

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENAMBAHAN 2% LIMBAH KARET PADAT DARI BERAT BETON NORMAL

***(ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON CONCRETE
CHARACTERISTICS WITH AN ADDITION OF 2% RUBBER
SOLID WASTE FROM THE WEIGHT OF NORMAL CONCRETE)***

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



**Muhammad Taufan Firdaus
12511394**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK BETON DENGAN PENAMBAHAN 2% LIMBAH KARET PADAT DARI BERAT BETON NORMAL (ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON CONCRETE CHARACTERISTICS WITH AN ADDITION OF 2% RUBBER SOLID WASTE FROM THE WEIGHT OF NORMAL CONCRETE)

Disusun oleh

Muhammaad Taufan Firdaus
12511394

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

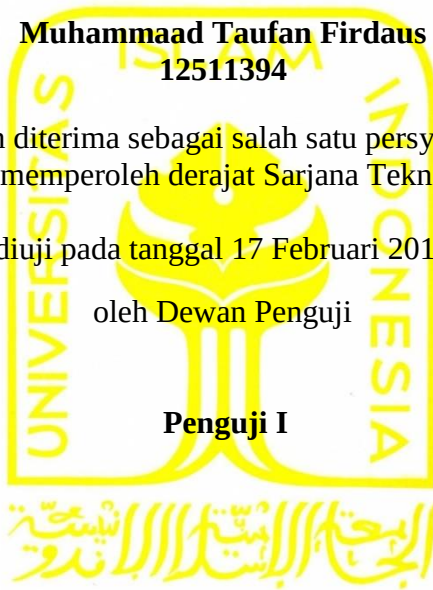
diuji pada tanggal 17 Februari 2017

oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Penguji I

Penguji II



Atika Ulfah J, S.T., M.Eng., M.T Helmy Akbar B, Ir., M.T Yunalia Muntafi, S.T., M.T

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul Fauziah, S.T, M.T, Ph.D

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, 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, Januari 2017

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Taufan Firdaus
(12511394)



Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu..
Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah.. Bacalah, dan Tuhanmulah yang maha mulia..
Yang mengajar manusia dengan pena..
Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya.. (QS: Al-'Alaq 1-5)
Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan.. ? (QS: Ar-Rahman 13)
Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang
diberi ilmu beberapa derajat.. (QS : Al-Mujadilah 11)

Ya Allah,
Waktu yang sudah kujalani dengan jalan hidup yang sudah menjadi takdirku, sedih, bahagia, dan
bertemu orang-orang yang memberiku sejuta pengalaman bagiku,
yang telah memberi warna-warni kehidupanku. Kubersujud dihadapan Mu,
Engaku berikan aku kesempatan untuk bisa sampai
Di penghujung awal perjuanganku
Segala Puji bagi Mu ya Allah.

Alhamdulillah..Alhamdulillah..Alhamdulillahirobbil'alamin..
Sujud syukurku kusembahkan kepadamu Tuhan yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan
Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdir-Mu telah Engkau jadikan aku manusia yang senantiasa
berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini
menjadi satu langkah awal bagiku untuk meraih cita-cita besarku.

Untukmu Ayah dan Ibu.. Terimakasih....
"Kami akan berusaha taat dan menjadi anak-anakmu yang sholeh-sholehah"
... we always loving you...

Dalam setiap langkahku aku berusaha mewujudkan harapan-harapan yang kalian impikan
didiriku, meski belum semua itu kuraih' insyaAllah atas dukungan do'a dan restu semua mimpi itu
kan terjawab di masa penuh kehangatan nanti.

Untukmu Kakak dan Adik-Adikku.. Kalian adalah kakak dan adik yang baik,
"Carilah akhirat, karena seringkali kita melihat orang-orang yang mengejar akhirat juga mendapatkan dunia"
... i love you all ...

Untukmu sahabat..
"Hidupku terlalu berat untuk mengandalkan diri sendiri tanpa melibatkan bantuan Tuhan dan orang lain.
Tak ada tempat terbaik untuk berkeluh kesah selain bersama sahabat-sahabat terbaik"..

Untuk ribuan tujuan yang harus dicapai, untuk jutaan impian yang akan dikejar, untuk sebuah
pengharapan, agar hidup jauh lebih bermakna, hidup tanpa mimpi ibarat arus sungai. Mengalir
tanpa tujuan. Teruslah belajar, berusaha, dan berdoa untuk menggapainya.

Jatuh berdiri lagi. Kalah mencoba lagi. Gagal Bangkit lagi.

Never give up!
Sampai Allah SWT berkata "waktunya pulang"

Hanya sebuah karya kecil dan untaian kata-kata ini yang dapat
kupersembahkan kepada kalian semua,, Terimakasih beribu terimakasih kuucapkan..
Atas segala kekhilafan salah dan kekuranganku,
kurendahkan hati serta diri menjabat tangan meminta beribu-ribu kata maaf tercurah.
Skripsi ini kupersembahkan.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah *aahirabbil'aalamiin*. Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhaanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam*, yang telah membawa kita dari zaman ke jahiliyyahan menuju ke zaman yang terang-benderang dengan ilmu pengetahuan.

Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Atas kelancaran selama penulisan, maupun penyelesaian dalam menulis Tugas Akhir. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah *Subhaanahu Wa Ta'ala* atas semua karunia dan limpahan kasih sayang-Nya.
2. Rasulullah Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam*, teladan terbaik sepanjang masa.
3. Kedua orang tua, kakak, adik-adik, dan keluargaku yang telah memberikan do'a dan dukungannya.
4. Bapak Dr. Ir. Harsoyo, M.Sc selaku rektor Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Dr.-Ing.Ir.Widodo, M.Sc. selaku dekan FTSP UII.
6. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua jurusan Teknik Sipil FTSP UII.
7. Ibu Atika Ulfah Jamal, S.T, M.Eng, M.T selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan.
8. Bapak Helmy Akbar Bale, Ir., M.T dan Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T Selaku dosen penguji Tugas Akhir saya.

9. Bapak Laboran Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, FTSP, UII dan Laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan, FT, UGM yang telah memberikan izin dan membantu dalam proses pembuatan dan pengujian sampel penelitian.
10. Pihak PT. Perkebunan Nusantara IX (Persero) Divisi Tanaman Tahunan Kebun Karet Ngobo di Desa Wringin Putih, Kec. Bergas, Kab. Semarang yang telah memberikan izin dan membantu dalam proses pengambilan data limbah karet.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu dalam proses pelaksanaan penelitian.

Laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan banyak manfaat bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya..

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Januari 2017

Penulis,

Muhammad Taufan Firdaus

12511394

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	5
1.3 TUJUAN PENELITIAN	6
1.4 MANFAAT PENELITIAN	6
1.5 BATASAN PENELITIAN	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 BETON	9
2.2 BETON SERAT	10
2.3 SIFAT BETON PASCABAKAR	10
2.4 LIMBAH KARET PADAT	11
2.5 KARAKTERISTIK KEKUATAN BETON	12
2.6 PENELITIAN TERDAHULU	12
2.7 PERBANDINGAN PENELITIAN	15
2.8 KEASLIAN PENELITIAN	17

BAB III	LANDASAN TEORI	18
3.1	MATERIAL PENYUSUN BETON SERAT	18
3.3.1	Semen Portland (<i>Portland Cement</i>)	18
3.3.2	Agregat	21
3.3.3	Air	23
3.3.4	Limbah Karet	24
3.2	KUAT TEKAN BETON	30
3.3	KUAT TARIK BELAH BETON	31
3.4	MODULUS ELASTISITAS BETON	31
3.5	TEKNIK PEMBAKARAN	34
3.6	HIPOTESIS	35
3.7	PERHITUNGAN MIX DESIGN	36
BAB IV	METODOLOGI PENELITIAN	44
4.1	TINJAUAN UMUM	44
4.2	BENDA UJI	44
4.3	TAHAPAN PENELITIAN	45
4.3.1	Tahap I (Persiapan)	48
4.3.2	Tahap II (Pengujian Agregrat)	48
4.3.3	Tahap III (Perhitungan Rencana Campuran)	62
4.3.4	Tahap IV (Pembuatan dan Perawatan Benda Uji)	62
4.3.5	Tahap V (Pengujian Utama)	66
4.3.6	Tahap VI (Analisis Data)	71
4.3.7	Tahap VII (Kesimpulan)	72
BAB V	DATA, ANALISI DAN PEMBAHASAN	73
5.1	HASIL PENGUJIAN AGREGRAT	73
5.1.1	Hasil Pengujian Agregrat Halus	73
5.1.2	Hasil Pengujian Agregrat Kasar	82
5.2	PERHITUNGAN RENCANA CAMPURAN BETON	89
5.3	PENGUJIAN BERAT VOLUME BETON	96
5.4	PENGUJIAN KUAT DESAK BETON	103
5.5	PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON	110

5.6 PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON	118
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	126
6.1 KESIMPULAN	126
6.2 SARAN	127
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	xx

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Produksi Karet Alam Indonesia 2009-2014 (Ribuan Ton)	3
Tabel 2.1	Perbandingan dan Perbedaan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Saat Ini Dilakukan	16
Tabel 3.1	Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan dan Deviasi Standar	36
Tabel 3.2	Nilai Deviasi Standar untuk berbagai tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	36
Tabel 3.3	Faktor Pengali (k) Deviasi Standar	37
Tabel 3.4	Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan FAS = 0,5	37
Tabel 3.5	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pementan Dalam Lingkungan Khusus	39
Tabel 3.6	Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton	40
Tabel 4.1	Perincian Benda Uji	63
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	73
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 1	75
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 2	75
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus	79
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus	79
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)	81
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	82
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 1	84
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 2	84
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar	87

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar	87
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Rencana Campuran Beton	95
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton Tanpa Serat	97
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton Dengan Serat 2%	99
Tabel 5.15 Perbandingan Berat Volume Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	101
Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Desak Rata-Rata Beton Tanpa Serat	104
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Desak Rata-Rata Beton Dengan Serat 2%	106
Tabel 5.18 Perbandingan Kuat Desak Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	108
Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Rata-Rata Beton Tanpa Serat	111
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Rata-Rata Beton Dengan Serat 2%	113
Tabel 5.21 Perbandingan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	115
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton Tanpa Serat	118
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton Dengan Serat 2%	120
Tabel 5.24 Perbandingan Modulus Elastisitas Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gumpalan Limbah Karet Padat	5
Gambar 3.1	Proses Pengolahan Karet Jenis RSS	26
Gambar 3.2	Kurva Tegangan-Regangan Tipikal Beton	33
Gambar 3.3	Posisis Benda Uji di dalam Tungku	35
Gambar 3.4	Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen (FAS). (Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm × Tinggi 300 mm)	38
Gambar 3.5	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm	41
Gambar 3.6	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm	41
Gambar 3.7	Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan	42
Gambar 4.1	Bagan Alir Penelitian	47
Gambar 4.2	Benda Uji dan Alat <i>Kompresometer - Ekstensionmeter</i>	70
Gambar 5.1	Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 1	78
Gambar 5.2	Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 2	78
Gambar 5.3	Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Sampel 1	86
Gambar 5.4	Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Sampel 2	86
Gambar 5.5	Nilai FAS saat f_{cr} (32 MPa)	90
Gambar 5.6	Nilai Persentase Agregat Halus	92
Gambar 5.7	Nilai Berat Isi Beton	93
Gambar 5.8	Hubungan Berat Volume Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur	97
Gambar 5.9	Hubungan Berat Volume Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur	99

Gambar 5.10	Perbandingan Berat Volume Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	102
Gambar 5.11	Hubungan Kuat Desak Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur	104
Gambar 5.12	Hubungan Kuat Desak Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur	106
Gambar 5.13	Perbandingan Kuat Desak Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	108
Gambar 5.14	Hubungan Kuat Tarik Belah Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur	111
Gambar 5.15	Hubungan Kuat Tarik Belah Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur	113
Gambar 5.16	Perbandingan Kuat Tarik Belah Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	115
Gambar 5.17	Hubungan Modulus Elastisitas Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur	119
Gambar 5.18	Hubungan Modulus Elastisitas Beton Serat 2% Dengan Pengaruh Temperatur	121
Gambar 5.19	Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Beton Tanpa Serat Dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama	123

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Analisis Perhitungan Pengujian Beton
- Lampiran 2 Perhitungan Modulus Elastisitas
- Lampiran 3 Dokumentasi Pelaksanaan

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

GAPKINDO	: Gabungan Perusahaan Karet Indonesia
RSS	: <i>Ribbed Smoked Sheet</i>
PCC	: <i>Portland Cement Composite</i>
PC	: <i>Portland Cement</i>
OPC	: <i>Ordinary Portland Cement</i>
BOD	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
pH	: Derajat Keasaman
P	: Beban tekan maksimum
A	: Luas permukaan benda
L	: Panjang benda
D	: Diameter benda
t	: Tinggi benda
V	: Volume benda
W	: Berat benda
σ	: Tegangan
ϵ	: Regangan
f'_c	: Kuat desak beton
f_{cr}	: Kuat desak beton yang ditargetkan
f_t	: Kuat tarik belah
E_c	: Modulus elastisitas
Sd	: Standar deviasi
k	: Faktor pengali standar deviasi
M	: Nilai tambah untuk kuat desak rencana
FAS	: Faktor Air Semen
SSD	: <i>Saturated Surface Dry</i>
MHB	: Modulus Halus Butir

ABSTRAK

Beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik dikarenakan sifat beton yang lebih getas dibandingkan struktur bangunan lainnya. Selain itu, pada dasarnya beton merupakan bahan yang tahan api. Namun pada saat terjadi perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran, perubahan temperatur akan berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur. Oleh karena itu diperlukan suatu inovasi pencampuran beton dengan bahan tambah serat yang elastis salah satunya limbah karet dan pemberian temperatur pada beton karet tersebut. Diharapkan dengan pemberian temperatur, limbah karet dapat meleleh dan mengisi rongga-rongga, sehingga beton menjadi lebih padat dan memiliki karakteristik yang baik. Dalam penelitian ini penambahan limbah karet sebanyak 2% dari berat beton normal yang berupa potongan-potongan kecil dengan ukuran antara 5-15 mm. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat desak, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton dengan penambahan serat tersebut pasca diberi pengaruh temperatur.

Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan perhitungan campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat desak rencana 20 MPa. Pembakaran dilakukan selama $\pm$ 3 jam dalam tungku pembakaran pada temperatur 0°C - 400°C dengan interval kenaikan 100°C . Pembakaran dilakukan saat sampel beton berumur 28 hari, sedangkan pengujian dilakukan saat sampel beton berumur lebih dari 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat limbah karet padat sebanyak 2% dari berat beton normal pada campuran beton mengakibatkan penurunan kuat desak, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian kuat desak beton mengalami penurunan berturut-turut dari temperatur 0°C sampai dengan 400°C sebesar 25,079%; 41,463%; 9,501%; 30,685%; dan 33,739% dari beton tanpa serat dengan temperatur yang sama. Hasil pengujian kuat tarik belah beton mengalami penurunan berturut-turut dari temperatur 0°C sampai dengan 400°C sebesar 9,217%; 15,586%; 8,542%; 25,258%; dan 29,917% dari beton tanpa serat dengan temperatur yang sama. Hasil pengujian modulus elastisitas beton mengalami penurunan berturut-turut dari temperatur 0°C sampai dengan 400°C sebesar 18,167%; 10,883%; 2,227%; 15,279%; dan 22,548% dari beton tanpa serat dengan temperatur yang sama.

Kata kunci: Beton, Limbah karet padat, Temperatur, Kuat desak, Kuat tarik belah, Modulus elastisitas.

ABSTRACT

Concrete has a weakness in tensile strength because the nature of concrete is more brittle than other building structures. Moreover, basically concrete is a fire-resistant materials. However, when happen of temperature changes is quite high, as happens in fire events, temperature changes will be affect the structural elements. Therefore we need a concrete mixing innovation with added elastic fiber material such as rubber waste and giving temperature on the rubber concrete. Expected by administering temperature, rubber waste can melt and fill cavities, so that the concrete becomes more dense and has good characteristics. In this research an addition of rubber waste as much as 2% of the weight of normal concrete, in the form of small pieces with a size between 5-15 mm. Tests conducted to determine the value of a compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity of concrete with the addition of the fiber post by the influence of temperature.

Calculations of concrete mix design using the calculation of normal concrete mix (SNI 03-2834-2000) with compressive strength the plan 20 MPa. Combustion is done for ± 3 hours in a furnace at a temperature of 0°C - 400°C to 100°C rise interval. Combustion is done when the concrete samples aged 28 days, while the test is done when the concrete samples older than 28 days.

The results showed that the addition of solid rubber waste fiber as much as 2% of the weight of normal concrete in the concrete mix resulted in a reduction in a compressive strength, split tensile strength and modulus of elasticity of concrete. The test results compressive strength concrete decreased successively from 0°C up to 400°C temperature of 25.079%; 41.463%; 9.501%; 30.685%; and 33.739% of the concrete without fibers with the same temperature. Results of testing the split tensile strength of concrete decreased sides respectively from the temperature 0°C up to 400°C of 9.217%; 15.586%; 8.542%; 25.258%; and 29.917% of the concrete without fibers with the same temperature. The test results of concrete elastic modulus decreased successively from 0°C up to 400°C temperature of 18.167%; 10.883%; 2.227%; 15.279%; and 22.548% of the concrete without fibers with the same temperature.

Keywords: Concrete, Solid waste rubber, Temperature, Compressive strength, Split tensile strength, Modulus of elasticity.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan pesatnya pembangunan infrastruktur bangunan di Indonesia, teknologi beton mempunyai andil yang besar dalam proses pembangunan infrastruktur tersebut. Hal ini dikarenakan beton mempunyai karakteristik yang cocok untuk digunakan sebagai struktur bangunan. Mudahnya beton untuk dibuat dalam berbagai macam bentuk sesuai kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang besar dan tahan terhadap temperatur merupakan sebagian besar dari kelebihan beton. Selain itu juga dikarenakan material-material penyusun beton seperti semen *portland*, pasir, kerikil dan air dapat diperoleh dengan mudah di Indonesia.

Musibah kebakaran pada lingkungan kita sering terjadi, terutama pada bangunan–bangunan yang kurang memperhatikan faktor keamanan tentang kebakaran sehingga kerugian material maupun psikologi tidak dapat dihindari. Api kebakaran yang tidak dikendalikan, akan berkembang menurut periode–periodenya yaitu periode pertumbuhan (*growth*), periode kebakaran tetap (*steddy combustion*) dan periode menghilang (*decay*). Pada periode pertumbuhan suhu yang timbul masih rendah, jarang melebihi 250°C. Pada periode pembakaran tetap, suhu meningkat dengan cepat dan dapat mencapai suhu lebih dari 1000°C, tergantung pada jenis dan banyaknya bahan yang dapat terbakar. Pada suhu ruangan gedung yang terbakar, suhu maksimum yang dapat dicapai adalah sekitar 1200°C.

Secara struktural beton memiliki kekuatan yang cukup besar dalam menahan gaya tekan (desak) dibandingkan struktur bahan bangunan yang lainnya seperti baja dan kayu. Namun beton memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik dikarenakan sifat beton yang lebih getas dibandingkan struktur bangunan lainnya. Pada dasarnya beton merupakan bahan yang tahan api. Namun pada saat terjadi perubahan temperatur yang cukup tinggi, seperti yang terjadi pada peristiwa kebakaran,

perubahan temperatur akan berpengaruh terhadap elemen-elemen struktur. Karena pada proses tersebut akan terjadi suatu siklus pemanasan dan pendinginan yang bergantian, yang akan menyebabkan adanya perubahan fase fisis dan kimiawi secara kompleks, hal ini akan mempengaruhi kualitas/kekuatan struktur beton tersebut dan akan menyebabkan beton menjadi getas. Sehingga pada bangunan yang mengalami kebakaran dengan struktur utamanya menggunakan beton dan pasca kebakaran bangunan seringkali tidak layak untuk dipakai. Karena sifat beton yang getas tersebut akan menyebabkan keretakan pada beton ketika menerima gaya tarik yang cukup besar, sehingga perlu dilakukan beberapa inovasi untuk memberikan kekuatan tarik pada beton tersebut untuk mencegah terjadinya keretakan pada saat beton menerima gaya tarik. Sifat beton yang getas juga akan mengurangi tingkat keelastisitasan beton, karena semakin getas beton maka tingkat keelastisitasan beton juga akan berkurang dalam menahan beban tumbukan sesaat. Salah satu cara untuk memberikan kekuatan tarik yang lebih kepada beton adalah dengan menambahkan serat pada campuran beton, yang sering disebut juga sebagai beton serat.

Berbicara mengenai keelastisitasan, maka salah satu bahan yang mempunyai keunggulan karena keelastisitasannya adalah karet. Ada dua tipe karet yang dikenal luas, karet alam dan karet sintetis. Karet alam dibuat dari getah (lateks) dari pohon karet, sementara tipe sintetis dibuat dari minyak mentah.

Karet merupakan salah satu komoditas andalan di Indonesia. Hal ini terlihat dari jumlah produksi karet alam Indonesia yang menempati urutan kedua di dunia yang mencapai 3.200.000 ton (Gapkindo, 2014) dan setiap tahunnya mengalami peningkatan. Data dari GAPKINDO (Gabungan Perusahaan Karet Indonesia) menunjukkan adanya peningkatan jumlah produksi karet alam Indonesia dari tahun 2009 sampai ke tahun 2014. Tabel 1.1 berikut ini merupakan jumlah produksi karet alam Indonesia dari tahun 2009 sampai dengan 2014 yang diperoleh dari GAPKINDO.

Tabel 1.1 Produksi Karet Alam Indonesia 2009-2014 (Ribuan Ton)

Perkebunan	2009	2010	2011	2012	2013*	2014**
Karet Rakyat	1.942	2.179	2.360	2.377	2.437	2.514
B U M N	239	266	302	305	322	331
Swasta	259	289	328	330	349	359
Total Produksi	2.440	2.735	3.990	3.012	3.108	3.205

*) Perkiraan **) Prediksi

Sumber: *Statistik Perkebunan Karet Indonesia, 2007-2009, 2010-2012, 2011-2013, 2012-2014, Direktorat Jenderal Perkebunan, Indonesia 2014*

Hasil produksi karet alam Indonesia tersebut juga berbanding lurus dengan jumlah ekspor karet alam Indonesia. Jumlah ekspor karet alam Indonesia menurut data dari GAPKINDO berturut-turut dari tahun 2008 sampai ke tahun 2015 adalah 2.300.000 ton, 1.990.000 ton, 2.200.000 ton, 2.550.000 ton, 2.800.000 ton, 2.700.000 ton, 2.600.000 ton, dan 2.300.000 ton. Dengan banyaknya jumlah ekspor karet dari Indonesia, maka perkebunan karet terus berkembang dan banyak tersebar di beberapa daerah di Indonesia. Berdasarkan data dari GAPKINDO dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 terjadi peningkatan pada luas perkebunan karet yang ada di seluruh Indonesia. Tabel 1.2 berikut ini merupakan data luas perkebunan karet Indonesia dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 yang diperoleh dari GAPKINDO.

Tabel 1.2 Luas Perkebunan Karet Indonesia 2009-2014 (Ribuan Hektar)

Perkebunan	2009	2010	2011	2012	2013*	2014**
Karet Rakyat	2.912	2.922	2.932	2.978	3.016	3.063
B U M N	239	239	257	259	261	264
Swasta	284	284	267	269	279	279
Total Produksi	3.435	3.445	3.456	3.506	3.556	3.606

*) Perkiraan **) Prediksi

Sumber: *Statistik Perkebunan Karet Indonesia, 2007-2009, 2010-2012, 2011-2013, 2012-2014, Direktorat Jenderal Perkebunan, Indonesia 2014*

Dengan begitu pesatnya perkembangan komoditas karet di Indonesia, maka pabrik-pabrik pengolahan karet alam pun terus berkembang dan bertambah banyak.

Setiap pabrik menghasilkan sisa-sisa produksi berupa limbah yang tentunya jika tidak diolah secara baik dapat mencemari lingkungan sekitar. Limbah karet tersebut belum banyak dimanfaatkan, sehingga limbah pun tidak memiliki nilai. Untuk meminimalisir dampak dari tercemarnya lingkungan sekitar akibat limbah tersebut, maka limbah harus dimanfaatkan sedemikian rupa sehingga limbah bukan hanya sebagai bahan sisa yang tidak memiliki nilai, akan tetapi limbah dapat dimanfaatkan sebagai sesuatu yang memiliki nilai.

Pengaruh temperatur juga akan diperhatikan dalam eksperimen ini untuk mengetahui tingkat kelelahan karet sebagai bahan tambah pada campuran beton. Selain itu juga untuk mengetahui karakteristik kekuatan campuran beton. Karena salah satu tantangan yang dihadapi para ahli struktur (teknik sipil) adalah bagaimana menaksir temperatur tertinggi yang pernah dialami elemen bangunan pada saat kebakaran terjadi dan kekuatan sisa bangunan pasca kebakaran.

Limbah karet padat yang digunakan merupakan gumpalan karet yang menggumpal di atas permukaan limbah cair, berasal dari hasil pengolahan karet alam untuk diolah menjadi *Ribbed Smoked Sheet* (RSS), yang sebelumnya hanya dikumpulkan untuk dijual lagi kepada pengumpul. Limbah diambil dari pabrik pengolahan karet milik PT. Perkebunan Nusantara IX (Persero) Divisi Tanaman Tahunan Kebun Karet Ngobo di Desa Wringin Putih, Kec. Bergas, Kabupaten Semarang. Gambar 1.1 berikut merupakan limbah karet yang akan digunakan dalam penelitian.



Gambar 1.1 Gumpalan Limbah Karet Padat

Penelitian ini merupakan bagian dari serangkaian penelitian yang didanai oleh DIKTI melalui skema PKM-PE Tahun pendanaan 2016 dengan judul aslinya “Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Beton Karet.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dari beberapa penjelasan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap kekuatan desak dan tarik belah beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal?
2. Bagaimana pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal?
3. Apakah dengan memberi pengaruh temperatur pada beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal dapat dijadikan salah satu cara untuk memperbaiki karakteristik kekuatan beton seperti meningkatkan kuat desak, kuat tarik belah atau modulus elastisitasnya?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap kekuatan desak dan tarik belah beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal.
2. Mengetahui pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal.
3. Mengetahui apakah dengan memberi pengaruh temperatur pada beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal dapat dijadikan salah satu cara untuk memperbaiki karakteristik kekuatan beton.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Dari penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan teknologi beton pada khususnya, dan sebagai pengetahuan baru terhadap masyarakat pada umumnya. Diantara beberapa manfaat tersebut adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dampak dari pengaruh temperatur terutama dalam memperbaiki karakteristik kekuatan pada beton yang diberi bahan tambah gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal ke dalam campuran beton.
2. Sebagai informasi awal kepada masyarakat umum apakah dengan memberi pengaruh temperatur gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal tersebut dapat dimanfaatkan untuk bahan tambah sebagai serat yang dapat memperbaiki karakteristik kekuatan beton atau tidak.
3. Menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang akan membahas masalah penggunaan limbah karet dengan mengkombinasikan dengan bahan-bahan lainnya untuk mencapai mutu beton yang lebih baik.

1.5 BATASAN PENELITIAN

Batasan pada penelitian ini dimaksudkan agar penelitian dapat dilakukan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Limbah padat yang diambil merupakan gumpalan karet yang menggumpal di atas permukaan limbah cair yang berasal dari hasil pengolahan karet alam menjadi *Ribbed Smoked Sheet* (RSS).
2. Limbah diambil dari pabrik pengolahan karet milik PT. Perkebunan Nusantara IX (Persero) yaitu di PT. Perkebunan Nusantara IX Divisi Tanaman Tahunan Kebun Karet Ngobo, Ungaran, Kabupaten Semarang.
3. Limbah yang digunakan dalam campuran beton berbentuk cacahan/potongan-potongan kecil dengan ukuran antara 5-15 mm.
4. Kandungan yang terdapat dalam limbah karet diabaikan, karena tidak ada pengujian secara kimiawi dan fisik terhadap limbah tersebut.
5. Kuat tekan beton direncanakan (f'_c) = 20 MPa.
6. Perencanaan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000.
7. Nilai slump rencana adalah 60-180 mm.
8. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement Composite* (PCC) merek Holcim.
9. Agregat kasar batu pecah yang digunakan adalah jenis merapi dengan ukuran diameter maksimum 20 mm.
10. Pasir (agregat halus) yang digunakan adalah jenis merapi.
11. Agregat yang digunakan harus memenuhi persyaratan dalam SNI 03-2834-2000 dan PBI 1971.
12. Air yang digunakan berasal dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
13. Beton direncanakan akan digunakan di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung
14. Pengaruh suhu, udara, dan faktor lain saat pembuatan sampel beton diabaikan.

15. Penelitian ini menggunakan benda uji bentuk silinder dengan ukuran tinggi 30 cm, diameter 15 cm. Benda uji yang digunakan terdiri dari 2 macam, yaitu benda uji tanpa serat dan benda uji yang menggunakan serat. Proporsi serat yang digunakan sebesar 0%, dan 2% dari berat total berat volume beton. Masing-masing varian diberi pengaruh temperatur dari 0°C sampai 400°C, dengan interval kenaikan temperatur 100°C. Pemanasan dilakukan selama ± 3 jam.
16. Jenis pengujian yang dilakukan yaitu kuat desak, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton.
17. Perawatan terhadap benda uji beton dilaksanakan dengan cara merendam dalam bak selama 21 hari, dengan cara tersebut diharapkan hidrasi semen berlangsung dengan baik.
18. Pelaksanaan pemanasan pada saat beton berumur 28 hari, dilakukan di laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
19. Pengujian dilakukan pada umur beton mencapai lebih dari 28 hari atau satu hari setelah pemanasan.
20. Pelaksanaan Pengujian beton pasca bakar dilakukan di laboratorium Bahan Kontruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 BETON

Menurut SNI-2847-2013, beton (*concrete*) adalah campuran semen portland (PC) atau semen hidraulis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Bahan tambah dapat berupa bahan kimia, serat, atau bahan buangan non-kimia. Campuran beton tersebut pada awalnya berbentuk plastis, jika dituang dalam cetakan dan kemudian dibiarkan akan mengeras seperti batuan. Pengerasan terjadi karena peristiwa kimia antara PC dan air dalam kurun waktu yang cukup panjang, sehingga beton akan selalu bertambah keras sesuai dengan pertambahan umurnya.

Mulyono (2004) mengungkapkan bahwa beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Sedang Sagel, dkk. (1994) menguraikan bahwa beton adalah suatu komposit dari bahan batuan yang direkatkan oleh bahan ikat. Sifat beton dipengaruhi oleh bahan pembentuknya serta cara pengerjaannya. Semen mempengaruhi kecepatan Pengerasan beton. Selanjutnya kadar lumpur, kebersihan, dan gradasi agregat mempengaruhi kekuatan pengerjaan yang mencakup cara penuangan, pemadatan, dan perawatan, yang pada akhirnya mempengaruhi kekuatan beton.

Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, sedang gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton.

Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan. Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen dan derajat kekompakannya. Adapun faktor yang mempengaruhi

kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (*curing*).

2.2 BETON SERAT

Beton serat merupakan campuran beton ditambah serat. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), atau potongan kawat baja, serat tumbuh-tumbuhan (rami, sabut kelapa, bambu, ijuk) (Mulyono, 2004)

Menurut Tjokrodinuljo (1992), beton serat (*Fibre Concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Penambahan serat pada adukan beton akan mengakibatkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Penurunan tingkat kemudahan ini dipengaruhi oleh volume serat dan panjang serat. Serat dalam beton itu berguna untuk memperbaiki kelemahan beton terutama kuat tariknya, mencegah adanya retak-retak pada beton, sehingga menjadikan beton serat lebih daktil dari beton biasa. Jika serat yang dipakai mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi dari beton, misalnya kawat baja, maka beton serat akan bersifat lebih tahan benturan dan lenturan, sedangkan bila modulus elastisitasnya lebih rendah, misalnya serat rami atau plastik, hanya membuat beton lebih tahan benturan saja. Karena sifatnya yang lebih tahan benturan daripada beton biasa maka sering dipakai pada bangunan hidrolik, landasan pesawat udara, jalan raya, lantai jembatan.

Penggunaan serat dapat meningkatkan kinerja beton, seperti peningkatan penyerapan energi, pengurangan retak plastis pada umur awal, mengontrol retak dan juga mengurangi *spalling* ketika beton sudah retak. Penggunaan fiber dalam beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang getas menjadi lebih daktil. Keuntungan yang lain adalah dapat meningkatkan kekuatan lentur balok beton (Antoni, dkk 2007).

2.3 SIFAT BETON PASCABAKAR

Menurut Sumardi (2000) kebakaran pada hakekatnya merupakan reaksi kimia dari *combustible* material dengan oksigen yang dikenal dengan reaksi pembakaran yang menghasilkan panas. Panas hasil pembakaran ini diteruskan ke

massa beton/mortar dengan dua macam mekanisme yakni pertama secara radiasi yaitu pancaran panas diterima oleh permukaan beton sehingga permukaan beton menjadi panas. Pancaran panas akan sangat potensial, jika suhu sumber panas relatif tinggi. Kedua secara konveksi yaitu udara panas yang bertiup/bersinggungan dengan permukaan beton/mortar sehingga beton menjadi panas. Bila tiupan angin semakin kencang, maka panas yang dipindahkan dengan cara konveksi semakin banyak.

Tjokrodinuljo (2000) mengatakan bahwa beton pada dasarnya tidak diharapkan mampu menahan panas sampai diatas 250°C . Akibat panas, beton akan mengalami retak, terkelupas (*spalling*), dan kehilangan kekuatan. Kehilangan kekuatan terjadi karena perubahan komposisi kimia secara bertahap pada pasta semennya. Selain hal tersebut diatas, panas juga menyebabkan beton berubah warna. Bila beton dipanasi sampai suhu sedikit diatas 300°C , beton akan berubah warna menjadi merah muda. Jika di atas 600°C , akan menjadi abu-abu agak hijau dan jika sampai diatas 900°C menjadi abu-abu. Namun jika sampai di atas 1200°C akan berubah menjadi kuning. Dengan demikian, secara kasar dapat diperkirakan berapa suhu tertinggi selama kebakaran berlangsung berdasarkan warna permukaan beton pada pemeriksaan pertama.

2.4 LIMBAH KARET PADAT

Pada penelitian ini digunakan limbah karet padat hasil dari pengolahan RSS (*Rubber Smoked Sheet*) yang berasal dari salah satu pabrik pengolahan karet milik PT. Perkebunan Nusantara IX, yaitu pabrik pengolahan karet yang terletak di Kebun Ngobo, Desa Wringin Putih, Kec. Bergas, Kab. Semarang yang tergolong padatan tersuspensi yang artinya limbah padat yang dihasilkan dari gumpalan limbah karet dari kolam penampungan limbah cair.

Padatan tersuspensi adalah padatan yang membentuk suspensi atau koloid. Secara kasat mata padatan ini terlihat mengapung atau mengambang serta mengeruhkan air karena berat jenisnya relatif rendah.

2.5 KARAKTERISTIK KEKUATAN BETON

Kelebihan utama beton adalah mempunyai kuat tekan yang tinggi, sedangkan kekurangan beton adalah kuat tariknya rendah (hanya 9% – 15 % kuat tekanya). Oleh sebab itu, pada bagian elemen struktur yang mengalami tarik diperkuat dengan memberi baja-tulangan, sehingga terbentuk suatu bahan struktur komposit yang disebut beton bertulang. Beton tanpa tulangan disebut beton polos (*plain concrete*).

Kuat tekan beton merupakan perbandingan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut Wang, Chu Kia. dkk (1990), Kekuatan desak beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Kekuatan beton di dalam tarik adalah suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Modulus Elastisitas pada beton merupakan hubungan antara tegangan dan regangan beton ketika diberi beban tekanan (Smith, 1980).

2.6 PENELITIAN TERDAHULU

Ahmad. I, dkk (2009) telah melakukan penelitian mengenai “Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton”, yang bertujuan untuk membandingkan nilai kekuatan tekan beton sebelum dan sesudah terbakar.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui gambaran kuat tekan beton setelah terbakar, pengaruh temperatur pada kuat tekan beton, model hubungan antara temperatur dan kuat tekan beton setelah terbakar. Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm. Pemanasan dilakukan dalam oven pada temperatur 200°C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C. Analisis data dilakukan dengan analisis statistik deskriptif dan analisis regresi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Beton yang telah dipanasi pada temperatur 200°C, 400°C dan 600°C, penurunan kuat tekan rata-ratanya berturut-turut sebesar 85,83%, 58,40% dan 35,08% dari beton normal. Model regresi yang dihasilkan jika berbentuk regresi linier persamaannya adalah $y = -0,2802x + 248,79$ dengan nilai $R^2 = 0,8539$. Sedangkan model regresi berbentuk regresi polinomial derajat 2 persamaannya adalah $y = 10^{-4}x^2 - 0,3402x + 255,65$ dengan nilai $R^2 = 0,8576$.

Hariyadi, dkk (2009) telah melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penggunaan Serat Limbah Karet Roda Sebagai Bahan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah, *Impact*, dan Modulus Runtuh”, yang bertujuan untuk mengkaji perubahan karakteristik mekanik beton dengan bahan tambah serat limbah karet roda.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan, kuat tarik belah, kuat impact, dan modulus runtuh pada beton berserat karet roda pada umur 28 hari. Serat yang digunakan adalah serat dari bahan karet roda, panjang serat 6 cm dengan variasi proporsi serat 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari volume campuran beton. Perhitungan *mix design beton* menggunakan perhitungan campuran beton normal (SK SNI T-15-1990-03) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat karet roda pada campuran beton mengakibatkan penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan, sedangkan untuk modulus runtuh dan kuat impact diperoleh peningkatan hasil yang dicapai. Kuat tekan tertinggi sebesar 25,050 MPa dan kuat tarik belah tertinggi sebesar 3,301 MPa diperoleh pada beton normal tanpa serat, dengan penambahan serat kuat tekan dan kuat tarik belah beton mengalami penurunan. Dengan penambahan serat karet roda diperoleh peningkatan nilai modulus runtuh maksimum sebesar 36,20% terhadap beton normal pada proporsi serat 1% sebesar 3,333 MPa dibandingkan tanpa serat sebesar 2,2 MPa. Sedangkan untuk uji *impact*, nilai maksimum diperoleh pada proporsi serat 2% dengan peningkatan 423,25% untuk mencapai *first crack* dan 427,97% untuk

mencapai *failure*. Jadi dengan penambahan serat limbah karet roda mampu meningkatkan modulus runtuh dan ketahanan terhadap beban *impact* beton.

