,2470	0,0012350	24,97
450	450000	512	0,2560	0,0012800	25,53
460	460000	528	0,2640	0,0013200	26,10
470	470000	548	0,2740	0,0013700	26,67
480	480000	566	0,2830	0,0014150	27,24
490	490000	578	0,2890	0,0014450	27,80
500	500000	596	0,2980	0,0014900	28,37
510	510000	616	0,3080	0,0015400	28,94
520	520000	631	0,3155	0,0015775	29,50
530	530000	643	0,3215	0,0016075	30,07
540	540000	655	0,3275	0,0016375	30,64
550	550000	675	0,3375	0,0016875	31,21
560	560000	710	0,3550	0,0017750	31,77
570	570000	755	0,3775	0,0018875	32,34
574	574000	789	0,3945	0,0019725	32,57
570	570000	837	0,4185	0,0020925	32,34

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
560	560000	904	0,4520	0,0022600	31,77
550	550000	960	0,4800	0,0024000	31,21
540	540000	1002	0,5010	0,0025050	30,64
530	530000	1048	0,5240	0,0026200	30,07
520	520000	1106	0,5530	0,0027650	29,50

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Sampel 3**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	26576,646	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	26834,044	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	27941,410	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Sampel 4

Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	28,14 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	304 mm
Luas	17907,864 mm ²
L ₀	200,0 mm

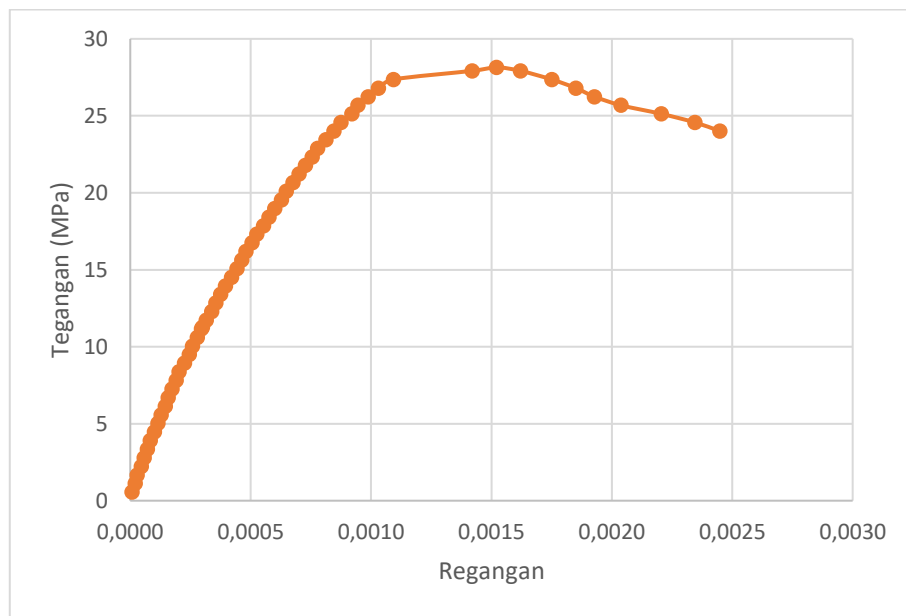
Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,12
30	30000	11	0,0055	0,0000275	1,68
40	40000	18	0,0090	0,0000450	2,23
50	50000	23	0,0115	0,0000575	2,79
60	60000	28	0,0140	0,0000700	3,35
70	70000	33	0,0165	0,0000825	3,91
80	80000	40	0,0200	0,0001000	4,47
90	90000	46	0,0230	0,0001150	5,03
100	100000	51	0,0255	0,0001275	5,58
110	110000	58	0,0290	0,0001450	6,14

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	63	0,0315	0,0001575	6,70
130	130000	69	0,0345	0,0001725	7,26
140	140000	76	0,0380	0,0001900	7,82
150	150000	81	0,0405	0,0002025	8,38
160	160000	90	0,0450	0,0002250	8,93
170	170000	98	0,0490	0,0002450	9,49
180	180000	103	0,0515	0,0002575	10,05
190	190000	111	0,0555	0,0002775	10,61
200	200000	118	0,0590	0,0002950	11,17
202	202000	119,6	0,0598	0,0002990	11,28
210	210000	126	0,0630	0,0003150	11,73
220	220000	135	0,0675	0,0003375	12,29
230	230000	142	0,0710	0,0003550	12,84
240	240000	150	0,0750	0,0003750	13,40
250	250000	158	0,0790	0,0003950	13,96
260	260000	168	0,0840	0,0004200	14,52
270	270000	177	0,0885	0,0004425	15,08
280	280000	185	0,0925	0,0004625	15,64
290	290000	192	0,0960	0,0004800	16,19
300	300000	202	0,1010	0,0005050	16,75
310	310000	210	0,1050	0,0005250	17,31
320	320000	221	0,1105	0,0005525	17,87
330	330000	230	0,1150	0,0005750	18,43
340	340000	240	0,1200	0,0006000	18,99

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	251	0,1255	0,0006275	19,54
360	360000	259	0,1295	0,0006475	20,10
370	370000	270	0,1350	0,0006750	20,66
380	380000	280	0,1400	0,0007000	21,22
390	390000	291	0,1455	0,0007275	21,78
400	400000	302	0,1510	0,0007550	22,34
410	410000	311	0,1555	0,0007775	22,89
420	420000	325	0,1625	0,0008125	23,45
430	430000	338	0,1690	0,0008450	24,01
440	440000	350	0,1750	0,0008750	24,57
450	450000	368	0,1840	0,0009200	25,13
460	460000	378	0,1890	0,0009450	25,69
470	470000	395	0,1975	0,0009875	26,25
480	480000	412	0,2060	0,0010300	26,80
490	490000	437	0,2185	0,0010925	27,36
500	500000	568	0,2840	0,0014200	27,92
504	504000	608	0,3040	0,0015200	28,14
500	500000	648	0,3240	0,0016200	27,92
490	490000	700	0,3500	0,0017500	27,36
480	480000	740	0,3700	0,0018500	26,80
470	470000	771	0,3855	0,0019275	26,25
460	460000	815	0,4075	0,0020375	25,69
450	450000	882	0,4410	0,0022050	25,13
440	440000	938	0,4690	0,0023450	24,57

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
430	430000	979	0,4895	0,0024475	24,01

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Sampel 4**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	35433,493	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	24941,379	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	26495,474	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Perendaman Sampel 5

Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	31,80 MPa
Diameter	150,7 mm
Tinggi	303,1 mm
Luas	17836,777 mm ²
L ₀	200,0 mm

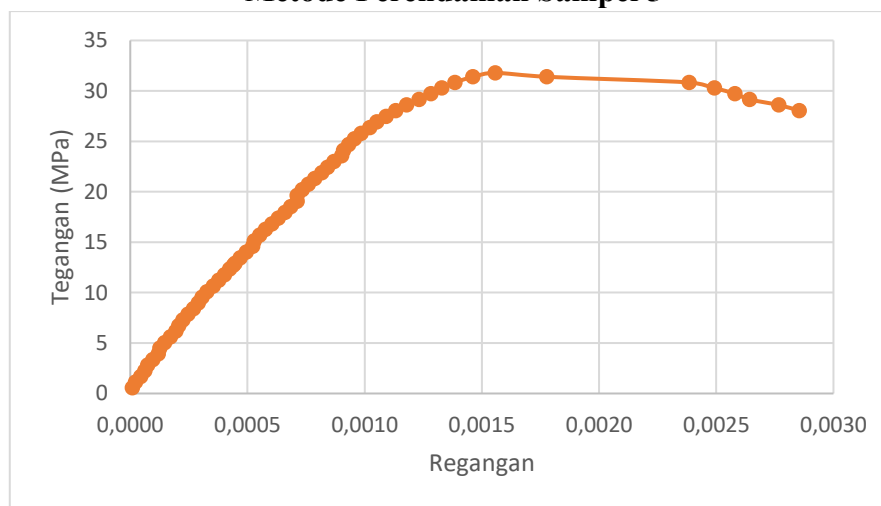
Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	9	0,005	0,00002	1,12
30	30000	18	0,009	0,00005	1,68
40	40000	25	0,013	0,00006	2,24
50	50000	30	0,015	0,00008	2,80
60	60000	39	0,020	0,00010	3,36
70	70000	48	0,024	0,00012	3,92
80	80000	51	0,026	0,00013	4,49
90	90000	59	0,030	0,00015	5,05
100	100000	69	0,035	0,00017	5,61
110	110000	78	0,039	0,00020	6,17

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	83	0,042	0,00021	6,73
130	130000	90	0,045	0,00023	7,29
140	140000	99	0,050	0,00025	7,85
150	150000	108	0,054	0,00027	8,41
160	160000	116	0,058	0,00029	8,97
170	170000	123	0,062	0,00031	9,53
180	180000	131	0,066	0,00033	10,09
190	190000	142	0,071	0,00036	10,65
200	200000	151	0,076	0,00038	11,21
210	210000	161	0,081	0,00040	11,77
220	220000	170	0,085	0,00043	12,33
227	227000	176,3	0,088	0,00044	12,73
230	230000	179	0,090	0,00045	12,89
240	240000	188	0,094	0,00047	13,46
250	250000	198	0,099	0,00050	14,02
260	260000	209	0,105	0,00052	14,58
270	270000	212	0,106	0,00053	15,14
280	280000	221	0,111	0,00055	15,70
290	290000	231	0,116	0,00058	16,26
300	300000	242	0,121	0,00061	16,82
310	310000	253	0,127	0,00063	17,38
320	320000	264	0,132	0,00066	17,94
330	330000	274	0,137	0,00069	18,50
340	340000	285	0,143	0,00071	19,06