Nugroho. I, dkk (2016) telah melakukan penelitian mengenai “Pengaruh Penambahan Limbah Karet Terhadap Karakteristik Kekuatan Beton”, yang bertujuan dapat memperbaiki sifat dan karakteristik kekuatan beton dalam menahan gaya tarik dan tingkat keelastisitasannya. Dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen terhadap campuran beton dengan menambahkan proporsi serat yang berasal dari limbah padat karet yang telah dicacah agar dapat menambah kekuatan tarik beton dan tingkat elastisitasnya.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat desak, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton dengan penambahan serat limbah karet pada umur 28 hari. Serat yang digunakan adalah limbah karet yang telah dicacah menjadi potongan kecil dengan ukuran antara 5-20 mm dan variasi proporsi serat 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari volume total campuran beton. Perhitungan *mix design* menggunakan tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat limbah karet pada campuran beton mengakibatkan penurunan kuat desak dan kuat tarik belah beton, sedangkan untuk modulus elastisitas mengalami kenaikan sampai variasi 2% kemudian mengalami penurunan pada variasi selanjutnya. Kuat desak beton mengalami penurunan berturut-turut dari variasi 1% sampai dengan 5% sebesar 3,026%; 9,708%; 23,045%; 29,232%; dan 47,082% dari beton normal. Kuat tarik belah beton mengalami penurunan berturut-turut dari variasi 1% sampai dengan 5% sebesar 3,060%; 9,153%; 23,157%; 30,304%; dan 40,038% dari beton normal, sedangkan untuk modulus elastisitas mengalami peningkatan dari variasi 1% dan 2% sebesar 1,757% dan 28,537%, kemudian turun di variasi 3% menjadi 6,908% dari beton normal, dan pada variasi 4% dan 5% nilai modulus elastisitas mengalami penurunan sebesar 0,894% dan 18,732%. Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan bahwa limbah karet masih dapat digunakan sebagai salah satu serat untuk memperbaiki sifat beton. Dengan syarat proporsi penambahan limbah karet yang masih disarankan adalah sebesar 2%, karena pada

proporsi penambahan 3% dan seterusnya modulus elastisitas telah mengalami penurunan kembali.

2.7 PERBANDINGAN PENELITIAN

Adapun perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Saat Ini Dilakukan

Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Saat ini Dilakukan
Peneliti	Ahmad. I, dkk (2009)	Hariyadi, dkk (2009)	Nugroho. I, dkk (2016)	Firdaus. M. T (2016)
Judul Penelitian	Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penggunaan Serat Limbah Karet Roda Sebagai Bahan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah, Impact, dan Modulus Runtuh	Pengaruh Penambahan Limbah Karet Terhadap Karakteristik Kekuatan Beton	Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik Beton Dengan Penambahan 2% Limbah Karet Padat Dari Berat Beton Normal
Tujuan	Untuk mengetahui gambaran kuat tekan beton setelah terbakar, pengaruh temperatur pada kuat tekan beton, model hubungan antara temperatur dan kuat tekan beton setelah terbakar.	Untuk mengkaji perubahan karakteristik mekanik beton dengan bahan tambah serat limbah karet roda.	Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah karet terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton.	Untuk mengetahui pengaruh temperatur pada karakteristik kekuatan beton dengan penambahan limbah karet terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas beton.
Parameter yang Diuji	kuat tekan beton.	Kuat Tekan, Tarik Belah, Impact, dan Modulus Runtuh.	Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas.	Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas.
Metode Penelitian	Campuran adukan beton yang digunakan adalah campuran dengan perbandingan 1 semen portland (tipe 1) : 2 pasir : 3 batu pecah dengan nilai slump 8 cm - 10 cm. Benda uji dibuat kemudian dilakukan perawatan dengan direndam di dalam bak air selama 28 hari. Selanjutnya benda uji disimpan pada suhu ruang selama ± 90 hari baru dimasukkan ke dalam oven. Benda uji kemudian dibakar selama tiga jam pada temperatur 200°C - 600°C dengan interval kenaikan 50°C.	Pengujian dilakukan pada beton berserat karet roda pada umur 28 hari. Serat yang digunakan adalah serat dari bahan karet roda, panjang serat 6 cm dengan variasi proporsi serat 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari volume campuran beton. Perhitungan <i>mix design</i> beton menggunakan perhitungan campuran beton normal (SK SNI T-15-1990-03) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.	Pengujian dilakukan pada beton dengan penambahan serat limbah karet pada umur 28 hari. Serat yang digunakan adalah limbah karet yang telah dicacah menjadi potongan kecil dengan ukuran antara 5-20 mm dan variasi proporsi serat 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari volume total campuran beton. Perhitungan <i>mix design</i> menggunakan tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.	Pengujian dilakukan pada beton pasca bakar dengan penambahan serat limbah karet pada umur lebih dari 28 hari atau satu hari setelah pembakaran. Serat yang digunakan adalah limbah karet yang telah dicacah menjadi potongan kecil dengan ukuran antara 5-15 mm dan variasi proporsi serat 0%, dan 2% dari berat total volume beton. Masing-masing varian diberi pengaruh temperatur dari 0°C - 400°C, dengan interval kenaikan temperatur 100°C. Pembakaran dilakukan selama ± 3 jam. Perhitungan <i>mix design</i> menggunakan tata cara pembuatan rencana campuran beton normal (SNI 03-2834-2000) dengan kuat tekan rencana 20 MPa.
Hasil Penelitian	Pemanasan yang dialami beton akibat terbakar akan mengakibatkan perubahan mendasar dari sifat-sifat beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton rata-rata menurun dan nilai penurunan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur.	Penambahan serat karet roda pada campuran beton mengakibatkan penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah yang dihasilkan, sedangkan untuk modulus runtuh dan kuat impact diperoleh peningkatan hasil yang dicapai.	Penambahan cacahan limbah karet dapat di manfaatkan untuk meningkatkan modulus elastisitas sampai variasi penambhan serat 2%. Sedangkan untuk kuat desak dan kuat tarik belah beton mengalami penurunan.	-

2.8 KEASLIAN PENELITIAN

Berdasarkan hasil perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang saat ini dilakukan, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan-perbedaan yang menjadi dasar penelitian, seperti pada campuran beton, pengkondisian beton sebelum diuji, parameter beton yang diuji, hingga metode perhitungan *mix design* yang digunakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penelitian yang saat ini dilakukan, sebelumnya belum pernah ada yang melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap campuran beton dengan bahan tambah limbah karet padat.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 MATERIAL PENYUSUN BETON

3.1.1 Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen adalah suatu bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat. Dalam pengertian umum, semen adalah suatu binder, suatu zat yang dapat menetapkan dan mengeras dengan bebas, dan dapat mengikat material lain. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting (Mulyono, 2004). Semen dapat dibedakan menjadi semen non hidrolik dan hidrolik. Semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen non hidrolik adalah kapur. Sedangkan semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen penzzolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen Portland ponzzoland, semen Portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen expansif (Mulyono, 2004). Semen hidrolik terutama terdiri dari silikat (*silicate*) dan lime yang terbuat dari kapur dan tanah liat (batu tulis) yang digerinda, di campur, di bakar dalam pemanasan kapur (*klin*), dan kemudian dihancurkan menjadi tepung. Semen semacam ini secara kimia dicampur dengan air (*hydration*) untuk membentuk massa yang mengeras. Fungsi utama semen sebagai bahan perekat untuk mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa yang padat dan mengisi rongga udara di antara butir-butir agregat sehingga banyak digunakan pada pembangunan di sektor konstruksi sipil. Bahan dasar pembentuk semen adalah sebagai berikut ini :

1. $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (tricalcium silikat) disingkat C3S (58%-69%),
2. $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (dicalcium silikat) disingkat C2S (8%-15%),
3. $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (tricalcium aluminate) disingkat C3A (2%-15%), dan

4. $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tetracalcium alummoferrit) disingkat C4AF (6%-14%).

C3S dan C2S merupakan senyawa yang membuat sifat-sifat perekat, C3A adalah senyawa yang paling reaktif, sedangkan C4F berfungsi sebagai katalisator yang menurunkan temperature pemanasan dalam pembentukan calcium silikat.

Jenis semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah semen Portland. Semen Portland atau *Portland Cement (PC)* menurut SNI 15-2049-2004 adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Semen Portland (sering disebut sebagai *OPC*, singkatan dari *Ordinary Portland Cement*) adalah jenis yang paling umum dari semen yang digunakan secara umum di seluruh dunia karena merupakan bahan dasar beton, mortar, plester. Semen Portland adalah material yang mengandung paling tidak 75% kalsium silikat ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), sisanya tidak kurang dari 5% berupa Al silikat, Al ferit silikat, dan MgO. Rasio CaO untuk SiO_2 tidak boleh kurang dari 2,0.

Jenis semen yang beredar di pasaran meliputi semen Portland Putih, semen Portland mengacu pada SNI 15-2049-2004, semen Portland Komposit mengacu pada SNI 15-7064-2004 dan semen Portland Pozolan mengacu pada SNI 15-0302-2004 (Mulyono, 2004). Di dalam SNI 15-2049-2004 membagi semen Portland menjadi 5 kategori berdasarkan jenis dan penggunaannya yaitu.

1. Jenis I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

5. Jenis V, Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

Berdasarkan persentase kandungan penyusunnya, semen Portland terdiri dari 5 tipe yaitu.

1. Semen Portland tipe I adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling klinker yang kandungan utamanya kalsium silikat dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 55% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 2,8% MgO; 2,9% (SO3); 1,0% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
2. Semen Portland tipe II dipakai untuk keperluan konstruksi umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus terhadap panas hidrasi dan kekuatan tekan awal, dan dapat digunakan untuk bangunan rumah pemukiman, gedung-gedung bertingkat dan lain-lain. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 51% (C3S); 24% (C2S); 6% (C3A); 11% (C4AF); 2,9% MgO; 2,5% (SO3); 0,8% hilang dalam pembakaran, dan 1,0% bebas CaO.
3. Semen Portland tipe III dipakai untuk konstruksi bangunan dari beton massa (tebal) yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang, misal bangunan dipinggir laut, bangunan bekas tanah rawa, saluran irigasi, dam-dam. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 57% (C3S); 19% (C2S); 10% (C3A); 7% (C4AF); 3,0% MgO; 3,1% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 1,3% bebas CaO.
4. Semen Portland tipe IV dipakai untuk konstruksi bangunan yang memerlukan kekuatan tekan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi, misal untuk pembuatan jalan beton, bangunan-bangunan bertingkat, bangunan-bangunan dalam air. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 28% (C3S); 49% (C2S); 4% (C3A); 12% (C4AF); 1,8% MgO; 1,9% (SO3); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.
5. Semen Portland tipe V dipakai untuk instalasi pengolahan limbah pabrik, konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir. Komposisi senyawa yang terdapat pada tipe ini adalah: 38%

(C3S); 43% (C2S); 4% (C3A); 9% (C4AF); 1,9% MgO; 1,8% (SO₃); 0,9% hilang dalam pembakaran, dan 0,8% bebas CaO.

3.1.2 Agregat

Agregat adalah bahan yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat juga dapat berupa bahan yang berasal dari alam seperti batuan, pasir dan sebagainya, ataupun berupa bahan sintetis atau buatan. Nawy (1985) menyatakan agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat yang berukuran besar.

Menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) agregat untuk beton harus memenuhi syarat berikut.

1. Agregat Normal : ASTM C33M
2. Agregat Ringan : ASTM C330M

Pengecualian: Agregat yang telah terbukti melalui pengujian atau penggunaan nyata dapat menghasilkan beton dengan kekuatan dan keawetan yang baik dan disetujui oleh instansi tata bangunan.

Pada umumnya agregat yang dipakai untuk membuat campuran beton dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat Halus

Nawy (1985) mendefinisikan agregat halus sebagai bahan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran no. 4 dan no. 100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang digunakan harus memenuhi persyaratan karena sangat berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Menurut PBI 1971, syarat-syarat agregat halus (pasir) adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras, bersifat kekal dalam arti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.

- b. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap jumlah berat agregat kering. Apabila kandungan lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan – bahan organik terlalu banyak. Hal demikian dapat dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams Header* dengan menggunakan larutan NaOH.
- d. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran yang beranekaragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut.
 - 1) Sisa di atas ayakan 4 mm , harus minimum 2% berat.
 - 2) Sisa di atas ayakan 1 mm , harus minimum 10% berat.
 - 3) Sisa di atas ayakan 0,25 mm , harus berkisar antara 80% - 90% berat

2. Agregat kasar

Nawy (1985) mendefinisikan agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in. (6 mm). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya. Menurut PBI 1971, pasal 3.4 syarat-syarat agregat kasar (kerikil) adalah sebagai berikut.

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlah butir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

d. Kekerasan butir-butir agregat kasar yang diperiksa dengan bejana penguji dari Rudelof dengan beton penguji 20 ton, yang harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- 1) Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5-19 mm lebih dari 24% berat.
- 2) Tidak terjadi pembubukan sampai 19-30 mm lebih dari 22% berat.

Kekerasan ini dapat juga diperiksa dengan mesin *Los Angeles*. Dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.

e. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 PBI 1971, harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- 1) Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0% berat.
- 2) Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98% berat.
- 3) Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan , maksimum 60% dan minimum 10% berat.

Sedangkan menurut SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung) Ukuran Maksimum Agregat kasar harus tidak melebihi:

- 1) 1/5 jarak terkecil antara sisi cetakan, ataupun
- 2) 1/3 ketebalan slab, ataupun
- 3) 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan atau kawat, bundel tulangan, atau tendon prategang, atau selongsong.

Batasan ini tidak berlaku bila dalam pertimbangan insinyur profesional bersertifikat, kelecakan (*workability*) dan metoda pemadatan adalah agar beton dapat dicor tanpa keropos atau rongga udara.

3.1.3 Air

Tjokrodimuljo (1992) menyatakan bahwa air diperlukan untuk bereaksi dengan semen sehingga terjadi reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya proses pengerasan pada beton, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Di dalam SNI 2847-2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)

disyaratkan air yang digunakan harus memenuhi ASTM C1602M atau SNI 03-7974-2013 (Spesifikasi air pencampur yang digunakan dalam produksi beton semen hidraulis). Selain itu menurut Tjokrodimuljo (1992) dalam pemakaian air untuk beton sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Kandungan lumpur (benda melayang lainnya) maksimum 2 gram/liter.
2. Kandungan garam-garam yang merusak beton (asam, zat organik, dll) maksimum 15 gram/liter.
3. Kandungan klorida (Cl) maksimum 0,5 gram/liter.
4. Kandungan senyawa sulfat maksimum 1 gram/liter.

Kekuatan beton dan daya tahannya akan berkurang jika air mengandung kotoran. Pengaruh pada beton diantaranya pada lamanya waktu ikatan awal serta kekuatan beton setelah mengeras. Adanya lumpur dalam air diatas 2 gram/liter dapat mengurangi kekuatan beton. Air dapat memperlambat ikatan awal beton sehingga beton belum mempunyai kekuatan dalam umur 2-3 hari. Sodium karbonat dan potasium dapat menyebabkan ikatan awal sangat cepat dan konsentrasi yang besar akan mengurangi kekuatan beton. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi kira-kira 25% dari berat semen (Tjokrodimuljo, 1992).

3.1.4 Limbah Karet

1. Gambaran Sekilas Industri Karet

Karet adalah polimer hidrokarbon yang terbentuk dari emulsi kesusuan (dikenal sebagai latex) yang diperoleh dari getah beberapa jenis tumbuhan pohon karet tetapi dapat juga diproduksi secara sintetis. Sumber utama barang dagang dari latex yang digunakan untuk menciptakan karet adalah pohon karet *Hevea brasiliensis* (*Euphorbiaceae*). Ini dilakukan dengan cara melukai kulit pohon sehingga pohon akan memberikan respons yang menghasilkan lebih banyak latex lagi. Pohon jenis lainnya yang mengandung lateks termasuk *fig*, *euphorbia* dan *dandelion*. Lebih dari setengah produksi karet yang digunakan sekarang ini adalah sintetik, tetapi beberapa juta ton karet alami masih tetap diproduksi setiap tahun, dan masih merupakan bahan penting bagi beberapa industri termasuk otomotif

dan militer. Karet *hypoallergenic* dapat dibuat dari *Guayule*. Eksperimen awal dari pengembangan karet sintetis membawa ke penemuan *Silly Putty*.

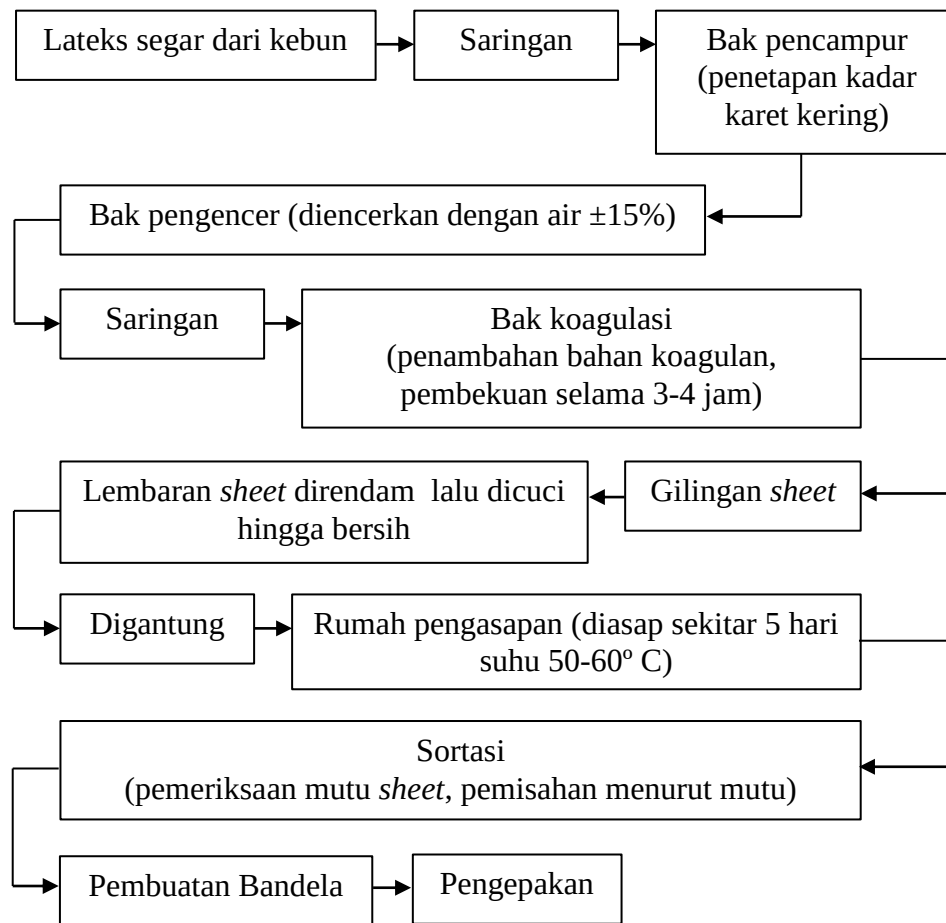
Karet alam (*polyisoprene*) termasuk ke dalam elastomer yaitu bahan yang dapat diregangkan dan dapat kembali seperti bentuk semula. Selain karet alam, terdapat beberapa bahan yang juga termasuk elastomer yaitu *polybutadiene*, *polyisobutylene* dan *polyurethanes*, yang ketiganya merupakan polimer sintetis (Luthfi, 2011).

2. Proses Pengolahan Karet

Proses pengolahan karet secara umum dibedakan menjadi 2 jenis pengolahan tergantung dari mana bahan karet tersebut didapatkan. Kedua jenis proses pengolahan tersebut adalah.

- a. Bahan baku yang berasal dari lateks kebun, yang kemudian diolah menjadi *RSS (Ribbed Smoked Sheet)*.
- b. Bahan baku yang berasal dari olahan karet rakyat, yang kemudian diolah menjadi *BrCr (Brown Crepe)*

Pada pengolahan karet jenis *RSS*, prinsip pengolahan jenis karet ini adalah mengubah lateks segar menjadi lembaran - lembaran *sheet* lewat proses penyaringan, pengenceran, pembekuan, penggilingan, dan pengasapan. Pengolahan karet *sheet* seperti diagram dibawah ini umumnya dilakukan di perkebunan - perkebunan karet besar milik pemerintah atau swasta. Sedangkan di perkebunan karet rakyat pengolahannya tergolong sederhana. Karet *sheet* yang dihasilkan oleh petani atau karet *sheet* rakyat umumnya tidak melalui proses pengasapan berupa sheet angin. Gambar 3.1 berikut merupakan gambaran proses pengolahan karet jenis *RSS* (Luthfi, 2011).



Gambar 3.1 Proses Pengolahan Karet Jenis RSS
(Sumber: Luthfi, 2011)

Pada pengolahan karet jenis *BrCr*, prinsip pengolahan jenis karet ini adalah karet yang berbentuk bongkahan digiling menggunakan mesin penggiling sambil dialiri air untuk membersihkan karet dari benda-benda asing seperti daun, plastik dan ranting, kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah yang juga dialiri air agar potongan menjadi lebih kecil dan mempunyai ukuran yang relatif sama, kemudian dipipihkan menggunakan mesin pemipih sambil ditambahkan cairan asam sulfat yang telah dicampur dengan air agar dapat membentuk lembaran-lembaran karet, kemudian dipanaskan di dalam ruang pengasapan dengan tujuan agar *brown crepe* tahan lama dan bisa disimpan, setelah itu disortir sesuai jenisnya kemudian *dipacking* dan diberi label (Luthfi, 2011).

3. Sumber Limbah Industri Karet

Apabila dilihat dari tahapan produksi baik dari bahan baku berasal dari lateks dan bahan olahan karet rakyat (bokar), maka limbah yang terbentuk pada industri karet dapat berupa limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Kualitas bahan baku berpengaruh terhadap tingkat kuantitas dan kualitas limbah yang akan terjadi dengan rincian sebagai berikut.

- a. Makin kotor bahan karet olahan akan makin banyak air yang diperlukan untuk proses pembersihannya, sehingga debit limbah cairpun meningkat.
- b. Makin kotor dan makin tinggi kadar air dari bahan baku karet olahan, akan makin mudah terjadinya pembusukan, sehingga kuantitas limbah gas/bau pun meningkat.
- c. Bahan baku karet olahan yang kotor menyebabkan kuantitas lumpur, tatal dan pasir relatif tinggi.

Pembersihan dilakukan melalui pengecilan ukuran. Proses ini juga bertujuan untuk memperbesar luas permukaan karet agar waktu pengeringan relatif singkat. Dengandemikian, limbah yang terbentuk dominan berbentuk limbah cair.

Sumber limbah cair dapat dikategorikan dari proses produksi dengan rincian sebagai berikut.

- a. Bahan baku berasal dari lateks kebun

Dalam proses produksi untuk menghasilkan karet digunakan air lebih sedikit, tetapi mempunyai bahan kimia didalam air limbahnya. Sumber limbahnya adalah dari proses pencacahan dan peremahan.

Pengaruh tiap parameter terhadap lingkungan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) *BOD (Biochemical Oxygen Demand)*

BOD merupakan salah satu parameter limbah yang memberi gambaran atas tingkat polusi air. Semakin tinggi nilai *BOD* menunjukkan makin besar oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme merubah organik. Makin tinggi kandungan bahan organik akan menyebabkan makin berkurangnya konsentrasi oksigen

terlarut di dalam air yang akhirnya berakibat kematian berbagai biota air. Pengurangan konsentrasi oksigen terlarut menyebabkan kondisi aerob bergeser ke kondisi anaerob.

Menurut Kristanto (2004) *BOD* menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk menguraikan atau mengoksidasi bahan-bahan buangan di dalam air. Jadi nilai *BOD* tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan-bahan buangan tersebut. Jika konsumsi oksigen tinggi, yang ditunjukan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut di dalam air, maka berarti kandungan bahan buangan yang membutuhkan oksigen adalah tinggi. Organisme hidup bersifat aerobik membutuhkan oksigen untuk proses reaksi biokimia, yaitu untuk mengoksidasi bahan organik, sintesis sel, dan oksidasi sel. *BOD* dapat diterima bilamana jumlah oksigen yang akan dihabiskan dalam waktu 5 hari oleh organisme pengurai aerobik dalam suatu volume limbah pada suhu 20°C. Hasilnya dinyatakan dengan ppm. Jadi *BOD* sebesar 200 ppm berarti bahwa 200 mg oksigen akan dihabiskan oleh sampel limbah sebanyak 1 liter dalam waktu 5 hari pada suhu 20°C.

2) *COD (Chemical Oxygen Demand)*

Untuk mengetahui jumlah bahan organik di dalam air dapat dilakukan suatu uji yang lebih cepat dari *BOD*, yaitu berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan. Uji ini disebut dengan uji *COD*, yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan, misalnya kalium dikromat, untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat dalam air. (Kristanto, 2004)

COD mirip dengan *BOD*, bedanya oksigen yang diperlukan merupakan oksigen kimiawi seperti oksigen atau oksidator lainnya untuk mengoksidasi secara kimia bahan organik menjadi senyawa lain seperti gas metan, amoniak, dan karbon dioksida. Nilai *COD* selalu lebih tinggi daripada nilai *BOD* karena hampir seluruh jenis bahan

organik dapat teroksidasi secara kimia termasuk bahan organik yang teroksidasi secara biologis.

3) Padatan Terendap

Padatan terendap menunjukkan jenis padatan yang terkandung di dalam cairan limbah yang mampu mengendap di dasar cairan secara gravitasi dalam waktu paling lama sekitar 1 jam.

4) Padatan Tersuspensi

Padatan tersuspensi adalah padatan yang membentuk suspensi atau koloid. Secara kasat mata padatan ini terlihat mengapung atau mengambang serta mengeruhkan air karena berat jenisnya relatif rendah.

5) Padatan Terlarut

Padatan ini bersama-sama dengan suspensi koloid tidak dapat dipisahkan secara penyaringan. Pemisahannya hanya dapat dilakukan dengan proses oksidasi biologis atau koagulasi kimia. Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, mineral dan garam-garamnya.

6) Kandungan Nitrogen

Bentuk senyawa nitrogen yang paling umum adalah protein amonia, nitrit dan nitrat. Ketiga jenis terakhir ini dihasilkan dari perombakan protein, sisa tanaman dan pupuk yang tersisa di dalam cairan limbah.

7) Derajat Keasaman (pH)

Suatu cairan dikatakan bersifat normal bila $\text{pH} = 7$. Makin rendah nilai pH artinya air makin bersifat asam, sebaliknya makin tinggi nilai pH artinya air makin bersifat basa.

b. Bahan baku olahan karet rakyat

Bahan baku olahan karet rakyat berbentuk *koagulum* (bongkahan) yang telah dibubuhi asam sulfat, dan banyak mengandung air dan unsur pengotor dari karet baik disengaja maupun tidak disengaja oleh kebun rakyat. Sumber limbahnya antara lain.

- 1) Penyimpanan *koagulum*
- 2) Sebelum produksi terlebih dulu karet disempot air sehingga menghasilkan limbah
- 3) Pencacahan *koagulum* lalu di cuci dengan air lagi
- 4) Proses peremahan dengan hammer mill juga menghasilkan limbah cair, walaupun jumlahnya relatif kecil (Luthfi, 2011).

Pada penelitian ini digunakan limbah karet padat yang berasal dari pengolahan *RSS (Rubber Smoked Sheet)* yang tergolong padatan tersuspensi yang artinya limbah padat yang dihasilkan dari gumpalan limbah karet dari kolam penampungan limbah cair.

3.2 KUAT TEKAN BETON

Kuat tekan beton merupakan perbandingan besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Menurut (Wang, Chu Kia. dkk (1990), Kekuatan desak beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar dan halus, air dan berbagai jenis campuran. Perbandingan dari air semen merupakan factor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan (mudahnya beton untuk dicorkan) akan tetapi menurunkan kekuatan.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/m^2 atau MPa (Mega Pascal). Sebelum diberlakukannya system satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan satuan kgf/cm^2 . Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai $\pm 10-65$ MPa. Untuk beton bertulang umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17-30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi, berkisar antara 30-45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan khusus, beton *ready mix* sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dan untuk memproduksi beton kuat

tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium.

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya ditentukan waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% sampai 90% dari kuat tekan beton umur 28 hari (Dipohusoo. I (1994)). Kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_c = P/A \quad (3.1)$$

keterangan: f'_c = kuat tekan beton
 P = beban tekan maksimum
 A = luas permukaan benda uji

3.3 KUAT TARIK BELAH BETON

Menurut Wang, Chu Kia. dkk (1990), kekuatan beton di dalam tarik adalah juga suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Kekuatan tarik biasanya ditentukan dengan menggunakan percobaan pembebanan silinder (*the split-cylinder*) menurut ASTM C496 dimana silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan tekan diletakkan pada sisinya di atas mesin uji dengan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter di sepanjang benda uji. Benda uji silinder akan terbelah dua pada saat dicapainya kekuatan tarik. Tegangan tarik dihitung dengan rumus:

$$f_t = 2 P / \pi L D \quad (3.2)$$

keterangan: f_t = kuat tarik belah
 P = beban pada waktu belah
 L = panjang benda uji silinder
 D = diameter benda uji silinder

3.4 MODULUS ELASTISITAS BETON

Kajian mengenai hubungan tegangan dan regangan beton perlu diketahui untuk menganalisis dan merencanakan suatu bagian struktur. Kemampuan bahan

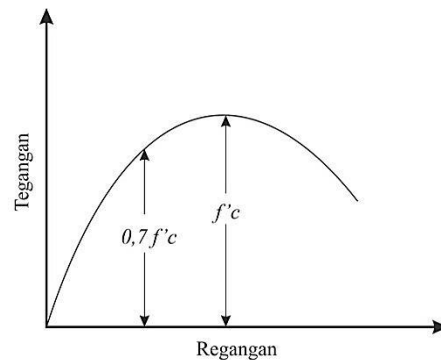
untuk menahan beban yang didukungnya dan perubahan bentuk yang terjadi pada bahan sangat tergantung pada sifat tegangan dan regangan bahan tersebut.

Setiap bahan akan mengalami perubahan bentuk bila mendapat beban, dan bila perubahan bentuk ini terjadi, maka gaya internal di dalam bahan tersebut akan menahannya. Gaya internal ini disebut tegangan. Gaya yang dilangsungkan melewati suatu penampang dibagi dengan luas penampang tersebut disebut intensitas tegangan (*intensity of stress*), tetapi lazimnya cukup disebut tegangan saja (Smith, 1980).

Bila suatu bahan mengalami tegangan, maka bahan tersebut akan mengalami perubahan bentuk. Ukuran perubahan bentuk ini dikenal sebagai regangan. Pada tarikan dan tekanan, maka regangan dapat diartikan sebagai perubahan panjang per satuan panjang. Perlu dicatat bahwa regangan adalah perbandingan dari panjang dengan panjang atau satuan panjang dibagi dengan panjang, sehingga tidak memiliki satuan (Smith, 1980).

Setiap bahan akan berubah bentuk jika mengalami pembebanan, dan regangan yang timbul dapat diukur. Bila setelah pembebanan dihilangkan bahan tersebut kembali ke bentuk asalnya, maka kejadian tersebut disebut elastik atau kenyal (Smith, 1980).

Hubungan tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk menurunkan persamaan-persamaan analisis dan desain juga prosedur-prosedur pada struktur beton. Gambar 3.2 memperlihatkan kurva tegangan-regangan tipikal yang diperoleh dari percobaan dengan menggunakan benda uji silinder beton dan dibebanitekan uniaksial selama beberapa menit. Bagian pertama kurva ini (sampai sekitar 40% dari f'_c) pada umumnya untuk tujuan praktis dianggap linier. Sesudah mendekati 70% tegangan hancur, materialnya banyak kehilangan kekakuannya sehingga menambah ketidaklinieran diagram (Nawy, 1985).



Gambar 3.2 Kurva Tegangan-Regangan Tipikal Beton
Sumber: Nawy (1985)

Hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tekan atau tarik yang sederhana dapat dinyatakan oleh persamaan:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.3)$$

dimana E adalah suatu konstanta pembanding yang dikenal sebagai modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) dari bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan dari diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier, dan harganya bergantung pada bahan tertentu yang dipergunakan. Satuan-satuan dari E sama dengan satuan tegangan, karena regangan-regangan tak berdimensi. Karena itu, satuan dari E adalah pascal (atau kelipatannya) dalam sistem satuan SI (Gere dan Timoshenko, 1985).

Berdasarkan rekomendasi ASTM C 469-94, perhitungan modulus elastisitas beton yang digunakan adalah modulus *chord*, adapun modulus elastisitas *chord* (E_c) dapat dihitung dengan rumus:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3.4)$$

keterangan: E_c = Modulus elastisitas (MPa)

S_2 = Tegangan pada saat 40% dari beban maksimum (MPa)

S_1 = Tegangan pada saat regangan longitudinal mencapai $\varepsilon_1 = 0,00005$ (MPa)

ε_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2

3.5 TEKNIK PEMANASAN

Proses pemanasan benda uji dilakukan setelah beton berumur 28 hari, dan dilakukan menggunakan tungku yang mampu mencapai suhu 1200°C dan alat pemanasan menggunakan *Burner* dengan bahan bakar solar dan alat untuk mengukur temperatur menggunakan *Thermometer*. Pada penelitian ini, temperatur yang dipakai adalah 0°C , 100°C , 200°C , 300°C , dan 400°C untuk pengujian kuat desak, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton, dengan waktu pemanasan selama 3 jam.

Benda uji yang akan dipanaskan dimasukan kedalam tungku dengan posisi berdiri dan susun sedemikian rupa supaya antar benda uji memiliki spasi sehingga suhu yang diterima oleh benda uji dapat tersalurkan secara merata ke semua sisi benda uji. Kemudian tungku di tutup dengan bata supaya temperatur didalam tungku dapat tetap stabil. Setelah itu, *Burner* diletakan di bagian sisi tungku yang terdapat lubang api dan sudah diberi pagar pembatas, sehingga api tidak langsung mengenai benda uji. Kemudian api dihidupkan dan alat pengukur temperatur diletakan dibagian atas tungku yang terdapat lubang untuk mengetahui berapa besar temperatur yang sudah dicapai. Untuk lebih jelasnya tentang posisi benda uji dalam tungku dapat dilihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.

Waktu pemanasan ini dihitung mulai saat penyalaan tungku, setelah mencapai suhu yang direncanakan temperatur dipertahankan agar tetap konstan, sampai waktu yang ditetapkan. Selanjutnya *Burner* dalam tungku dimatikan dan ditunggu sampai temperatur dalam tungku mencapai suhu ruangan, baru benda uji dikeluarkan dari tungku. Setelah temperatur benda uji mencapai suhu ruangan dicari berat dan volume benda uji serta dicatat kondisi fisik beton pasca pemanasan.



Gambar 3.3 Posisi Benda Uji didalam Tungku

3.6 HIPOTESIS

Ditinjau dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nugroho. I, dkk (2016) yaitu dengan penambahan cacahan limbah karet sebagai bahan tambah sebanyak 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% dari total berat beton, menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas rata-rata beton mengalami peningkatan dan penurunan. Dengan syarat proporsi penambahan limbah karet yang masih disarankan adalah sebesar 2%, karena pada proporsi penambahan 3% dan seterusnya modulus elastisitas telah mengalami penurunan kembali. Sedangkan untuk nilai kuat tarik belah rata-rata beton mengalami penurunan akan tetapi tidak terlalu signifikan jika penambahan cacahan limbah karet tidak lebih dari 2%. Nantinya dalam penelitian ini peneliti akan melanjutkan penelitian Nugroho. I, dkk (2016) dengan proporsi serat yang digunakan berasal dari limbah karet padat yang telah dicacah/dipotong-potong kemudian dimasukan dalam campuran beton sebagai bahan tambah penyusun beton dengan proporsi penambahan 0% atau beton normal sebagai benda uji pengontrol dan 2% sebagai benda uji yang pada penelitian Nugroho. I, dkk (2016) memiliki nilai peningkatan modulus elastisitas yang paling tinggi.

Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen terhadap campuran beton dengan menambahkan bahan yang mengandung karet dengan memberikan pengaruh temperatur pada beton, sehingga diharapkan limbah karet padat tersebut dapat mencair/meleleh dan mengisi rongga-rongga dalam beton tersebut. Karena

pada umumnya beton masih mempunyai rongga udara sekitar 1% -2%, dengan demikian dapat memperbaiki sifat beton dalam menahan gaya tarik dan tingkat keelastisitasannya.

3.7 PERHITUNGAN MIX DESIGN

Perhitungan rencana campuran beton menggunakan metode SNI-03-2834-2000. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan rencana campuran (*mix design*).

1. Menentukan kuat desak rencana (f'_c) pada umur tertentu.
2. Mencari nilai deviasi standar yang tergantung pada volume pembetonan yang akan dibuat seperti pada Tabel 3.1 dan mutu pekerjaan yang dapat diterima seperti pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.1 Mutu Pelaksanaan, Volume Adukan dan Deviasi Standar

Volume Pekerjaan		Deviasi Standar sd (MPa)		
Sebutan	Volume Beton (m ³)	Mutu Pekerjaan		
		Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	< 1000	$4,5 < s \leq 5,5$	$5,5 < s \leq 6,5$	$6,5 < s \leq 8,5$
Sedang	1000 - 3000	$3,5 < s \leq 4,5$	$4,5 < s \leq 5,5$	$5,5 < s \leq 7,5$
Besar	> 3000	$2,5 < s \leq 3,5$	$3,5 < s \leq 4,5$	$4,5 < s \leq 6,5$

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

Tabel 3.2 Nilai Deviasi Standar untuk berbagai tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Sd (MPa)
Memuaskan	2.8
Sangat Baik	3.5
Baik	4.2
Cukup	5.6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8.4

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

3. Mencari nilai tambah untuk kuat desak rencana (M) dihitung dengan rumus:

$$M = 1,64 \cdot sd \cdot k \quad (3.5)$$

Faktor pengali (k) deviasi standar dapat diketahui dari Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

Jumlah Data	≥ 30	25	20	15	< 15
Faktor Pengali	1,00	1,03	1,08	1,15	-

Catatan : Bila jumlah data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa

4. Menghitung kuat desak beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) dihitung dengan rumus:

$$f_{cr} = \bar{f}_c + M \quad (3.6)$$

5. Menentukan jenis semen yang digunakan.
 6. Menentukan jenis agregat yang digunakan.
 a. Agregat halus (pasir) alami
 b. Agregat kasar (kerikil) batu pecah
 7. Menentukan faktor air semen (FAS)

- a. Dengan menggunakan tabel

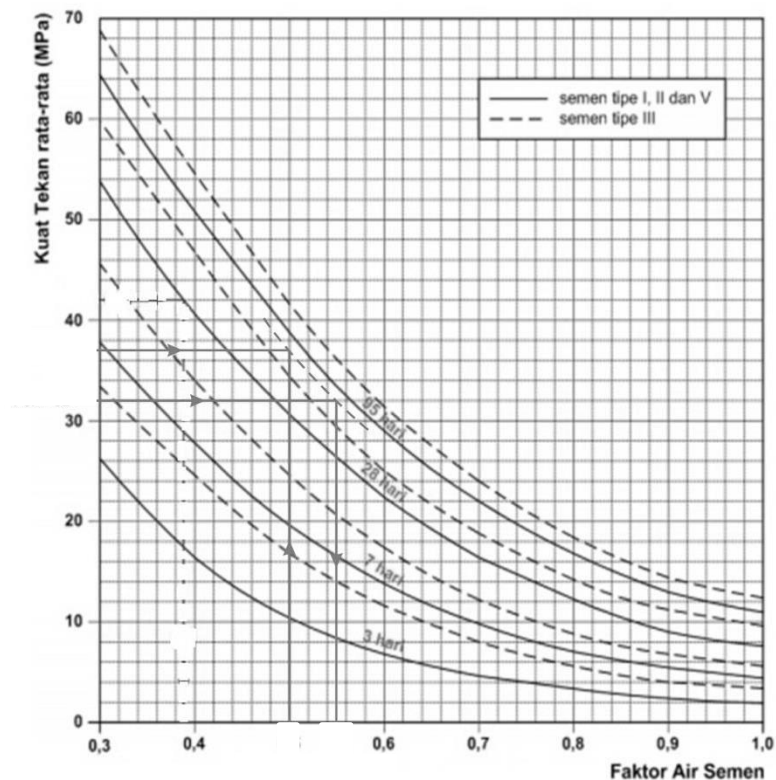
Menentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari sesuai dengan semen dan agregat yang dipakai. Tabel 3.4 di bawah ini menunjukkan perkiraan kuat desak beton dengan FAS = 0,5.