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	285	0,143	0,00071	19,62
360	360000	294	0,147	0,00074	20,18
370	370000	304	0,152	0,00076	20,74
380	380000	315	0,158	0,00079	21,30
390	390000	327	0,164	0,00082	21,86
400	400000	337	0,169	0,00084	22,43
410	410000	348	0,174	0,00087	22,99
420	420000	361	0,181	0,00090	23,55
430	430000	364	0,182	0,00091	24,11
440	440000	373	0,187	0,00093	24,67
450	450000	383	0,192	0,00096	25,23
460	460000	394	0,197	0,00099	25,79
470	470000	409	0,205	0,00102	26,35
480	480000	421	0,211	0,00105	26,91
490	490000	437	0,219	0,00109	27,47
500	500000	453	0,227	0,00113	28,03
510	510000	472	0,236	0,00118	28,59
520	520000	493	0,247	0,00123	29,15
530	530000	513	0,257	0,00128	29,71
540	540000	532	0,266	0,00133	30,27
550	550000	554	0,277	0,00139	30,84
560	560000	585	0,293	0,00146	31,40
567	567000	623	0,312	0,00156	31,79
560	560000	711	0,356	0,00178	31,40

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
550	550000	954	0,477	0,00239	30,84
540	540000	997	0,499	0,00249	30,27
530	530000	1032	0,516	0,00258	29,71
520	520000	1057	0,529	0,00264	29,15
510	510000	1107	0,554	0,00277	28,59
500	500000	1142	0,571	0,00286	28,03

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Perendaman Sampel 5**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	27855,185	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	26503,777	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	27149,228	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 1

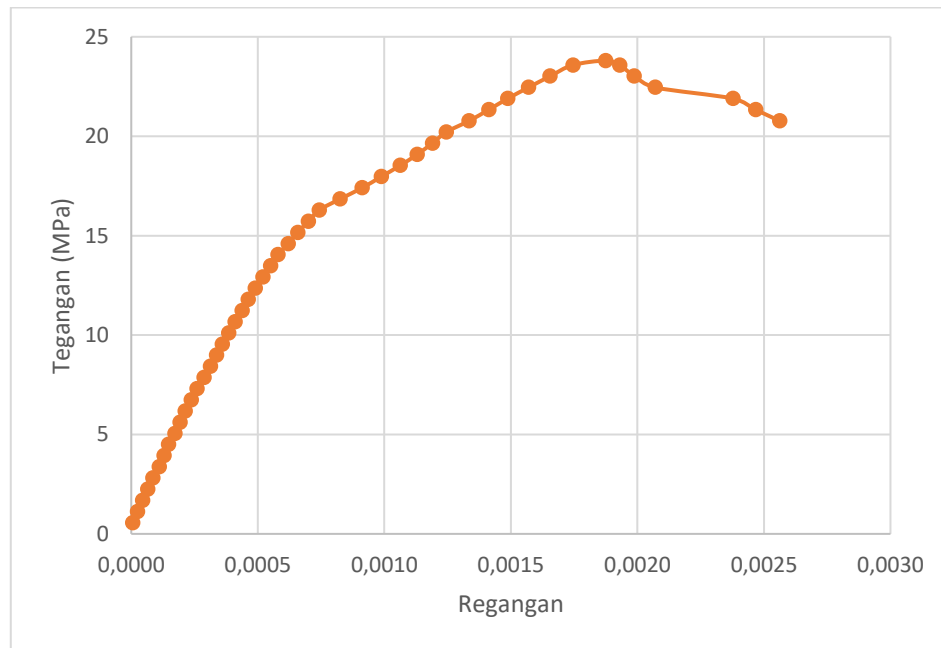
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,00 MPa
Diameter	150,6 mm
Tinggi	299 mm
Luas	17813,113 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,0010	0,000005	0,56
20	20000	10	0,0050	0,000025	1,12
30	30000	18	0,0090	0,000045	1,68
40	40000	26	0,0130	0,000065	2,25
50	50000	34	0,0170	0,000085	2,81
60	60000	44	0,0220	0,000110	3,37
70	70000	52	0,0260	0,000130	3,93
80	80000	59	0,0295	0,000148	4,49
90	90000	69	0,0345	0,000173	5,05
100	100000	77	0,0385	0,000193	5,61
110	110000	85	0,0425	0,000213	6,18

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	95	0,0475	0,000238	6,74
130	130000	104	0,0520	0,000260	7,30
140	140000	115	0,0575	0,000288	7,86
150	150000	125	0,0625	0,000313	8,42
160	160000	135	0,0675	0,000338	8,98
170	170000	144	0,0720	0,000360	9,54
180	180000	154	0,0770	0,000385	10,10
190	190000	164	0,0820	0,000410	10,67
200	200000	175	0,0875	0,000438	11,23
210	210000	185	0,0925	0,000463	11,79
220	220000	196	0,0980	0,000490	12,35
230	230000	208	0,1040	0,000520	12,91
240	240000	220	0,1100	0,000550	13,47
250	250000	232	0,1160	0,000580	14,03
260	260000	248	0,1240	0,000620	14,60
270	270000	263	0,1315	0,000658	15,16
280	280000	280	0,1400	0,000700	15,72
290	290000	297	0,1485	0,000743	16,28
300	300000	330	0,1650	0,000825	16,84
310	310000	365	0,1825	0,000913	17,40
320	320000	395	0,1975	0,000988	17,96
330	330000	425	0,2125	0,001063	18,53
340	340000	452	0,2260	0,001130	19,09
350	350000	476	0,2380	0,001190	19,65

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
360	360000	498	0,2490	0,001245	20,21
370	370000	534	0,2670	0,001335	20,77
380	380000	565	0,2825	0,001413	21,33
390	390000	595	0,2975	0,001488	21,89
400	400000	628	0,3140	0,001570	22,46
410	410000	662	0,3310	0,001655	23,02
420	420000	698	0,3490	0,001745	23,58
424	424000	750	0,3750	0,001875	23,80
420	420000	772	0,3860	0,001930	23,58
410	410000	795	0,3975	0,001988	23,02
400	400000	828	0,4140	0,002070	22,46
390	390000	951	0,4755	0,002378	21,89
380	380000	987	0,4935	0,002468	21,33
370	370000	1025	0,5125	0,002563	20,77

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyiraman Sampel 1



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	24900,105	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	23025,204	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	23638,346	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 2

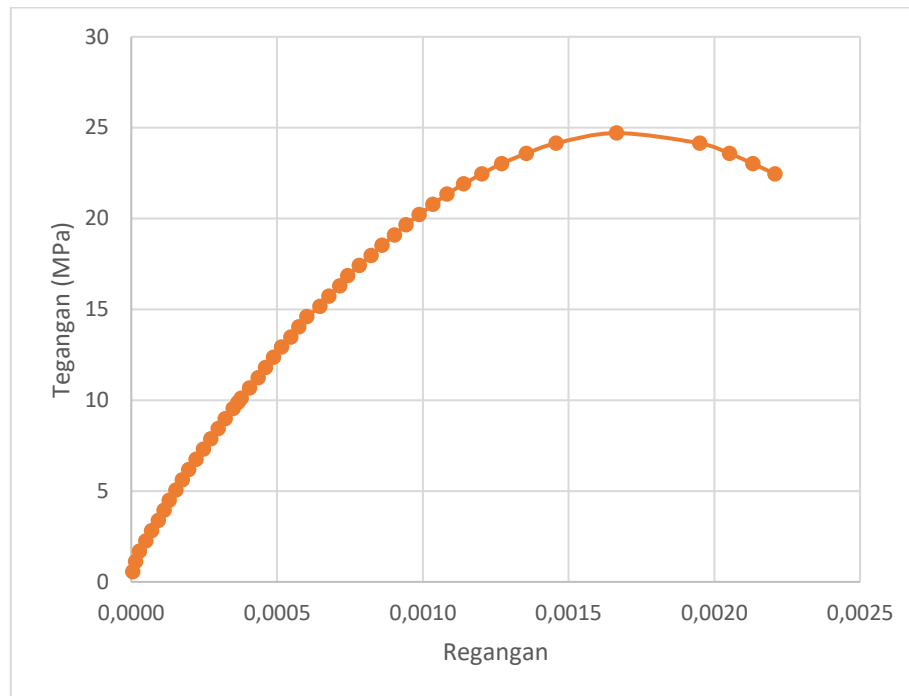
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	24,90 MPa
Diameter	150,6 mm
Tinggi	302,2 mm
Luas	17813,113 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	6	0,003	0,000015	1,12
30	30000	11	0,006	0,000028	1,68
40	40000	20	0,010	0,000050	2,25
50	50000	28	0,014	0,000070	2,81
60	60000	37	0,019	0,000093	3,37
70	70000	45	0,023	0,000113	3,93
80	80000	52	0,026	0,000130	4,49
90	90000	61	0,031	0,000153	5,05
100	100000	70	0,035	0,000175	5,61
110	110000	79	0,040	0,000198	6,18

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	89	0,045	0,000223	6,74
130	130000	99	0,050	0,000248	7,30
140	140000	109	0,055	0,000273	7,86
150	150000	119	0,060	0,000298	8,42
160	160000	129	0,065	0,000323	8,98
170	170000	140	0,070	0,000350	9,54
176	176000	146,6	0,073	0,000367	9,88
180	180000	151	0,076	0,000378	10,10
190	190000	162	0,081	0,000405	10,67
200	200000	174	0,087	0,000435	11,23
210	210000	184	0,092	0,000460	11,79
220	220000	195	0,098	0,000488	12,35
230	230000	206	0,103	0,000515	12,91
240	240000	219	0,110	0,000548	13,47
250	250000	230	0,115	0,000575	14,03
260	260000	241	0,121	0,000603	14,60
270	270000	259	0,130	0,000648	15,16
280	280000	271	0,136	0,000678	15,72
290	290000	286	0,143	0,000715	16,28
300	300000	297	0,149	0,000743	16,84
310	310000	313	0,157	0,000783	17,40
320	320000	329	0,165	0,000823	17,96
330	330000	344	0,172	0,000860	18,53
340	340000	361	0,181	0,000903	19,09

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	377	0,189	0,000943	19,65
360	360000	395	0,198	0,000988	20,21
370	370000	414	0,207	0,001035	20,77
380	380000	433	0,217	0,001083	21,33
390	390000	456	0,228	0,001140	21,89
400	400000	481	0,241	0,001203	22,46
410	410000	508	0,254	0,001270	23,02
420	420000	542	0,271	0,001355	23,58
430	430000	583	0,292	0,001458	24,14
440	440000	666	0,333	0,001665	24,70
430	430000	780	0,390	0,001950	24,14
420	420000	821	0,411	0,002053	23,58
410	410000	853	0,427	0,002133	23,02
400	400000	883	0,442	0,002208	22,46
390	390000	917	0,459	0,002293	21,89
380	380000	954	0,477	0,002385	21,33

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyiraman Sampel 2



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	24122,670	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	23452,953	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	24023,830	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 3

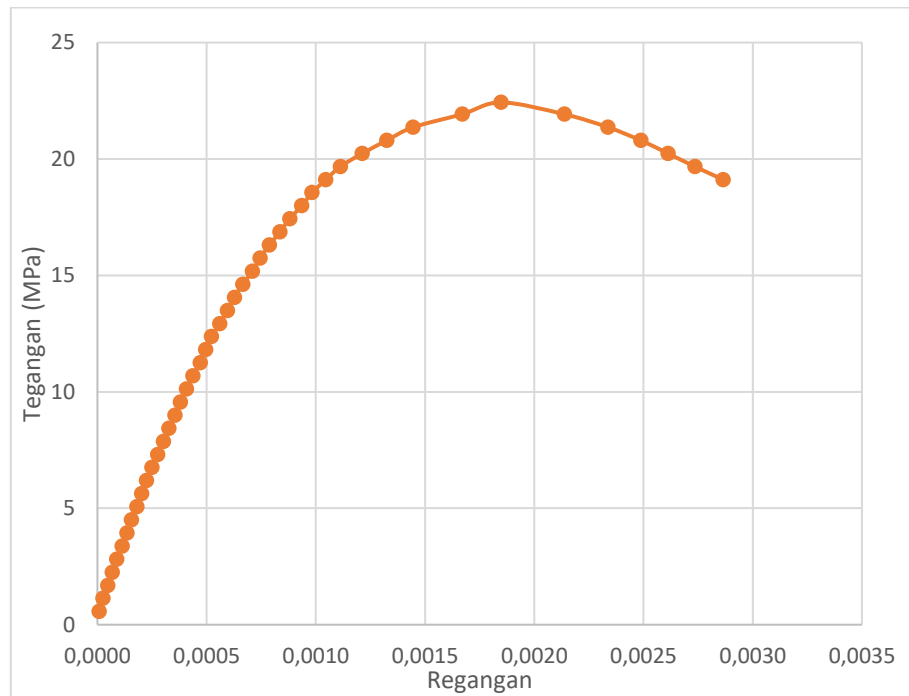
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,60 MPa
Diameter	150,5 mm
Tinggi	300,4 mm
Luas	17789,465 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	10	0,0050	0,0000250	1,12
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,69
40	40000	27	0,0135	0,0000675	2,25
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,81
60	60000	45	0,0225	0,0001125	3,37
70	70000	54	0,0270	0,0001350	3,93
80	80000	62	0,0310	0,0001550	4,50
90	90000	72	0,0360	0,0001800	5,06
100	100000	81	0,0405	0,0002025	5,62
110	110000	90	0,0450	0,0002250	6,18

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	100	0,0500	0,0002500	6,75
130	130000	110	0,0550	0,0002750	7,31
140	140000	121	0,0605	0,0003025	7,87
150	150000	131	0,0655	0,0003275	8,43
160	160000	142	0,0710	0,0003550	8,99
170	170000	152	0,0760	0,0003800	9,56
180	180000	163	0,0815	0,0004075	10,12
190	190000	175	0,0875	0,0004375	10,68
200	200000	188	0,0940	0,0004700	11,24
210	210000	198	0,0990	0,0004950	11,80
220	220000	209	0,1045	0,0005225	12,37
230	230000	224	0,1120	0,0005600	12,93
240	240000	238	0,1190	0,0005950	13,49
250	250000	251	0,1255	0,0006275	14,05
260	260000	266	0,1330	0,0006650	14,62
270	270000	284	0,1420	0,0007100	15,18
280	280000	298	0,1490	0,0007450	15,74
290	290000	315	0,1575	0,0007875	16,30
300	300000	334	0,1670	0,0008350	16,86
310	310000	352	0,1760	0,0008800	17,43
320	320000	374	0,1870	0,0009350	17,99
330	330000	393	0,1965	0,0009825	18,55
340	340000	418	0,2090	0,0010450	19,11
350	350000	445	0,2225	0,0011125	19,67

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
360	360000	485	0,2425	0,0012125	20,24
370	370000	530	0,2650	0,0013250	20,80
380	380000	578	0,2890	0,0014450	21,36
390	390000	668	0,3340	0,0016700	21,92
399	399000	739	0,3695	0,0018475	22,43
390	390000	855	0,4275	0,0021375	21,92
380	380000	935	0,4675	0,0023375	21,36
370	370000	995	0,4975	0,0024875	20,80
360	360000	1045	0,5225	0,0026125	20,24
350	350000	1094	0,5470	0,0027350	19,67
340	340000	1146	0,5730	0,0028650	19,11

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyiraman Sampel 3



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	23729,278	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	22343,545	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	23289,548	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 4

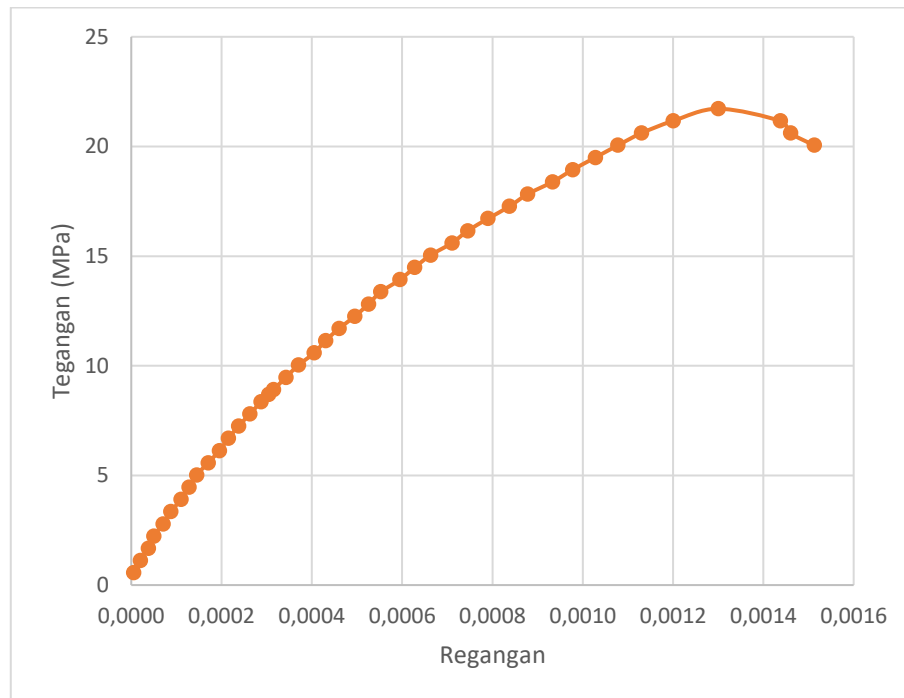
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,10 MPa
Diameter	151,2 mm
Tinggi	306 mm
Luas	17955,333 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	8	0,004	0,000020	1,11
30	30000	15	0,008	0,000038	1,67
40	40000	20	0,010	0,000050	2,23
50	50000	28	0,014	0,000070	2,78
60	60000	35	0,018	0,000088	3,34
70	70000	44	0,022	0,000110	3,90
80	80000	51	0,026	0,000128	4,46
90	90000	58	0,029	0,000145	5,01
100	100000	68	0,034	0,000170	5,57
110	110000	78	0,039	0,000195	6,13

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	86	0,043	0,000215	6,68
130	130000	95	0,048	0,000238	7,24
140	140000	105	0,053	0,000263	7,80
150	150000	115	0,058	0,000288	8,35
156	156000	121,6	0,061	0,000304	8,69
160	160000	126	0,063	0,000315	8,91
170	170000	137	0,069	0,000343	9,47
180	180000	148	0,074	0,000370	10,02
190	190000	162	0,081	0,000405	10,58
200	200000	172	0,086	0,000430	11,14
210	210000	184	0,092	0,000460	11,70
220	220000	198	0,099	0,000495	12,25
230	230000	210	0,105	0,000525	12,81
240	240000	221	0,111	0,000553	13,37
250	250000	238	0,119	0,000595	13,92
260	260000	251	0,126	0,000628	14,48
270	270000	265	0,133	0,000663	15,04
280	280000	284	0,142	0,000710	15,59
290	290000	298	0,149	0,000745	16,15
300	300000	316	0,158	0,000790	16,71
310	310000	335	0,168	0,000838	17,27
320	320000	351	0,176	0,000878	17,82
330	330000	373	0,187	0,000933	18,38
340	340000	391	0,196	0,000978	18,94

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	411	0,206	0,001028	19,49
360	360000	431	0,216	0,001078	20,05
370	370000	452	0,226	0,001130	20,61
380	380000	480	0,240	0,001200	21,16
390	390000	520	0,260	0,001300	21,72
380	380000	575	0,288	0,001438	21,16
370	370000	584	0,292	0,001460	20,61
360	360000	605	0,303	0,001513	20,05

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyiraman Sampel 4



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	25434,945	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	22094,999	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	22448,638	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyiraman Sampel 5