Tabel 3.4 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan FAS = 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Betuk Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	95	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

- b. Dengan menggunakan grafik (lihat Gambar 3.4)



Gambar 3.4 Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen (FAS).
(Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm ×
Tinggi 300 mm)

Cara menggunakan grafik.

- 1) Pada Gambar 3.4 di atas, tarik garis horizontal dari f'_c yang diperoleh dari Tabel 3.4 dan garis vertikal dari FAS yang diperoleh dari Tabel 3.4 (FAS = 0,5), kemudian temukan pada suatu titik
- 2) Dari titik tersebut, buatlah garis kurva bayangan yang sejajar dengan garis-garis kurva yang telah ada pada grafik tersebut
- 3) Kemudian, tarik garis horizontal dari f_{cr} yang diperoleh dari perhitungan sampai menyentuh garis kurva bayangan yang telah dibuat tadi
- 4) Kemudian, tarik garis vertikal ke bawah untuk menentukan nilai FAS

Nilai FAS tersebut harus memenuhi persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum yang tercantum dalam Tabel 3.5 berikut. Jika nilai FAS ternyata lebih tinggi dari nilai FAS maksimum yang tercantum di dalam Tabel 3.5, maka nilai FAS yang dipakai adalah

nilai FAS maksimum yang tercantum di dalam Tabel 3.5. Tetapi jika FAS yang didapatkan lebih rendah, maka nilai FAS yang digunakan adalah nilai FAS yang terkecil.

Tabel 3.5 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan Dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ Beton (Kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensi 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 (SNI)	Lihat Tabel 5 (SNI)
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar	Lihat Tabel 5 (SNI)	Lihat Tabel 5 (SNI)
b. Air laut	Lihat Tabel 5 (SNI)	Lihat Tabel 5 (SNI)

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

8. Menentukan nilai slump rencana.
9. Menetapkan ukuran agregat maksimum.
10. Menentukan nilai kadar air bebas dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar air bebas} = \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k \quad (3.7)$$

Dengan:

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

Nilai W_h dan W_k diperoleh dari Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton

Ukuran besar butir agregat maksimum (mm)	Jenis agregat	Slump (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 100
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

11. Jumlah semen yang dipakai per m^3 beton

a. Dengan menggunakan tabel

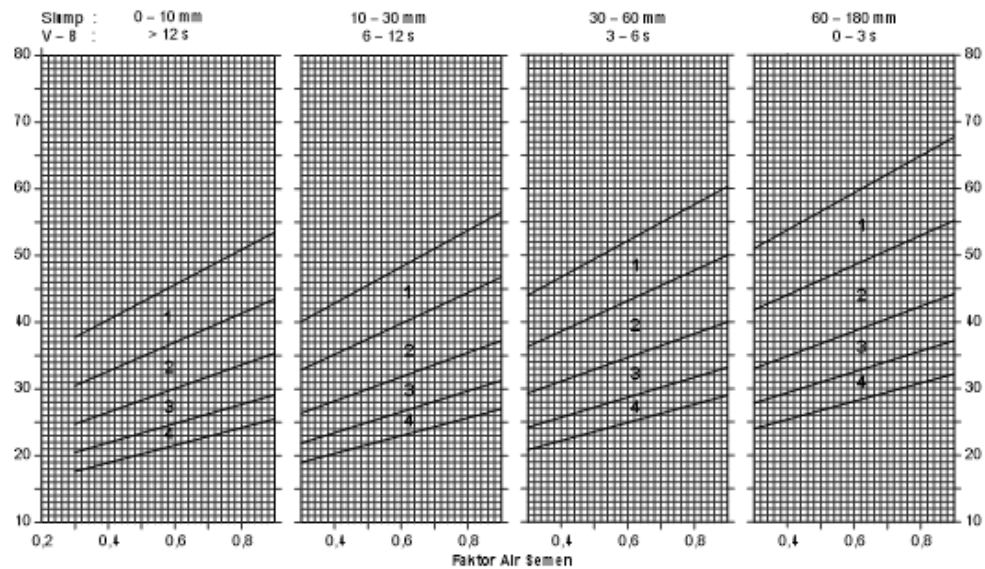
Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.5 yang telah tertera di atas dalam perhitungan nilai FAS dan kondisi lingkungan beton.

b. Dengan menggunakan rumus:

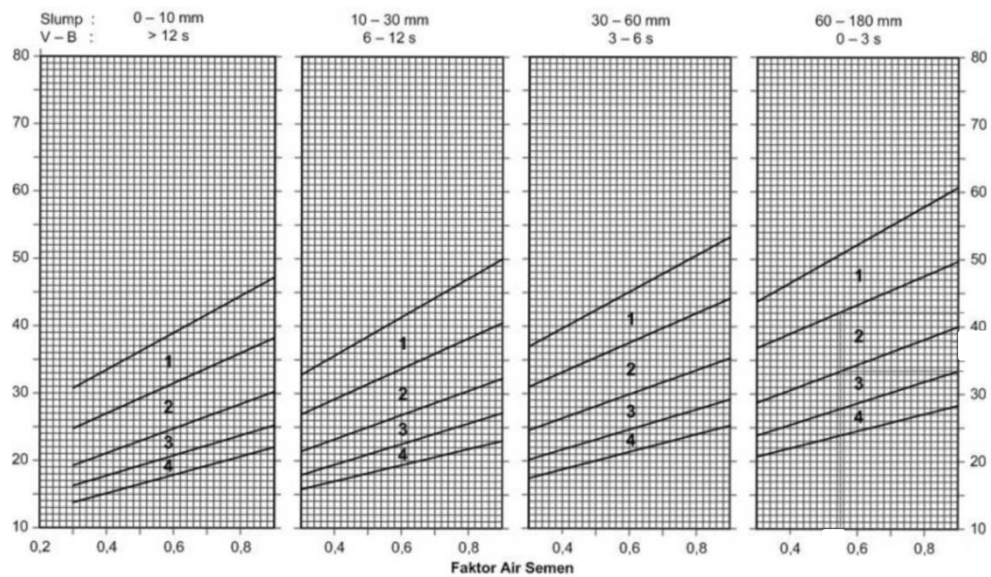
$$\text{Jumlah semen minimum per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \quad (3.8)$$

Dari kedua cara tersebut dipakai jumlah semen minimum per m^3 beton.

12. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik berikut (lihat Gambar 3.5 dan Gambar 3.6).



Gambar 3.5 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm



Gambar 3.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 40 mm

Cara menggunakan grafik.

- Pada Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 di atas, tentukan grafik yang akan dipakai berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump yang direncanakan.

- b. Tarik garis vertikal ke atas sampai ke kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- c. Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas maupun kurva batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilainya
- d. Ambil rata-rata dari kedua nilai tersebut

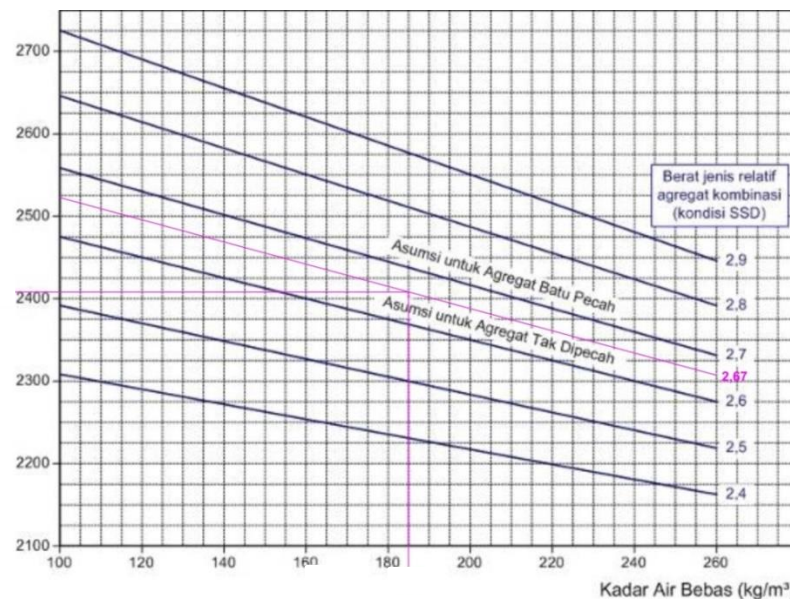
Untuk nilai persentase agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$\text{Nilai prosentase agregat kasar} = 100\% - \text{Persentase agregat halus} \quad (3.9)$$

13. Menghitung berat jenis gabungan dengan rumus:

$$BJ_{ag.gab} = \left(\frac{\% ag.halus}{100} \times BJ_{ag.halus} \right) + \left(\frac{\% ag.kasar}{100} \times BJ_{ag.kasar} \right) \quad (3.10)$$

14. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik berikut (lihat Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan

Cara menggunakan grafik.

- a. Pada Gambar 3.6 di atas, tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik
- b. Tarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan nilai kadar air bebas Kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas dan catat nilainya.

15. Menghitung kadar agregat gabungan dihitung dengan rumus:

Kadar agregat gabungan = berat isi beton–kadar semen–kadar air bebas (3.11)

16. Menghitung kadar agregat halus dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.12)$$

17. Menghitung kadar agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.13)$$

18. Menghitung Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Dari hasil perhitungan di atas, maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton.

19. Menghitung berat masing-masing bahan dalam setiap variasi campuran.
20. Menghitung berat limbah karet pada variasi 2% dengan dikalikan berat total beton pada variasi tersebut.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 TINJAUAN UMUM

Metode penelitian adalah langkah-langkah umum atau metode yang dilakukan dalam penelitian suatu masalah, kasus, fenomena, atau yang lain secara ilmiah untuk memperoleh hasil yang rasional. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Metode eksperimen adalah suatu penelitian untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam suatu kondisi yang terkontrol.

Dalam penelitian ini terdiri atas variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas berupa kadar penambahan serat limbah karet padat terhadap berat total beton dan perubahan temperatur, sedangkan variabel terikat berupa kuat desak beton, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton. Faktor-faktor lain seperti susunan gradasi agregat, proporsi campuran bahan, perawatan, dan yang lain dianggap sebagai variabel yang tidak berpengaruh.

4.2 BENDA UJI

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Obyek dalam penelitian ini adalah beton normal yang menggunakan bahan tambah limbah karet padat yang diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara IX, Divisi Tanaman Tahunan Ngobo sebagai serat dengan variasi campuran 0%, dan 2% dari berat total beton. Masing-masing varian diberi pengaruh temperatur dari 0°C - 400°C, dengan interval kenaikan temperatur 100°C. Pemanasan dilakukan selama ± 3 jam.

4.3 TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini meliputi.

1. Tahap I

Tahapan ini merupakan tahap persiapan. Pada tahapan ini dilakukan persiapan dalam segala hal yang berhubungan dengan penelitian, mulai dari studi pustaka dan studi literatur sampai ke persiapan alat dan bahan.

2. Tahap II

Pada tahapan ini dilakukan pemeriksaan bahan susun beton yang meliputi pengujian agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut. Selain itu, untuk mengetahui apakah bahan-bahan tersebut memenuhi persyaratan atau tidak jika digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Berikut merupakan macam-macam pengujian agregat halus dan agregat kasar.

- a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar
- c. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
- d. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
- e. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Halus
- f. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar
- g. Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir)

3. Tahap III

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) berdasarkan hasil pengujian dari masing-masing bahan penyusun beton. Hasil dari *mix design* ini berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji.

4. Tahap IV

Tahapan ini merupakan tahapan pembuatan dan perawatan benda uji. Pada tahapan ini dilakukan pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut.

- a. Pembuatan adonan beton, baik beton normal maupun beton dengan bahan tambah serat limbah karet.
- b. Pengecoran ke dalam cetakan tabung.
- c. Pelepasan benda uji dari cetakan tabung.
- d. Perawatan beton sampai ke umur rencana.

5. Tahap V

Tahapan ini merupakan tahapan pengujian utama. Pada tahapan ini dilakukan uji kuat desak beton, modulus elastisitas dan uji kuat tarik belah beton untuk seluruh sampel, baik beton normal maupun beton yang dicampur dengan limbah karet padat. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu dipanaskan pada temperatur tertentu. Pelaksanaan pemanasan dilakukan di laboratorium Struktur dan Mekanika Bahan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Sedangkan pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

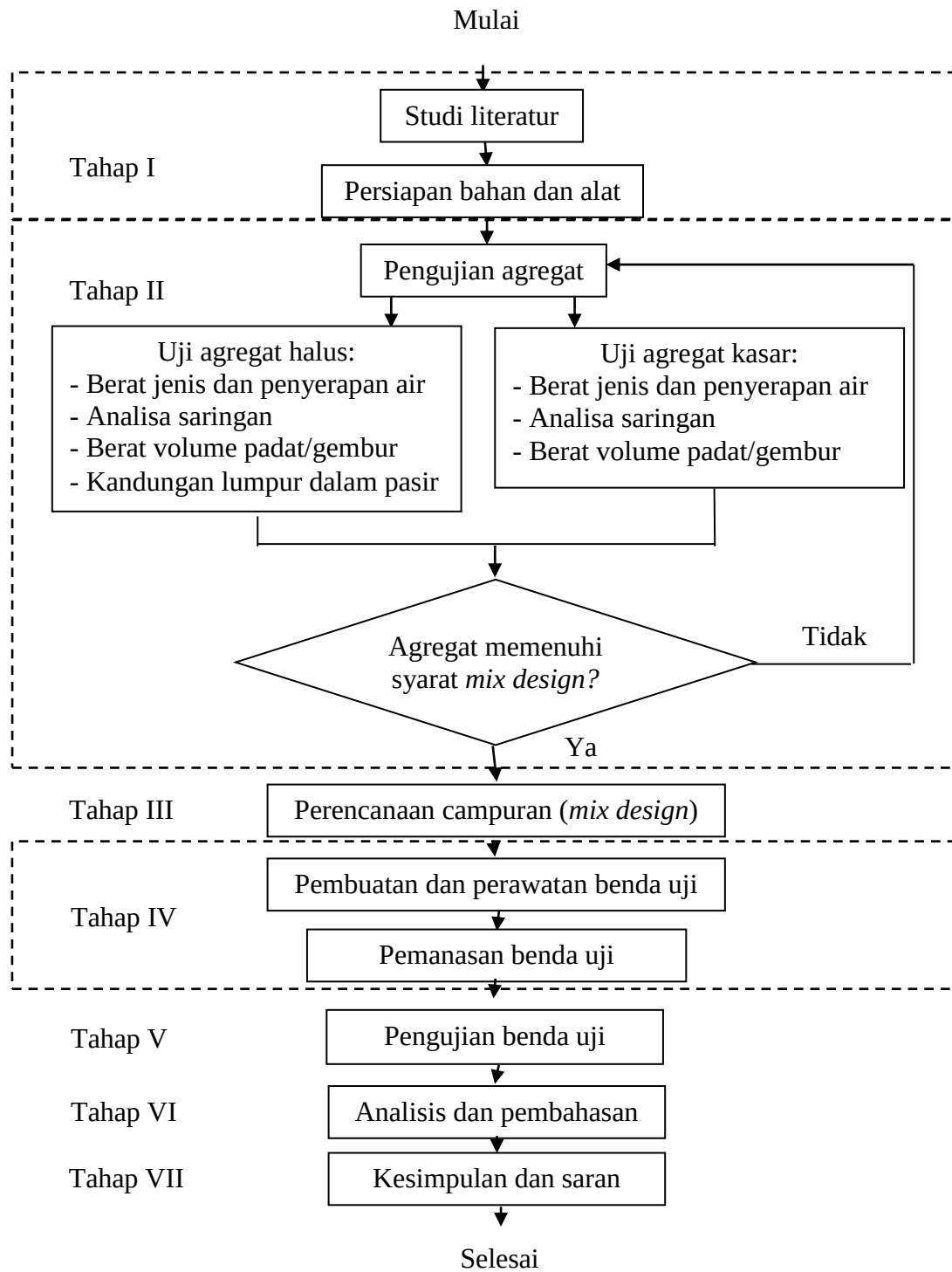
6. Tahap VI

Tahapan ini merupakan tahapan analisis data. Pada tahapan ini dilakukan analisis data dari hasil pengujian untuk mendapatkan suatu kesimpulan.

7. Tahap VII

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian ini. Dalam tahapan ini data yang telah dianalisis dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

Secara keseluruhan tahapan penelitian dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Bagan Alir Penelitian

4.3.1 Tahap I (Persiapan)

Tahapan ini merupakan tahap persiapan. Pada tahapan ini dilakukan persiapan dalam segala hal yang berhubungan dengan penelitian, mulai dari studi pustaka dan studi literatur sampai ke persiapan alat dan bahan.

Studi pustaka dan studi literatur dilakukan dengan mencari pustaka sebanyak-banyaknya. Pustaka yang digunakan adalah yang topiknya berkaitan dengan penelitian ini. Pustaka yang digunakan berupa jurnal, penelitian dan buku-buku teori yang berkaitan dengan penelitian ini. Hasil dari studi pustaka dan studi literatur ini adalah bukti keaslian penelitian yang dilakukan.

Alat dan bahan disiapkan sesuai dengan kebutuhan setiap tahapan penelitian, mulai dari pengujian agregat, pencampuran bahan-bahan penyusun beton, pembuatan benda uji, sampai ke pengujian benda uji. Secara detail akan dijelaskan pada setiap tahap penelitian.

4.3.2 Tahap II (Pengujian Agregat)

Pada tahapan ini dilakukan pemeriksaan bahan susun beton yang meliputi pengujian agregat halus dan agregat kasar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut. Selain itu, untuk mengetahui apakah bahan-bahan tersebut memenuhi persyaratan atau tidak jika digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*).

1. Pengujian Agregat Halus

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering jenuh (*SSD*), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus atau pasir. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

- a) Berat Jenis Curah adalah Perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C .
- b) Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD) adalah berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C .
- c) Berat Jenis Semu adalah berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C .
- d) Penyerapan adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

2) Alat

- a) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih, dengan ketelitian 0,1 gram.
- b) Piknometer kapasitas 500 ml.
- c) Kerucut terpancung, diameter (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm, tinggi (75 ± 3) mm, terbuat dari logam dengan tebal minimum 0,8 mm.
- d) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram dan diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm.
- e) Saringan No. 4 $(4,75)$ mm.
- f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C .
- h) Talam.
- i) Bejana tempat air.
- j) Desikator.

3) Cara Pengujian

- a) Keringkan benda uji dalam oven suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat benda uji tetap. Yang dimaksud berat tetap adalah keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2

jam berturut-turut tidak mengalami perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%, dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama 24 ± 4 jam.

- b) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan sampai ada butiran yang terbang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membalik-balikan benda uji sampai keadaan kering permukaan jenuh.
- c) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali dan ratakan permukaannya. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila kerucut terpancang diangkat, benda uji akan runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- d) Apabila telah tercapai keadaan kering permukaan jenuh, segera masukkan benda uji sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, lalu masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar piknometer diguncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dapat digunakan pompa hampa udara, tetapi harus diperhatikan jangan sampai terdapat lagi air yang terhisap dan dapat dilakukan dengan merebus piknometer.
- e) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu standar 25°C .
- f) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
- g) Timbang piknometer yang berisi benda uji dan air sampai ketelitian 0,1 gram (Bt).
- h) Keluarkan benda uji dari piknometer, kemudian keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji dalam desikator.
- i) Setelah benda uji dingin, lalu timbang (Bk).

- j) Timbang berat piknometer penuh berisi air (B), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.

4) Rumus yang Digunakan

$$\text{a) Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \quad (4.1)$$

$$\text{b) Berat jenis kering muka} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \quad (4.2)$$

$$\text{c) Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} \quad (4.3)$$

$$\text{d) Penyerapan air} = \frac{(500 - Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (4.4)$$

keterangan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

Bt = Berat piknometer berisi air dan pasir (gram)

500 = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram).

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan butir (gradasi) agregat halus dengan menggunakan saringan. Pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran/ jumlah persentase butiran distribusi yang dapat ditunjukkan dengan tabel atau grafik. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Alat

- a) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- b) Satu set saringan : 4,75 mm (No.4), 2,36 mm (No.8), 1,18 mm (No.16), 0,600 mm (No.30), 0,300 mm (No.50), 0,150 mm (No.100), pan penutup saringan.

- c) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - d) Alat pemisah contoh.
 - e) Mesin Pengguncang saringan.
 - f) Talam.
 - g) Kuas.
 - h) Sikat Kuningan.
 - i) Sedok dan lain-lain.
- 2) Cara Pengujian
- a) Benda Uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(100 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. (untuk mendapatkan hasil yang teliti, sebaiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian)
 - b) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
 - c) Saring benda uji lewat susunan saringan 4,75 mm (No.4), 2,36 mm (No.8), 1,18 mm (No.16), 0,600 mm (No.30), 0,300 mm (No.50), 0,150 mm (No.100), pan penutup saringan, kemudian ayak dengan mesin penggoyang selama 10-15 menit.
 - d) Timbang benda uji yang tertinggal pada masing-masing saringan. (gunakan sikat untuk membersihkan saringan yang berlubang kasar/ besar dan gunakan kuas untuk membersihkan saringan yang berlubang halus/ kecil.
- 3) Rumus yang Digunakan

$$MHB = \frac{\sum \text{berat tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (4.5)$$

keterangan: MHB = Modulus Halus Butir

c. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat volume padat agregat halus. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

- a) Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi yang telah dipadatkan.

2) Alat

- a) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh.
- b) Silinder/ tabung kapasitas 5 liter
- c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
- d) Oven yang dilengkapi pengaturan suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
- e) Jangka sorong.
- f) Talam, sekop, dan lain-lain.

3) Cara Pengujian

- a) Keringkan benda uji dalam oven lantas tentukan pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, sampai berat tetap.
- b) Keluarkan benda uji dari oven lantas dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- c) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan benda uji per $\frac{1}{3}$ bagian dan tiap bagian ditumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh.
- d) Timbang berat silinder berisi benda uji dan catat beratnya.
- e) Hitung volume silinder.

4) Rumus yang Digunakan

- a) $V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t$ (4.6)

keterangan: D = Diameter silinder (cm)

t = tinggi silinder (cm)

V = Volume silinder (cm³)

$$\text{b) Berat isi padat} = \frac{W_3}{V}; W_3 = W_2 - W_1 \quad (4.7)$$

keterangan: W_1 = berat tabung (gram)

W_2 = berat tabung + agregat (gram)

W_3 = berat agregat bersih (gram)

d. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat isi gembur agregat halus. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

a) Berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi tidak dipadatkan.

2) Alat

a) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh.

b) Silinder/ tabung kapasitas 5 liter.

c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.

d) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.

e) Jangka Sorong.

f) Talam, sekop, dan lain-lain.

3) Cara Pengujian

a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.

b) Keluarkan benda uji dari oven, setelah itu dinginkan pada suhu kamar selama 1 – 3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.

- c) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan dalam silinder sampai penuh (tanpa pemadatan) lalu diratakan.
 - d) Timbang berat silinder berisi benda uji dan dicatat beratnya.
 - e) Hitung volume silinder.
- 4) Rumus yang Digunakan
- a) $V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t$ (4.8)
 keterangan: D = Diameter silinder (cm)
 t = tinggi silinder (cm)
 V = Volume silinder (cm³)
 - b) Berat isi padat = $\frac{W_3}{V}$; $W_3 = W_2 - W_1$ (4.9)
 keterangan: W_1 = berat tabung (gram)
 W_2 = berat tabung + agregat (gram)
 W_3 = berat agregat bersih (gram)
- e. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur dalam Pasir)
- Pengujian untuk menentukan persentase kandungan lumpur dalam agregat halus. Pengujian ini dilakukan pada agregat halus/ pasir dan sejenisnya, yaitu agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm).
- 1) Alat
- a) Timbangan kapasitas 2500 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh yang ditimbang.
 - b) Saringan 75 mikron (No. 200)
 - c) Tempat air untuk pencucian (kran) atau saluran air mengalir.
 - d) Cawan, sendok.
 - e) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$.
 - f) Kain lap dan lain-lain.

2) Cara Pengujian

- a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
- b) Letakkan benda uji dalam saringan dan alirkan air diatasnya.
- c) Gerakkan benda uji dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras sehingga bagian yang halus menembus saringan No. 200 dan bagian yang kasar tertinggal diatasnya.
- d) Ulangi pekerjaan di atas hingga air pencucian tetap jernih.
- e) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

3) Rumus yang Digunakan

$$\text{Persentase berat yang lolos ayakan} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100\% \quad (4.10)$$

keterangan: W_1 = Berat kering oven

W_2 = Berat kering oven setelah dicuci

2. Pengujian Agregat Kasar

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat kasar atau kerikil. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar/ kerikil dan sejenisnya, yaitu agregat yang tidak lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

- a) Berat Jenis Curah adalah Perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C .
- b) Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD) adalah berat agregat jenuh kering permukaan dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C .

- c) Berat Jenis Semu adalah berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.
- d) Penyerapan adalah perbandingan berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

2) Alat

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 gram dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang.
- b) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No.6) atau 2,36 mm (No.8) dengan kapasitas ± 5000 gram.
- c) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air tetap.
- d) Alat pemisah contoh.
- e) Saringan No. 4 (4,75)mm.
- f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
- g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C .
- h) Kain lap, sekop kecil, talam dan lain-lain.

3) Cara Pengujian

- a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b) Keringkan benda uji dalam oven suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat benda uji tetap. Yang dimaksud berat tetap adalah keadaan benda uji selama 3 kali proses penimbangan dan pemanasan dalam oven dengan selang waktu 2 jam berturut-turut tidak mengalami perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%, dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama 24 ± 4 jam.
- c) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam. Kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk).
- d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam.

- e) Keluarkan benda uji dari air, kemudian lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar harus satu per satu.
- f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j).
- g) Letakkan benda uji di dalam keranjang, goncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan tentukan beratnya di dalam air (B_a), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan untuk suhu standar 25°C.
- h) Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir yang berat dan ringan. Bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan teliti. Dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulang diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

4) Rumus yang digunakan

$$\text{a) Berat jenis curah} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (4.11)$$

$$\text{b) Berat jenis kering muka} = \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (4.12)$$

$$\text{c) Berat jenis semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \quad (4.13)$$

$$\text{d) Penyerapan} = \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (4.14)$$

keterangan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pemeriksaan untuk menentukan butir (gradasi) agregat kasar dengan menggunakan saringan. Pengujian ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran/ jumlah persentase

butiran distribusi yang dapat ditunjukkan dengan tabel atau grafik. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar/ kerikil dan sejenisnya yang tertahan saringan no. 4 (4,75 mm).

1) Alat

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji
- b) Satu set saringan : 38,1 mm (1 1/2"), 19 mm (3/4"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (No.4).
- c) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai ($110^{\circ} \pm 5^{\circ}$)C
- d) Alat pemisah contoh
- e) Mesin Pengguncang saringan
- f) Talam
- g) Kuas
- h) Sikat Kuningan
- i) Sedok dan lain-lain.

2) Cara Pengujian

- a) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu (100 ± 5)^o C sampai berat tetap. (untuk mendapatkan hasil yang teliti, sebaiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian)
- b) Keluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- c) Saring benda uji lewat susunan saringan 38,1 mm (1 1/2"), 19 mm (3/4"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (No.4), pan penutup saringan, kemudian ayak dengan mesin penggoyang selama 10-15 menit.
- d) Timbang benda uji yang tertinggal pada masing-masing saringan. (gunakan sikat untuk membersihkan saringan yang berlubang kasar/ besar dan gunakan kuas untuk membersihkan saringan yang berlubang halus/ kecil.

3) Rumus yang Dipakai

$$MHB = \frac{\sum \text{berat tertinggal kumulatif (\%)}}{100} \quad (4.15)$$

keterangan: MHB = Modulus Halus Butir

c. Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat volume padat agregat kasar. Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar/ kerikil dan sejenisnya yang tidak lolos saringan No. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

- a) Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi yang telah dipadatkan.

2) Alat

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh.
- b) Silinder/ tabung kapasitas 10 liter
- c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.
- d) Oven yang dilengkapi pengaturan suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$.
- e) Jangka sorong.
- f) Talam, sekop, dan lain-lain

3) Cara Pengujian

- a) Keringkan benda uji dalam oven kemudian tentukan pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$, sampai berat tetap.
- b) Keluarkan benda uji dari oven kemudian dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- c) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan benda uji per $\frac{1}{3}$ bagian dan tiap bagian ditumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh.

d) Timbang berat silinder berisi benda uji dan catat beratnya.

e) Hitung volume silinder.

4) Rumus yang Dipakai

$$a) V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \quad (4.16)$$

keterangan: V = Volume silinder (cm^3)

D = Diameter silinder (cm)

t = tinggi silinder (cm)

$$b) \text{ Berat isi padat} = \frac{W_3}{V}; W_3 = W_2 - W_1 \quad (4.17)$$

keterangan: W_1 = berat tabung (gram)

W_2 = berat tabung + agregat (gram)

W_3 = berat agregat bersih (gram)

d. Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat isi gembur agregat kasar.

Pengujian ini dilakukan pada agregat kasar/ kerikil dan sejenisnya yang tidak lolos saringan no. 4 (4,75 mm).

1) Pengertian Istilah

a) Berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat per satuan volume dalam kondisi tidak dipadatkan.

2) Alat

a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh.

b) Silinder/ tabung kapasitas 10 liter.

c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm.

d) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$.

e) Jangka Sorong.

f) Talam, sekop, dan lain-lain.

3) Cara Pengujian

- a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap.
- b) Keluarkan benda uji dari oven kemudian dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- c) Letakkan silinder ukur pada tempat yang datar kemudian masukkan dalam silinder sampai penuh (tanpa pemadatan) lalu diratakan.
- d) Timbang berat silinder berisi benda uji dan dicatat beratnya.
- e) Hitung volume silinder.

4) Rumus yang Dipakai

$$a) V = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot t \quad (4.18)$$

keterangan: V = Volume silinder (cm^3)

D = Diameter silinder (cm)

t = Tinggi silinder (cm)

$$b) \text{ Berat isi gembur} = \frac{W_3}{V}; W_3 = W_2 - W_1 \quad (4.19)$$

keterangan: W_1 = berat tabung (gram)

W_2 = berat tabung + agregat (gram)

W_3 = berat agregat bersih (gram)

4.3.3 Tahap III (Perhitungan Rencana Campuran (*Mix Design*))

Pada tahap ini dilakukan perhitungan rencana campuran (*mix design*) berdasarkan hasil pengujian dari masing-masing bahan penyusun beton. Hasil dari *mix design* ini berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji.

4.3.4 Tahap IV (Pembuatan dan Perawatan Benda Uji)

Tahapan ini merupakan tahapan pembuatan dan perawatan benda uji. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini berbentuk tabung dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Penelitian ini secara umum terdiri dari 2 macam benda uji, yaitu

benda uji tanpa serat dan benda uji yang menggunakan serat. Proporsi serat yang digunakan sebesar 2% berat beton. Jumlah keseluruhan benda uji yang dibuat dan uji dalam penelitian ini sebanyak 60 sampel. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kuat desak beton sekaligus modulus elastisitas dan pengujian kuat tarik belah beton. Perincian benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Perincian Benda Uji

Jenis Benda Uji	Jenis Pengujian	Temperatur (°C)	Kode Benda Uji	Jumlah (Sampel)	Umur (Hari)
Tanpa Serat	Uji Desak	0	BTS-S0-0-D	3	28
		100	BTS-S0-1-D	3	
		200	BTS-S0-2-D	3	
		300	BTS-S0-3-D	3	
		400	BTS-S0-4-D	3	
Serat 2%	Uji Desak	0	BS-S2-0-D	3	
		100	BS-S2-1-D	3	
		200	BS-S2-2-D	3	
		300	BS-S2-3-D	3	
		400	BS-S2-4-D	3	
Tanpa Serat	Uji Tarik Belah	0	BTS-S0-0-TB	3	
		100	BTS-S0-1-TB	3	
		200	BTS-S0-2-TB	3	
		300	BTS-S0-3-TB	3	
		400	BTS-S0-4-TB	3	
Serat 2%	Uji Tarik Belah	0	BS-S2-0-TB	3	
		100	BS-S2-1-TB	3	
		200	BS-S2-2-TB	3	
		300	BS-S2-3-TB	3	
		400	BS-S2-4-TB	3	
Jumlah	-	-	-	60	-

Keterangan:

BTS-S0-0-D = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 0°C, Uji Desak

BTS-S0-1-D = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 100°C, Uji Desak

BTS-S0-2-D = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 200°C, Uji Desak

BTS-S0-3-D = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 300°C, Uji Desak
 BTS-S0-4-D = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 400°C, Uji Desak
 BS-S2-0-D = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 0°C, Uji Desak
 BS-S2-1-D = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 100°C, Uji Desak
 BS-S2-2-D = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 200°C, Uji Desak
 BS-S2-3-D = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 300°C, Uji Desak
 BS-S2-4-D = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 400°C, Uji Desak
 BTS-S0-0-TB = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 0°C, Uji Tarik Belah
 BTS-S0-1-TB = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 100°C, Uji Tarik Belah
 BTS-S0-2-TB = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 200°C, Uji Tarik Belah
 BTS-S0-3-TB = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 300°C, Uji Tarik Belah
 BTS-S0-4-TB = Beton Tanpa Serat, dipengaruhi temperatur 400°C, Uji Tarik Belah
 BS-S2-0-TB = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 0°C, Uji Tarik Belah
 BS-S2-1-TB = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 100°C, Uji Tarik Belah
 BS-S2-2-TB = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 200°C, Uji Tarik Belah
 BS-S2-3-TB = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 300°C, Uji Tarik Belah
 BS-S2-4-TB = Beton Serat kadar 2%, dipengaruhi temperatur 400°C, Uji Tarik Belah

1. Alat yang Digunakan

a. Untuk menentukan nilai slump

1) Corong kerucut abrams

Diameter atas : 10 cm

Diameter bawah : 20 cm

Tinggi : 30 cm

- 2) Tongkat penumbuk
- 3) Mistar siku
- b. Untuk mencetak silinder
 - 1) Cetakan silinder
 - Diameter : 10 cm
 - Tinggi : 30 cm
- c. Sekop
- d. Timbangan
- e. Tempat adukan beton
- f. Molen
- g. Ember
- 2. Cara Pembuatan Benda Uji
 - a. Alat-alat yang digunakan disiapkan terlebih dahulu, untuk silinder bagian dalamnya dilumuri oli agar pada saat membuka beton setelah dicetak tidak sulit.
 - b. Limbah karet, Pasir, dan kerikil yang dijadikan SSD disiapkan terlebih dahulu.
 - c. Setiap bahan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan yang telah direncanakan.
 - d. Setelah semua bahan disiapkan, masukan bahan-bahan tersebut ke dalam molen, kemudian dicampur menjadi satu.
 - e. Setelah semua tercapur merata menjadi satu, siapkan adukan beton di atas tempat adukan beton.
 - f. Kemudian ukur slumpnya dengan menggunakan kerucut *abrams* dan dicatat hasilnya.
 - g. Pengontrolan nilai slumpnya dengan cara mengisikan adukan beton ke dalam kerucut *abrams* secara bertahap, yaitu sebanyak 3 kali. Yang pertama diisi 1/3 bagian kemudian ditumbuk 25 kali, setelah itu lanjutkan hingga mencapai 2/3 dari volume kerucut kemudian ditumbuk 25 kali, yang terakhir lanjutkan pengisian sampai penuh kemudian ditumbuk lagi 25 kali dan ratakan atasnya.

Setelah itu angkat dengan perlahan kerucut tersebut. Setelah itu ukur penurunan dari tinggi adukan tersebut. Penurunan tersebut menunjukkan nilai slump.

- h. Jika sudah sesuai maka adukan tersebut diisikan kedalam cetakan-cetakan yang telah disediakan.
 - i. Setelah 24 jam buka cetakan beton untuk direndam di dalam air selama 21 hari.
 - j. Setelah 21 hari direndam, beton diangkat dan dikeringkan dengan suhu udara sampai beton berumur 28 hari.
 - k. Setelah 28 hari masing-masing sampel beton ditimbang dan dicatat hasilnya. Kemudian sampel beton dipanaskan sesuai variasi pengaruh temperatur yang dibutuhkan.
 - l. Setelah diberi pengaruh temperatur sampel beton ditimbang kembali dan dicatat hasilnya. Kemudian sampel beton disiapkan untuk uji desak dan tarik belah beton.
3. Cara pemberian air pada campuran beton
- a. Setelah limbah karet, Pasir, dan kerikil di dalam molen tercampur. Selanjutnya air dimasukan ke dalam molen secara perlahan-lahan sampai tercampur dan plastis.
 - b. Kemudian dilakukan pengujian slump beton segar. Nilai slump sampel beton setiap variasi temperatur dijaga agar nilainya sama. Dengan demikian nilai fas pada setiap variasi temperatur sampel beton akan sama, meskipun nilai fas yang ada berbeda dengan hasil *mix design*.
 - c. Dalam memasukkan air ke dalam campuran beton harus diperhatikan, dan air yang digunakan tidak harus semuanya dimasukan, karena yang menjadi patokan adalah nilai slump setiap variasi harus sama.