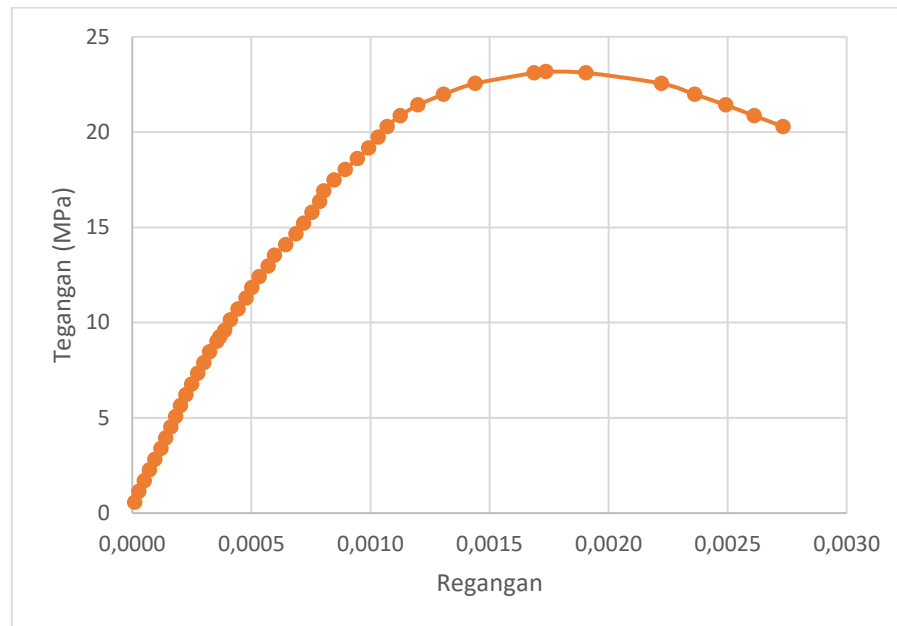
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,20 MPa
Diameter	150,3 mm
Tinggi	301 mm
Luas	17742,215 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	11	0,006	0,00003	1,13
30	30000	20	0,010	0,00005	1,69
40	40000	29	0,015	0,00007	2,25
50	50000	38	0,019	0,00010	2,82
60	60000	48	0,024	0,00012	3,38
70	70000	56	0,028	0,00014	3,95
80	80000	65	0,033	0,00016	4,51
90	90000	73	0,037	0,00018	5,07
100	100000	81	0,041	0,00020	5,64
110	110000	90	0,045	0,00023	6,20

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	100	0,050	0,00025	6,76
130	130000	110	0,055	0,00028	7,33
140	140000	120	0,060	0,00030	7,89
150	150000	130	0,065	0,00033	8,45
160	160000	142	0,071	0,00036	9,02
164	164000	147,2	0,074	0,00037	9,24
170	170000	155	0,078	0,00039	9,58
180	180000	165	0,083	0,00041	10,15
190	190000	178	0,089	0,00045	10,71
200	200000	191	0,096	0,00048	11,27
210	210000	201	0,101	0,00050	11,84
220	220000	213	0,107	0,00053	12,40
230	230000	228	0,114	0,00057	12,96
240	240000	239	0,120	0,00060	13,53
250	250000	258	0,129	0,00065	14,09
260	260000	275	0,138	0,00069	14,65
270	270000	288	0,144	0,00072	15,22
280	280000	302	0,151	0,00076	15,78
290	290000	315	0,158	0,00079	16,35
300	300000	322	0,161	0,00081	16,91
310	310000	339	0,170	0,00085	17,47
320	320000	358	0,179	0,00090	18,04
330	330000	378	0,189	0,00095	18,60
340	340000	397	0,199	0,00099	19,16

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	413	0,207	0,00103	19,73
360	360000	428	0,214	0,00107	20,29
370	370000	450	0,225	0,00113	20,85
380	380000	480	0,240	0,00120	21,42
390	390000	523	0,262	0,00131	21,98
400	400000	576	0,288	0,00144	22,55
410	410000	675	0,338	0,00169	23,11
411	411000	695	0,348	0,00174	23,17
410	410000	762	0,381	0,00191	23,11
400	400000	889	0,445	0,00222	22,55
390	390000	945	0,473	0,00236	21,98
380	380000	997	0,499	0,00249	21,42
370	370000	1045	0,523	0,00261	20,85
360	360000	1093	0,547	0,00273	20,29

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyiraman Sampel 5



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	23750,340	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	22638,198	MPa
	$(W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	23437,063	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyemprotan *Curing Compound* Sampel 1

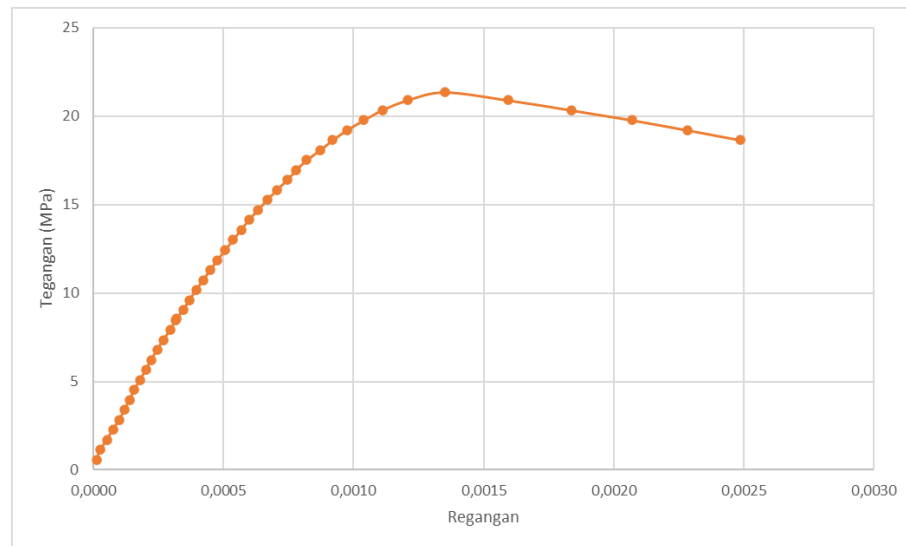
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,30 MPa
Diameter	150,1 mm
Tinggi	302,1 mm
Luas	17695,028 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0,0025	0,0000125	0,57
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,13
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,70
40	40000	30	0,0150	0,0000750	2,26
50	50000	40	0,0200	0,0001000	2,83
60	60000	48	0,0240	0,0001200	3,39
70	70000	56	0,0280	0,0001400	3,96
80	80000	63	0,0315	0,0001575	4,52
90	90000	72	0,0360	0,0001800	5,09
100	100000	81	0,0405	0,0002025	5,65
110	110000	89	0,0445	0,0002225	6,22

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	98	0,0490	0,0002450	6,78
130	130000	108	0,0540	0,0002700	7,35
140	140000	118	0,0590	0,0002950	7,91
150	150000	127	0,0635	0,0003175	8,48
151	151000	128,1	0,0641	0,0003203	8,53
160	160000	138	0,0690	0,0003450	9,04
170	170000	148	0,0740	0,0003700	9,61
180	180000	158	0,0790	0,0003950	10,17
190	190000	169	0,0845	0,0004225	10,74
200	200000	180	0,0900	0,0004500	11,30
210	210000	191	0,0955	0,0004775	11,87
220	220000	203	0,1015	0,0005075	12,43
230	230000	215	0,1075	0,0005375	13,00
240	240000	227	0,1135	0,0005675	13,56
250	250000	239	0,1195	0,0005975	14,13
260	260000	253	0,1265	0,0006325	14,69
270	270000	267	0,1335	0,0006675	15,26
280	280000	282	0,1410	0,0007050	15,82
290	290000	298	0,1490	0,0007450	16,39
300	300000	312	0,1560	0,0007800	16,95
310	310000	328	0,1640	0,0008200	17,52
320	320000	349	0,1745	0,0008725	18,08
330	330000	368	0,1840	0,0009200	18,65
340	340000	390	0,1950	0,0009750	19,21

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	416	0,2080	0,0010400	19,78
360	360000	444	0,2220	0,0011100	20,34
370	370000	483	0,2415	0,0012075	20,91
378	378000	540	0,2700	0,0013500	21,36
370	370000	638	0,3190	0,0015950	20,91
360	360000	735	0,3675	0,0018375	20,34
350	350000	828	0,4140	0,0020700	19,78
340	340000	913	0,4565	0,0022825	19,21
330	330000	995	0,4975	0,0024875	18,65

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyemprotan *Curing Compound* 1



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	25511,903	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21691,404	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	22047,871	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyemprotan *Curing Compound* Sampel 2

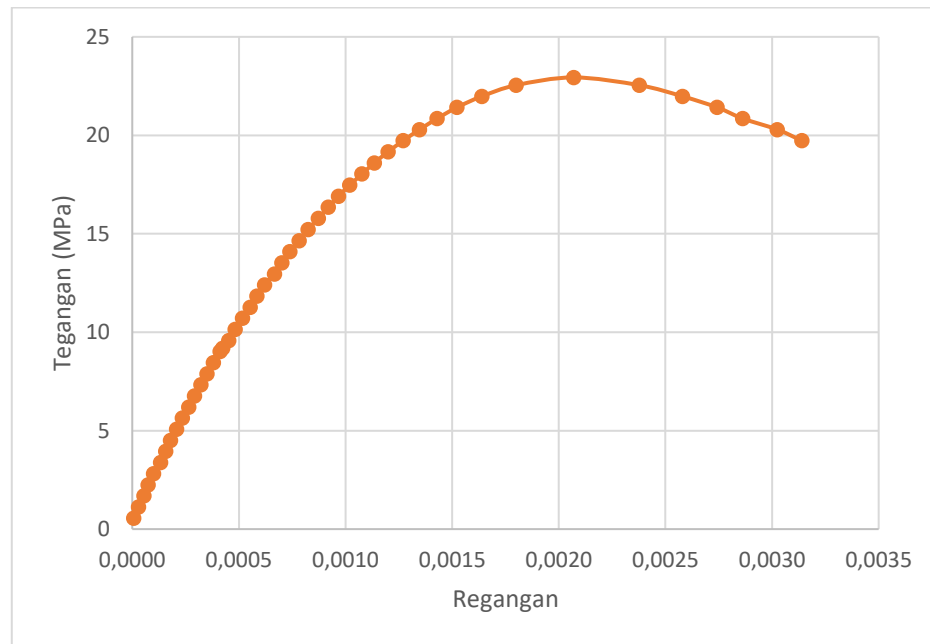
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,00 MPa
Diameter	150,3 mm
Tinggi	300,25 mm
Luas	17742,215 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,56
20	20000	12	0,0060	0,0000300	1,13
30	30000	22	0,0110	0,0000550	1,69
40	40000	30	0,0150	0,0000750	2,25
50	50000	40	0,0200	0,0001000	2,82
60	60000	53	0,0265	0,0001325	3,38
70	70000	63	0,0315	0,0001575	3,95
80	80000	72	0,0360	0,0001800	4,51
90	90000	83	0,0415	0,0002075	5,07
100	100000	94	0,0470	0,0002350	5,64
110	110000	106	0,0530	0,0002650	6,20