4.3.5 Tahap V (Pengujian Utama)

Tahapan ini merupakan tahapan pengujian utama. Pada tahapan ini dilakukan uji kuat desak beton dan uji kuat tarik belah beton untuk seluruh sampel, baik beton normal maupun beton yang dicampur dengan limbah karet. Pengujian dilakukan di

Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

1. Pengujian Kuat Desak Beton

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai kuat tekan (*compressive strength*) beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium.

a. Pengertian Istilah

- 1) Kuat Tekan Beton adalah besarnya beban per-satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan.

b. Alat

- 1) Timbangan.
- 2) Jangka sorong.
- 3) Mesin Tekan, kapasitas sesuai kebutuhan.
- 4) Alat pelapis (*capping*).

c. Cara Pengujian

- 1) Ambil benda uji yang akan ditentukan kuat tekannya dari bak perendaman/pematangan (*curing*) 24 jam sebelum pengujian, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lap.
- 2) Timbang dan ukurlah dimensi benda uji.
- 3) Lapisilah (*capping*) permukaan atas dan bawah benda uji silinder dengan mortar belerang. Benda uji berbentuk kubus tidak perlu diberikan lapisan mortar belerang.
- 4) Letakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
- 5) Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan, sekitar 2 sampai 4 kg/cm² per-detik.
- 6) Lakukan pembebanan sampai benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.

7) Gambarkan bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.

2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai kuat tarik belah beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium.

a. Pengertian Istilah

- 1) Kuat Tarik/ Belah beton adalah nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

b. Alat

- 1) Mesin uji tekan
- 2) Pelat atau Penekan Tambahan
- 3) Bantalan bantu pembebanan
- 4) Jangka Sorong
- 5) Timbangan

c. Cara Pengujian

- 1) Ukur diameter dan tinggi benda uji, kemudian timbang beratnya.
- 2) Pemberian tanda pada benda uji. Tarik garis tengah pada setiap sisi ujung benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, sehingga dapat memastikan bahwa kedua garis tengah tadi berada dalam bidang aksial yang sama.
- 3) Letakkan sebuah pelat atau batang penekan tambahan (bila digunakan) di atas meja tekan bagian bawah mesin uji tekan secara simetris.
- 4) Letakkan sebuah dari dua buah bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis di atas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan (atau di atas pelat atau batang penekan tambahan bila digunakan yang terletak di atas meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan) pada tengah-tengahnya.

- 5) Letakkan benda uji di atas bantalan bantu pembebanan sedemikian rupa hingga tanda garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan bantu pembebanan tersebut.
- 6) Letakkan bantalan bantu pembebanan yang terbuat dari kayu lapis kedua di atas benda uji sedemikian rupa hingga titik tengahnya berpotongan dengan garis tengah benda uji yang ada pada ujung silinder. Kemudian letakkan di atas bantalan tersebut pelat atau batang penekan tambahan bila digunakan.
- 7) Atur posisi pengujian hingga tercapai kondisi : Proyeksi dari bidang yang ditandai oleh garis tengah pada kedua ujung benda uji tepat berpotongan dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji; Bila digunakan pelat atau batang penekan tambahan, titik tengahnya dan titik tengah benda uji harus berada tepat di bawah titik tengah meja penekan bagian atas dari mesin uji.
- 8) Jalankan mesin uji tekan dengan pemberian beban dilakukan secara menerus, tanpa sentakan, dengan kecepatan pembebanan konstan yang berkisar antara 0,7 hingga 1,4 Mpa per-detik sampai benda uji hancur/terbelah. Kecepatan pembebanan untuk benda uji berbentuk silinder dengan ukuran panjang 300 mm dan diameter 150 mm berkisar antara 50 sampai 100 KN per-menit.
- 9) *Stopwatch* dinyalakan bersamaan dengan mulainya pembebanan.
- 10) Setelah kuat tarik beton mencapai batas maksimum. Mesin dan *Stopwatch* dimatikan secara bersamaan, kemudian catat nilai beban maksimum dan waktu yang dibutuhkan.
- 11) Benda uji dikeluarkan dari dalam mesin, kemudian di sket bentuk retakkannya.

3. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

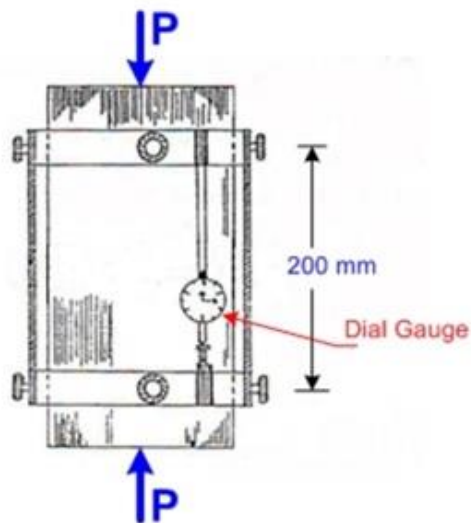
Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh nilai modulus elastisitas beton dengan benda uji berbentuk silinder yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di laboratorium.

a. Pengertian Istilah

- 1) Modulus elastisitas beton adalah nilai tegangan dibagi regangan beton dalam kondisi elastis, dimana tegangan mencapai 40% dari kuat tekan maksimum.

b. Alat

- 1) Mesin uji tekan yang dapat menghasilkan beban dengan kecepatan penambahan beban kontinu dalam satu gerakan tanpa menimbulkan efek kejut, dan mempunyai ketelitian pembacaan maksimum 10 kN.
- 2) *Kompresometer-ekstensiometer* yang mampu mengukur sampai ketelitian $0,635 \mu\text{m}$, terdiri dari 2 elemen lingkaran yang dipasang dekat ujung bawah dan ujung atas benda uji yang jaraknya ditetapkan sesuai panjang indikator seperti Gambar 4.2. Pemasangan elemen lingkaran harus simetris terhadap bidang lingkaran benda uji agar kedudukan batang alat pengukur deformasi tidak terjadi eksentrisitas.
- 3) Pelat atau Penekan Tambahan
- 4) Bantalan bantu pembebanan
- 5) Jangka Sorong
- 6) Timbangan



Gambar 4.2 Benda Uji dan Alat *Kompresometer-Ekstensiometer*

a. Cara Pengujian

- 1) Ukur diameter benda uji dengan jangka sorong pada 3 posisi ukur, ditengah dan di kedua ujung benda uji sampai ketelitian 0,05 mm dari hasil pembacaan rata-rata.
- 2) Panjang benda uji termasuk kaping harus diukur sampai pembacaan 1 mm.
- 3) Timbang benda uji dengan ketelitian timbangan 0,3%.
- 4) Suhu dan kelembaban ruang uji selama pengujian dijaga konstan.
- 5) Pasang alat *kompresometer-ekstensometer* pada benda uji dengan benar dan kokoh, kemudian pasang alat pengukur deformasi (*dial gauge*) pada posisi yang tepat.
- 6) Letakkan benda uji yang telah diberi alat ukur deformasi (*dial gauge*) pada mesin uji tekan dengan kedudukan simetris.
- 7) Jalankan mesin uji tekan dan berikan pembebanan secara teratur, dengan kecepatan pembebanan antara 207 s.d 275 kPa/detik sampai benda uji hancur atau sampai mesin uji tidak memberikan beban lagi.
- 8) Catatlah regangan/deformasi setiap peningkatan beban 10 kN, dan catat beban tekan pada saat regangan tercapai 50.10^{-6} serta catat regangan yang dicapai pada saat pembebanan mencapai 40% beban maksimum.

4.3.6 Tahap VI (Analisis Data)

Tahapan ini merupakan tahapan analisis data. Pada tahapan ini dilakukan analisis data dari hasil pengujian, mulai dari perhitungan masing-masing hasil pengujian, sampai ke analisis data yang diperoleh.

Analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian pendahuluan seperti pengujian agregat dan perhitungan perencanaan campuran (*mix design*), dilakukan sesuai dengan rumus-rumus yang telah dijelaskan sebelumnya. Sedangkan untuk analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian utama seperti pengujian kuat desak beton, pengujian kuat tarik belah beton, dan pengujian modulus elastisitas beton dilakukan

dengan metode rata-rata dari setiap perhitungan masing-masing sampel hasil pengujian.

4.3.7 Tahap VII (Kesimpulan dan Saran)

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian ini. Dalam tahapan ini hasil analisis data dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB V

DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 HASIL PENGUJIAN AGREGAT

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik bahan tersebut. Selain itu, untuk mengetahui apakah bahan-bahan tersebut memenuhi persyaratan atau tidak jika digunakan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*).

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian terhadap agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus, pengujian analisa saringan/Modulus Halus Butir (MHB), pengujian berat volume padat/gembur agregat halus, serta pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir).

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	453,5	456,1	454,8
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1041,2	1040,9	1041,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	733,2	733,2	733,2
Berat jenis curah, gram/cm ³ $Bk / (B + 500 - Bt)$ (1)	2,362	2,372	2,367
Berat jenuh kering muka, gram/cm ³ $500 / (B + 500 - Bt)$ (2)	2,604	2,600	2,602
Berat jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$ (3)	3,117	3,073	3,095
Penyerapan air, % $(500 - Bk) / Bk \times 100\%$ (4)	10,254	9,625	9,939

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{(B + 500 - B_t)} \\
 &= \frac{453,5}{(733,2 + 500 - 1041,2)} \\
 &= 2,362 \text{ gram/cm}^3 \\
 2) \text{ Berat jenis kering muka(SSD)} &= \frac{500}{(B + 500 - B_t)} \\
 &= \frac{500}{(733,2 + 500 - 1041,2)} \\
 &= 2,604 \text{ gram/cm}^3 \\
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B + B_k - B_t)} \\
 &= \frac{474,5}{(733,2 + 453,5 - 1041,2)} \\
 &= 3,117 \text{ gram/cm}^3 \\
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(500 - 453,5)}{453,5} \times 100\% \\
 &= 10,254\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{Berat jenis sampel 1} + \text{Berat jenis sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(2,604 + 2,600)}{2} \\
 &= 2,602 \text{ gram/cm}^3 \\
 6) \text{ Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{Penyerapan sampel 1} + \text{Penyerapan sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(10,254 + 9,625)}{2} \\
 &= 9,939\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat jenis kering muka (SSD) agregat halus adalah sebesar $2,602 \text{ gram/cm}^3$ yang nantinya

akan dipakai ketika perencanaan campuran (*mix design*). Adapun rasio penyerapan agregat halus terhadap air adalah sebesar 9,939%.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus

Hasil pengujian analisa saringan/modulus halus butir (MHB) agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,000	0,000	100,000
4,8	21,800	1,090	1,090	98,910
2,4	187,300	9,365	10,455	89,545
1,2	451,900	22,595	33,050	66,950
0,6	550,300	27,515	60,565	39,435
0,3	363,400	18,170	78,735	21,265
0,15	235,800	11,790	90,525	9,475
Sisa	189,500	9,475	100	0
Jumlah	2000	100	374,420	-

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	0	0,000	0,000	100,000
4,8	28,700	1,435	1,435	98,565
2,4	241,100	12,055	13,490	86,510
1,2	452,600	22,630	36,120	63,880
0,6	511,100	25,555	61,675	38,325
0,3	344,500	17,225	78,900	21,100
0,15	231,300	11,565	90,465	9,535
Sisa	190,700	9,535	100	0
Jumlah	2000	100	382,085	-

a. Analisis Perhitungan

1) Berat tertinggal dalam gram (diperoleh dari pengujian)

$$2) \text{ Berat tertinggal (\%)} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{a) Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{21,8}{2000} \times 100\% \\ &= 1,090\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{187,3}{2000} \times 100\% \\ &= 9,365\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{451,9}{2000} \times 100\% \\ &= 22,595\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{550,3}{2000} \times 100\% \\ &= 27,515\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{363,4}{2000} \times 100\% \\ &= 18,170\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{235,8}{2000} \times 100\% \\ &= 11,790\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{g) Sisa} &= \frac{189,5}{2000} \times 100\% \\ &= 9,475\% \end{aligned}$$

3) Berat tertinggal kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 10 mm} = 0\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 4,80 mm} = 0 + 1,090 = 1,090\%$$

$$\text{c) Lubang ayakan 2,40 mm} = 1,090 + 9,365 = 10,455\%$$

$$\text{d) Lubang ayakan 1,20 mm} = 10,455 + 22,595 = 33,050\%$$

$$\text{e) Lubang ayakan 0,60 mm} = 33,050 + 27,515 = 60,565\%$$

$$\text{f) Lubang ayakan 0,30 mm} = 60,565 + 18,170 = 78,735\%$$

$$\text{g) Lubang ayakan 0,15 mm} = 78,735 + 11,790 = 90,525\%$$

4) Persen lolos kumulatif (%)

$$\text{a) Lubang ayakan 10 mm} = 100 - 0 = 100\%$$

$$\text{b) Lubang ayakan 4,80 mm} = 100 - 1,090 = 98,910\%$$

$$c) \text{ Lubang ayakan 2,40 mm} = 100 - 9,365 = 89,545\%$$

$$d) \text{ Lubang ayakan 1,20 mm} = 100 - 22,595 = 66,950\%$$

$$e) \text{ Lubang ayakan 0,60 mm} = 100 - 27,515 = 39,435\%$$

$$f) \text{ Lubang ayakan 0,30 mm} = 100 - 18,170 = 21,265\%$$

$$g) \text{ Lubang ayakan 0,15 mm} = 100 - 11,790 = 9,475\%$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{374,42}{100} \\ &= 3,744 \end{aligned}$$

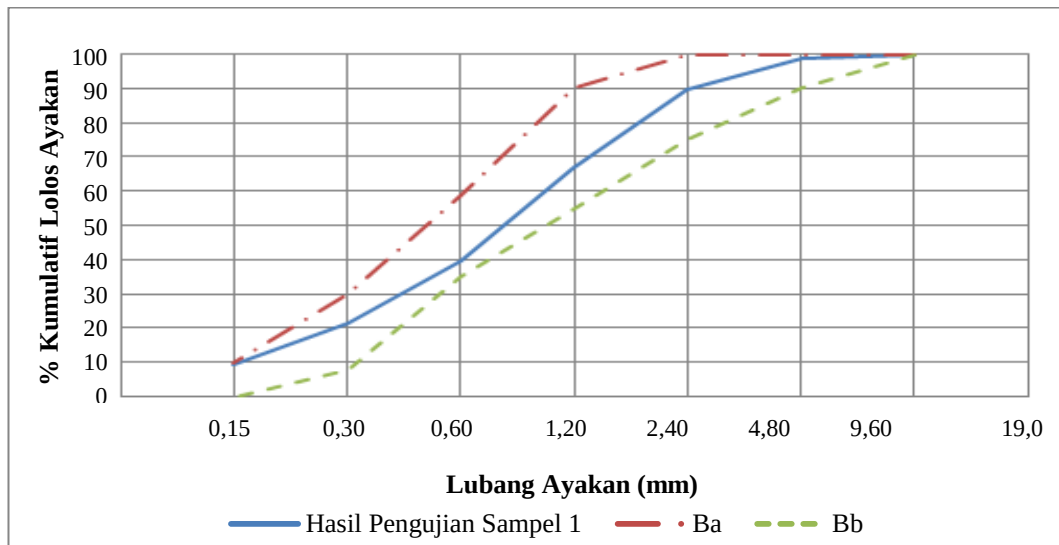
Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 6) \text{ Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\ &= \frac{382,085}{100} \\ &= 3,820 \end{aligned}$$

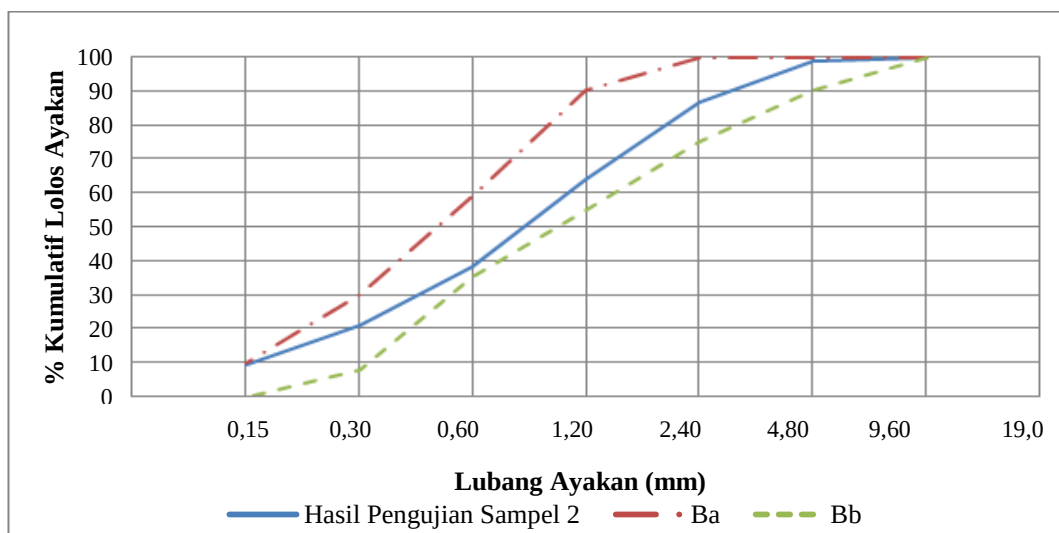
Maka nilai rata-rata Modulus Halus Butir (MHB) yaitu.

$$\begin{aligned} 7) \text{ MHB rata-rata} &= \frac{(\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2})}{2} \\ &= \frac{(3,744 + 3,820)}{2} \\ &= 3,782 \end{aligned}$$

Dari hasil yang diperoleh di atas, Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut adalah kurva gradasi agregat halus.



Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 1



Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah No.2 Sampel 2

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa modulus halus butir adalah sebesar 3,782 dan agregat halus tersebut masuk ke daerah II yang merupakan pasir agak kasar.

3. Hasil Pengujian Berat Isi Gembur dan Berat Isi Padat Agregat Halus

Hasil pengujian berat isi gembur dan berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	6000	5800	5900
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	13100	12900	13000
Berat Agregat, gram (w3)	7100	7100	7100
Volume tabung, cm ³ (V)	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,339	1,339	1,339

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	6000	5800	5900
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	14600	14300	14450
Berat Agregat, gram (w3)	8600	8500	8550
Volume tabung, cm ³ (V)	5301,438	5301,438	5301,438
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,622	1,603	1,613

a. Analisis Perhitungan

1) Berat isi gembur agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat, } w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 13000 - 5900 \\
 &= 7100 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung, } V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5301,44 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat isi gembur, } W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{7100}{5301,44} \\
 &= 1,339 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi gembur rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,339 + 1,339)}{2} \\
 &= 1,339 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat isi padat agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat, } w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 14450 - 5900 \\
 &= 8550 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung, } V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\
 &= 5301,44 \text{ cm}^3 \\
 \text{c) Berat isi padat, } W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{8550}{5301,44} \\
 &= 1,613 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,622 + 1,603)}{2} \\
 &= 1,613 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat isi gembur agregat halus adalah sebesar 1,339 gram/cm³ dan berat isi padat agregat halus adalah sebesar 1,613 gram/cm³. Nilai berat isi gembur agregat halus lebih rendah dibandingkan dengan nilai berat isi padat agregat halus, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang tidak dipadatkan agregat memiliki ruang yang lebih lebar antar agregatnya dan tidak saling mengisi rongga-rongga yang kosong, hal ini dapat menyebabkan beton tidak kokoh dan menyebabkan kekeroposan pada beton. Sebaliknya, nilai berat isi padat agregat halus lebih tinggi dibandingkan nilai berat isi gembur agregat halus, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang dipadatkan agregat dapat saling mengisi rongga-rongga yang kosong sehingga dapat dihasilkan beton yang lebih kokoh dan terhindar dari kekeroposan.

4. Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)

Hasil pengujian lolos saringan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kandungan Lumpur Dalam Pasir)

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven, gram (w1)	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci, gram (w2)	478,5	479,5	479
Berat yang lolos ayakan no. 200, % [(w1 - w2) / w1] x 100%	4,3	4,1	4,2

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 sampel 1} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 478,5}{500} \times 100\% \\
 &= 4,3\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 sampel 2} &= \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 479,5}{500} \times 100\% \\
 &= 4,1\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat yang lolos ayakan no. 200 rata-rata} &= \frac{(\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(4,3 + 4,1)}{2} \\
 &= 4,2\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa kandungan lumpur dalam pasir adalah sebesar 4,2%. Jadi, agregat halus tersebut telah memenuhi persyaratan berdasarkan PBI 1971 yaitu batas maksimal kadar kandungan lumpur dalam agregat halus adalah 5%. Semakin tinggi kadar lumpur, semakin jelek kualitas beton yang digunakan, karena agregat yang lolos pada saringan no. 200 tersebut cenderung berbentuk bulat, sehingga daya kunci antar agregat kurang maksimal yang dapat mempengaruhi kualitas beton.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian terhadap agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, pengujian analisa saringan/Modulus Halus Butir (MHB), serta pengujian berat volume padat/gembur agregat kasar.

1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4757	4773,5	4765,25
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD) , gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3008	2998	3003
Berat jenis curah, gram/cm ³ Bk / (Bj - Ba) (1)	2,388	2,384	2,386
Berat jenuh kering muka, gram/cm ³ Bj / (Bj - Ba) (2)	2,510	2,498	2,504
Berat jenis semu Bk / (Bk - Ba) (3)	2,720	2,689	2,704
Penyerapan air, % (Bj - Bk) / Bk x 100% (4)	5,108	4,745	4,927

a. Analisis Perhitungan

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \\
 &= \frac{4757}{(5000 - 3008)} \\
 &= 2,388 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Berat jenis kering muka} &= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \\
 &= \frac{5000}{(5000 - 3008)} \\
 &= 2,510 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \\
 &= \frac{4757}{(4757 - 3008)} \\
 &= 2,720 \text{ gram/cm}^3 \\
 4) \text{ Penyerapan air} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(5000 - 4757)}{4757} \times 100\% \\
 &= 5,108\%
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 5) \text{ Berat jenis SSD rata-rata} &= \frac{(\text{Berat jenis sampel 1} + \text{Berat jenis sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(2,510 + 2,498)}{2} \\
 &= 2,504 \text{ gram/cm}^3 \\
 6) \text{ Penyerapan air rata-rata} &= \frac{(\text{Penyerapan sampel 1} + \text{Penyerapan sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(5,108 + 4,745)}{2} \\
 &= 4,927\%
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat jenis kering muka (SSD) agregat kasar adalah sebesar 2,510 gram/cm³ yang nantinya akan dipakai ketika perencanaan campuran (*mix design*). Adapun rasio penyerapan agregat halus terhadap air adalah sebesar 5,108%.

2. Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar

Hasil pengujian analisa saringan/modulus halus butir (MHB) agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	120,700	2,414	2,414	97,586
10	3160,100	63,202	65,616	34,384
4,8	1319,700	26,394	92,010	7,990
2,4			92,010	7,990
1,2			92,010	7,990
0,6			92,010	7,990
0,3			92,010	7,990
0,15			92,010	7,990
Sisa	399,500	7,990	-	-
Jumlah	5000	100	620,090	

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan/Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	128,900	2,578	2,578	97,442
10	2972	59,440	62,018	37,982
4,8	1519,200	31,824	93,842	6,158
2,4			93,842	6,158
1,2			93,842	6,158
0,6			93,842	6,158
0,3			93,842	6,158
0,15			93,842	6,158
Sisa	307,9	6,158	-	-
Jumlah	5000	100	627,648	

a. Analisis Perhitungan

1) Berat tertinggal dalam gram (diperoleh dari pengujian)

2) Berat tertinggal (%) $= \frac{\text{Berat tertinggal}}{\sum \text{Berat tertinggal}} \times 100\%$

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{120,7}{5000} \times 100\% \\
 &= 2,414\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3160,1}{5000} \times 100\% \\
 &= 63,202\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{1319,7}{5000} \times 100\% \\
 &= 26,394\% \\
 \text{d) Sisa} &= \frac{399,5}{5000} \times 100\% \\
 &= 7,990\%
 \end{aligned}$$

3) Berat tertinggal kumulatif (%)

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= 0\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 0 + 2,414 = 2,414\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 2,414 + 63,202 = 65,616\% \\
 \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 65,616 + 26,394 = 92,010\%
 \end{aligned}$$

4) Persen lolos kumulatif (%)

$$\begin{aligned}
 \text{a) Lubang ayakan 40 mm} &= 100 - 0 = 100\% \\
 \text{b) Lubang ayakan 20 mm} &= 100 - 2,414 = 97,586\% \\
 \text{c) Lubang ayakan 10 mm} &= 100 - 63,202 = 34,384\% \\
 \text{d) Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100 - 92,010 = 7,990\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{5) Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{620,090}{100} \\
 &= 6,201
 \end{aligned}$$

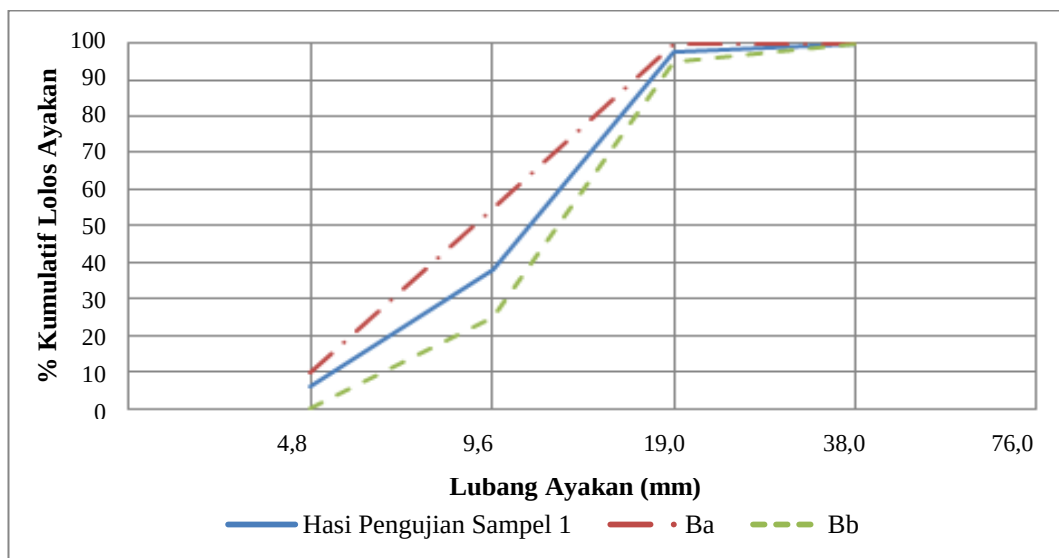
Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{6) Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{627,648}{100} \\
 &= 6,276
 \end{aligned}$$

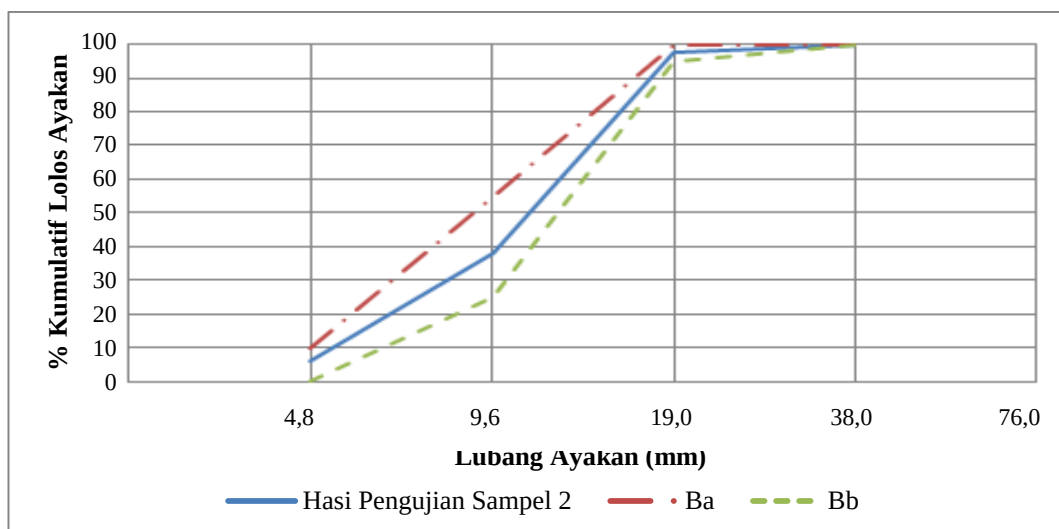
Maka nilai rata-rata Modulus Halus Butir (MHB) yaitu.

$$\begin{aligned}
 7) \text{ MHB rata-rata} &= \frac{(\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{6,201 + 6,276}{2} \\
 &= 6,238
 \end{aligned}$$

Dari hasil yang diperoleh di atas, Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut adalah kurva gradasi agregat kasar.



Gambar 5.3 Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.4 Batas Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Sampel 2

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa modulus halus butir adalah sebesar 6,238 dan agregat kasar tersebut memiliki ukuran agregat maksimum 20 mm.

3. Hasil Pengujian Berat Isi Gembur dan Berat Isi Padat Agregat Kasar

Hasil pengujian berat isi gembur dan berat isi padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	6300	6300	6300
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	13150	13100	13125
Berat Agregat, gram (w3)	6850	6800	6825
Volume tabung, cm ³ (V)	5327,592	5327,592	5327,592
Berat volume gembur, gram/cm ³ (W3/V)	1,286	1,276	1,281

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat tabung, gram (w1)	6300	6300	6300
Berat tabung + Agregat kering tungku, gram (w2)	13950	14000	13975
Berat Agregat, gram (w3)	7650	7700	7675
Volume tabung, cm ³ (V)	5327,592	5327,592	5327,592
Berat volume padat, gram/cm ³ (W3/V)	1,436	1,445	1,441

a. Analisis Perhitungan

1) Berat isi gembur agregat kasar

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat, } w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 13150 - 6300 \\
 &= 6850 \text{ gram} \\
 \text{b) Volume tabung, } V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,35 \\
 &= 5327,59 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi gembur, } W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{6850}{5327,592} \\
 &= 1,286 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,286 + 1,276)}{2} \\
 &= 1,281 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

2) Berat isi padat agregat kasar

$$\begin{aligned}
 \text{a) Berat agregat, } w_3 &= w_2 - w_1 \\
 &= 13950 - 6300 \\
 &= 7650 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) Volume tabung, } V &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,35 \\
 &= 5327,592 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) Berat isi padat, } W &= \frac{w_3}{V} \\
 &= \frac{7650}{5327,592} \\
 &= 1,436 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Pada sampel 2 dilakukan analisis yang sama, maka dapat diambil nilai rata-ratanya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{d) Berat isi padat rata-rata} &= \frac{(W \text{ sampel 1} + W \text{ sampel 2})}{2} \\
 &= \frac{(1,436 + 1,445)}{2} \\
 &= 1,441 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Pembahasan

Dari hasil pengujian dan analisis di atas, diperoleh hasil bahwa berat isi gembur agregat kasar adalah sebesar 1,281 gram/cm³ dan berat isi padat agregat kasar adalah sebesar 1,441 gram/cm³. Nilai berat isi gembur agregat

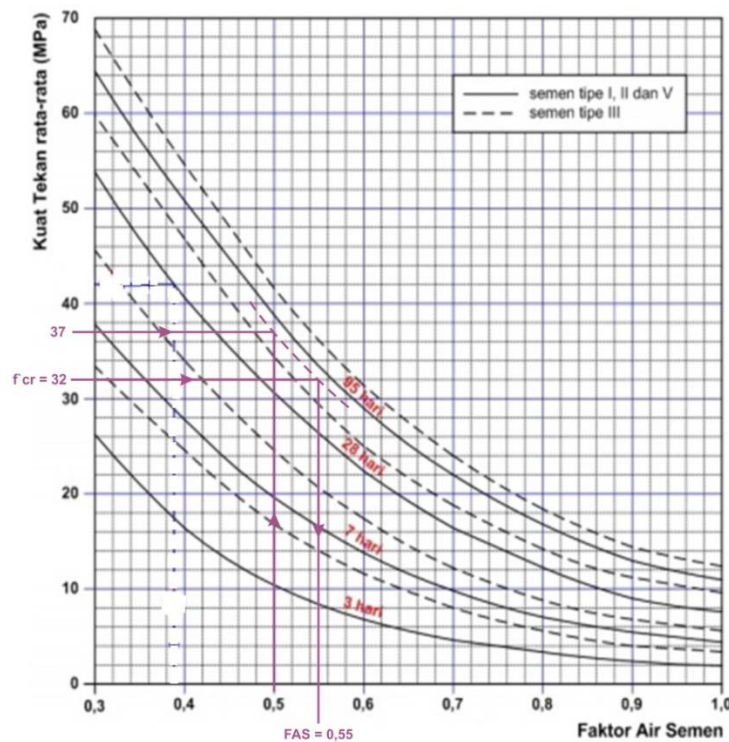
kasar lebih rendah dibandingkan dengan nilai berat isi padat agregat kasar, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang tidak dipadatkan agregat memiliki ruang yang lebih lebar antar agregatnya dan tidak saling mengisi rongga-rongga yang kosong, hal ini dapat menyebabkan beton tidak kokoh dan menyebabkan kekeroposan pada beton. Sebaliknya, nilai berat isi padat agregat kasar lebih tinggi dibandingkan nilai berat isi gembur agregat kasar, hal tersebut dikarenakan pada kondisi agregat yang dipadatkan agregat dapat saling mengisi rongga-rongga yang kosong sehingga dapat dihasilkan beton yang lebih kokoh dan terhindar dari kekeroposan.

5.2 PERHITUNGAN RENCANA CAMPURAN BETON

Perhitungan rencana campuran beton menggunakan metode SNI-03-2834-2000. Langkah-langkah perhitungan rencana campuran (*mix design*) lihat subbab 3.7 untuk keterangan. Berikut merupakan hasil dari perhitungan rencana campuran (*mix design*).

1. Kuat desak rencana (f'_c) = 20 MPa, benda uji berbentuk silinder
2. Semen yang dipakai adalah semen portland tipe I merek Holcim
3. Ukuran butir agregat kasar maksimum sebesar 20 mm (hasil pengujian analisa saringan)
4. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi no. 2 (hasil pengujian analisa saringan)
5. Data hasil uji pada penelitian ini berjumlah 4, berarti kurang dari 15. Dari Tabel 3.3, maka nilai tambah (M) diambil 12 MPa.
6. Kuat desak beton rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.6. Maka, nilai f_{cr} yang digunakan adalah 32 MPa.
7. Menentukan faktor air semen (FAS)
 - a. Dengan menggunakan Tabel 3.4 dapat diperoleh nilai kekuatan tekan silinder beton pada umur 28 hari berdasarkan jenis semen (portland tipe I) dan jenis agregat kasar (batu pecah). Maka, nilai kekuatan tekan (f_c) silinder beton pada umur 28 hari yang digunakan yaitu 37 MPa.

- b. Dengan menggunakan grafik (lihat Gambar 3.3) maka akan diperoleh nilai Faktor Air Semen (FAS) pada kekuatan tekan silinder beton pada umur 28 hari berdasarkan nilai f_{cr} (32 MPa) dan f_c dengan nilai FAS 0,5 pada Tabel 3.4 yang sebelumnya sudah diketahui. Untuk hasil besar nilai FAS saat f_{cr} (32 MPa) dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Nilai FAS saat f_{cr} (32 MPa)

Jadi, nilai faktor air semen (FAS) yang didapat dari Gambar 5.5 di atas adalah 0,55. Nilai FAS tersebut harus memenuhi persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum yang tercantum dalam Tabel 3.5. Pada penelitian ini lokasi yang direncanakan yaitu beton akan digunakan di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, sehingga nilai FAS maksimum adalah 0,60. Maka, nilai FAS yang digunakan adalah yang terkecil yaitu 0,55.

8. Slump rencana = 60 – 180 mm
9. Kadar air bebas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7. Dengan melihat Tabel 3.6 maka akan diperoleh nilai W_h dan W_k berdasarkan

ukuran besar butir agregat maksimum (20 mm) dan nilai slump (60 – 180 mm). Maka, nilai yang digunakan untuk W_h adalah sebesar 195 dan W_k adalah sebesar 225.

$$\begin{aligned}\text{Jadi, nilai kadar air bebas adalah} &= \frac{2}{3} \times W_h + \frac{1}{3} \times W_k \\ &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\ &= 205\end{aligned}$$

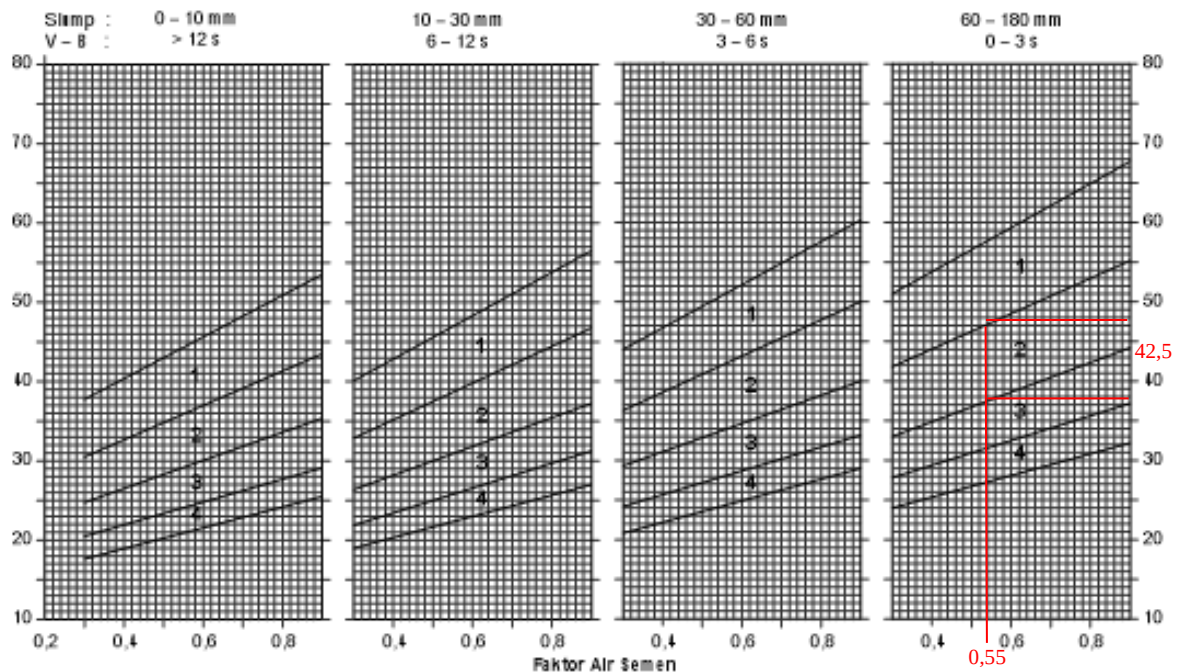
10. Jumlah semen yang dipakai per m^3 beton

- a. Dengan menggunakan Tabel 3.5 berdasarkan lokasi yang direncanakan yaitu beton akan digunakan di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka jumlah semen minimum per m^3 beton adalah 325 kg.
- b. Dengan menggunakan Persamaan 3.8. Berdasarkan nilai kadar air bebas (205) dan nilai FAS (0,5).

$$\begin{aligned}\text{Maka, jumlah semen minimum per } m^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar air bebas}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,55} \\ &= 372,727 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Dari kedua cara tersebut dipakai yang terbesar yaitu jumlah semen minimum per m^3 beton sebesar 372,727 kg/m^3 .

11. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar, dikarenakan ukuran agregat maksimum 20 mm. Maka, grafik yang digunakan yaitu Gambar 3.5. Berdasarkan nilai slump rencana (60 – 180 mm) dan susunan butir agregat halus (gradasi no. 2) akan diperoleh nilai persentase agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Nilai Persentase Agregat Halus

Maka, nilai persentase agregat halus yang diperoleh dari Gambar 5.6 di atas adalah sebesar 42,5%.

Untuk nilai persentase agregat kasar dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.9.

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, nilai prosentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\
 &= 100\% - 42,5\% \\
 &= 57,5\%
 \end{aligned}$$

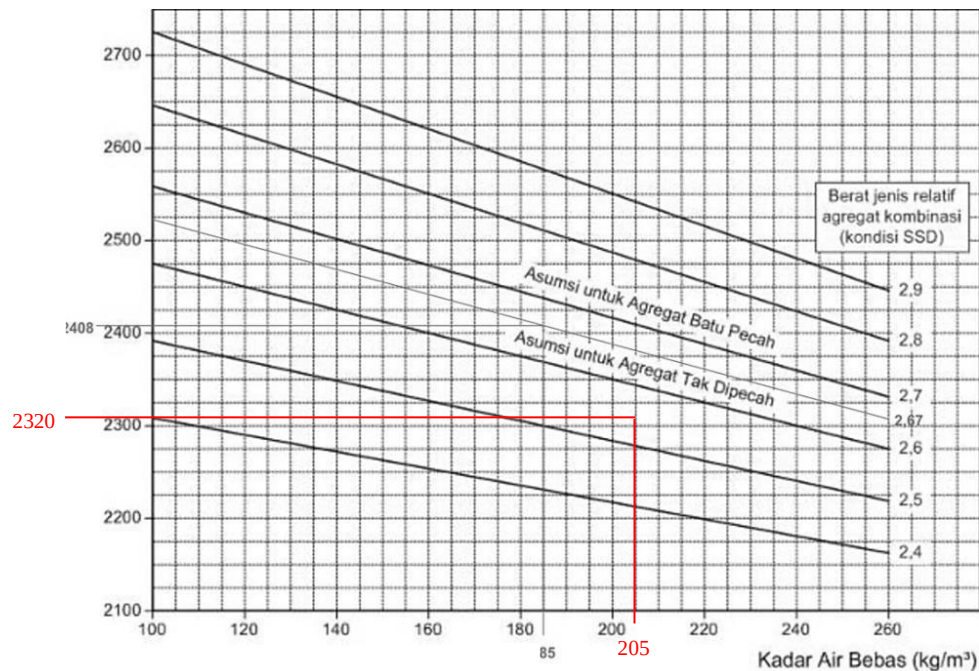
12. Menghitung berat jenis gabungan dengan menggunakan Persamaan 3.10. Dengan diketahui nilai berat jenis masing-masing agregat dari pengujian agregat adalah sebagai berikut:

- Berat jenis agregat halus = 2,602 gram/cm³
- Berat jenis agregat kasar = 2,504 gram/cm³

Maka nilai berat jenis agregat gabungan adalah:

$$\begin{aligned}
 BJ_{ag.gab} &= \left(\frac{\% ag.halus}{100} \times BJ_{ag.halus} \right) + \left(\frac{\% ag.kasar}{100} \times BJ_{ag.kasar} \right) \\
 &= \left(\frac{42,5}{100} \times 2,602 \right) + \left(\frac{57,5}{100} \times 2,504 \right) \\
 &= 2,546 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

13. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan Gambar 3.7. Berdasarkan nilai kadar air bebas (205) dan berat jenis agregat gabungan (2,546 gram/cm³) akan diperoleh nilai perkiraan berat isi beton basah yang telah selesai dipadatkan, dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Nilai Berat Isi Beton

Maka, berat isi beton yang diperoleh dari Gambar 5.7 di atas adalah sebesar 2320 kg/m³.

14. Kadar agregat gabungan dapat dihitung dengan Persamaan 3.11.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\
 &= 2320 - 372,727 - 205 \\
 &= 1742,273 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

15. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan Persamaan 3.12.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\
 &= \frac{42,5}{100} \times 1742,273 \\
 &= 740,466 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Kadar agregat kasar dapat dihitung dengan Persamaan 3.13.

$$\begin{aligned}\text{Kadar agregat kasar} &= \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{57,5}{100} \times 1742,273 \\ &= 1001,807 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

17. Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Dari hasil perhitungan di atas, maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 372,727 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 740,466 kg
- d. Agregat kasar = 1001,807 kg

18. Proporsi campuran pada setiap variasi

Jumlah benda uji pada setiap variasi = 6 silinder

$$\begin{aligned}\text{Volume 20 silinder (D = 0,15 m ; t = 0,30 m)} &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,032 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Nilai penyusutan ditentukan sebesar 1,15

$$\begin{aligned}\text{Maka, volume penyusutan} &= \text{Volume 6 silinder} \times \text{nilai penyusutan} \\ &= 0,032 \times 1,15 \\ &= 0,0366 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Berat masing-masing bahan dalam setiap variasi campuran (6 silinder)

- a. Semen = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume penyusutan
 $= 372,727 \times 0,0366$
 $= 13,634 \text{ kg}$
- b. Air = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume penyusutan
 $= 205 \times 0,0366$
 $= 7,499 \text{ kg}$

- c. Agregat halus = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume penyusutan
 $= 740,466 \times 0,0366$
 $= 27,086 \text{ kg}$
- d. Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m³ beton × volume penyusutan
 $= 1001,807 \times 0,0366$
 $= 36,646 \text{ kg}$
- e. Total berat keseluruhan = Berat semen + Berat air + Berat agregat halus + Berat agregat kasar
 $= 13,634 + 7,499 + 27,086 + 36,646$
 $= 84,865 \text{ kg}$
- f. Berat limbah karet variasi 2% = % limbah karet × total berat
 $= 2\% \times 84,865$
 $= 1,697 \text{ kg}$

19. Rekapitulasi hasil perhitungan rencana campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut ini.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Rencana Campuran Beton

Kode Benda Uji	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Limbah Karet (Kg)
BTS-S0-0	13,634	7,499	27,086	36,646	0
BTS-S0-1	13,634	7,499	27,086	36,646	0
BTS-S0-2	13,634	7,499	27,086	36,646	0
BTS-S0-3	13,634	7,499	27,086	36,646	0
BTS-S0-4	13,634	7,499	27,086	36,646	0
BS-S2-0	13,634	7,499	27,086	36,646	1,697
BS-S2-1	13,634	7,499	27,086	36,646	1,697
BS-S2-2	13,634	7,499	27,086	36,646	1,697
BS-S2-3	13,634	7,499	27,086	36,646	1,697
BS-S2-4	13,634	7,499	27,086	36,646	1,697
Jumlah	136,340	74,990	270,860	366,460	8,485

Keterangan:

BTS-S0-0 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 0°C

BTS-S0-1 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 100°C

- BTS-S0-2= Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 200°C
 BTS-S0-3= Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 300°C
 BTS-S0-4= Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 400°C
 BS-S2-0 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet padat dan dipengaruhi temperatur 0°C
 BS-S2-1 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet padat dan dipengaruhi temperatur 100°C
 BS-S2-2 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet padat dan dipengaruhi temperatur 200°C
 BS-S2-3 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet padat dan dipengaruhi temperatur 300°C
 BS-S2-4 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet padat dan dipengaruhi temperatur 400°C

5.3 PENGUJIAN BERAT VOLUME BETON

Pengujian berat volume beton dilakukan setelah benda uji diberi pengaruh temperatur (dipanaskan) yaitu minimal satu hari setelah pembakaran. Proses pemanasan benda uji dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 7 hari sebelum pembakaran. Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton. Semakin tinggi nilai berat volume beton, maka semakin tinggi juga tingkat kepadatan beton tersebut.

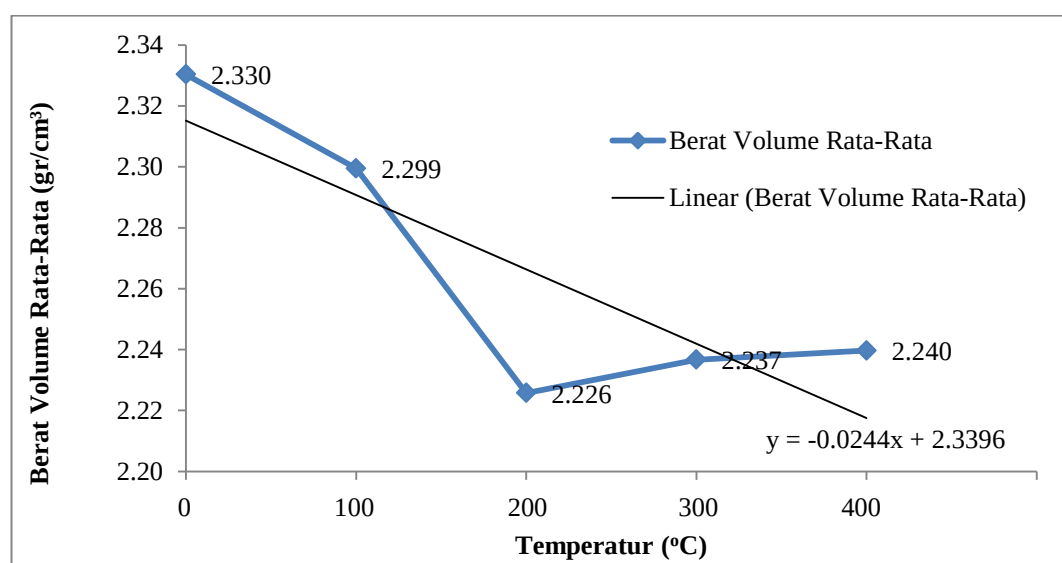
1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian berat volume beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton Tanpa Serat

No	Kode Benda Uji	Berat Volume Rata-Rata (gr/cm ³)	Uji Slump (cm)
1	BTS-S0-0	2,330	13
2	BTS-S0-1	2,299	13
3	BTS-S0-2	2,226	20
4	BTS-S0-3	2,237	15
5	BTS-S0-4	2,240	13

Dari Tabel 5.13 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton tanpa serat terhadap berat volume yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Hubungan Berat Volume Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.8 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya berat volume beton tanpa serat seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan jika diasumsikan nilai slump campuran beton setiap perubahan temperatur sama, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai berat volume rata-rata beton tanpa serat dapat dilihat di bawah ini.

- a. Berat volume rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BTS-S0-1) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan berat volume beton yang terendah dikarenakan nilai slump yang sama yaitu 13 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,031 gr/cm³ atau sebesar 1,325% dari beton (BTS-S0-0). Hal ini dikarenakan temperatur yang diberikan tidak terlalu tinggi yakni $\pm 100^{\circ}\text{C}$ yaitu sama dengan titik didih air, menjadikan air yang terdapat pada beton belum menguap karena pasti temperatur dalam beton belum mencapai 100°C.
- b. Berat volume rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BTS-S0-2) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan berat volume beton yang terbesar dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi bahkan melebihi batas persyaratan dari *mix design* (6 – 18 cm) yaitu 20 cm sedangkan beton (BTS-S0-0) mempunyai nilai slump 13 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,104 gr/cm³ atau sebesar 4,490% dari beton (BTS-S0-0).
- c. Berat volume rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BTS-S0-3) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan berat volume beton yang dikarenakan nilai slump yang lebih besar yaitu 15 cm dari beton (BTS-S0-0) yaitu 13 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,093 gr/cm³ atau sebesar 4,020% dari beton (BTS-S0-0).
- d. Berat volume rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BTS-S0-4) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan berat volume beton dikarenakan nilai slump yang sama yaitu 13 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,090 gr/cm³ atau sebesar 3,892% dari beton (BTS-S0-0). Hal ini dikarenakan temperatur yang diberikan melebihi titik didih air, menjadikan air yang terdapat pada

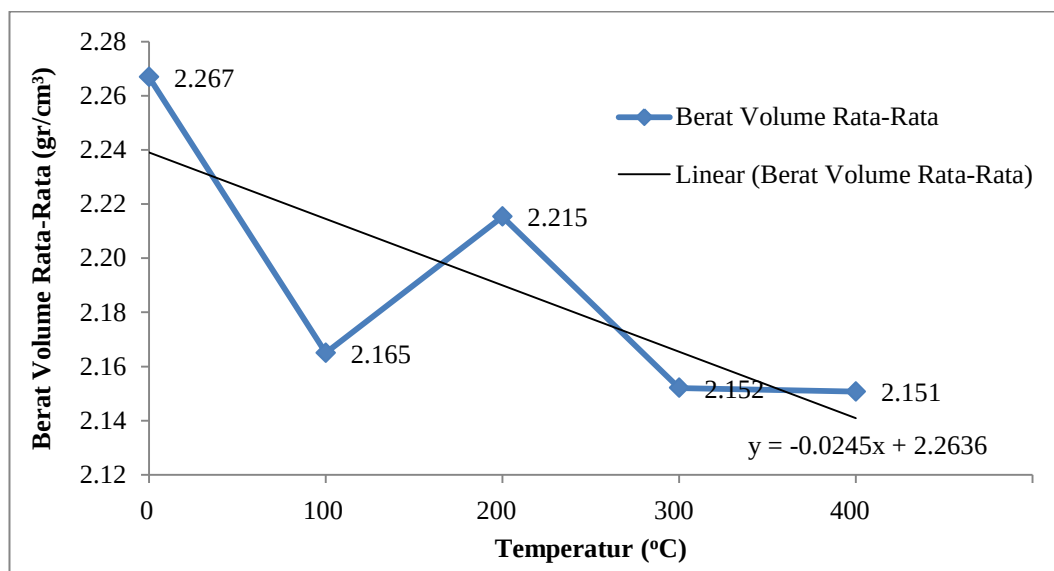
beton menguap dan menghilang/kering karena waktu pemanasan yang cukup lama.

Hasil pengujian berat volume beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Volume Rata-Rata Beton dengan Serat 2%

No	Kode Benda Uji	Berat Volume Rata-Rata (gr/cm ³)	Uji Slump (cm)
1	BS-S2-0	2,267	12
2	BS-S2-1	2,165	12
3	BS-S2-2	2,215	10
4	BS-S2-3	2,152	13
5	BS-S2-4	2,151	13

Dari Tabel 5.14 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton dengan serat 2% terhadap kinerja kuat desak yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Hubungan Berat Volume Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.9 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya berat volume beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan jika diasumsikan nilai slump campuran beton setiap perubahan temperatur sama, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai berat volume rata-rata beton tanpa serat dapat dilihat di bawah ini.

- a. Berat volume rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BS-S2-1) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan berat volume beton dikarenakan nilai slump yang sama yaitu 12 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,102 gr/cm³ atau sebesar 4,496% dari beton (BS-S2-0).
- b. Berat volume rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BS-S2-2) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan berat volume beton yang terendah dikarenakan nilai slump yang lebih rendah yaitu 10 cm dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,052 gr/cm³ atau sebesar 2,274% dari beton (BS-S2-0). Hal ini karena kepadatan beton (BS-S2-2) lebih padat dari beton (BS-S2-0). Meskipun (BS-S2-2) lebih padat, karena dipengaruhi temperatur maka air yang terdapat dalam beton (BS-S2-2) akan menguap dan menghilang/kering, sedangkan pada beton (BS-S2-0) masih terdapat air didalamnya.
- c. Berat volume rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BS-S2-3) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan berat volume beton dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi yaitu 13 dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,115 gr/cm³ atau sebesar 5,067% dari beton (BS-S2-0).

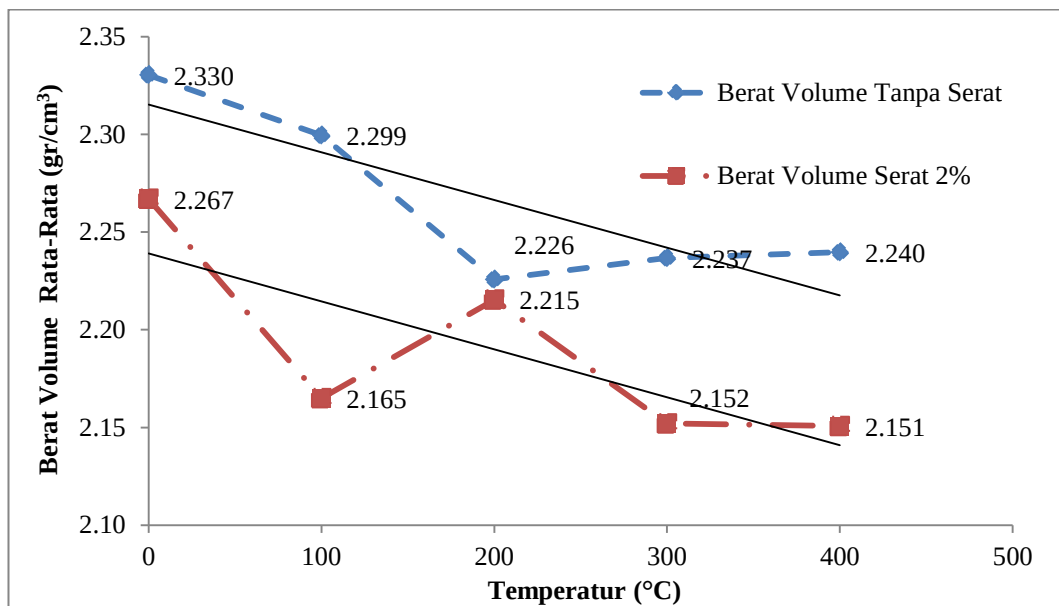
- d. Berat volume rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BS-S2-4) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan berat volume beton yang terbesar dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi yaitu 13 cm dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan penurunan berat volume rata-rata sebesar 0,116 gr/cm³ atau sebesar 5,127% dari beton (BS-S2-0). Hal ini dikarenakan temperatur yang diberikan melebihi titik didih air, menjadikan air yang terdapat pada beton menguap dan menghilang/kering karena waktu pemanasan yang cukup lama.

Dari hasil analisis di atas, maka dapat dibuat hasil perbandingan pengujian berat volume beton antara beton tanpa serat dan beton serat 2% dengan pengaruh temperatur yang sama. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.15 Perbandingan Berat Volume Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

No	Temperatur Pembakaran (°C)	Berat Volume Rata-Rata (gr/cm ³)	
		Tanpa Serat	Serat 2%
1	0	2.330	2.267
2	100	2.299	2.165
3	200	2.226	2.215
4	300	2.237	2.152
5	400	2.240	2.151

Dari Tabel 5.15 di atas diperoleh grafik yang menunjukkan bahwa pada pengaruh temperatur yang sama terjadi penurunan nilai berat volume antara beton tanpa serat dengan beton serat 2% limbah karet padat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Perbandingan Berat Volume Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

Dari Gambar 5.10 untuk perbandingan berat volume antara beton tanpa serat dengan beton dengan tambahan serat 2% menunjukkan bahwa, beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat. Penjelasan mengenai hasil tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- Berat volume rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 0°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-0) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 0,063 gr/cm³ dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-0) dengan nilai slump 13 cm.
- Berat volume rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 100°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-1) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 0,134 gr/cm³ dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-1) dengan nilai slump 13 cm.
- Berat volume rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 200°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-2) dengan nilai slump 10 cm mengalami penurunan sebesar 0,011 gr/cm³ dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-2) dengan nilai slump 20 cm.
- Berat volume rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 300°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-3) dengan nilai slump 13 cm

mengalami penurunan sebesar $0,085 \text{ gr/cm}^3$ dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-3) dengan nilai slump 15 cm.

- e. Berat volume rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 400°C . Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-4) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar $0,089 \text{ gr/cm}^3$ dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-4) dengan nilai slump 13 cm.

Hasil pengujian berat volume beton, baik beton tanpa serat ataupun beton dengan tambahan serat 2% menunjukkan adanya penurunan nilai berat volume beton seiring dengan bertambahnya temperatur. Semakin tinggi pengaruh temperatur, maka semakin menurun pula nilai berat volume beton. Hal ini dikarenakan air yang terdapat dalam rongga beton akan menguap jika terkena panas dan kemudian mengering, sehingga berat air yang terdapat dalam beton akan berkurang. Nilai slump yang semakin tinggi menunjukkan bahwa kandungan air yang terdapat dalam campuran beton juga semakin banyak, sehingga rongga yang terdapat dalam campuran beton juga akan semakin banyak ketika beton mengeras.

5.4 PENGUJIAN KUAT DESAK BETON

Pengujian kuat desak beton dilakukan setelah benda uji diberi pengaruh temperatur (dipanaskan) yaitu minimal satu hari setelah pembakaran. Proses pemanasan benda uji dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 7 hari sebelum pembakaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur ketika menerima beban tersebut (P_{maks}).

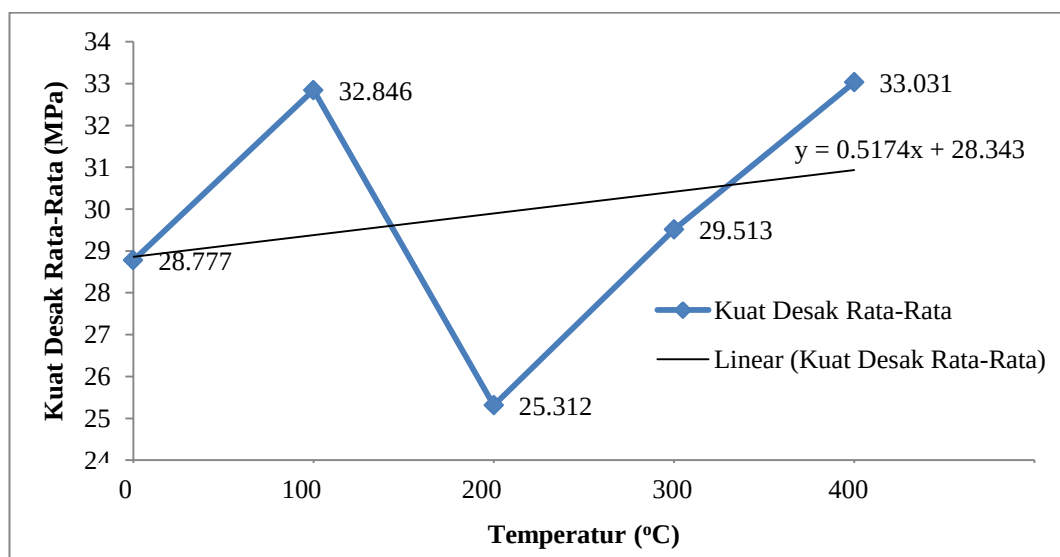
1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian kuat desak beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian Kuat Desak Rata-Rata Beton Tanpa Serat

No	Kode Benda Uji	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
1	BTS-S0-0-D	28,777
2	BTS-S0-1-D	32,846
3	BTS-S0-2-D	25,312
4	BTS-S0-3-D	29,513
5	BTS-S0-4-D	33,031

Dari Tabel 5.16 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton tanpa serat terhadap kinerja kuat desak yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Hubungan Kuat Desak Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.11 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya kuat desak beton tanpa serat seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung naik. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat desak rata-rata beton tanpa serat dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BTS-S0-1) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat

desak beton dengan nilai slump yang sama yaitu 13 cm. Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 4,069 MPa atau sebesar 14,139% dari beton (BTS-S0-0). Kenaikan hasil tersebut dikarenakan faktor dari pengaruh temperatur.

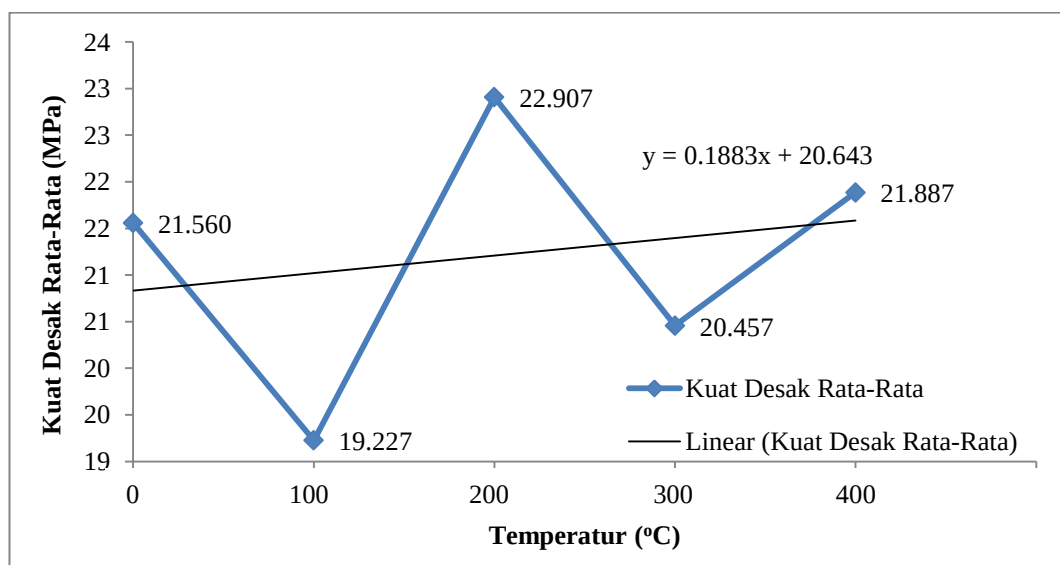
- b. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BTS-S0-2) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan kuat desak beton dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi bahkan melebihi batas persyaratan dari *mix design* (6 – 18 cm) yaitu 20 cm sedangkan beton (BTS-S0-0) mempunyai nilai slump 13 cm. Dengan penurunan kuat desak rata-rata sebesar 3,465 MPa atau sebesar 12,041% dari beton (BTS-S0-0). Karena nilai slump tersebut menjadikan kepadatan beton (BTS-S0-2) lebih kecil dari beton (BTS-S0-0).
- c. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BTS-S0-3) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat desak beton dengan nilai slump yang lebih besar yaitu 15 cm dari beton (BTS-S0-0) yaitu 13 cm. Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 0,736 MPa atau sebesar 2,556% dari beton (BTS-S0-0).
- d. Kuat desak rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BTS-S0-4) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat desak beton terbesar dengan nilai slump yang sama dengan beton (BTS-S0-0) yaitu 13 cm. Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 4,254 MPa atau sebesar 14,781% dari beton (BTS-S0-0).

Hasil pengujian kuat desak beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Kuat Desak Rata-Rata Beton dengan Serat 2%

No	Kode Benda Uji	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
1	BS-S2-0-D	21,560
2	BS-S2-1-D	19,227
3	BS-S2-2-D	22,907
4	BS-S2-3-D	20,457
5	BS-S2-4-D	21,887

Dari Tabel 5.17 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton dengan serat 2% terhadap kinerja kuat desak yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Hubungan Kuat Desak Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.12 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya kuat desak beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung naik. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat desak rata-rata beton tanpa serat dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat desak rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BS-S2-1) jika dibandingkan dengan beton

dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan kuat desak. Dengan penurunan kuat desak rata-rata sebesar 0,102 MPa atau sebesar 4,496% dari beton (BS-S2-0).

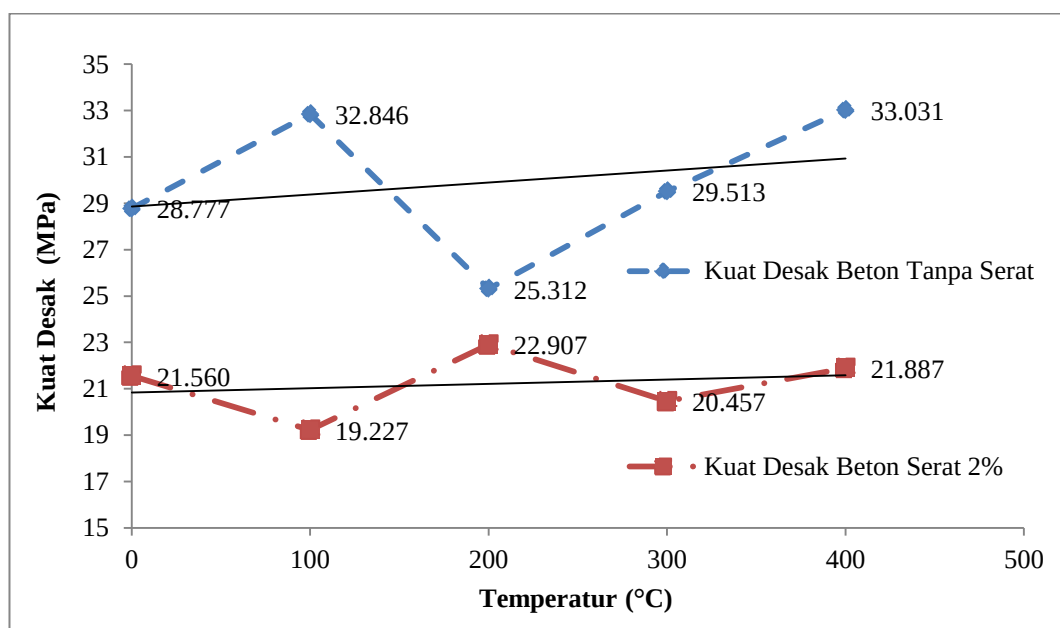
- b. Kuat desak rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BS-S2-2) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami kenaikan kuat desak beton terbesar dengan nilai slump yang lebih rendah yaitu 10 cm dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 1,347 MPa atau sebesar 6,247% dari beton (BS-S2-0). Hal ini karena kepatadan beton (BS-S2-2) lebih padat dari beton (BS-S2-0). Selain itu, faktor temperatur juga mempengaruhi kenaikan kekuatan beton tersebut.
- c. Kuat desak rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BS-S2-3) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan kuat desak beton dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi yaitu 13 dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan penurunan kuat desak rata-rata sebesar 0,115 MPa atau sebesar 5,067% dari beton (BS-S2-0).
- d. Kuat desak rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BS-S2-4) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami kenaikan kuat desak beton. Dengan kenaikan kuat desak rata-rata sebesar 0,327 MPa atau sebesar 1,514% dari beton (BS-S2-0).

Dari hasil analisis di atas, maka dapat dibuat hasil perbandingan pengujian kuat desak beton antara beton tanpa serat dan beton serat 2% dengan pengaruh temperatur yang sama. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

Tabel 5.18 Perbandingan Kuat Desak Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

No	Temperatur Pembakaran (°C)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)	
		Tanpa Serat	Serat 2%
1	0	28,777	21,560
2	100	32,846	19,227
3	200	25,312	22,907
4	300	29,513	20,457
5	400	33,031	21,887

Dari Tabel 5.18 di atas diperoleh grafik yang menunjukkan bahwa pada pengaruh temperatur yang sama terjadi penurunan nilai kuat desak antara beton tanpa serat dengan beton serat 2% limbah karet padat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.13 Perbandingan Kuat Desak Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

Dari Gambar 5.13 untuk perbandingan kuat desak, beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat. Penjelasan mengenai hasil tersebut dapat di lihat di bawah ini.

- a. Kuat desak rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 0°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-0-D) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 7,217 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-0-D) dengan nilai slump 13 cm.
- b. Kuat desak rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 100°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-1-D) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 13,619 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-1-D) dengan nilai slump 13 cm.
- c. Kuat desak rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 200°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-2-D) dengan nilai slump 10 cm mengalami penurunan sebesar 2.606 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-2-D) dengan nilai slump 20 cm.
- d. Kuat desak rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 300°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-3-D) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 9,058 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-3-D) dengan nilai slump 15 cm.
- e. Kuat desak rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 400°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-4-D) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 11,144 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-4-D) dengan nilai slump 13 cm.

Hasil pengujian kuat desak beton, baik beton tanpa serat ataupun beton dengan tambahan serat 2% menunjukkan adanya kenaikan dan penurunan nilai kuat desak beton jika dibandingkan dengan beton yang tanpa diberi pengaruh temperatur. Hal ini berlainan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ahmad. I, dkk (2009). Dimana nilai kuat desak beton rata-rata menurun dengan adanya kenaikan temperatur. Pada penelitian tersebut temperatur yang digunakan yaitu 200°C, 400°C dan 600°C. Hal ini disebabkan oleh proses pemanasan yang dilakukan. Karena umur beton pada saat pemanasan belum 90 hari, dikhawatirkan akan terjadi pecahnya beton karena kandungan air masih tinggi.

Namun, hasil dari penelitian ini menunjukkan kuat tekan beton yang nilainya naik–turun. Indikasi adanya kenaikan kuat tekan disebabkan oleh

pengaruh temperatur yang tidak terlalu tinggi pada permukaan beton di atas umur 28 hari, sehingga akan menyebabkan terjadinya penguapan air dan penetrasi ke dalam rongga beton yang lebih dalam. Hal ini menyebabkan terjadinya perbaikan lekatan antar partikel-partikel C-S-H dan menaikkan kuat tekan beton. Peristiwa ini terjadi sampai pada temperatur 200°C. Dan saat temperatur melebihi 200°C akan terjadi proses dekomposisi unsur C-S-H. Selanjutnya kuat tekan akan menurun terus dengan adanya perubahan unsur C-S-H menjadi kapur bebas CaO, SiO₂ dan uap H₂O. Dengan berkurangnya unsur C-S-H maka kekuatan beton pun akan terpengaruh dan menurun.

Sedangkan untuk beton dengan tambahan serat 2% kuat desak rata-ratanya lebih kecil dari kuat desak rata-rata beton tanpa serat saat pengaruh temperatur pengujian sama. Hal ini senada pula dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hariyadi, dkk (2009) dengan limbah ban karet sebagai bahan tambah dan Nugroho, I, dkk (2016) dengan limbah karet sebagai bahan tambah.

Dari perbandingan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwasannya beton dengan penambahan serat 2% limbah karet dari berat beton akan menurunkan nilai kuat desak beton, meskipun sudah diberi pengaruh temperatur jika dibandingkan dengan beton tanpa serat. Akan tetapi, saat diberi pengaruh temperatur kuat desak beton tanpa serat ataupun beton dengan penambahan serat 2% dapat meningkat kekuatannya jika dibandingkan dengan beton yang sama tanpa diberi pengaruh temperatur. Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh proporsi campuran bahan pembentuk beton khususnya agregat yang berfungsi untuk menahan beban dan semen yang berpengaruh pada rekatan dan ikatan antar agregat. Sifat karet yang lebih lunak membuat interaksi antar agregat tidak maksimal (berbeda dengan agregat yang sifatnya lebih keras) yang mengakibatkan interaksi antar agregat berkurang dan mengakibatkan turunnya nilai kuat desak beton.

5.5 PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan setelah benda uji diberi pengaruh temperatur (dipanaskan) yaitu minimal satu hari setelah pembakaran. Proses

pemanasan benda uji dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 7 hari sebelum pembakaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk mendapatkan beban maksimum, yaitu pada saat beton hancur dan terbelah ketika menerima beban tersebut (P_{maks}).

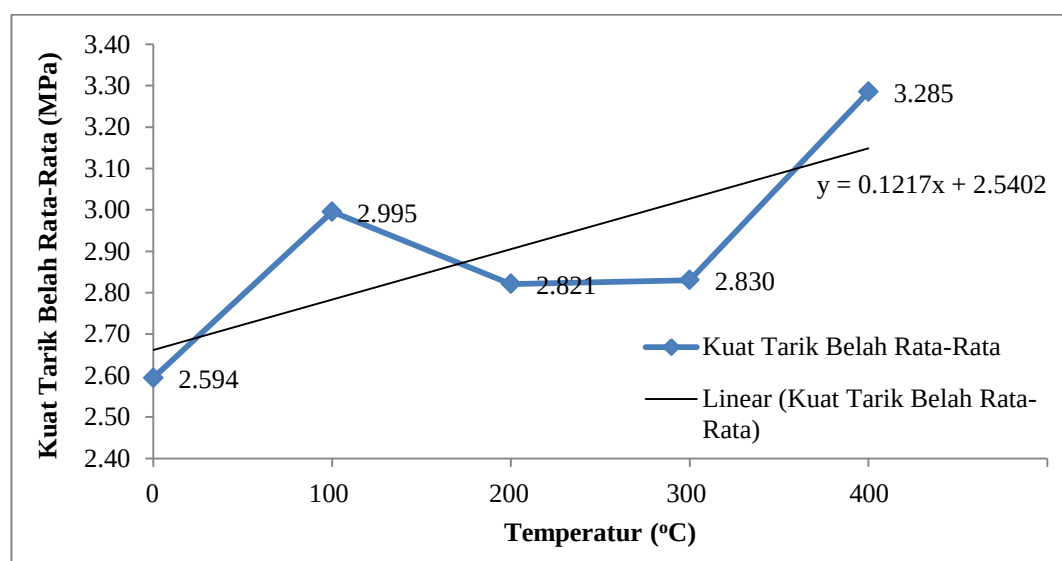
1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian kuat tarik belah beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut ini.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton Tanpa Serat

No	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
1	BTS-S0-0-TB	2,594
2	BTS-S0-1-TB	2,995
3	BTS-S0-2-TB	2,821
4	BTS-S0-3-TB	2,830
5	BTS-S0-4-TB	3,285

Dari Tabel 5.19 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton tanpa serat terhadap kinerja kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.14 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasannya kuat tarik belah beton tanpa serat seiring bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung naik. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat tarik belah tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- a. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BTS-S0-1) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,401 MPa atau sebesar 15,470% dari beton (BTS-S0-0).
- b. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BTS-S0-2) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,227 Mpa atau sebesar 8,744% dari beton (BTS-S0-0).
- c. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BTS-S0-3) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,236 MPa atau sebesar 9,107% dari beton (BTS-S0-0).
- d. Kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BTS-S0-4) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,691 MPa atau sebesar 14,781% dari beton (BTS-S0-0).

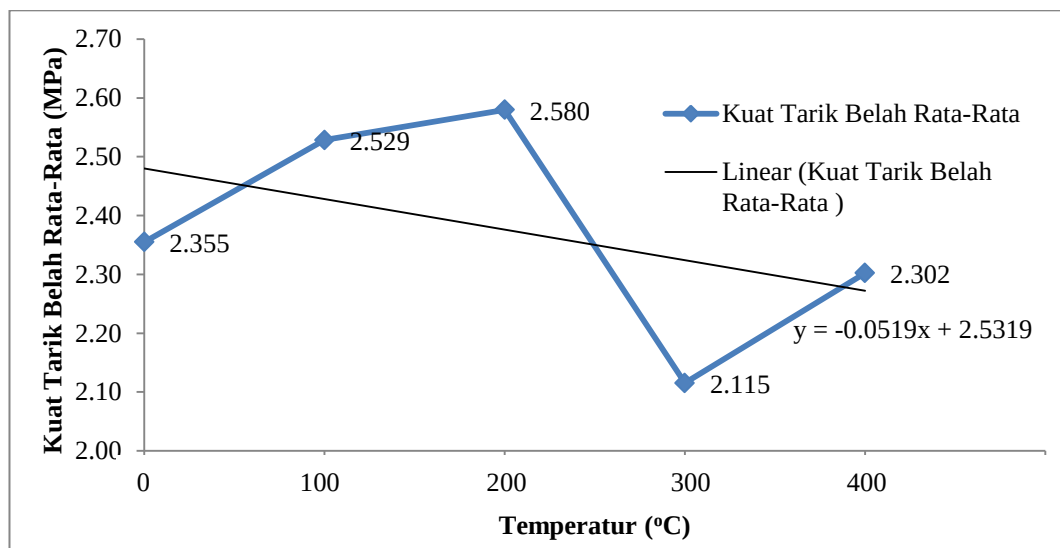
Hasil ini sama halnya seperti pada kuat desak beton yang juga mengalami kenaikan hasil yang didapat.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Rata-Rata Beton dengan Serat 2%

No	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
1	BS-S2-0-TB	2.355
2	BS-S2-1-TB	2.529
3	BS-S2-2-TB	2.580
4	BS-S2-3-TB	2.115
5	BS-S2-4-TB	2.302

Dari Tabel 5.20 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton dengan serat 2% terhadap kinerja kuat tarik belah yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.15 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya kuat tarik belah beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi

linier yang cenderung menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat tarik belah tersebut dapat dilihat di bawah ini.

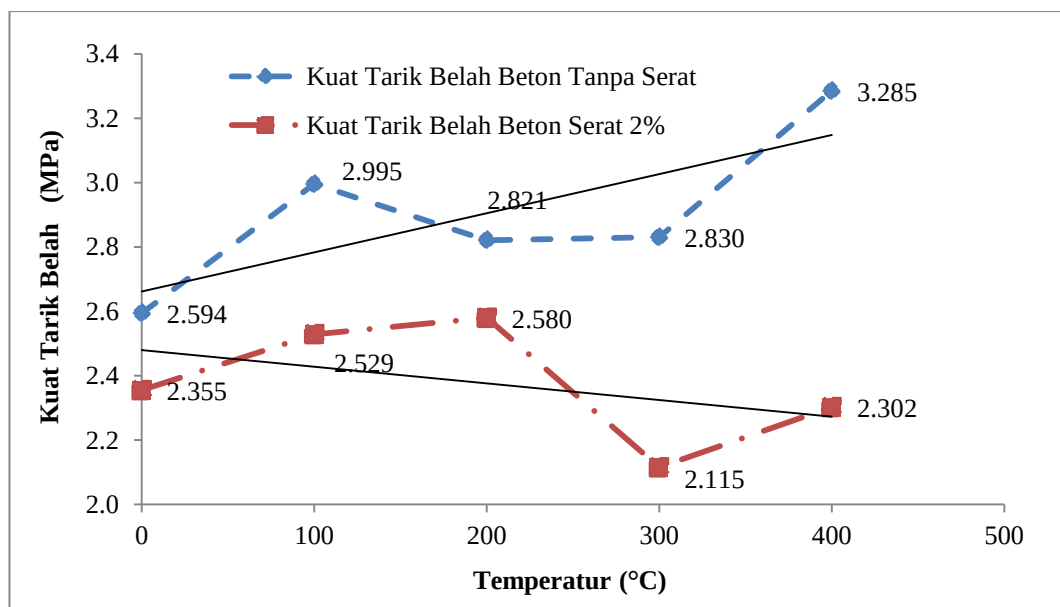
- a. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BS-S2-1) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,174 MPa atau sebesar 7.369% dari beton (BS-S2-0).
- b. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BS-S2-2) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami kenaikan kuat tarik belah beton terbesar dengan nilai slump yang lebih rendah yaitu 10 cm dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan kenaikan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,225 MPa atau sebesar 9,551% dari beton (BS-S2-0). Hal ini karena kepatadan beton (BS-S2-2) lebih padat dari beton (BS-S2-0). Selain itu, faktor temperatur juga mempengaruhi kenaikan kekuatan beton tersebut.
- c. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BS-S2-3) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan kuat tarik belah beton dikarenakan nilai slump yang lebih tinggi yaitu 13 dari beton (BS-S2-0) yaitu 12 cm. Dengan penurunan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,240 MPa atau sebesar 10,174% dari beton (BS-S2-0).
- d. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BS-S2-4) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan kuat tarik belah beton. Dengan penurunan kuat tarik belah rata-rata sebesar 0,053 MPa atau sebesar 2,243% dari beton (BS-S2-0).

Dari hasil analisis di atas, maka dapat dibuat hasil perbandingan pengujian kuat tarik belah beton antara beton tanpa serat dan beton serat 2% dengan pengaruh temperatur yang sama. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5.21 Perbandingan Kuat Tarik Belah Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

No	Temperatur Pembakaran (°C)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)	
		Tanpa Serat	Serat 2%
1	0	2,594	2,355
2	100	2,995	2,529
3	200	2,821	2,580
4	300	2,830	2,115
5	400	3,285	2,302

Dari Tabel 5.21 di atas diperoleh grafik yang menunjukkan bahwa pada pengaruh temperatur yang sama terjadi penurunan nilai kuat tarik belah antara beton tanpa serat dengan beton serat 2% limbah karet padat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5.16 Perbandingan Kuat Tarik Belah Antara Beton Tanpa Serat Dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

Dari Gambar 5.16 untuk perbandingan kuat tarik belah, beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton beton tanpa serat. Penjelasan mengenai hasil nilai kuat tarik belah beton tersebut dapat di lihat di bawah ini.

- a. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 0°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-0-TB) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 0,239 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-0-TB) dengan nilai slump 13 cm.
- b. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 100°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-1-TB) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 0,466 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-1-TB) dengan nilai slump 13 cm.
- c. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 200°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-2-TB) dengan nilai slump 10 cm mengalami penurunan sebesar 0,241 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-2-TB) dengan nilai slump 20 cm.
- d. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 300°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-3-TB) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 0,715 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-3-TB) dengan nilai slump 15 cm.
- e. Kuat tarik belah rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 400°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-4-TB) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 0,983 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-4-TB) dengan nilai slump 13 cm.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton tanpa serat menunjukkan adanya kenaikan nilai kuat tarik belah beton jika dibandingkan dengan beton yang tanpa diberi pengaruh temperatur. Dan besar kekuatan tarik belah naik–turun sama halnya yang terjadi pada pengujian kuat desak beton tanpa serat. Sedangkan pada pengujian kuat tarik belah beton dengan tambahan serat 2% menunjukkan adanya nilai optimum kuat tarik belah, yaitu pada saat dipengaruhi temperatur 200°C. Sebenarnya, hal yang sama juga terjadi pada pengujian kuat desak beton dengan tambahan serat 2%.

Selain karena faktor temperatur yang mengakibatkan naik–turunnya karakteristik kekuatan beton, berat volume beton juga ikut berpengaruh, karena juga dapat mempengaruhi kepadatan beton. Berat volume beton yang rendah menunjukkan bahwa kepadatan di dalam beton kurang. Hal ini terjadi karena air yang dimasukan saat pembuatan sampel beton bisa jadi terlalu banyak, sehingga rongga yang terdapat dalam campuran beton juga akan semakin banyak ketika beton mengeras, karena mudah terjadi segregasi sehingga dapat mengurangi tingkat kepadatan beton dan beton menjadi porus. Selain itu, jika air terlalu banyak ketika mengalami *bleeding* air yang terdapat didalam beton segar bergerak kepermukaannya (bersama–sama dengan semen) juga akan semakin banyak, hal ini dapat mengurangi lekatan antara lapis–lapis beton yang mengakibatkan kekuatannya akan menurun.

Sedangkan untuk beton dengan tambahan serat 2% kuat tarik belah rata-ratanya lebih kecil dari kuat tarik belah rata-rata beton tanpa serat saat pengaruh temperatur pengujian sama. Hal ini senada pula dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hariyadi, dkk (2009) dengan limbah ban karet sebagai bahan tambah dan Nugroho. I, dkk (2016) dengan limbah karet sebagai bahan tambah.

Dari perbandingan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwasannya beton dengan penambahan serat 2% limbah karet dari berat beton akan menurunkan nilai kuat tarik belah beton, meskipun sudah diberi pengaruh temperatur jika dibandingkan dengan beton tanpa serat. Penurunan nilai kuat tarik belah beton berserat karet dan sejenisnya dibandingkan dengan beton normal disebabkan karena pada beton normal (tanpa serat) kuat tarik belah ditahan oleh ikatan antar agregat dan semen. Dengan penambahan serat, porsi agregat dan semen berkurang. Dikarenakan serat yang digunakan bersifat lunak, maka peranan serat untuk menahan gaya tarik, terjadi setelah beton mencapai kuat tarik maksimum atau setelah beton mengalami keretakan, sehingga kuat tarik belah beton menurun dengan adanya serat. Akan tetapi beton tidak langsung terbelah saat terjadi retakan-retakan atau mencapai kuat tarik maksimum dikarenakan masih tertahan dengan adanya serat. Sedangkan untuk beton normal, pada saat mencapai kuat tarik maksimum, beton tersebut langsung terbelah menjadi 2

bagian dikarenakan tidak ada lagi sesuatu yang menahan ketika beton tersebut mengalami keretakan.

5.6 PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON

Pengujian kuat modulus elastisitas beton dilakukan setelah benda uji diberi pengaruh temperatur (dipanaskan) yaitu minimal satu hari setelah pembakaran. Proses pemanasan benda uji dilakukan pada saat beton berumur 28 hari, setelah melalui perawatan dengan cara direndam di dalam air dan diangkat 7 hari sebelum pembakaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Compression Testing Machine* dengan memasang alat extensometer pada benda uji. Pembebanan dilakukan secara konstan untuk mengetahui besar beban yang diterima sampai dengan beban maksimum (saat beton mulai hancur) dan alat extensometer digunakan untuk mengetahui perubahan panjang yang terjadi sehingga dapat diketahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap pembebanan.

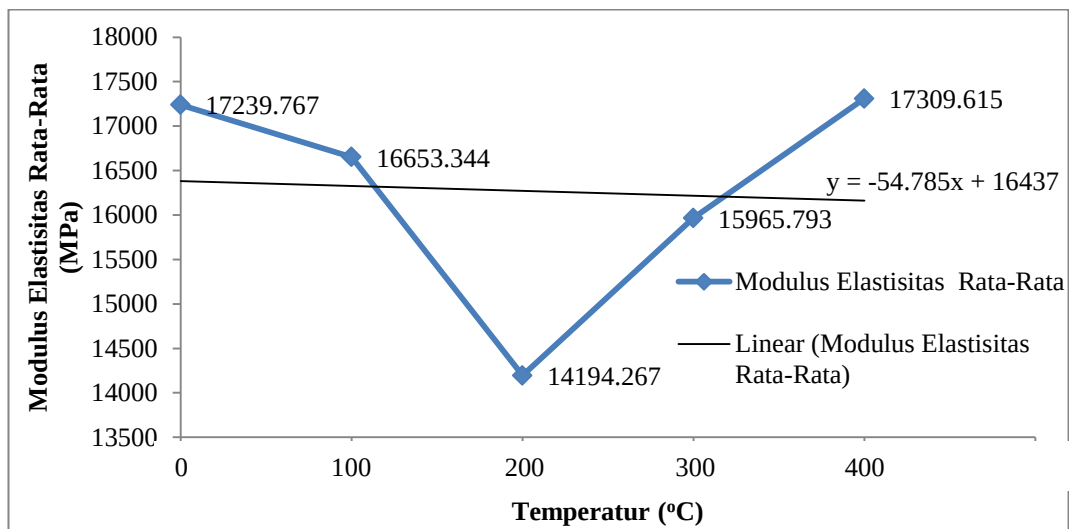
1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian modulus elastisitas beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton Tanpa Serat

No	Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
1	BTS-S0-0-D	17239,767
2	BTS-S0-1-D	16653,344
3	BTS-S0-2-D	14194,267
4	BTS-S0-3-D	15965,793
5	BTS-S0-4-D	17309,615

Dari Tabel 5.22 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton tanpa serat terhadap kinerja modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Tanpa Serat dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.17 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasannya kuat modulus elastisitas beton tanpa serat seiring bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung naik. Penjelasan mengenai hasil nilai modulus elastisitas beton tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- Modulus elastisitas belah rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BTS-S0-1) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan modulus elastisitas beton. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 586,423 MPa atau sebesar 3,402% dari beton (BTS-S0-0).
- Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BTS-S0-2) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan modulus elastisitas beton. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 3045,5 Mpa atau sebesar 17,666% dari beton (BTS-S0-0).
- Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BTS-S0-3) jika dibandingkan dengan beton tanpa

serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami penurunan modulus elastisitas beton. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 1273,974 MPa atau sebesar 7,390% dari beton (BTS-S0-0).

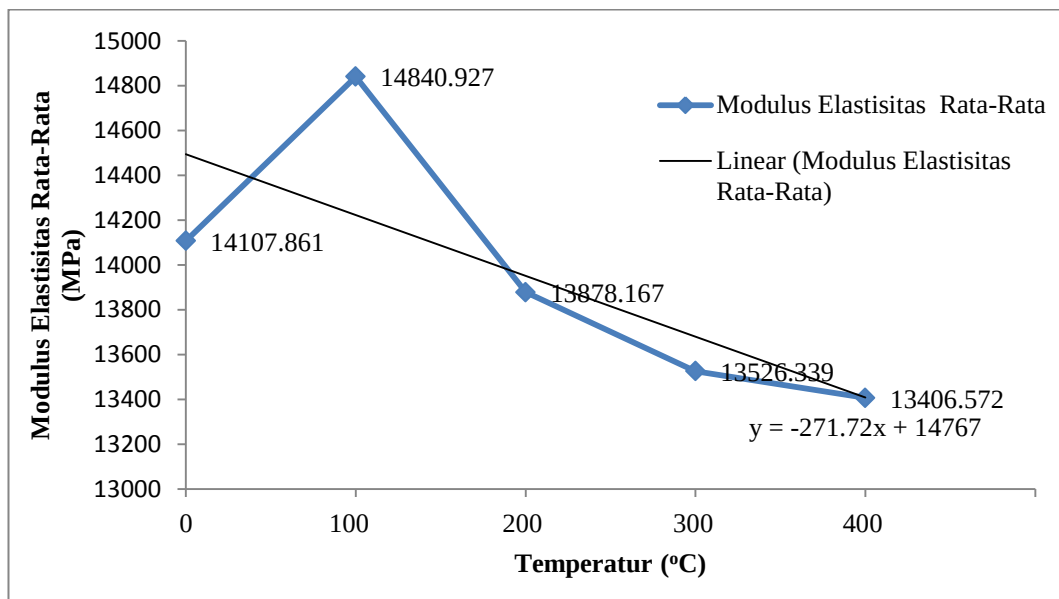
- d. Modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BTS-S0-4) jika dibandingkan dengan beton tanpa serat saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BTS-S0-0) mengalami kenaikan modulus elastisitas beton. Dengan kenaikan modulus elastisitas rata-rata sebesar 69,8480 MPa atau sebesar 0,405% dari beton (BTS-S0-0).

Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut ini.

Tabel 5.23 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Rata-Rata Beton dengan Serat 2%

No	Kode Benda Uji	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)
1	BS-S2-0-D	14107,861
2	BS-S2-1-D	14840,927
3	BS-S2-2-D	13878,167
4	BS-S2-3-D	13526,339
5	BS-S2-4-D	13406,572

Dari Tabel 5.23 di atas diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan pengaruh temperatur pada beton dengan serat 2% terhadap kinerja modulus elastisitas yang dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Hubungan Modulus Elastisitas Beton Serat 2% dengan Pengaruh Temperatur

Dari Gambar 5.18 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasanya modulus elastisitas beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung menurun. Penjelasan mengenai hasil nilai modulus elastisitas tersebut dapat dilihat di bawah ini.

- Modulus elastisitas rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 100°C (BS-S2-1) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami kenaikan modulus elastisitas. Dengan kenaikan modulus elastisitas rata-rata sebesar 733,066 MPa atau sebesar 5,196% dari beton (BS-S2-0). Hal ini karena faktor temperatur, dimana beton menjadi lebih diuntungkan/kuat saat diberi temperatur antara 100°C - 200°C.
- Modulus elastisitas rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 200°C (BS-S2-2) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan modulus elastisitas beton. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 229,694 MPa atau sebesar 1,628% dari beton (BS-S2-0).

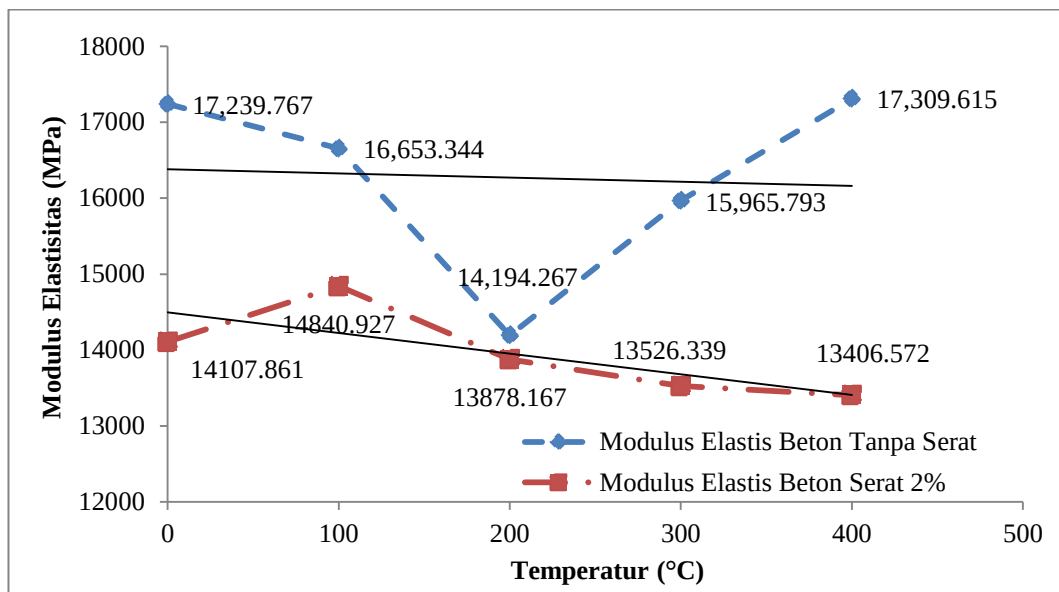
- c. Modulus elastisitas rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 300°C (BS-S2-3) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan modulus elastisitas. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 581,522 MPa atau sebesar 4,122% dari beton (BS-S2-0).
- d. Modulus elastisitas rata-rata beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 400°C (BS-S2-4) jika dibandingkan dengan beton dengan tambahan serat 2% saat diberi pengaruh temperatur 0°C (BS-S2-0) mengalami penurunan modulus elastisitas beton. Dengan penurunan modulus elastisitas rata-rata sebesar 701,289 MPa atau sebesar 4,971% dari beton (BS-S2-0).

Dari hasil analisis di atas, maka dapat dibuat hasil perbandingan pengujian modulus elastisitas beton antara beton tanpa serat dan beton serat 2% dengan pengaruh temperatur yang sama. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut ini.

Tabel 5.24 Perbandingan Modulus Elastisitas Rata-Rata Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

No	Temperatur Pembakaran (°C)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (MPa)	
		Tanpa Serat	Serat 2%
1	0	17239,767	14107,861
2	100	16653,344	14840,927
3	200	14194,267	13878,167
4	300	15965,793	13526,339
5	400	17309,615	13406,572

Dari Tabel 5.24 di atas diperoleh grafik yang menunjukkan bahwa pada pengaruh temperatur yang sama terjadi penurunan nilai modulus elastisitas belah antara beton tanpa serat dengan beton serat 2% limbah karet padat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.19 Perbandingan Modulus Elastisitas Antara Beton Tanpa Serat dengan Beton Serat 2% pada Pengaruh Temperatur yang Sama

2. Pembahasan

Dari Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 di atas dapat diambil kesimpulan bahwasannya modulus elastisitas beton tanpa serat dan beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan, hasil tersebut dapat dilihat dari garis regresi linier yang cenderung menurun. Dari Gambar 5.20 untuk perbandingan kuat modulus elastisitas, beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat. Penjelasan mengenai kenaikan nilai modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat dan beton dengan tambahan serat 2% dapat di lihat di bawah ini.

- Modulus elastisitas rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 0°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-0-D) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 3131,905 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-0-D) dengan nilai slump 13 cm.
- Modulus elastisitas rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 100°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-1-D) dengan nilai slump 12 cm mengalami penurunan sebesar 1812,416 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-1-D) dengan nilai slump 13 cm.

- c. Modulus elastisitas rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 200°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-2-D) dengan nilai slump 10 cm mengalami penurunan sebesar 316,099 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-2-D) dengan nilai slump 20 cm.
- d. Modulus elastisitas rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 300°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-3-D) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 2439,454 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-3-D) dengan nilai slump 15 cm.
- e. Modulus elastisitas rata-rata beton dengan dipengaruhi temperatur 400°C. Beton dengan tambahan serat 2% (BS-S2-4-D) dengan nilai slump 13 cm mengalami penurunan sebesar 3903,042 MPa dari beton normal/beton tanpa serat limbah karet (BTS-S0-4-D) dengan nilai slump 13 cm.

Hasil pengujian modulus elastisitas beton, baik beton tanpa serat ataupun beton dengan tambahan serat 2% menunjukkan adanya penurunan nilai modulus elastisitas beton jika dibandingkan dengan beton yang tanpa diberi pengaruh temperatur, meskipun kuat desak beton masing-masing jenis sampel mengalami kenaikan seiring bertambahnya temperatur. Sedangkan untuk beton dengan tambahan serat 2% modulus elastisitas rata-ratanya lebih kecil dari modulus elastisitas rata-rata beton tanpa serat saat pengaruh temperatur pengujian sama. Hasil ini tidak sesuai dengan hipotesis diawal yang memperkirakan nilai modulus elastisitas beton akan meningkat dengan diberi pengaruh temperatur dan hasil ini juga berlainan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hariyadi, dkk (2009) dengan limbah ban karet sebagai bahan tambah dan Nugroho. I, dkk (2016) dengan limbah karet sebagai bahan tambah. Pada penelitian kedua peneliti tersebut modulus elastisitas beton menunjukkan adanya kecenderungan mengalami kenaikan sampai ke variasi penambahan serat sebanyak 2%.

Modulus elastisitas beton berhubungan erat dengan kekakuan dari suatu bahan. Semakin kecil modulus elastisitas, maka kekakuan bahan tersebut akan

menurun yang mengakibatkan deformasi besar saat menerima gaya maksimum. Kekakuan yang kecil berakibat pada peningkatan daktilitas beton itu sendiri. Sehingga saat menerima gaya maksimum beton tidak akan hancur seketika, melainkan akan mengalami deformasi beberapa saat hingga mengalami kehancuran total.

Dari perbandingan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwasannya beton dengan penambahan serat 2% limbah karet dari berat beton akan menurunkan nilai modulus elastisitas beton, meskipun sudah diberi pengaruh temperatur jika dibandingkan dengan beton tanpa serat. Hal ini dikarenakan pada dasarnya besaran nilai modulus elastisitas dapat dilihat dari grafik hubungan tegangan-regangan, dimana kemiringan kurva elastis menunjukkan besarnya modulus elastisitas. Semakin tegak kurva elastisnya, maka semakin besar nilai modulus elastisitasnya. Sebaliknya semakin landai kurvanya, semakin kecil nilai modulus elastisitasnya. Karena regangan pada karet yang bisa mencapai lebih dari 100%, artinya karet dapat memanjang 2 kali (bahkan lebih) dari panjang semula. Maka, kurva elastisitasnya akan semakin landai. Sehingga karet memiliki modulus elastisitas yang kecil.

BAB VI

SIMPULAN DAN SARAN

6.1 SIMPULAN

Dari analisis hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengujian pengaruh temperatur terhadap kekuatan desak dan tarik belah beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal adalah sebagai berikut.
 - a. Kuat desak beton tanpa serat dan beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan.
 - b. Kuat desak beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat dan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur.
 - c. Kuat tarik belah beton tanpa serat seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami kenaikan. Sedangkan, kuat tarik belah beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan.
 - d. Kuat tarik belah beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat dan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur.
2. Hasil pengujian pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal adalah sebagai berikut.
 - a. Modulus elastisitas beton tanpa serat dan beton dengan tambahan serat 2% seiring dengan bertambahnya temperatur cenderung mengalami penurunan.
 - b. Modulus elastisitas beton dengan tambahan serat 2% nilainya lebih kecil dari beton tanpa serat dan cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur.

3. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwasanya, dengan memberi pengaruh temperatur pada beton dengan penambahan potongan gumpalan limbah karet padat sebanyak 2% terhadap berat beton normal tidak dapat digunakan untuk memperbaiki karakteristik kekuatan beton. Dengan demikian, hipotesis diawal yang memperkirakan nilai modulus elastisitas beton akan meningkat setelah diberi pengaruh temperatur ternyata tidak terbukti, hasil yang didapat melainkan kebalikanya yaitu menurunkan nilai modulus elastisitas dan menurunkan nilai karakteristik beton yang lain.

6.2 SARAN

Penelitian ini masih jauh dari sempurna, dalam upaya penyempurnaan hasil penelitian serta untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan alat pencacah limbah karet yang lebih halus lagi dan disarankan agar ukuran potongan-potongan limbah karet yang dipakai juga diperiksa gradasi ukurannya agar hasil ujinya lebih maksimal.
2. Pengkondisian agregat (agregat halus dan agregat kasar) dalam *SSD (Surface Saturated Dry)* atau agregat jenuh kering muka harus dikondisikan sedemikian rupa (tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah) agar tidak mempengaruhi nilai fas yang telah diperoleh dari hasil *mix design*.
3. Mencari metode pengkondisian/perlakuan limbah karet yang tepat sebelum proses pencampuran, karena ketika limbah karet terlalu basah akan mempengaruhi nilai fas yang telah diperoleh ketika perhitungan perencanaan campuran (*mix design*), sebaliknya ketika limbah karet terlalu kering maka akan terjadi penggumpalan.
4. Metode atau cara memasukkan bahan di dalam *mixer* juga perlu diperhatikan agar seluruh bahan dan agregat yang dicampurkan benar-benar rata dan tidak terjadi penggumpalan yang dapat mempengaruhi hasil pengujian antara benda uji satu dengan yang lainnya.

5. Pada proses pemadatan juga harus dilaksanakan dengan baik agar tidak terjadi segregasi terhadap agregat dan limbah karet menjadi terangkat ke atas yang menyebabkan tidak meratanya penyebaran agregat dan limbah karet.
6. Pada pembuatan sampel hendaknya keadaan slump pada campuran beton segar untuk selalu dijaga kestabilan nilai slump pada setiap pembuatan variasi perubahan temperatur. Supaya tingkat kepadatan beton yang diperoleh akan sama pada setiap variasi perubahan temperatur. Sehingga data parameter kekuatan beton akan lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I.A., Taufieq, N.A., dan Aras, A.H., 2009, Analisis Pengaruh Temperatur Terhadap Kuat Tekan Beton, Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil ISSN 0853-2982
- Anonim, http://id.wikipedia.org/wiki/Beton_Serat, Diakses 27 Agustus 2014.
- Anonim, <http://www.gapkindo.org/>, Diakses 29 Agustus 2014.
- Anonim, 2007, *Gambaran Sekilas Industri Karet*, Sekretariat Jendral Departemen Perindustrian, Jakarta Selatan.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2004, *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-2000)*, Jakarta,
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI, 1971)*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Gere, James M., dan Timoshenko., Stephen P., 1985, *Mekanika Bahan*, Terjemahan oleh Wospakrik, Hans J., 1996, Erlangga, Jakarta.
- Hariyadi, Ashari, dan Isya, 2009, Pengaruh Penggunaan Serat Limbah Karet Roda Sebagai Bahan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah, Impact, dan Modulus Runtu, Jurnal Teknik REKAYASA Volume 10 No 1 Juni, Mataram.
- Hidayat, 2002, Studi Banding Pengaruh Faktor Air Semendan Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Ringan, Tesis UI, Jakarta.
- Kristanto, P., 2004, *Ekologi Industri*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

- Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik. 2015, *Buku Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Luthfi, F., 2011, Pengolahan Lateks Menjadi *Ribbed Soked Sheet (RSS)* dan *Brown Crepe (BrCr)* di PT. Perkebunan Nusantara IX Divisi Tanaman Tahunan Kebun Karet Getas, Laporan Kunjungan Industri, Fakultas Pertanian dan Bisnis, Program Studi AgroEkoTeknologi, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Andi, Yogyakarta.
- Nawy, Edward G., 1985, *Beton Bertulang. Suatu Pendekatan Dasar*, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, 1990, PT ERESCO, Bandung.
- Nugroho. I., dan Bale H.A., 2016, Pengaruh Penambahan Limbah Karet Terhadap Karakteristik Kekuatan Beton, Prosiding Kolokium Volume V Studi Teknik Sipil FTSP UII Januari 2016, ISSN 9-722477-5B3159.
- Nugraha, Paul, dan Antoni, 2007, *Teknologi Beton. Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*, Andi, Yogyakarta.
- Sagel, R., Kole, P., dan Kusuma. G., 1994, *Pedoman Pengerjaan Beton Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 Cetakan Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Smith. M. J., 1980, *Bahan Konstruksi Dan Struktur Teknik*, Terjemahan oleh Ismoyo, 1985, Erlangga, Jakarta.
- Sumardi, P.C., 2000, *Aspek Kimia Beton Pasca Bakar*, Yogyakarta: Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa, 24-25 Maret.
- Tjokrodinuljo, K., 1992, *Teknologi Beton*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tjokrodinulyo, K., 2000, *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wang, Chu-Kia dan Salmon, Charles G., 1990, *Desain Beton Bertulang*. Terjemahan oleh Hariandja, Binsar, Erlangga, Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (1 dari 21)

1. Analisis Perhitungan Berat Volume Beton

Berikut ini merupakan contoh perhitungan berat volume beton dengan kode benda uji BTS-S0-0-D1. Dari hasil pengujian didapat data-data sebagai berikut.

Diameter, D = 15 cm,

$$\begin{aligned}\text{Luas, A} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \\ &= 176,715 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tinggi, t = 30 cm

Berat, W = 12446 gr

Maka,

$$\begin{aligned}\text{Volume, V} &= A \times t \\ &= 176,715 \times 30 \\ &= 5301,408 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Volume Beton} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{12446}{5301,408} \\ &= 2,348 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data berat volume beton dari masing-masing benda uji pada setiap perubahan temperatur. Selanjutnya data berat volume beton tersebut diambil nilai rata-ratanya untuk mendapatkan nilai berat volume beton rata-rata setiap perubahan temperatur.

Hasil pengujian berat volume beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.1 sampai dengan Tabel L.5 berikut ini.

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (2 dari 21)

Tabel L.1 Hasil Pengujian Berat Volume BTS-S0-0

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BTS-S0-0-D1	15	30	12446	5301,438	2,348	2,330
2	BTS-S0-0-D2	15	30	12547	5301,438	2,367	
3	BTS-S0-0-D3	15	30	12453	5301,438	2,349	
4	BTS-S0-0-TB1	15	30	12184	5301,438	2,298	
5	BTS-S0-0-TB2	15	30	12195	5301,438	2,300	
6	BTS-S0-0-TB3	15	30	12300	5301,438	2,320	

Keterangan:

BTS-S0-0 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.2 Hasil Pengujian Berat Volume BTS-S0-1

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BTS-S0-1-D1	15	30	12082	5301,438	2,279	2,299
2	BTS-S0-1-D2	15	30	12240	5301,438	2,309	
3	BTS-S0-1-D3	15	30	12358	5301,438	2,331	
4	BTS-S0-1-TB1	15	30	12211	5301,438	2,303	
5	BTS-S0-1-TB2	15	30	12210	5301,438	2,303	
6	BTS-S0-1-TB3	15	30	12042	5301,438	2,271	

Keterangan:

BTS-S0-1 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.3 Hasil Pengujian Berat Volume BTS-S0-2

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BTS-S0-2-D1	15	30	11732	5301,438	2,213	2,226
2	BTS-S0-2-D2	15	30	11892	5301,438	2,243	
3	BTS-S0-2-D3	15	30	12005	5301,438	2,264	
4	BTS-S0-2-TB1	15	30	11687	5301,438	2,204	
5	BTS-S0-2-TB2	15	30	11776	5301,438	2,221	
6	BTS-S0-2-TB3	15	30	11705	5301,438	2,208	

Keterangan:

BTS-S0-2 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 200°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (3 dari 21)

Tabel L.4 Hasil Pengujian Berat Volume BTS-S0-3

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BTS-S0-3-D1	15	30	11946	5301.438	2.253	2.237
2	BTS-S0-3-D2	15	30	11909	5301.438	2.246	
3	BTS-S0-3-D3	15	30	11986	5301.438	2.261	
4	BTS-S0-3-TB1	15	30	11829	5301.438	2.231	
5	BTS-S0-3-TB2	15	30	11686	5301.438	2.204	
6	BTS-S0-3-TB3	15	30	11789	5301.438	2.224	

Keterangan:

BTS-S0-3 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.5 Hasil Pengujian Berat Volume BTS-S0-4

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BTS-S0-4-D1	15	30	11850	5301.438	2.235	2.240
2	BTS-S0-4-D2	15	30	11940	5301.438	2.252	
3	BTS-S0-4-D3	15	30	12180	5301.438	2.297	
4	BTS-S0-4-TB1	15	30	11705	5301.438	2.208	
5	BTS-S0-4-TB2	15	30	11810	5301.438	2.228	
6	BTS-S0-4-TB3	15	30	11755	5301.438	2.217	

Keterangan:

BTS-S0-4 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 400°C

Hasil pengujian berat volume beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.6 sampai dengan Tabel L.10 berikut ini.

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (4 dari 21)

Tabel L.6 Hasil Pengujian Berat Volume BS-S2-0

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BS-S2-0-D1	15	30	12013	5301,438	2,266	2,267
2	BS-S2-0-D2	15	30	12119	5301,438	2,286	
3	BS-S2-0-D3	15	30	12067	5301,438	2,276	
4	BS-S2-0-TB1	15	30	11864	5301,438	2,238	
5	BS-S2-0-TB2	15	30	12002	5301,438	2,264	
6	BS-S2-0-TB3	15	30	12042	5301,438	2,271	

Keterangan:

BS-S2-0 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.7 Hasil Pengujian Berat Volume BS-S2-1

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BS-S2-1-D1	15	30	11619	5301,438	2,192	2,165
2	BS-S2-1-D2	15	30	11495	5301,438	2,168	
3	BS-S2-1-D3	15	30	11630	5301,438	2,194	
4	BS-S2-1-TB1	15	30	11473	5301,438	2,164	
6	BS-S2-1-TB3	15	30	11393	5301,438	2,149	

Keterangan:

BS-S2-1 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.8 Hasil Pengujian Berat Volume BS-S2-2

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BS-S2-2-D1	15	30	11721	5301,438	2,211	2,215
2	BS-S2-2-D2	15	30	11736	5301,438	2,214	
3	BS-S2-2-D3	15	30	11851	5301,438	2,235	
4	BS-S2-2-TB1	15	30	11699	5301,438	2,207	
5	BS-S2-2-TB2	15	30	11650	5301,438	2,198	
6	BS-S2-2-TB3	15	30	11810	5301,438	2,228	

Keterangan:

BS-S2-2 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 200°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (5 dari 21)

Tabel L.9 Hasil Pengujian Berat Volume BS-S2-3

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BS-S2-3-D1	15	30	11442	5301,438	2,158	2,152
2	BS-S2-3-D2	15	30	11407	5301,438	2,152	
3	BS-S2-3-D3	15	30	11569	5301,438	2,182	
4	BS-S2-3-TB1	15	30	11381	5301,438	2,147	
5	BS-S2-3-TB2	15	30	11275	5301,438	2,127	
6	BS-S2-3-TB3	15	30	11379	5301,438	2,146	

Keterangan:

BS-S2-3 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.10 Hasil Pengujian Berat Volume BS-S2-4

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Berat Benda Uji	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	(gr)	(cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)
1	BS-S2-4-D1	15	30	11580	5301,438	2,184	2,151
2	BS-S2-4-D2	15	30	11435	5301,438	2,157	
3	BS-S2-4-D3	15	30	11390	5301,438	2,148	
4	BS-S2-4-TB1	15	30	11380	5301,438	2,147	
5	BS-S2-4-TB2	15	30	11380	5301,438	2,147	
6	BS-S2-4-TB3	15	30	11245	5301,438	2,121	

Keterangan:

BS-S2-4 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 400°C

2. Analisis Perhitungan Kuat Desak Beton

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kuat desak beton dengan kode benda uji BTS-S0-0-D1. Dari hasil pengujian didapat data-data sebagai berikut.

Beban Maks, P_{maks} = 444,9 KN
= 444900 N

Diameter, D = 150 mm

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (6 dari 21)

Maka,

$$\begin{aligned}\text{Luas Penampang, } A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671,458 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kuat Desak, } f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{444900}{17671,458} \\ &= 25,176 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data kuat desak beton dari masing-masing benda uji pada setiap perubahan temperatur. Selanjutnya data kuat desak beton tersebut diambil nilai rata-ratanya untuk mendapatkan nilai kuat desak beton rata-rata setiap perubahan temperatur.

Hasil pengujian kuat desak beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.11 sampai dengan Tabel L.15 berikut ini.

Tabel L.11 Hasil Pengujian Kuat Desak BTS-S0-0

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BTS-S0-0-D1	150	17671,459	444,9	444900	25,176	28,777
2	BTS-S0-0-D2	150	17671,459	557,3	557300	31,537	
3	BTS-S0-0-D3	150	17671,459	523,4	523400	29,618	

Keterangan:

BTS-S0-0 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.12 Hasil Pengujian Kuat Desak BTS-S0-1

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BTS-S0-1-D1	150	17671,459	521,9	521900	29,533	32,846
2	BTS-S0-1-D2	150	17671,459	685,2	685200	38,774	
3	BTS-S0-1-D3	150	17671,459	534,2	534200	30,230	

Keterangan:

BTS-S0-1 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 100°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (7 dari 21)

Tabel L.13 Hasil Pengujian Kuat Desak BTS-S0-2

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BTS-S0-2-D1	150	17671,459	554,1	554100	31,356	25,312
2	BTS-S0-2-D2	150	17671,459	418,3	418300	23,671	
3	BTS-S0-2-D3	150	17671,459	369,5	369500	20,909	

Keterangan:

BTS-S0-2 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 200°C

Tabel L.14 Hasil Pengujian Kuat Desak BTS-S0-3

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BTS-S0-3-D1	150	17671,459	511,2	511200	28,928	29,513
2	BTS-S0-3-D2	150	17671,459	497,5	497500	28,153	
3	BTS-S0-3-D3	150	17671,459	555,9	555900	31,458	

Keterangan:

BTS-S0-3 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.15 Hasil Pengujian Kuat Desak BTS-S0-4

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BTS-S0-4-D1	150	17671,459	583,5	583500	33,019	33,031
2	BTS-S0-4-D2	150	17671,459	586,6	586600	33,195	
3	BTS-S0-4-D3	150	17671,459	581	581000	32,878	

Keterangan:

BTS-S0-4 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 400°C

Hasil pengujian kuat desak beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur selengkapanya dapat dilihat pada Tabel L.16 sampai dengan Tabel L.20 berikut ini.