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	117	0,0585	0,0002925	6,76
130	130000	129	0,0645	0,0003225	7,33
140	140000	140	0,0700	0,0003500	7,89
150	150000	152	0,0760	0,0003800	8,45
160	160000	165	0,0825	0,0004125	9,02
163	163000	169,8	0,0849	0,0004245	9,19
170	170000	181	0,0905	0,0004525	9,58
180	180000	193	0,0965	0,0004825	10,15
190	190000	207	0,1035	0,0005175	10,71
200	200000	221	0,1105	0,0005525	11,27
210	210000	234	0,1170	0,0005850	11,84
220	220000	248	0,1240	0,0006200	12,40
230	230000	267	0,1335	0,0006675	12,96
240	240000	281	0,1405	0,0007025	13,53
250	250000	296	0,1480	0,0007400	14,09
260	260000	313	0,1565	0,0007825	14,65
270	270000	330	0,1650	0,0008250	15,22
280	280000	349	0,1745	0,0008725	15,78
290	290000	368	0,1840	0,0009200	16,35
300	300000	387	0,1935	0,0009675	16,91
310	310000	408	0,2040	0,0010200	17,47
320	320000	431	0,2155	0,0010775	18,04
330	330000	454	0,2270	0,0011350	18,60
340	340000	480	0,2400	0,0012000	19,16

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	508	0,2540	0,0012700	19,73
360	360000	539	0,2695	0,0013475	20,29
370	370000	572	0,2860	0,0014300	20,85
380	380000	609	0,3045	0,0015225	21,42
390	390000	656	0,3280	0,0016400	21,98
400	400000	720	0,3600	0,0018000	22,55
407	407000	828	0,4140	0,0020700	22,94
400	400000	951	0,4755	0,0023775	22,55
390	390000	1032	0,5160	0,0025800	21,98
380	380000	1097	0,5485	0,0027425	21,42
370	370000	1145	0,5725	0,0028625	20,85
360	360000	1210	0,6050	0,0030250	20,29
350	350000	1256	0,6280	0,0031400	19,73

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyemprotan *Curing Compound* 2



ASTM C-469	$(E_c \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	20317,679	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'_c})$	22540,408	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c})$	22804,586	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyemprotan *Curing Compound* Sampel 3

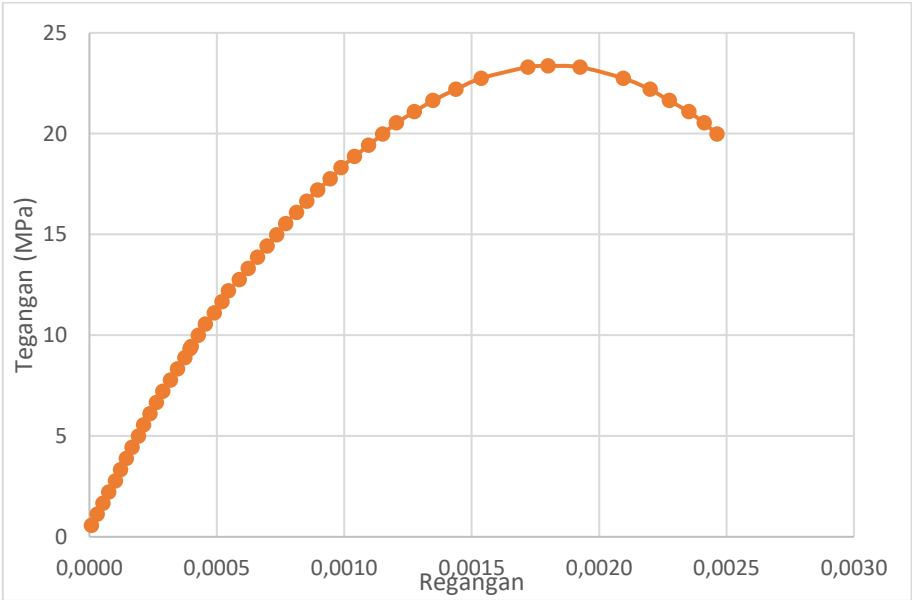
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,80 MPa
Diameter	151,5 mm
Tinggi	301,6 mm
Luas	18026,655 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,55
20	20000	12	0,0060	0,0000300	1,11
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,66
40	40000	30	0,0150	0,0000750	2,22
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,77
60	60000	49	0,0245	0,0001225	3,33
70	70000	58	0,0290	0,0001450	3,88
80	80000	67	0,0335	0,0001675	4,44
90	90000	77	0,0385	0,0001925	4,99
100	100000	85	0,0425	0,0002125	5,55
110	110000	95	0,0475	0,0002375	6,10

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	105	0,0525	0,0002625	6,66
130	130000	115	0,0575	0,0002875	7,21
140	140000	127	0,0635	0,0003175	7,77
150	150000	138	0,0690	0,0003450	8,32
160	160000	150	0,0750	0,0003750	8,88
168	168000	158	0,0790	0,0003950	9,32
170	170000	160	0,0800	0,0004000	9,43
180	180000	171	0,0855	0,0004275	9,99
190	190000	182	0,0910	0,0004550	10,54
200	200000	196	0,0980	0,0004900	11,09
210	210000	208	0,1040	0,0005200	11,65
220	220000	218	0,1090	0,0005450	12,20
230	230000	235	0,1175	0,0005875	12,76
240	240000	249	0,1245	0,0006225	13,31
250	250000	264	0,1320	0,0006600	13,87
260	260000	279	0,1395	0,0006975	14,42
270	270000	294	0,1470	0,0007350	14,98
280	280000	308	0,1540	0,0007700	15,53
290	290000	325	0,1625	0,0008125	16,09
300	300000	341	0,1705	0,0008525	16,64
310	310000	358	0,1790	0,0008950	17,20
320	320000	378	0,1890	0,0009450	17,75
330	330000	395	0,1975	0,0009875	18,31
340	340000	416	0,2080	0,0010400	18,86

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	438	0,2190	0,0010950	19,42
360	360000	460	0,2300	0,0011500	19,97
370	370000	482	0,2410	0,0012050	20,53
380	380000	510	0,2550	0,0012750	21,08
390	390000	539	0,2695	0,0013475	21,63
400	400000	575	0,2875	0,0014375	22,19
410	410000	615	0,3075	0,0015375	22,74
420	420000	688	0,3440	0,0017200	23,30
421	421000	720	0,3600	0,0018000	23,35
420	420000	770	0,3850	0,0019250	23,30
410	410000	838	0,4190	0,0020950	22,74
400	400000	880	0,4400	0,0022000	22,19
390	390000	910	0,4550	0,0022750	21,63
380	380000	941	0,4705	0,0023525	21,08
370	370000	965	0,4825	0,0024125	20,53
360	360000	985	0,4925	0,0024625	19,97

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyemprotan *Curing Compound* 3



ASTM C-469	$(E_c \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	22368,022	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	22929,065	MPa
	$(W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	22810,448	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyemprotan *Curing Compound* Sampel 4

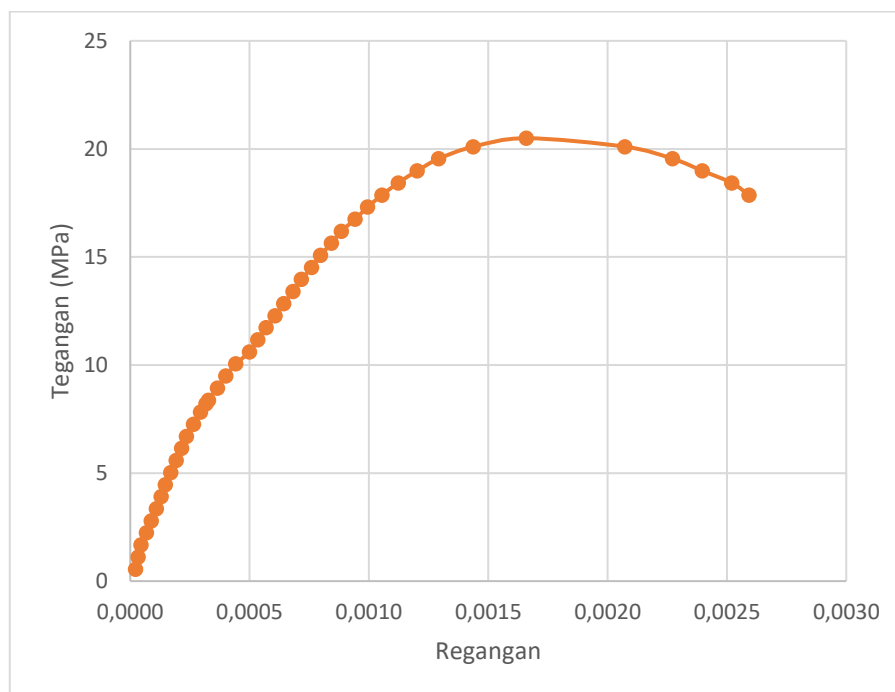
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,80 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	304 mm
Luas	17907,864 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,56
20	20000	13	0,0065	0,0000325	1,12
30	30000	18	0,0090	0,0000450	1,68
40	40000	27	0,0135	0,0000675	2,23
50	50000	35	0,0175	0,0000875	2,79
60	60000	44	0,0220	0,0001100	3,35
70	70000	52	0,0260	0,0001300	3,91
80	80000	59	0,0295	0,0001475	4,47
90	90000	68	0,0340	0,0001700	5,03
100	100000	77	0,0385	0,0001925	5,58
110	110000	86	0,0430	0,0002150	6,14

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	94	0,0470	0,0002350	6,70
130	130000	106	0,0530	0,0002650	7,26
140	140000	118	0,0590	0,0002950	7,82
147	147000	127,1	0,0636	0,0003178	8,21
150	150000	131	0,0655	0,0003275	8,38
160	160000	146	0,0730	0,0003650	8,93
170	170000	160	0,0800	0,0004000	9,49
180	180000	177	0,0885	0,0004425	10,05
190	190000	200	0,1000	0,0005000	10,61
200	200000	214	0,1070	0,0005350	11,17
210	210000	228	0,1140	0,0005700	11,73
220	220000	243	0,1215	0,0006075	12,29
230	230000	257	0,1285	0,0006425	12,84
240	240000	273	0,1365	0,0006825	13,40
250	250000	287	0,1435	0,0007175	13,96
260	260000	304	0,1520	0,0007600	14,52
270	270000	319	0,1595	0,0007975	15,08
280	280000	337	0,1685	0,0008425	15,64
290	290000	354	0,1770	0,0008850	16,19
300	300000	377	0,1885	0,0009425	16,75
310	310000	398	0,1990	0,0009950	17,31
320	320000	422	0,2110	0,0010550	17,87
330	330000	449	0,2245	0,0011225	18,43
340	340000	481	0,2405	0,0012025	18,99

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	517	0,2585	0,0012925	19,54
360	360000	575	0,2875	0,0014375	20,10
367	367000	664	0,3320	0,0016600	20,49
360	360000	829	0,4145	0,0020725	20,10
350	350000	909	0,4545	0,0022725	19,54
340	340000	959	0,4795	0,0023975	18,99
330	330000	1008	0,5040	0,0025200	18,43
320	320000	1037	0,5185	0,0025925	17,87

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyemprotan *Curing Compound* 4



ASTM C-469	$(E_c \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	23937,818	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21435,298	MPa
	$(W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	21491,515	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Penyemprotan *Curing Compound* Sampel 5

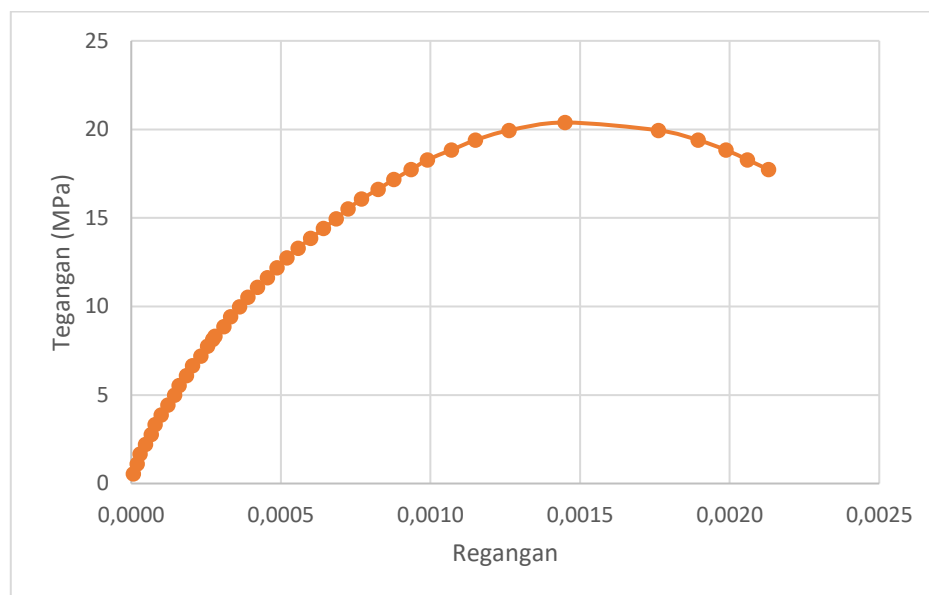
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,80 MPa
Diameter	151,6 mm
Tinggi	304,5 mm
Luas	18050,460 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,55
20	20000	8	0,0040	0,0000200	1,11
30	30000	12	0,0060	0,0000300	1,66
40	40000	19	0,0095	0,0000475	2,22
50	50000	27	0,0135	0,0000675	2,77
60	60000	32	0,0160	0,0000800	3,32
70	70000	40	0,0200	0,0001000	3,88
80	80000	49	0,0245	0,0001225	4,43
90	90000	58	0,0290	0,0001450	4,99
100	100000	64	0,0320	0,0001600	5,54
110	110000	74	0,0370	0,0001850	6,09

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	82	0,0410	0,0002050	6,65
130	130000	93	0,0465	0,0002325	7,20
140	140000	102	0,0510	0,0002550	7,76
147	147000	109	0,0545	0,0002725	8,14
150	150000	112	0,0560	0,0002800	8,31
160	160000	124	0,0620	0,0003100	8,86
170	170000	133	0,0665	0,0003325	9,42
180	180000	145	0,0725	0,0003625	9,97
190	190000	156	0,0780	0,0003900	10,53
200	200000	169	0,0845	0,0004225	11,08
210	210000	182	0,0910	0,0004550	11,63
220	220000	195	0,0975	0,0004875	12,19
230	230000	208	0,1040	0,0005200	12,74
240	240000	223	0,1115	0,0005575	13,30
250	250000	240	0,1200	0,0006000	13,85
260	260000	257	0,1285	0,0006425	14,40
270	270000	274	0,1370	0,0006850	14,96
280	280000	290	0,1450	0,0007250	15,51
290	290000	308	0,1540	0,0007700	16,07
300	300000	330	0,1650	0,0008250	16,62
310	310000	351	0,1755	0,0008775	17,17
320	320000	374	0,1870	0,0009350	17,73
330	330000	396	0,1980	0,0009900	18,28
340	340000	428	0,2140	0,0010700	18,84

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	460	0,2300	0,0011500	19,39
360	360000	505	0,2525	0,0012625	19,94
368	368000	580	0,2900	0,0014500	20,39
360	360000	705	0,3525	0,0017625	19,94
350	350000	758	0,3790	0,0018950	19,39
340	340000	795	0,3975	0,0019875	18,84
330	330000	824	0,4120	0,0020600	18,28
320	320000	852	0,4260	0,0021300	17,73

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Penyemprotan *Curing Compound* 5



ASTM C-469	$(E_c \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	26330,680	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21435,298	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	21134,101	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Tanpa Perawatan sampel 1

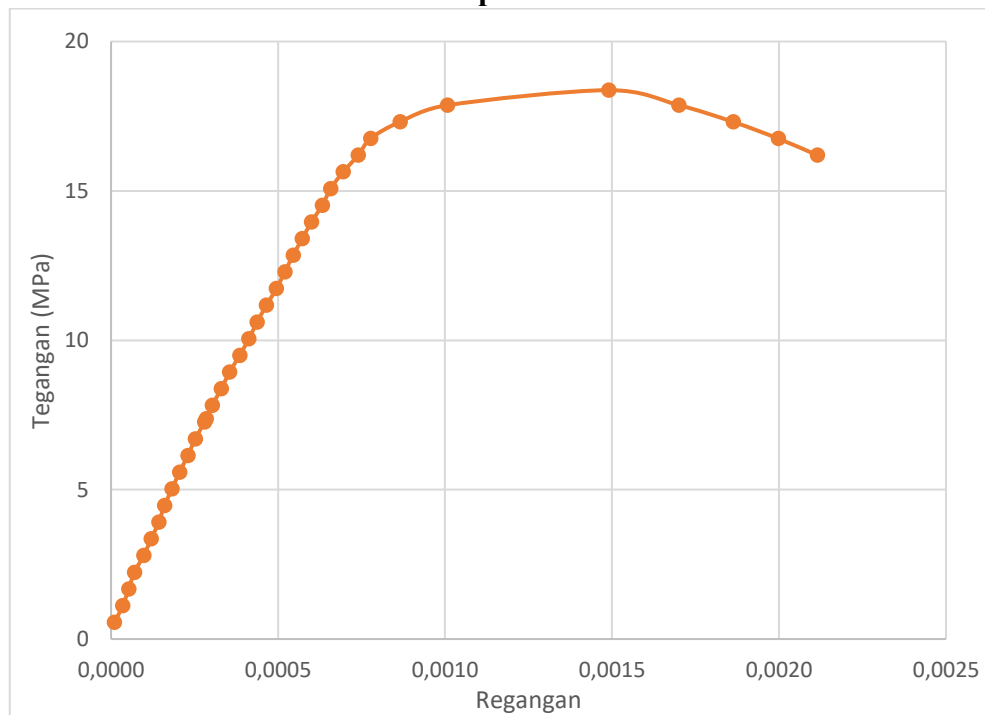
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	18,60 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	300,5 mm
Luas	17907,864 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0,002	0,00001	0,56
20	20000	14	0,007	0,00004	1,12
30	30000	21	0,011	0,00005	1,68
40	40000	28	0,014	0,00007	2,23
50	50000	39	0,020	0,00010	2,79
60	60000	48	0,024	0,00012	3,35
70	70000	57	0,029	0,00014	3,91
80	80000	64	0,032	0,00016	4,47
90	90000	73	0,037	0,00018	5,03
100	100000	82	0,041	0,00021	5,58
110	110000	92	0,046	0,00023	6,14

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	101	0,051	0,00025	6,70
130	130000	112	0,056	0,00028	7,26
132	132000	113,8	0,057	0,00028	7,37
140	140000	121	0,061	0,00030	7,82
150	150000	132	0,066	0,00033	8,38
160	160000	142	0,071	0,00036	8,93
170	170000	154	0,077	0,00039	9,49
180	180000	165	0,083	0,00041	10,05
190	190000	175	0,088	0,00044	10,61
200	200000	186	0,093	0,00047	11,17
210	210000	198	0,099	0,00050	11,73
220	220000	208	0,104	0,00052	12,29
230	230000	218	0,109	0,00055	12,84
240	240000	229	0,115	0,00057	13,40
250	250000	240	0,120	0,00060	13,96
260	260000	253	0,127	0,00063	14,52
270	270000	263	0,132	0,00066	15,08
280	280000	278	0,139	0,00070	15,64
290	290000	296	0,148	0,00074	16,19
300	300000	311	0,156	0,00078	16,75
310	310000	346	0,173	0,00087	17,31
320	320000	403	0,202	0,00101	17,87
329	329000	596	0,298	0,00149	18,37
320	320000	680	0,340	0,00170	17,87

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
310	310000	745	0,373	0,00186	17,31
300	300000	799	0,400	0,00200	16,75
290	290000	846	0,423	0,00212	16,19