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (8 dari 21)

Tabel L.16 Hasil Pengujian Kuat Desak BS-S2-0

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BS-S2-0-D1	150	17671,459	384,4	384400	21,753	21,560
2	BS-S2-0-D2	150	17671,459	364,8	364800	20,643	
3	BS-S2-0-D3	150	17671,459	393,8	393800	22,285	

Keterangan:

BS-S2-0 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.17 Hasil Pengujian Kuat Desak BS-S2-1

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BS-S2-1-D1	150	17671,459	279,8	279800	15,833	19,227
2	BS-S2-1-D2	150	17671,459	398	398000	22,522	
3	BS-S2-1-D3	150	17671,459	341,5	341500	19,325	

Keterangan:

BS-S2-1 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.18 Hasil Pengujian Kuat Desak BS-S2-2

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BS-S2-2-D1	150	17671,459	460	460000	26,031	22,907
2	BS-S2-2-D2	150	17671,459	352,6	352600	19,953	
3	BS-S2-2-D3	150	17671,459	401,8	401800	22,737	

Keterangan:

BS-S2-2 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 200°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (9 dari 21)

Tabel L.19 Hasil Pengujian Kuat Desak BS-S2-3

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BS-S2-3-D1	150	17671,459	386,7	386700	21,883	20,457
2	BS-S2-3-D2	150	17671,459	346,7	346700	19,619	
3	BS-S2-3-D3	150	17671,459	351,1	351100	19,868	

Keterangan:

BS-S2-3 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.20 Hasil Pengujian Kuat Desak BS-S2-4

No.	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Desak (Mpa)	Kuat Desak Rata-Rata (MPa)
				(KN)	(N)		
1	BS-S2-4-D1	150	17671,459	373,2	373200	21,119	21,887
2	BS-S2-4-D2	150	17671,459	376,1	376100	21,283	
3	BS-S2-4-D3	150	17671,459	411	411000	23,258	

Keterangan:

BS-S2-4 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 400°C

3. Analisis Perhitungan Kuat Tarik Belah Beton

Berikut ini merupakan contoh perhitungan tarik belah beton dengan kode benda uji BTS-S0-0-TB1. Dari hasil pengujian didapat data-data sebagai berikut.

Beban Maks, P_{maks} = 200,2 KN

= 200200 N

Diameter, D = 150 mm

Panjang, l = 300 mm

Maka,

Luas Penampang, $A = \pi \times D \times l$

= $\pi \times 150 \times 300$

= 141371,669 mm²

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (10 dari 21)

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tarik Belah, } f_t &= \frac{2 \times P}{A} \\ &= \frac{2 \times 200200}{141371,669} \\ &= 2,832 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data kuat tarik belah beton dari masing-masing benda uji pada setiap perubahan temperatur. Selanjutnya data kuat tarik belah beton tersebut diambil nilai rata-ratanya untuk mendapatkan nilai kuat tarik belah beton rata-rata setiap perubahan temperatur.

Hasil pengujian kuat tarik belah beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.21 sampai dengan Tabel L.25 berikut ini.

Tabel L.21 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BTS-S0-0

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BTS-S0-0-TB1	150	300	141371,669	200,2	200200	2,832	2,594
2	BTS-S0-0-TB2	150	300	141371,669	159,4	159400	2,255	
3	BTS-S0-0-TB3	150	300	141371,669	190,5	190500	2,695	

Keterangan:

BTS-S0-0 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.22 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BTS-S0-1

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BTS-S0-1-TB1	150	300	141371,669	260,2	260200	3,681	2,995
2	BTS-S0-1-TB2	150	300	141371,669	252,0	252000	3,565	
3	BTS-S0-1-TB3	150	300	141371,669	123,0	123000	1,740	

Keterangan:

BTS-S0-1 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.23 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BTS-S0-2

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BTS-S0-2-TB1	150	300	141371,669	201,2	201200	2,846	2,821
2	BTS-S0-2-TB2	150	300	141371,669	197,5	197500	2,794	
3	BTS-S0-2-TB3	150	300	141371,669	199,5	199500	2,822	

Keterangan:

BTS-S0-2 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 200°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (11 dari 21)

Tabel L.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BTS-S0-3

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BTS-S0-3-TB1	150	300	141371,669	214,3	214300	3,032	2,830
2	BTS-S0-3-TB2	150	300	141371,669	199,6	199600	2,824	
3	BTS-S0-3-TB3	150	300	141371,669	186,3	186300	2,636	

Keterangan:

BTS-S0-3 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.25 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BTS-S0-4

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BTS-S0-4-TB1	150	300	141371,669	217,3	217300	3,074	3,285
2	BTS-S0-4-TB2	150	300	141371,669	238,9	238900	3,380	
3	BTS-S0-4-TB3	150	300	141371,669	240,4	240400	3,401	

Keterangan:

BTS-S0-4 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 400°C

Hasil pengujian kuat tarik belah beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.26 sampai dengan Tabel L.30 berikut ini.

Tabel L.26 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BS-S2-0

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BS-S2-0-TB1	150	300	141371,669	195,9	195900	2,771	2,355
2	BS-S2-0-TB2	150	300	141371,669	153,1	153100	2,166	
3	BS-S2-0-TB3	150	300	141371,669	150,4	150400	2,128	

Keterangan:

BS-S2-0 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.27 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BS-S2-1

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata-Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BS-S2-1-TB1	150	300	141371,669	177,6	177600	2,513	2,529
2	BS-S2-1-TB2	150	300	141371,669	176,8	176800	2,501	
3	BS-S2-1-TB3	150	300	141371,669	181,8	181800	2,572	

Keterangan:

BS-S2-1 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 100°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (12 dari 21)

Tabel L.28 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BS-S2-2

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata- Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BS-S2-2-TB1	150	300	141371,669	181,9	181900	2,573	2,580
2	BS-S2-2-TB2	150	300	141371,669	164,5	164500	2,327	
3	BS-S2-2-TB3	150	300	141371,669	200,7	200700	2,839	

Keterangan:

BS-S2-2 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 200°C

Tabel L.29 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BS-S2-3

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata- Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BS-S2-3-TB1	150	300	141371,669	145,7	145700	2,061	2,115
2	BS-S2-3-TB2	150	300	141371,669	166,2	166200	2,351	
3	BS-S2-3-TB3	150	300	141371,669	136,7	136700	1,934	

Keterangan:

BS-S2-3 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.30 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah BS-S2-4

No.	Kode Benda Uji	Dimensi Benda Uji		Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks		Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rata- Rata (MPa)
		Diameter (mm)	Panjang (mm)		(KN)	(N)		
1	BS-S2-4-TB1	150	300	141371,669	175,3	175300	2,480	2,302
2	BS-S2-4-TB2	150	300	141371,669	147,8	147800	2,091	
3	BS-S2-4-TB3	150	300	141371,669	165,1	165100	2,336	

Keterangan:

BS-S2-4 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 400°C

4. Analisis Perhitungan

Berikut ini merupakan contoh perhitungan modulus elastisitas beton dengan kode benda uji BTS-S0-0-D1. Sebagai contoh perhitungan diambil dari data benda uji BTS-S0-0-D1 saat menerima beban (P) = 20 KN.

Pembacaan extensometer = $12 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ = 0,012 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{1}{2} \text{ pembacaan extensometer} \\ &= \frac{1}{2} 0,012 \text{ mm} \\ &= 0.006 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (13 dari 21)

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang, } A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\
 &= 17671,458 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung regangan:

$$\begin{aligned}
 \text{Regangan, } \epsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\
 &= \frac{0,006}{200} \\
 &= 0,00003
 \end{aligned}$$

Menghitung tegangan:

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan, } \sigma &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{20000}{17671,458} \\
 &= 1,132 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Untuk data selanjutnya dilakukan perhitungan-perhitungan yang sama. Secara lengkap dapat dilihat pada Tabel L.31 berikut ini.

Tabel L.31 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D1

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)
1	10	2	0.002	0.001	200	0.000005	17671.459	0.566
2	20	12	0.012	0.006	200	0.000030	17671.459	1.132
3	30	24	0.024	0.012	200	0.000060	17671.459	1.698
4	40	37	0.037	0.019	200	0.000093	17671.459	2.264
5	50	49	0.049	0.025	200	0.000123	17671.459	2.829
6	60	62	0.062	0.031	200	0.000155	17671.459	3.395
7	70	74	0.074	0.037	200	0.000185	17671.459	3.961
8	80	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	4.527
9	90	99	0.099	0.050	200	0.000248	17671.459	5.093
10	100	110	0.11	0.055	200	0.000275	17671.459	5.659
11	110	124	0.124	0.062	200	0.000310	17671.459	6.225
12	120	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.791
13	130	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	7.356
14	140	169	0.169	0.085	200	0.000423	17671.459	7.922
15	150	184	0.184	0.092	200	0.000460	17671.459	8.488
16	160	197	0.197	0.099	200	0.000493	17671.459	9.054

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (14 dari 21)

Lanjutan Tabel L.31 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D1

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)
17	170	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	9.620
18	180	232	0.232	0.116	200	0.000580	17671.459	10.186
19	190	246	0.246	0.123	200	0.000615	17671.459	10.752
20	200	262	0.262	0.131	200	0.000655	17671.459	11.318
21	210	276	0.276	0.138	200	0.000690	17671.459	11.884
22	220	295	0.295	0.148	200	0.000738	17671.459	12.449
23	230	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	13.015
24	240	333	0.333	0.167	200	0.000833	17671.459	13.581
25	250	348	0.348	0.174	200	0.000870	17671.459	14.147
26	260	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	14.713
27	270	369	0.369	0.185	200	0.000923	17671.459	15.279
28	280	375	0.375	0.188	200	0.000938	17671.459	15.845
29	290	395	0.395	0.198	200	0.000988	17671.459	16.411
30	300	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	16.977
31	310	432	0.432	0.216	200	0.001080	17671.459	17.542
32	320	453	0.453	0.227	200	0.001133	17671.459	18.108
33	330	474	0.474	0.237	200	0.001185	17671.459	18.674
34	340	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	19.240
35	350	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	19.806
36	360	536	0.536	0.268	200	0.001340	17671.459	20.372
37	370	555	0.555	0.278	200	0.001388	17671.459	20.938
38	380	578	0.578	0.289	200	0.001445	17671.459	21.504
39	390	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	22.069
40	400	627	0.627	0.314	200	0.001568	17671.459	22.635
41	410	655	0.655	0.328	200	0.001638	17671.459	23.201
42	420	678	0.678	0.339	200	0.001695	17671.459	23.767
44	440	738	0.738	0.369	200	0.001845	17671.459	24.899
45	450	755	0.755	0.378	200	0.001888	17671.459	25.465
46	460	770	0.77	0.385	200	0.001925	17671.459	26.031
47	470	792	0.792	0.396	200	0.001980	17671.459	26.597
48	480	820	0.82	0.410	200	0.002050	17671.459	27.162
49	490	858	0.858	0.429	200	0.002145	17671.459	27.728
50	500	899	0.899	0.450	200	0.002248	17671.459	28.294
51	510	937	0.937	0.469	200	0.002343	17671.459	28.860
52	520	1000	1	0.500	200	0.002500	17671.459	29.426
53	521.9	1029	1.029	0.515	200	0.002573	17671.459	29.533
54	520	1055	1.055	0.528	200	0.002638	17671.459	29.426
55	510	1060	1.06	0.530	200	0.002650	17671.459	28.860

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (15 dari 21)

Diketahui,

$$\sigma_1 = 1,132 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 11,318 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_1 = 0,000655$$

$$\varepsilon_2 = 0,000030$$

Kemudian dihitung koreksi regangan,

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} &= \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2 \pm x} \\ \frac{11,318 - 1,132}{0,000655 - 0,000030} &= \frac{11,318}{0,000655 \pm x} \\ 16297,466 &= \frac{11,318}{0,000655 \pm x} \\ 10,675 \pm 16297,466X &= 11,318 \\ \pm 16297,466X &= 0,643 \\ X &= \pm 0,000039 \end{aligned}$$

Karena letak regangan saat tegangan 0 MPa pada grafik linier modulus elastisitas berada disebelah kiri (nilainya negatif) yang seharusnya nilainya adalah 0, maka nilai koreksi regangan adalah positif. Jadi, regangan terkoreksi pada benda uji BTS-S0-0-D1 saat menerima beban (P) = 20 KN adalah:

$$0,000030 + (0,000039) = 0,000069$$

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel L.32 berikut ini.

Tabel L.32 Perhitungan Regangan (Koreksi) -Tegangan BTS-S0-0-D1

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ε	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ε Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	2	0.002	0.001	200	0.000005	17671.459	0.566	0.000039	0.000044
2	20	12	0.012	0.006	200	0.000030	17671.459	1.132	0.000039	0.000069
3	30	24	0.024	0.012	200	0.000060	17671.459	1.698	0.000039	0.000099
4	40	37	0.037	0.019	200	0.000093	17671.459	2.264	0.000039	0.000132
5	50	49	0.049	0.025	200	0.000123	17671.459	2.829	0.000039	0.000162
6	60	62	0.062	0.031	200	0.000155	17671.459	3.395	0.000039	0.000194
7	70	74	0.074	0.037	200	0.000185	17671.459	3.961	0.000039	0.000224
8	80	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	4.527	0.000039	0.000252
9	90	99	0.099	0.050	200	0.000248	17671.459	5.093	0.000039	0.000287
10	100	110	0.11	0.055	200	0.000275	17671.459	5.659	0.000039	0.000314
11	110	124	0.124	0.062	200	0.000310	17671.459	6.225	0.000039	0.000349

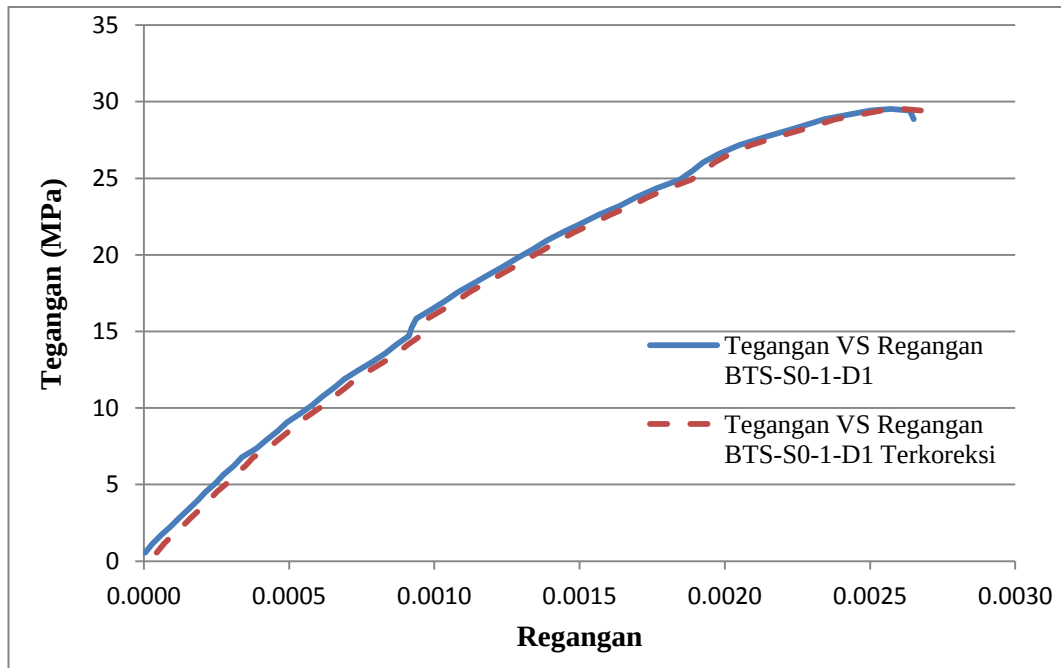
Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (16 dari 21)

Lanjutan Tabel L.32 Perhitungan Regangan (Koreksi) -Tegangan BTS-S0-0-D1

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
12	120	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.791	0.000039	0.000377
13	130	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	7.356	0.000039	0.000427
14	140	169	0.169	0.085	200	0.000423	17671.459	7.922	0.000039	0.000462
15	150	184	0.184	0.092	200	0.000460	17671.459	8.488	0.000039	0.000499
16	160	197	0.197	0.099	200	0.000493	17671.459	9.054	0.000039	0.000532
17	170	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	9.620	0.000039	0.000577
18	180	232	0.232	0.116	200	0.000580	17671.459	10.186	0.000039	0.000619
19	190	246	0.246	0.123	200	0.000615	17671.459	10.752	0.000039	0.000654
20	200	262	0.262	0.131	200	0.000655	17671.459	11.318	0.000039	0.000694
21	210	276	0.276	0.138	200	0.000690	17671.459	11.884	0.000039	0.000729
22	220	295	0.295	0.148	200	0.000738	17671.459	12.449	0.000039	0.000777
23	230	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	13.015	0.000039	0.000827
24	240	333	0.333	0.167	200	0.000833	17671.459	13.581	0.000039	0.000872
25	250	348	0.348	0.174	200	0.000870	17671.459	14.147	0.000039	0.000909
28	280	375	0.375	0.188	200	0.000938	17671.459	15.845	0.000039	0.000977
29	290	395	0.395	0.198	200	0.000988	17671.459	16.411	0.000039	0.001027
30	300	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	16.977	0.000039	0.001077
31	310	432	0.432	0.216	200	0.001080	17671.459	17.542	0.000039	0.001119
32	320	453	0.453	0.227	200	0.001133	17671.459	18.108	0.000039	0.001172
33	330	474	0.474	0.237	200	0.001185	17671.459	18.674	0.000039	0.001224
34	340	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	19.240	0.000039	0.001277
35	350	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	19.806	0.000039	0.001327
37	370	555	0.555	0.278	200	0.001388	17671.459	20.938	0.000039	0.001427
38	380	578	0.578	0.289	200	0.001445	17671.459	21.504	0.000039	0.001484
39	390	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	22.069	0.000039	0.001547
40	400	627	0.627	0.314	200	0.001568	17671.459	22.635	0.000039	0.001607
43	430	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	24.333	0.000039	0.001802
44	440	738	0.738	0.369	200	0.001845	17671.459	24.899	0.000039	0.001884
45	450	755	0.755	0.378	200	0.001888	17671.459	25.465	0.000039	0.001927
46	460	770	0.77	0.385	200	0.001925	17671.459	26.031	0.000039	0.001964
47	470	792	0.792	0.396	200	0.001980	17671.459	26.597	0.000039	0.002019
48	480	820	0.82	0.410	200	0.002050	17671.459	27.162	0.000039	0.002089
49	490	858	0.858	0.429	200	0.002145	17671.459	27.728	0.000039	0.002184
51	510	937	0.937	0.469	200	0.002343	17671.459	28.860	0.000039	0.002382
52	520	1000	1	0.500	200	0.002500	17671.459	29.426	0.000039	0.002539
53	521.9	1029	1.029	0.515	200	0.002573	17671.459	29.533	0.000039	0.002612
54	520	1055	1.055	0.528	200	0.002638	17671.459	29.426	0.000039	0.002677
55	510	1060	1.06	0.530	200	0.002650	17671.459	28.860	0.000039	0.002689

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (17 dari 21)

Kemudian dibuat grafik antara tegangan dan regangan, baik regangan awal maupun regangan terkoreksi. Grafik antara tegangan dan regangan yang terjadi pada benda uji BTS-S0-0-D1 dapat dilihat pada Gambar L.1 berikut ini.



Gambar L.1 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-0-D1

Menghitung modulus elastisitas:

$$\text{Modulus elastisitas} = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050}$$

Keterangan:

S_2 = Kuat tekan pada saat 40% dari beban maksimum, dalam Mpa

S_1 = Kuat tekan pada saat regangan longitudinal mencapai ϵ_1 50 per juta, dalam MPa, Nilai S_1 diperoleh dari interpolasi nilai tegangan yang nilai regangannya mendekati nilai regangan ϵ_1 50 per juta (ϵ_a dan ϵ_b)

ϵ_2 = Regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat S_2 , Nilai ϵ_2 diperoleh dari interpolasi nilai regangan yang nilai tegangannya mendekati nilai tegangan S_2 (σ_a dan σ_b)

Diketahui σ_{maks} pada benda uji BTS-S0-0-D1= 29,533 MPa, maka:

$$\begin{aligned} S_2 &= 40\% \times 29,533 \\ &= 11,813 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (18 dari 21)

S_1 = Interpolasi nilai S_1 dapat dilihat pada Tabel L.33 berikut ini.

Tabel L.33 Interpolasi Nilai S_1

ϵ_a	ϵ_b	ϵ_1
0.000044	0.000069	0.00005
σ_a	σ_b	S_1
0.566	1.132	0.692

Jadi, nilai $S_1 = 1,8366$ MPa

ϵ_2 = Interpolasi nilai ϵ_2 dapat dilihat pada Tabel L.34 berikut ini.

Tabel L.34 Interpolasi Nilai ϵ_2

σ_a	σ_b	S_2
11.318	11.884	11.813
ϵ_a	ϵ_b	ϵ_2
0.000694	0.000729	0.000725

Jadi, nilai $\epsilon_2 = 0,000725$

Maka, modulus elastisitas pada benda uji BTS-S0-0-D1 adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas} &= \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050} \\
 &= \frac{11,813 - 0,692}{0,000725 - 0,000050} \\
 &= 16474,137 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data modulus elastisitas beton dari masing-masing benda uji pada setiap perubahan temperatur. Selanjutnya data modulus elastisitas beton tersebut diambil nilai rata-ratanya untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas beton rata-rata setiap perubahan temperatur.

Hasil pengujian modulus elastisitas beton tanpa serat setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.35 sampai dengan Tabel L.39 berikut ini.

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (19 dari 21)

Tabel L.35 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BTS-S0-0

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BTS-S0-0-D1	10,070	0,878	0,000556	18177,650	17239,767
2	BTS-S0-0-D2	12,615	0,799	0,000692	18413,771	
3	BTS-S0-0-D3	11,847	0,676	0,000788	15127,880	

Keterangan:

BTS-S0-0 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.36 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BTS-S0-1

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BTS-S0-1-D1	11,813	0,692	0,000725	16474,137	16653,344
2	BTS-S0-1-D2	15,510	0,689	0,000931	16823,277	
3	BTS-S0-1-D3	12,092	0,709	0,000733	16662,617	

Keterangan:

BTS-S0-1 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.37 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BTS-S0-2

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BTS-S0-2-D1	12,542	0,666	0,000795	16048,373	14194,267
2	BTS-S0-2-D2	9,468	0,666	0,000739	12773,331	
3	BTS-S0-2-D3	8,364	0,514	0,000620	13761,096	

Keterangan:

BTS-S0-2 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 200°C

Tabel L.38 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BTS-S0-3

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BTS-S0-3-D1	11,571	0,849	0,000744	15775,356	15965,793
2	BTS-S0-3-D2	11,261	0,849	0,000673	16719,823	
3	BTS-S0-3-D3	12,583	1,178	0,000791	15402,199	

Keterangan:

BTS-S0-3 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 300°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (20 dari 21)

Tabel L.39 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BTS-S0-4

No.	Kode Benda Uji	S ₂	S ₁	ε ₂	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BTS-S0-4-D1	13,208	0,844	0,000762	17360,963	17309,615
2	BTS-S0-4-D2	13,278	0,738	0,000795	16840,649	
3	BTS-S0-4-D3	13,151	0,772	0,000748	17727,232	

Keterangan:

BTS-S0-4 = Beton Tanpa Serat dengan dipengaruhi temperatur 400°C

Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan penambahan serat limbah karet sebanyak 2% setelah diberi pengaruh temperatur selengkapnya dapat dilihat pada Tabel L.40 sampai dengan Tabel L.44 berikut ini.

Tabel L.40 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BS-S2-0

No.	Kode Benda Uji	S ₂	S ₁	ε ₂	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BS-S2-0-D1	8,701	0,742	0,000605	14330,091	14107,861
2	BS-S2-0-D2	8,257	0,823	0,000555	14733,013	
3	BS-S2-0-D3	8,914	0,731	0,000667	13260,480	

Keterangan:

BS-S2-0 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 0°C

Tabel L.41 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BS-S2-1

No.	Kode Benda Uji	S ₂	S ₁	ε ₂	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BS-S2-1-D1	6,333	0,934	0,000383	16203,053	14840,927
2	BS-S2-1-D2	9,009	0,707	0,000681	13151,967	
3	BS-S2-1-D3	7,730	0,922	0,000499	15167,762	

Keterangan:

BS-S2-1 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 100°C

Tabel L.42 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BS-S2-2

No.	Kode Benda Uji	S ₂	S ₁	ε ₂	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BS-S2-2-D1	10,412	0,425	0,000849	12498,638	13878,167
2	BS-S2-2-D2	7,981	0,689	0,000615	12907,097	
3	BS-S2-2-D3	9,095	0,855	0,000558	16228,767	

Keterangan:

BS-S2-2 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 200°C

Lampiran 1: Analisis Perhitungan Pengujian Beton (21 dari 21)

Tabel L.43 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BS-S2-3

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BS-S2-3-D1	8,753	0,518	0,000615	14583,919	13526,339
2	BS-S2-3-D2	7,848	0,704	0,000582	13418,961	
3	BS-S2-3-D3	7,947	0,625	0,000632	12576,138	

Keterangan:

BS-S2-3 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 300°C

Tabel L.44 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas BS-S2-4

No.	Kode Benda Uji	S_2	S_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
1	BS-S2-4-D1	8,448	0,755	0,000560	15090,246	13406,572
2	BS-S2-4-D2	8,513	0,655	0,000670	12679,676	
3	BS-S2-4-D3	9,303	0,621	0,000747	12449,795	

Keterangan:

BS-S2-4 = Beton Serat dengan tambahan 2% limbah karet dan dipengaruhi temperatur 400°C

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (1 dari 71)

Tabel L.45 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D2 (Regangan
Terkoreksi)

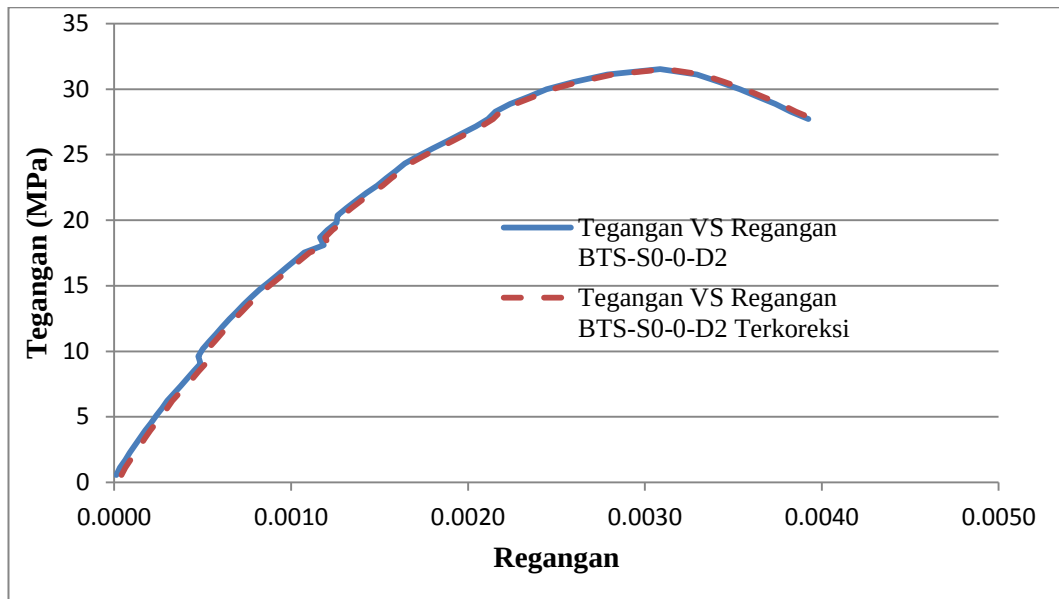
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	5	0.005	0.003	200	0.000013	17671.459	0.566	0.000029	0.000042
2	20	13	0.013	0.007	200	0.000033	17671.459	1.132	0.000029	0.000062
3	30	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.698	0.000029	0.000092
4	40	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	2.264	0.000029	0.000117
5	50	47	0.047	0.024	200	0.000118	17671.459	2.829	0.000029	0.000147
6	60	58	0.058	0.029	200	0.000145	17671.459	3.395	0.000029	0.000174
7	70	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	3.961	0.000029	0.000204
8	80	83	0.083	0.042	200	0.000208	17671.459	4.527	0.000029	0.000237
9	90	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	5.093	0.000029	0.000267
10	100	108	0.108	0.054	200	0.000270	17671.459	5.659	0.000029	0.000299
11	110	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	6.225	0.000029	0.000329
12	120	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.791	0.000029	0.000367
13	130	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	7.356	0.000029	0.000404
14	140	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	7.922	0.000029	0.000442
15	150	180	0.180	0.090	200	0.000450	17671.459	8.488	0.000029	0.000479
16	160	195	0.195	0.098	200	0.000488	17671.459	9.054	0.000029	0.000517
17	170	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	9.620	0.000029	0.000504
18	180	200	0.200	0.100	200	0.000500	17671.459	10.186	0.000029	0.000529
19	190	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	10.752	0.000029	0.000567
20	200	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	11.318	0.000029	0.000604
21	210	245	0.245	0.123	200	0.000613	17671.459	11.884	0.000029	0.000642
22	220	260	0.260	0.130	200	0.000650	17671.459	12.449	0.000029	0.000679
23	230	277	0.277	0.139	200	0.000693	17671.459	13.015	0.000029	0.000722
24	240	293	0.293	0.147	200	0.000733	17671.459	13.581	0.000029	0.000762
25	250	310	0.310	0.155	200	0.000775	17671.459	14.147	0.000029	0.000804
26	260	328	0.328	0.164	200	0.000820	17671.459	14.713	0.000029	0.000849
27	270	350	0.350	0.175	200	0.000875	17671.459	15.279	0.000029	0.000904
28	280	370	0.370	0.185	200	0.000925	17671.459	15.845	0.000029	0.000954
29	290	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	16.411	0.000029	0.001004
30	300	410	0.410	0.205	200	0.001025	17671.459	16.977	0.000029	0.001054
31	310	430	0.430	0.215	200	0.001075	17671.459	17.542	0.000029	0.001104
32	320	474	0.474	0.237	200	0.001185	17671.459	18.108	0.000029	0.001214
33	330	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	18.674	0.000029	0.001192
34	340	482	0.482	0.241	200	0.001205	17671.459	19.240	0.000029	0.001234
35	350	503	0.503	0.252	200	0.001258	17671.459	19.806	0.000029	0.001287
36	360	505	0.505	0.253	200	0.001263	17671.459	20.372	0.000029	0.001292

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (2 dari 71)

Lanjutan Tabel L.45 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
37	370	525	0.525	0.263	200	0.001313	17671.459	20.938	0.000029	0.001342
38	380	547	0.547	0.274	200	0.001368	17671.459	21.504	0.000029	0.001397
39	390	570	0.570	0.285	200	0.001425	17671.459	22.069	0.000029	0.001454
40	400	595	0.595	0.298	200	0.001488	17671.459	22.635	0.000029	0.001517
41	410	615	0.615	0.308	200	0.001538	17671.459	23.201	0.000029	0.001567
42	420	637	0.637	0.319	200	0.001593	17671.459	23.767	0.000029	0.001622
43	430	657	0.657	0.329	200	0.001643	17671.459	24.333	0.000029	0.001672
44	440	687	0.687	0.344	200	0.001718	17671.459	24.899	0.000029	0.001747
45	450	720	0.720	0.360	200	0.001800	17671.459	25.465	0.000029	0.001829
46	460	753	0.753	0.377	200	0.001883	17671.459	26.031	0.000029	0.001912
47	470	785	0.785	0.393	200	0.001963	17671.459	26.597	0.000029	0.001992
48	480	818	0.818	0.409	200	0.002045	17671.459	27.162	0.000029	0.002074
49	490	845	0.845	0.423	200	0.002113	17671.459	27.728	0.000029	0.002142
50	500	862	0.862	0.431	200	0.002155	17671.459	28.294	0.000029	0.002184
51	510	895	0.895	0.448	200	0.002238	17671.459	28.860	0.000029	0.002267
52	520	938	0.938	0.469	200	0.002345	17671.459	29.426	0.000029	0.002374
53	530	978	0.978	0.489	200	0.002445	17671.459	29.992	0.000029	0.002474
54	540	1040	1.040	0.520	200	0.002600	17671.459	30.558	0.000029	0.002629
55	550	1115	1.115	0.558	200	0.002788	17671.459	31.124	0.000029	0.002817
56	557.3	1235	1.235	0.618	200	0.003088	17671.459	31.537	0.000029	0.003117
57	550	1318	1.318	0.659	200	0.003295	17671.459	31.124	0.000029	0.003324
58	540	1368	1.368	0.684	200	0.003420	17671.459	30.558	0.000029	0.003449
59	530	1415	1.415	0.708	200	0.003538	17671.459	29.992	0.000029	0.003567
60	520	1455	1.455	0.728	200	0.003638	17671.459	29.426	0.000029	0.003667
61	510	1495	1.495	0.748	200	0.003738	17671.459	28.860	0.000029	0.003767
62	500	1530	1.530	0.765	200	0.003825	17671.459	28.294	0.000029	0.003854
63	490	1570	1.570	0.785	200	0.003925	17671.459	27.728	0.000029	0.003954

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (3 dari 71)



Gambar L.2 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-0-D2

Diketahui,

$$S_2 = 12.615$$

$$S_1 = 0.799$$

$$\varepsilon_2 = 0.000692$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-0-D2 = 18413.771 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (4 dari 71)

Tabel L.46 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D3 (Regangan
Terkoreksi)

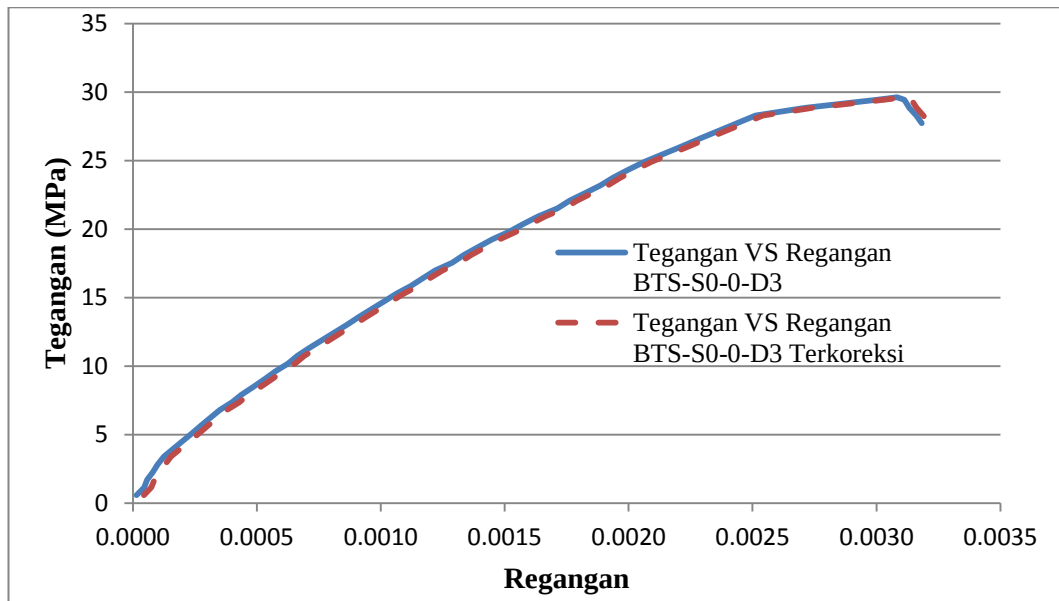
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	6	0.006	0.003	200	0.000015	17671.459	0.566	0.000029	0.000044
2	20	18	0.018	0.009	200	0.000045	17671.459	1.132	0.000029	0.000074
3	30	23	0.023	0.012	200	0.000058	17671.459	1.698	0.000029	0.000087
4	40	32	0.032	0.016	200	0.000080	17671.459	2.264	0.000029	0.000109
5	50	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	2.829	0.000029	0.000129
6	60	50	0.050	0.025	200	0.000125	17671.459	3.395	0.000029	0.000154
7	70	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	3.961	0.000029	0.000192
8	80	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	4.527	0.000029	0.000229
9	90	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	5.093	0.000029	0.000267
10	100	110	0.110	0.055	200	0.000275	17671.459	5.659	0.000029	0.000304
11	110	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	6.225	0.000029	0.000342
12	120	140	0.140	0.070	200	0.000350	17671.459	6.791	0.000029	0.000379
13	130	160	0.160	0.080	200	0.000400	17671.459	7.356	0.000029	0.000429
14	140	175	0.175	0.088	200	0.000438	17671.459	7.922	0.000029	0.000467
15	150	195	0.195	0.098	200	0.000488	17671.459	8.488	0.000029	0.000517
16	160	213	0.213	0.107	200	0.000533	17671.459	9.054	0.000029	0.000562
17	170	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	9.620	0.000029	0.000604
18	180	250	0.250	0.125	200	0.000625	17671.459	10.186	0.000029	0.000654
19	190	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	10.752	0.000029	0.000692
20	200	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	11.318	0.000029	0.000742
21	210	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	11.884	0.000029	0.000792
22	220	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	12.449	0.000029	0.000842
23	230	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	13.015	0.000029	0.000892
24	240	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	13.581	0.000029	0.000942
25	250	385	0.385	0.193	200	0.000963	17671.459	14.147	0.000029	0.000992
26	260	405	0.405	0.203	200	0.001013	17671.459	14.713	0.000029	0.001042
27	270	425	0.425	0.213	200	0.001063	17671.459	15.279	0.000029	0.001092
28	280	448	0.448	0.224	200	0.001120	17671.459	15.845	0.000029	0.001149
29	290	468	0.468	0.234	200	0.001170	17671.459	16.411	0.000029	0.001199
30	300	488	0.488	0.244	200	0.001220	17671.459	16.977	0.000029	0.001249
31	310	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	17.542	0.000029	0.001317
32	320	534	0.534	0.267	200	0.001335	17671.459	18.108	0.000029	0.001364
33	330	557	0.557	0.279	200	0.001393	17671.459	18.674	0.000029	0.001422
34	340	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	19.240	0.000029	0.001479

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (5 dari 71)