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Tanpa Perawatan 1**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	24629,404	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	20270,027	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	20314,616	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Tanpa Perawatan sampel 2

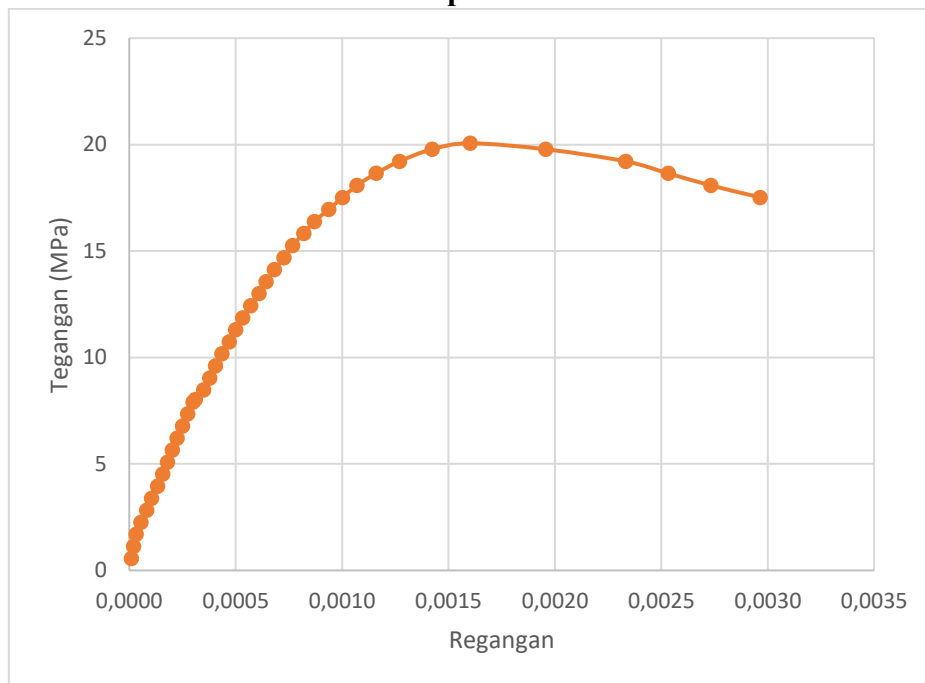
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,10 MPa
Diameter	150,1 mm
Tinggi	299,7 mm
Luas	17695,028 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	4	0,002	0,00001	0,57
20	20000	8	0,004	0,00002	1,13
30	30000	13	0,007	0,00003	1,70
40	40000	22	0,011	0,00006	2,26
50	50000	33	0,017	0,00008	2,83
60	60000	42	0,021	0,00011	3,39
70	70000	53	0,027	0,00013	3,96
80	80000	63	0,032	0,00016	4,52
90	90000	72	0,036	0,00018	5,09
100	100000	81	0,041	0,00020	5,65
110	110000	90	0,045	0,00023	6,22

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	100	0,050	0,00025	6,78
130	130000	110	0,055	0,00028	7,35
140	140000	120	0,060	0,00030	7,91
142	142000	124	0,062	0,00031	8,02
150	150000	140	0,070	0,00035	8,48
160	160000	151	0,076	0,00038	9,04
170	170000	162	0,081	0,00041	9,61
180	180000	174	0,087	0,00044	10,17
190	190000	188	0,094	0,00047	10,74
200	200000	200	0,100	0,00050	11,30
210	210000	213	0,107	0,00053	11,87
220	220000	228	0,114	0,00057	12,43
230	230000	244	0,122	0,00061	13,00
240	240000	257	0,129	0,00064	13,56
250	250000	273	0,137	0,00068	14,13
260	260000	291	0,146	0,00073	14,69
270	270000	307	0,154	0,00077	15,26
280	280000	328	0,164	0,00082	15,82
290	290000	348	0,174	0,00087	16,39
300	300000	375	0,188	0,00094	16,95
310	310000	401	0,201	0,00100	17,52
320	320000	428	0,214	0,00107	18,08
330	330000	464	0,232	0,00116	18,65
340	340000	508	0,254	0,00127	19,21

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	569	0,285	0,00142	19,78
355	355000	641	0,321	0,00160	20,06
350	350000	783	0,392	0,00196	19,78
340	340000	933	0,467	0,00233	19,21
330	330000	1013	0,507	0,00253	18,65
320	320000	1093	0,547	0,00273	18,08
310	310000	1186	0,593	0,00297	17,52

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Tanpa Perawatan 2**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1})$	22653,521	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21071,521	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	20961,087	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Tanpa Perawatan sampel 3

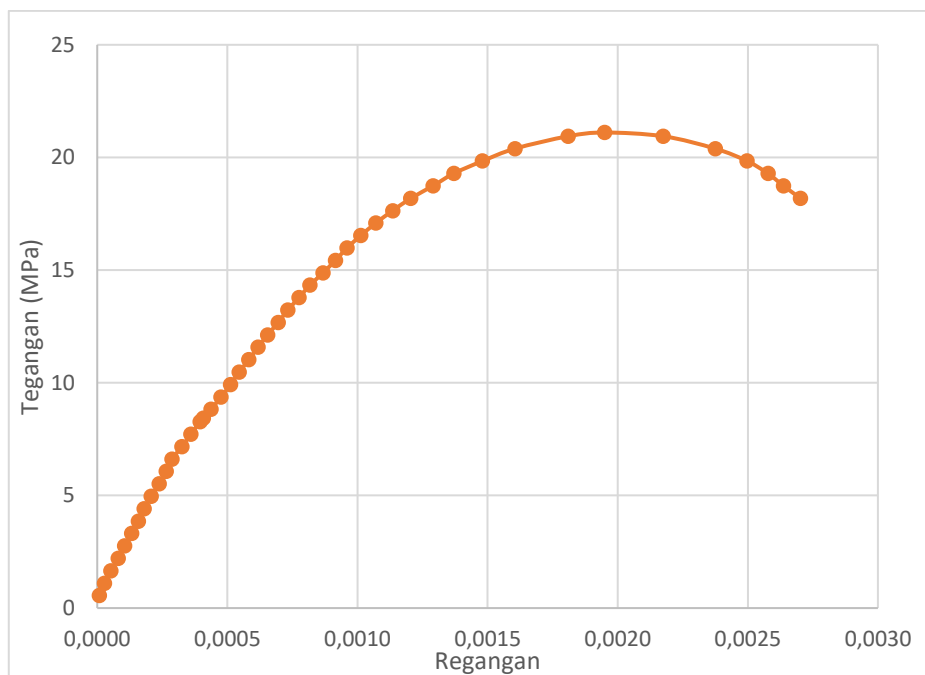
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,16 MPa
Diameter	152 mm
Tinggi	300 mm
Luas	18145,839 mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,55
20	20000	11	0,0055	0,0000275	1,10
30	30000	21	0,0105	0,0000525	1,65
40	40000	32	0,0160	0,0000800	2,20
50	50000	42	0,0210	0,0001050	2,76
60	60000	53	0,0265	0,0001325	3,31
70	70000	63	0,0315	0,0001575	3,86
80	80000	72	0,0360	0,0001800	4,41
90	90000	83	0,0415	0,0002075	4,96
100	100000	95	0,0475	0,0002375	5,51
110	110000	106	0,0530	0,0002650	6,06

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	115	0,0575	0,0002875	6,61
130	130000	130	0,0650	0,0003250	7,16
140	140000	144	0,0720	0,0003600	7,72
150	150000	158	0,0790	0,0003950	8,27
153	153000	163,1	0,0816	0,0004078	8,43
160	160000	175	0,0875	0,0004375	8,82
170	170000	190	0,0950	0,0004750	9,37
180	180000	205	0,1025	0,0005125	9,92
190	190000	218	0,1090	0,0005450	10,47
200	200000	233	0,1165	0,0005825	11,02
210	210000	247	0,1235	0,0006175	11,57
220	220000	262	0,1310	0,0006550	12,12
230	230000	278	0,1390	0,0006950	12,68
240	240000	293	0,1465	0,0007325	13,23
250	250000	310	0,1550	0,0007750	13,78
260	260000	327	0,1635	0,0008175	14,33
270	270000	347	0,1735	0,0008675	14,88
280	280000	366	0,1830	0,0009150	15,43
290	290000	384	0,1920	0,0009600	15,98
300	300000	405	0,2025	0,0010125	16,53
310	310000	428	0,2140	0,0010700	17,08
320	320000	454	0,2270	0,0011350	17,63
330	330000	482	0,2410	0,0012050	18,19
340	340000	516	0,2580	0,0012900	18,74

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	548	0,2740	0,0013700	19,29
360	360000	592	0,2960	0,0014800	19,84
370	370000	642	0,3210	0,0016050	20,39
380	380000	724	0,3620	0,0018100	20,94
383	383000	780	0,3900	0,0019500	21,11
380	380000	870	0,4350	0,0021750	20,94
370	370000	950	0,4750	0,0023750	20,39
360	360000	999	0,4995	0,0024975	19,84
350	350000	1031	0,5155	0,0025775	19,29
340	340000	1055	0,5275	0,0026375	18,74
330	330000	1081	0,5405	0,0027025	18,19

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Tanpa Perawatan 3**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	19101,391	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21618,143	MPa
	$(W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	21566,820	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Tanpa Perawatan sampel 4

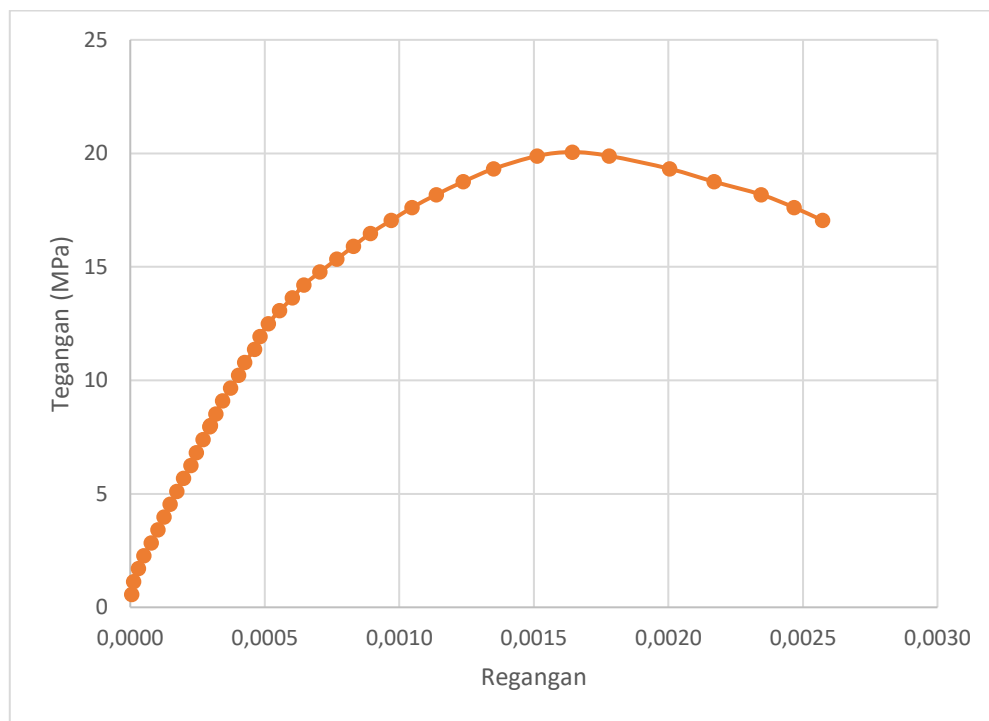
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	4
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,00 MPa
Diameter	149,7 mm
Tinggi	302,4 mm
Luas	17600,844mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	5	0,003	0,000013	1,14
30	30000	12	0,006	0,000030	1,70
40	40000	20	0,010	0,000050	2,27
50	50000	31	0,016	0,000078	2,84
60	60000	41	0,021	0,000103	3,41
70	70000	50	0,025	0,000125	3,98
80	80000	59	0,030	0,000148	4,55
90	90000	69	0,035	0,000173	5,11
100	100000	79	0,040	0,000198	5,68
110	110000	90	0,045	0,000225	6,25

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	98	0,049	0,000245	6,82
130	130000	108	0,054	0,000270	7,39
140	140000	118	0,059	0,000295	7,95
141	141000	118,9	0,059	0,000297	8,01
150	150000	127	0,064	0,000318	8,52
160	160000	137	0,069	0,000343	9,09
170	170000	149	0,075	0,000373	9,66
180	180000	161	0,081	0,000403	10,23
190	190000	170	0,085	0,000425	10,79
200	200000	185	0,093	0,000463	11,36
210	210000	193	0,097	0,000483	11,93
220	220000	205	0,103	0,000513	12,50
230	230000	222	0,111	0,000555	13,07
240	240000	241	0,121	0,000603	13,64
250	250000	258	0,129	0,000645	14,20
260	260000	282	0,141	0,000705	14,77
270	270000	307	0,154	0,000768	15,34
280	280000	332	0,166	0,000830	15,91
290	290000	357	0,179	0,000893	16,48
300	300000	388	0,194	0,000970	17,04
310	310000	419	0,210	0,001048	17,61
320	320000	455	0,228	0,001138	18,18
330	330000	495	0,248	0,001238	18,75
340	340000	540	0,270	0,001350	19,32

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	605	0,303	0,001513	19,89
353	353000	657	0,329	0,001643	20,06
350	350000	712	0,356	0,001780	19,89
340	340000	802	0,401	0,002005	19,32
330	330000	868	0,434	0,002170	18,75
320	320000	938	0,469	0,002345	18,18
310	310000	987	0,494	0,002468	17,61
300	300000	1029	0,515	0,002573	17,04

**Grafik Modulus Elastisitas
Metode Tanpa Perawatan 4**



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2 - s_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1})$	23208,742	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	21019,039	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	20911,582	MPa

Modulus Elastisitas Beton Metode Tanpa Perawatan sampel 5

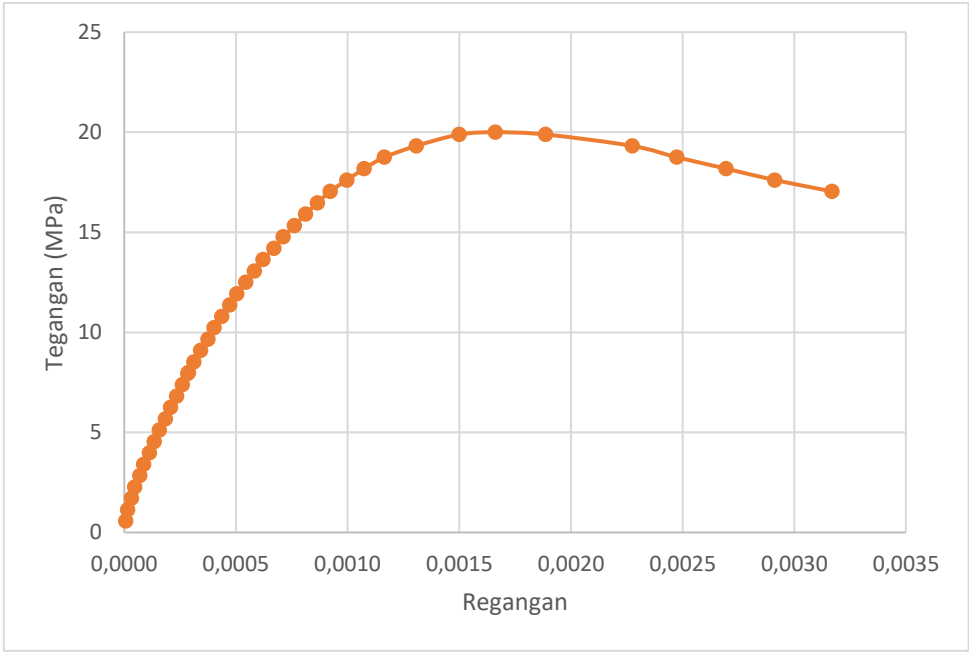
Data Sampel	
Metode Perawatan	Perendaman
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	5
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	19,90 MPa
Diameter	149,7 mm
Tinggi	300,6 mm
Luas	17600,844mm ²
L ₀	200,0 mm

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,0000075	0,57
20	20000	6	0,0030	0,0000150	1,14
30	30000	13	0,0065	0,0000325	1,70
40	40000	19	0,0095	0,0000475	2,27
50	50000	28	0,0140	0,0000700	2,84
60	60000	35	0,0175	0,0000875	3,41
70	70000	45	0,0225	0,0001125	3,98
80	80000	54	0,0270	0,0001350	4,55
90	90000	63	0,0315	0,0001575	5,11
100	100000	74	0,0370	0,0001850	5,68
110	110000	83	0,0415	0,0002075	6,25

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ϵ	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
120	120000	94	0,0470	0,0002350	6,82
130	130000	104	0,0520	0,0002600	7,39
140	140000	114	0,0570	0,0002850	7,95
141	140800	114,88	0,0574	0,0002872	8,00
150	150000	125	0,0625	0,0003125	8,52
160	160000	137	0,0685	0,0003425	9,09
170	170000	150	0,0750	0,0003750	9,66
180	180000	161	0,0805	0,0004025	10,23
190	190000	175	0,0875	0,0004375	10,79
200	200000	189	0,0945	0,0004725	11,36
210	210000	202	0,1010	0,0005050	11,93
220	220000	218	0,1090	0,0005450	12,50
230	230000	233	0,1165	0,0005825	13,07
240	240000	249	0,1245	0,0006225	13,64
250	250000	268	0,1340	0,0006700	14,20
260	260000	285	0,1425	0,0007125	14,77
270	270000	305	0,1525	0,0007625	15,34
280	280000	325	0,1625	0,0008125	15,91
290	290000	346	0,1730	0,0008650	16,48
300	300000	369	0,1845	0,0009225	17,04
310	310000	399	0,1995	0,0009975	17,61
320	320000	430	0,2150	0,0010750	18,18
330	330000	466	0,2330	0,0011650	18,75
340	340000	523	0,2615	0,0013075	19,32

Beban (P)		Pembacaan dial, $\Delta L'$ (μm)	Deformasi, ΔL (mm)	Regangan, ε	Tegangan, σ (MPa)
kN	N				
350	350000	600	0,3000	0,0015000	19,89
352	352000	665	0,3325	0,0016625	20,00
350	350000	755	0,3775	0,0018875	19,89
340	340000	910	0,4550	0,0022750	19,32
330	330000	990	0,4950	0,0024750	18,75
320	320000	1078	0,5390	0,0026950	18,18
310	310000	1165	0,5825	0,0029125	17,61
300	300000	1268	0,6340	0,0031700	17,04

Grafik Modulus Elastisitas
Metode Tanpa Perawatan 5



ASTM C-469	$(E_c \frac{s_2-s_1}{\epsilon_2-\epsilon_1})$	23878,035	MPa
SNI 2847-2019	$(4700 \times \sqrt{f'c})$	20966,426	MPa
	$(W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c})$	21279,015	MPa

Lampiran 7 Dokumentasi Material Penelitian



Gambar L-7.1 Semen



Gambar L-7.2 Curing compound Consol Cure S



Gambar L-7.3 Agregat halus



Gambar L-7.4 Agregat kasar

Lampiran 8 Dokumentasi Peralatan Penelitian



Gambar L-8.1 Gelas ukur



Gambar L-8.2 Piknometer



Gambar L-8.3 Timbangan digital



Gambar L-8.4 Saringan agregat kasar



Gambar L-8.5 Saringan agregat halus



Gambar L-8.6 Mesing pengguncang agregat halus



Gambar L-8.7 Mesing pengguncang agregat kasar



Gambar L-8.8 Oven binder



Gambar L-8.9 Jangka sorong



Gambar L-8.10 Sekop



Gambar L-8.11 Ember



Gambar L-8.12 Concrete mixer



Gambar L-8.13 Kerucut abrams



Gambar L-8.14 Cetakan silinder



Gambar L-8.15 Cetakan balok



Gambar L-8.16 Alat *capping*



Gambar L-8.17 *Compression testing machine tipe ADR 3000*



Gambar L-8.18 *Universal testing machine (UTM)*