Lanjutan Tabel L.46 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-0-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	607	0.607	0.304	200	0.001518	17671.459	19.806	0.000029	0.001547
36	360	630	0.630	0.315	200	0.001575	17671.459	20.372	0.000029	0.001604
37	370	654	0.654	0.327	200	0.001635	17671.459	20.938	0.000029	0.001664
38	380	685	0.685	0.343	200	0.001713	17671.459	21.504	0.000029	0.001742
39	390	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	22.069	0.000029	0.001792
40	400	730	0.730	0.365	200	0.001825	17671.459	22.635	0.000029	0.001854
41	410	755	0.755	0.378	200	0.001888	17671.459	23.201	0.000029	0.001917
42	420	775	0.775	0.388	200	0.001938	17671.459	23.767	0.000029	0.001967
43	430	800	0.800	0.400	200	0.002000	17671.459	24.333	0.000029	0.002029
44	440	825	0.825	0.413	200	0.002063	17671.459	24.899	0.000029	0.002092
45	450	855	0.855	0.428	200	0.002138	17671.459	25.465	0.000029	0.002167
46	460	885	0.885	0.443	200	0.002213	17671.459	26.031	0.000029	0.002242
47	470	915	0.915	0.458	200	0.002288	17671.459	26.597	0.000029	0.002317
48	480	945	0.945	0.473	200	0.002363	17671.459	27.162	0.000029	0.002392
49	490	975	0.975	0.488	200	0.002438	17671.459	27.728	0.000029	0.002467
50	500	1005	1.005	0.503	200	0.002513	17671.459	28.294	0.000029	0.002542
51	510	1085	1.085	0.543	200	0.002713	17671.459	28.860	0.000029	0.002742
52	520	1200	1.200	0.600	200	0.003000	17671.459	29.426	0.000029	0.003029
53	523.4	1233	1.233	0.617	200	0.003083	17671.459	29.618	0.000029	0.003112
54	520	1245	1.245	0.623	200	0.003113	17671.459	29.426	0.000029	0.003142
55	510	1253	1.253	0.627	200	0.003133	17671.459	28.860	0.000029	0.003162
56	500	1264	1.264	0.632	200	0.003160	17671.459	28.294	0.000029	0.003189
57	490	1273	1.273	0.637	200	0.003183	17671.459	27.728	0.000029	0.003212

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (6 dari 71)



Gambar L.3 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-0-D3

Diketahui,

$$S_2 = 11.847$$

$$S_1 = 0.676$$

$$\varepsilon_2 = 0.000788$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-0-D3 = 15127.880 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (7 dari 71)

Tabel L.47 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D1 (Regangan
Terkoreksi)

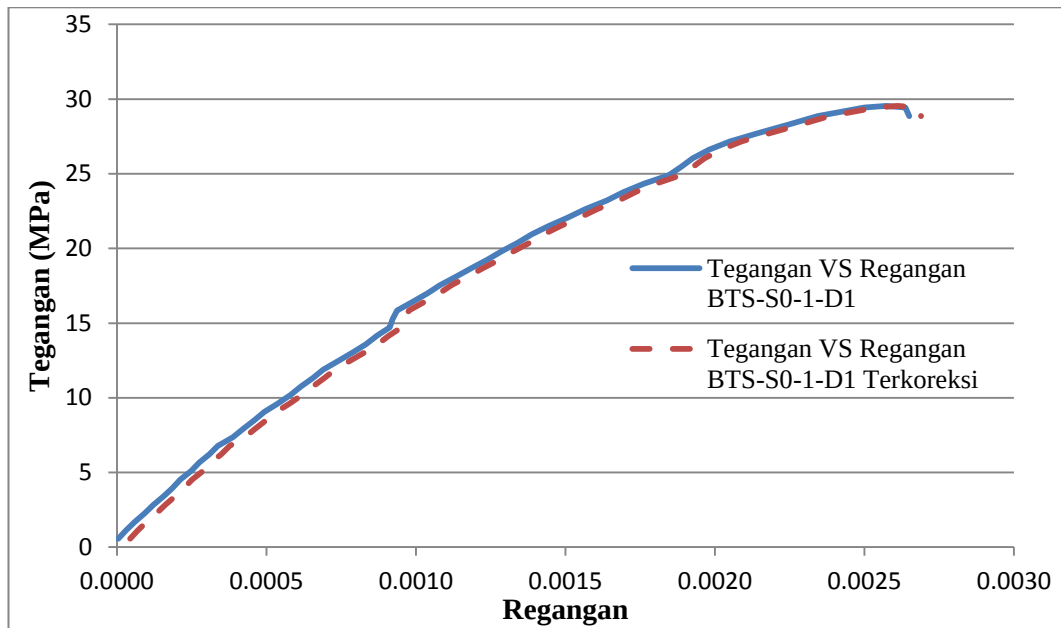
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	2	0.002	0.001	200	0.000005	17671.459	0.566	0.000039	0.000044
2	20	12	0.012	0.006	200	0.000030	17671.459	1.132	0.000039	0.000069
3	30	24	0.024	0.012	200	0.000060	17671.459	1.698	0.000039	0.000099
4	40	37	0.037	0.019	200	0.000093	17671.459	2.264	0.000039	0.000132
5	50	49	0.049	0.025	200	0.000123	17671.459	2.829	0.000039	0.000162
6	60	62	0.062	0.031	200	0.000155	17671.459	3.395	0.000039	0.000194
7	70	74	0.074	0.037	200	0.000185	17671.459	3.961	0.000039	0.000224
8	80	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	4.527	0.000039	0.000252
9	90	99	0.099	0.050	200	0.000248	17671.459	5.093	0.000039	0.000287
10	100	110	0.11	0.055	200	0.000275	17671.459	5.659	0.000039	0.000314
11	110	124	0.124	0.062	200	0.000310	17671.459	6.225	0.000039	0.000349
12	120	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.791	0.000039	0.000377
13	130	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	7.356	0.000039	0.000427
14	140	169	0.169	0.085	200	0.000423	17671.459	7.922	0.000039	0.000462
15	150	184	0.184	0.092	200	0.000460	17671.459	8.488	0.000039	0.000499
16	160	197	0.197	0.099	200	0.000493	17671.459	9.054	0.000039	0.000532
17	170	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	9.620	0.000039	0.000577
18	180	232	0.232	0.116	200	0.000580	17671.459	10.186	0.000039	0.000619
19	190	246	0.246	0.123	200	0.000615	17671.459	10.752	0.000039	0.000654
20	200	262	0.262	0.131	200	0.000655	17671.459	11.318	0.000039	0.000694
21	210	276	0.276	0.138	200	0.000690	17671.459	11.884	0.000039	0.000729
22	220	295	0.295	0.148	200	0.000738	17671.459	12.449	0.000039	0.000777
23	230	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	13.015	0.000039	0.000827
24	240	333	0.333	0.167	200	0.000833	17671.459	13.581	0.000039	0.000872
25	250	348	0.348	0.174	200	0.000870	17671.459	14.147	0.000039	0.000909
26	260	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	14.713	0.000039	0.000952
27	270	369	0.369	0.185	200	0.000923	17671.459	15.279	0.000039	0.000962
28	280	375	0.375	0.188	200	0.000938	17671.459	15.845	0.000039	0.000977
29	290	395	0.395	0.198	200	0.000988	17671.459	16.411	0.000039	0.001027
30	300	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	16.977	0.000039	0.001077
31	310	432	0.432	0.216	200	0.001080	17671.459	17.542	0.000039	0.001119
32	320	453	0.453	0.227	200	0.001133	17671.459	18.108	0.000039	0.001172
33	330	474	0.474	0.237	200	0.001185	17671.459	18.674	0.000039	0.001224
34	340	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	19.240	0.000039	0.001277

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (8 dari 71)

Lanjutan Tabel L.47 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	19.806	0.000039	0.001327
36	360	536	0.536	0.268	200	0.001340	17671.459	20.372	0.000039	0.001379
37	370	555	0.555	0.278	200	0.001388	17671.459	20.938	0.000039	0.001427
38	380	578	0.578	0.289	200	0.001445	17671.459	21.504	0.000039	0.001484
39	390	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	22.069	0.000039	0.001547
40	400	627	0.627	0.314	200	0.001568	17671.459	22.635	0.000039	0.001607
41	410	655	0.655	0.328	200	0.001638	17671.459	23.201	0.000039	0.001677
42	420	678	0.678	0.339	200	0.001695	17671.459	23.767	0.000039	0.001734
43	430	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	24.333	0.000039	0.001802
44	440	738	0.738	0.369	200	0.001845	17671.459	24.899	0.000039	0.001884
45	450	755	0.755	0.378	200	0.001888	17671.459	25.465	0.000039	0.001927
46	460	770	0.77	0.385	200	0.001925	17671.459	26.031	0.000039	0.001964
47	470	792	0.792	0.396	200	0.001980	17671.459	26.597	0.000039	0.002019
48	480	820	0.82	0.410	200	0.002050	17671.459	27.162	0.000039	0.002089
49	490	858	0.858	0.429	200	0.002145	17671.459	27.728	0.000039	0.002184
50	500	899	0.899	0.450	200	0.002248	17671.459	28.294	0.000039	0.002287
51	510	937	0.937	0.469	200	0.002343	17671.459	28.860	0.000039	0.002382
52	520	1000	1	0.500	200	0.002500	17671.459	29.426	0.000039	0.002539
53	521.9	1029	1.029	0.515	200	0.002573	17671.459	29.533	0.000039	0.002612
54	520	1055	1.055	0.528	200	0.002638	17671.459	29.426	0.000039	0.002677
55	510	1060	1.06	0.530	200	0.002650	17671.459	28.860	0.000039	0.002689

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (9 dari 71)



Gambar L.4 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-1-D1

Diketahui,

$$S_2 = 11.813$$

$$S_1 = 0.692$$

$$\epsilon_2 = 0.000725$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-1-D1 = 16474.137 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (10 dari 71)

Tabel L.48 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D2 (Regangan
Terkoreksi)

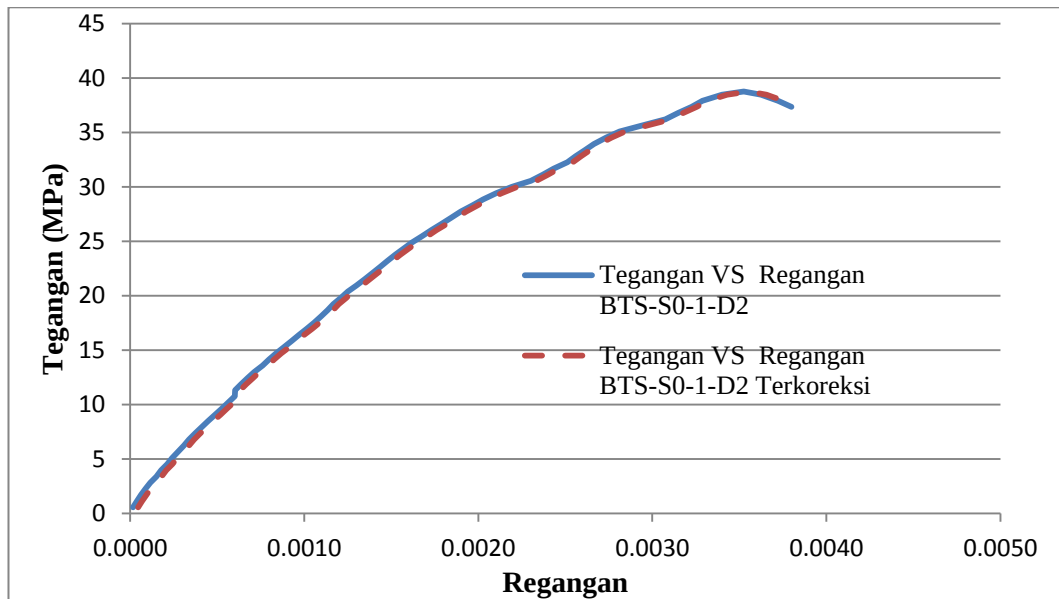
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	6	0.006	0.003	200	0.000015	17671.459	0.566	0.000030	0.000045
2	20	15	0.015	0.008	200	0.000038	17671.459	1.132	0.000030	0.000068
3	30	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.698	0.000030	0.000093
4	40	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	2.264	0.000030	0.000118
5	50	46	0.046	0.023	200	0.000115	17671.459	2.829	0.000030	0.000145
6	60	60	0.060	0.030	200	0.000150	17671.459	3.395	0.000030	0.000180
7	70	71	0.071	0.036	200	0.000178	17671.459	3.961	0.000030	0.000208
8	80	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	4.527	0.000030	0.000243
9	90	96	0.096	0.048	200	0.000240	17671.459	5.093	0.000030	0.000270
10	100	109	0.109	0.055	200	0.000273	17671.459	5.659	0.000030	0.000303
11	110	123	0.123	0.062	200	0.000308	17671.459	6.225	0.000030	0.000338
12	120	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.791	0.000030	0.000368
13	130	149	0.149	0.075	200	0.000373	17671.459	7.356	0.000030	0.000403
14	140	164	0.164	0.082	200	0.000410	17671.459	7.922	0.000030	0.000440
15	150	179	0.179	0.090	200	0.000448	17671.459	8.488	0.000030	0.000478
16	160	195	0.195	0.098	200	0.000488	17671.459	9.054	0.000030	0.000518
17	170	210	0.210	0.105	200	0.000525	17671.459	9.620	0.000030	0.000555
18	180	225	0.225	0.113	200	0.000563	17671.459	10.186	0.000030	0.000593
19	190	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	10.752	0.000030	0.000630
20	200	241	0.241	0.121	200	0.000603	17671.459	11.318	0.000030	0.000633
21	210	255	0.255	0.128	200	0.000638	17671.459	11.884	0.000030	0.000668
22	220	270	0.270	0.135	200	0.000675	17671.459	12.449	0.000030	0.000705
23	230	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	13.015	0.000030	0.000743
24	240	304	0.304	0.152	200	0.000760	17671.459	13.581	0.000030	0.000790
25	250	319	0.319	0.160	200	0.000798	17671.459	14.147	0.000030	0.000828
26	260	335	0.335	0.168	200	0.000838	17671.459	14.713	0.000030	0.000868
27	270	353	0.353	0.177	200	0.000883	17671.459	15.279	0.000030	0.000913
28	280	371	0.371	0.186	200	0.000928	17671.459	15.845	0.000030	0.000958
29	290	388	0.388	0.194	200	0.000970	17671.459	16.411	0.000030	0.001000
30	300	406	0.406	0.203	200	0.001015	17671.459	16.977	0.000030	0.001045
31	310	423	0.423	0.212	200	0.001058	17671.459	17.542	0.000030	0.001088
32	320	439	0.439	0.220	200	0.001098	17671.459	18.108	0.000030	0.001128
33	330	454	0.454	0.227	200	0.001135	17671.459	18.674	0.000030	0.001165
34	340	467	0.467	0.234	200	0.001168	17671.459	19.240	0.000030	0.001198

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (11 dari 71)

Lanjutan Tabel L.48 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	484	0.484	0.242	200	0.001210	17671.459	19.806	0.000030	0.001240
36	360	500	0.500	0.250	200	0.001250	17671.459	20.372	0.000030	0.001280
37	370	520	0.520	0.260	200	0.001300	17671.459	20.938	0.000030	0.001330
38	380	538	0.538	0.269	200	0.001345	17671.459	21.504	0.000030	0.001375
39	390	556	0.556	0.278	200	0.001390	17671.459	22.069	0.000030	0.001420
40	400	574	0.574	0.287	200	0.001435	17671.459	22.635	0.000030	0.001465
41	410	591	0.591	0.296	200	0.001478	17671.459	23.201	0.000030	0.001508
42	420	609	0.609	0.305	200	0.001523	17671.459	23.767	0.000030	0.001553
43	430	628	0.628	0.314	200	0.001570	17671.459	24.333	0.000030	0.001600
44	440	647	0.647	0.324	200	0.001618	17671.459	24.899	0.000030	0.001648
45	450	671	0.671	0.336	200	0.001678	17671.459	25.465	0.000030	0.001708
46	460	692	0.692	0.346	200	0.001730	17671.459	26.031	0.000030	0.001760
47	470	715	0.715	0.358	200	0.001788	17671.459	26.597	0.000030	0.001818
48	480	737	0.737	0.369	200	0.001843	17671.459	27.162	0.000030	0.001873
49	490	760	0.760	0.380	200	0.001900	17671.459	27.728	0.000030	0.001930
50	500	786	0.786	0.393	200	0.001965	17671.459	28.294	0.000030	0.001995
51	510	811	0.811	0.406	200	0.002028	17671.459	28.860	0.000030	0.002058
53	530	877	0.877	0.439	200	0.002193	17671.459	29.992	0.000030	0.002223
54	540	921	0.921	0.461	200	0.002303	17671.459	30.558	0.000030	0.002333
55	550	948	0.948	0.474	200	0.002370	17671.459	31.124	0.000030	0.002400
56	560	973	0.973	0.487	200	0.002433	17671.459	31.690	0.000030	0.002463
57	570	1005	1.005	0.503	200	0.002513	17671.459	32.255	0.000030	0.002543
58	580	1024	1.024	0.512	200	0.002560	17671.459	32.821	0.000030	0.002590
59	590	1045	1.045	0.523	200	0.002613	17671.459	33.387	0.000030	0.002643
61	610	1094	1.094	0.547	200	0.002735	17671.459	34.519	0.000030	0.002765
62	620	1125	1.125	0.563	200	0.002813	17671.459	35.085	0.000030	0.002843
63	630	1177	1.177	0.589	200	0.002943	17671.459	35.651	0.000030	0.002973
64	640	1230	1.230	0.615	200	0.003075	17671.459	36.217	0.000030	0.003105
65	650	1259	1.259	0.630	200	0.003148	17671.459	36.782	0.000030	0.003178
66	660	1290	1.290	0.645	200	0.003225	17671.459	37.348	0.000030	0.003255
67	670	1315	1.315	0.658	200	0.003288	17671.459	37.914	0.000030	0.003318
68	680	1360	1.360	0.680	200	0.003400	17671.459	38.480	0.000030	0.003430
69	685.2	1410	1.410	0.705	200	0.003525	17671.459	38.774	0.000030	0.003555
70	680	1450	1.450	0.725	200	0.003625	17671.459	38.480	0.000030	0.003655
71	670	1489	1.489	0.745	200	0.003723	17671.459	37.914	0.000030	0.003753
72	660	1520	1.520	0.760	200	0.003800	17671.459	37.348	0.000030	0.003830

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (12 dari 71)



Gambar L.5 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-1-D2

Diketahui,

$$S_2 = 15.510$$

$$S_1 = 0.689$$

$$\epsilon_2 = 0.00093$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-1-D2 = 16823.277 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (13 dari 71)

Tabel L.49 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D3 (Regangan
Terkoreksi)

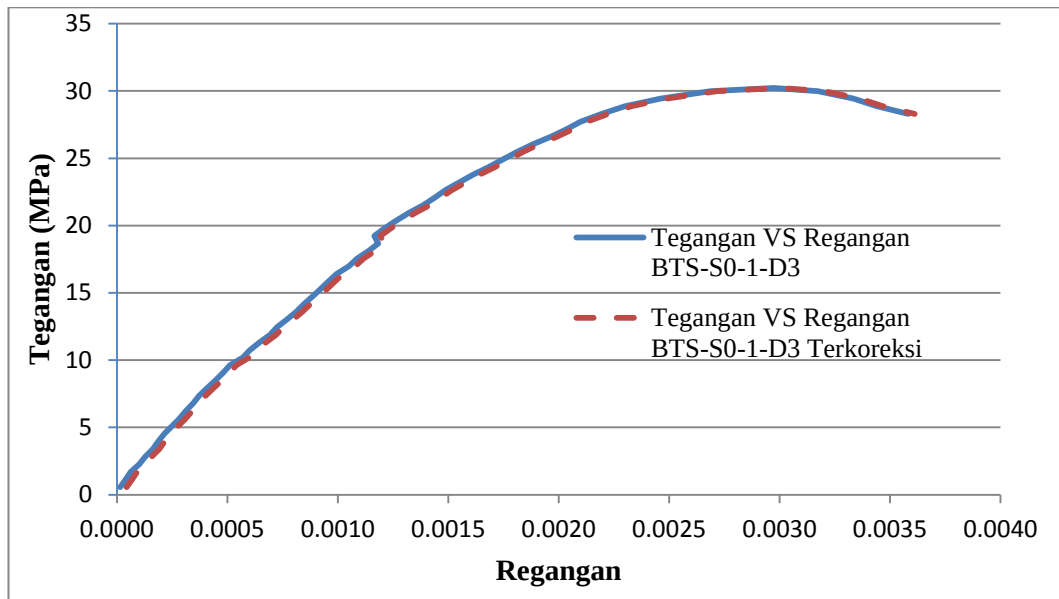
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	6	0.006	0.003	200	0.000015	17671.459	0.566	0.000029	0.000044
2	20	16	0.016	0.008	200	0.000040	17671.459	1.132	0.000029	0.000069
3	30	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.698	0.000029	0.000091
4	40	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	2.264	0.000029	0.000129
5	50	51	0.051	0.026	200	0.000128	17671.459	2.829	0.000029	0.000156
6	60	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	3.395	0.000029	0.000191
7	70	75	0.075	0.038	200	0.000188	17671.459	3.961	0.000029	0.000216
8	80	86	0.086	0.043	200	0.000215	17671.459	4.527	0.000029	0.000244
9	90	99	0.099	0.050	200	0.000248	17671.459	5.093	0.000029	0.000276
10	100	113	0.113	0.057	200	0.000283	17671.459	5.659	0.000029	0.000311
11	110	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	6.225	0.000029	0.000341
12	120	138	0.138	0.069	200	0.000345	17671.459	6.791	0.000029	0.000374
13	130	149	0.149	0.075	200	0.000373	17671.459	7.356	0.000029	0.000401
14	140	163	0.163	0.082	200	0.000408	17671.459	7.922	0.000029	0.000436
15	150	178	0.178	0.089	200	0.000445	17671.459	8.488	0.000029	0.000474
16	160	192	0.192	0.096	200	0.000480	17671.459	9.054	0.000029	0.000509
17	170	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	9.620	0.000029	0.000541
18	180	228	0.228	0.114	200	0.000570	17671.459	10.186	0.000029	0.000599
19	190	241	0.241	0.121	200	0.000603	17671.459	10.752	0.000029	0.000631
20	200	258	0.258	0.129	200	0.000645	17671.459	11.318	0.000029	0.000674
21	210	277	0.277	0.139	200	0.000693	17671.459	11.884	0.000029	0.000721
22	220	290	0.290	0.145	200	0.000725	17671.459	12.449	0.000029	0.000754
23	230	308	0.308	0.154	200	0.000770	17671.459	13.015	0.000029	0.000799
24	240	324	0.324	0.162	200	0.000810	17671.459	13.581	0.000029	0.000839
25	250	338	0.338	0.169	200	0.000845	17671.459	14.147	0.000029	0.000874
26	260	354	0.354	0.177	200	0.000885	17671.459	14.713	0.000029	0.000914
27	270	369	0.369	0.185	200	0.000923	17671.459	15.279	0.000029	0.000951
28	280	383	0.383	0.192	200	0.000958	17671.459	15.845	0.000029	0.000986
29	290	398	0.398	0.199	200	0.000995	17671.459	16.411	0.000029	0.001024
30	300	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	16.977	0.000029	0.001079
31	310	435	0.435	0.218	200	0.001088	17671.459	17.542	0.000029	0.001116
32	320	456	0.456	0.228	200	0.001140	17671.459	18.108	0.000029	0.001169
33	330	473	0.473	0.237	200	0.001183	17671.459	18.674	0.000029	0.001211
34	340	466	0.466	0.233	200	0.001165	17671.459	19.240	0.000029	0.001194

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (14 dari 71)

Lanjutan Tabel L.49 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-1-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
36	360	506	0.506	0.253	200	0.001265	17671.459	20.372	0.000029	0.001294
37	370	529	0.529	0.265	200	0.001323	17671.459	20.938	0.000029	0.001351
38	380	554	0.554	0.277	200	0.001385	17671.459	21.504	0.000029	0.001414
39	390	575	0.575	0.288	200	0.001438	17671.459	22.069	0.000029	0.001466
40	400	595	0.595	0.298	200	0.001488	17671.459	22.635	0.000029	0.001516
41	410	620	0.620	0.310	200	0.001550	17671.459	23.201	0.000029	0.001579
42	420	645	0.645	0.323	200	0.001613	17671.459	23.767	0.000029	0.001641
43	430	672	0.672	0.336	200	0.001680	17671.459	24.333	0.000029	0.001709
44	440	698	0.698	0.349	200	0.001745	17671.459	24.899	0.000029	0.001774
45	450	724	0.724	0.362	200	0.001810	17671.459	25.465	0.000029	0.001839
46	460	753	0.753	0.377	200	0.001883	17671.459	26.031	0.000029	0.001911
47	470	786	0.786	0.393	200	0.001965	17671.459	26.597	0.000029	0.001994
48	480	814	0.814	0.407	200	0.002035	17671.459	27.162	0.000029	0.002064
49	490	840	0.840	0.420	200	0.002100	17671.459	27.728	0.000029	0.002129
50	500	878	0.878	0.439	200	0.002195	17671.459	28.294	0.000029	0.002224
51	510	920	0.920	0.460	200	0.002300	17671.459	28.860	0.000029	0.002329
52	520	985	0.985	0.493	200	0.002463	17671.459	29.426	0.000029	0.002491
53	530	1075	1.075	0.538	200	0.002688	17671.459	29.992	0.000029	0.002716
54	534.2	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	30.230	0.000029	0.003004
55	530	1270	1.270	0.635	200	0.003175	17671.459	29.992	0.000029	0.003204
56	520	1340	1.340	0.670	201	0.003333	17671.459	29.426	0.000029	0.003362
57	510	1390	1.390	0.695	202	0.003441	17671.459	28.860	0.000029	0.003469
58	500	1455	1.455	0.728	203	0.003584	17671.459	28.294	0.000029	0.003612

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (15 dari 71)



Gambar L.6 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-1-D3

Diketahui,

$$S_2 = 12.092$$

$$S_1 = 0.709$$

$$\varepsilon_2 = 0.000733$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-1-D3 = 16662.617 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (16 dari 71)

Tabel L.50 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D1 (Regangan
Terkoreksi)

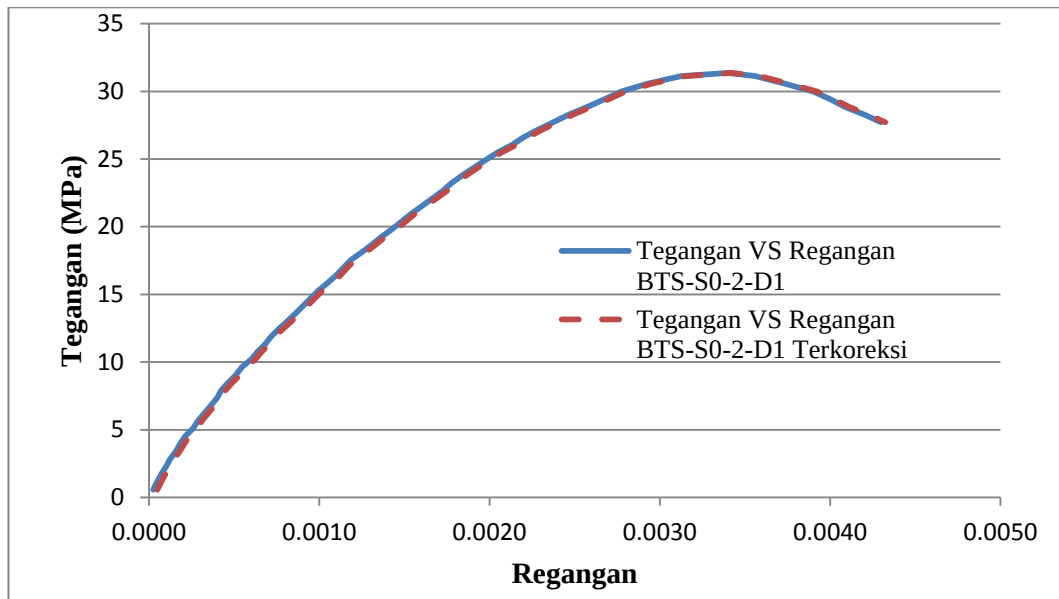
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000024	0.000049
2	20	19	0.019	0.010	200	0.000048	17671.459	1.132	0.000024	0.000072
3	30	29	0.029	0.015	200	0.000073	17671.459	1.698	0.000024	0.000097
4	40	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	2.264	0.000024	0.000124
5	50	50	0.050	0.025	200	0.000125	17671.459	2.829	0.000024	0.000149
6	60	63	0.063	0.032	200	0.000158	17671.459	3.395	0.000024	0.000182
7	70	73	0.073	0.037	200	0.000183	17671.459	3.961	0.000024	0.000207
8	80	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	4.527	0.000024	0.000237
9	90	103	0.103	0.052	200	0.000258	17671.459	5.093	0.000024	0.000282
10	100	115	0.115	0.058	200	0.000288	17671.459	5.659	0.000024	0.000312
11	110	130	0.130	0.065	200	0.000325	17671.459	6.225	0.000024	0.000349
12	120	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	6.791	0.000024	0.000387
13	130	160	0.160	0.080	200	0.000400	17671.459	7.356	0.000024	0.000424
14	140	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	7.922	0.000024	0.000449
15	150	187	0.187	0.094	200	0.000468	17671.459	8.488	0.000024	0.000492
16	160	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	9.054	0.000024	0.000537
17	170	218	0.218	0.109	200	0.000545	17671.459	9.620	0.000024	0.000569
18	180	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	10.186	0.000024	0.000624
19	190	255	0.255	0.128	200	0.000638	17671.459	10.752	0.000024	0.000662
20	200	273	0.273	0.137	200	0.000683	17671.459	11.318	0.000024	0.000707
21	210	287	0.287	0.144	200	0.000718	17671.459	11.884	0.000024	0.000742
22	220	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	12.449	0.000024	0.000787
23	230	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	13.015	0.000024	0.000837
24	240	344	0.344	0.172	200	0.000860	17671.459	13.581	0.000024	0.000884
25	250	362	0.362	0.181	200	0.000905	17671.459	14.147	0.000024	0.000929
26	260	380	0.380	0.190	200	0.000950	17671.459	14.713	0.000024	0.000974
27	270	398	0.398	0.199	200	0.000995	17671.459	15.279	0.000024	0.001019
28	280	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	15.845	0.000024	0.001074
29	290	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	16.411	0.000024	0.001124
30	300	457	0.457	0.229	200	0.001143	17671.459	16.977	0.000024	0.001167
31	310	475	0.475	0.238	200	0.001188	17671.459	17.542	0.000024	0.001212
33	330	524	0.524	0.262	200	0.001310	17671.459	18.674	0.000024	0.001334
34	340	545	0.545	0.273	200	0.001363	17671.459	19.240	0.000024	0.001387
35	350	570	0.570	0.285	200	0.001425	17671.459	19.806	0.000024	0.001449
36	360	593	0.593	0.297	200	0.001483	17671.459	20.372	0.000024	0.001507

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (17 dari 71)

Lanjutan Tabel L.50 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D1 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	615	0.615	0.308	200	0.001538	17671.459	20.938	0.000024	0.001562
38	380	640	0.640	0.320	200	0.001600	17671.459	21.504	0.000024	0.001624
39	390	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	22.069	0.000024	0.001687
40	400	690	0.690	0.345	200	0.001725	17671.459	22.635	0.000024	0.001749
41	410	710	0.710	0.355	200	0.001775	17671.459	23.201	0.000024	0.001799
42	420	735	0.735	0.368	200	0.001838	17671.459	23.767	0.000024	0.001862
43	430	762	0.762	0.381	200	0.001905	17671.459	24.333	0.000024	0.001929
44	440	790	0.790	0.395	200	0.001975	17671.459	24.899	0.000024	0.001999
45	450	818	0.818	0.409	200	0.002045	17671.459	25.465	0.000024	0.002069
46	460	853	0.853	0.427	200	0.002133	17671.459	26.031	0.000024	0.002157
47	470	880	0.880	0.440	200	0.002200	17671.459	26.597	0.000024	0.002224
48	480	913	0.913	0.457	200	0.002283	17671.459	27.162	0.000024	0.002307
49	490	950	0.950	0.475	200	0.002375	17671.459	27.728	0.000024	0.002399
50	500	987	0.987	0.494	200	0.002468	17671.459	28.294	0.000024	0.002492
51	510	1030	1.030	0.515	200	0.002575	17671.459	28.860	0.000024	0.002599
52	520	1070	1.070	0.535	200	0.002675	17671.459	29.426	0.000024	0.002699
53	530	1110	1.110	0.555	200	0.002775	17671.459	29.992	0.000024	0.002799
54	540	1170	1.170	0.585	200	0.002925	17671.459	30.558	0.000024	0.002949
55	550	1250	1.250	0.625	200	0.003125	17671.459	31.124	0.000024	0.003149
56	554.1	1360	1.360	0.680	200	0.003400	17671.459	31.356	0.000024	0.003424
57	550	1425	1.425	0.713	200	0.003563	17671.459	31.124	0.000024	0.003587
58	540	1495	1.495	0.748	200	0.003738	17671.459	30.558	0.000024	0.003762
59	530	1560	1.560	0.780	200	0.003900	17671.459	29.992	0.000024	0.003924
60	520	1600	1.600	0.800	200	0.004000	17671.459	29.426	0.000024	0.004024
61	510	1635	1.635	0.818	200	0.004088	17671.459	28.860	0.000024	0.004112
62	500	1680	1.680	0.840	200	0.004200	17671.459	28.294	0.000024	0.004224
63	490	1720	1.720	0.860	200	0.004300	17671.459	27.728	0.000024	0.004324

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (18 dari 71)



Gambar L.7 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-2-D1

Diketahui,

$$S_2 = 12.542$$

$$S_1 = 0.591$$

$$\epsilon_2 = 0.000795$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-2-D1 = 16048.373 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (19 dari 71)

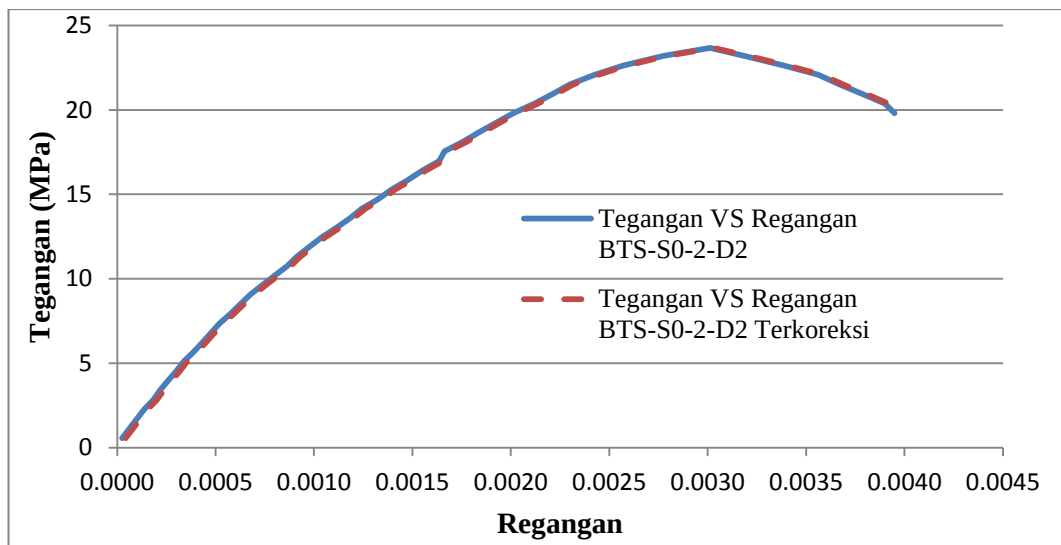
Tabel L.51 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000018	0.000043
2	20	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.132	0.000018	0.000081
3	30	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	1.698	0.000018	0.000118
4	40	55	0.055	0.028	200	0.000138	17671.459	2.264	0.000018	0.000156
5	50	73	0.073	0.037	200	0.000183	17671.459	2.829	0.000018	0.000201
6	60	87	0.087	0.044	200	0.000218	17671.459	3.395	0.000018	0.000236
7	70	103	0.103	0.052	200	0.000258	17671.459	3.961	0.000018	0.000276
8	80	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	4.527	0.000018	0.000318
9	90	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	5.093	0.000018	0.000356
10	100	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	5.659	0.000018	0.000406
11	110	173	0.173	0.087	200	0.000433	17671.459	6.225	0.000018	0.000451
12	120	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	6.791	0.000018	0.000493
13	130	208	0.208	0.104	200	0.000520	17671.459	7.356	0.000018	0.000538
14	140	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	7.922	0.000018	0.000593
15	150	250	0.250	0.125	200	0.000625	17671.459	8.488	0.000018	0.000643
16	160	270	0.270	0.135	200	0.000675	17671.459	9.054	0.000018	0.000693
17	170	295	0.295	0.148	200	0.000738	17671.459	9.620	0.000018	0.000756
18	180	320	0.320	0.160	200	0.000800	17671.459	10.186	0.000018	0.000818
19	190	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	10.752	0.000018	0.000881
20	200	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	11.318	0.000018	0.000931
21	210	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	11.884	0.000018	0.000993
22	220	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	12.449	0.000018	0.001056
23	230	445	0.445	0.223	200	0.001113	17671.459	13.015	0.000018	0.001131
24	240	473	0.473	0.237	200	0.001183	17671.459	13.581	0.000018	0.001201
25	250	497	0.497	0.249	200	0.001243	17671.459	14.147	0.000018	0.001261
26	260	530	0.530	0.265	200	0.001325	17671.459	14.713	0.000018	0.001343
27	270	557	0.557	0.279	200	0.001393	17671.459	15.279	0.000018	0.001411
28	280	590	0.590	0.295	200	0.001475	17671.459	15.845	0.000018	0.001493
29	290	620	0.620	0.310	200	0.001550	17671.459	16.411	0.000018	0.001568
30	300	655	0.655	0.328	200	0.001638	17671.459	16.977	0.000018	0.001656
31	310	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	17.542	0.000018	0.001681
32	320	703	0.703	0.352	200	0.001758	17671.459	18.108	0.000018	0.001776
33	330	735	0.735	0.368	200	0.001838	17671.459	18.674	0.000018	0.001856
34	340	770	0.770	0.385	200	0.001925	17671.459	19.240	0.000018	0.001943
35	350	805	0.805	0.403	200	0.002013	17671.459	19.806	0.000018	0.002031
36	360	848	0.848	0.424	200	0.002120	17671.459	20.372	0.000018	0.002138

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (20 dari 71)

Lanjutan Tabel L.51 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	885	0.885	0.443	200	0.002213	17671.459	20.938	0.000018	0.002231
38	380	920	0.920	0.460	200	0.002300	17671.459	21.504	0.000018	0.002318
39	390	970	0.970	0.485	200	0.002425	17671.459	22.069	0.000018	0.002443
40	400	1029	1.029	0.515	200	0.002573	17671.459	22.635	0.000018	0.002591
41	410	1110	1.110	0.555	200	0.002775	17671.459	23.201	0.000018	0.002793
42	418.3	1205	1.205	0.603	200	0.003013	17671.459	23.671	0.000018	0.003031
43	410	1275	1.275	0.638	200	0.003188	17671.459	23.201	0.000018	0.003206
44	400	1355	1.355	0.678	200	0.003388	17671.459	22.635	0.000018	0.003406
45	390	1425	1.425	0.713	200	0.003563	17671.459	22.069	0.000018	0.003581
46	380	1468	1.468	0.734	200	0.003670	17671.459	21.504	0.000018	0.003688
47	370	1515	1.515	0.758	200	0.003788	17671.459	20.938	0.000018	0.003806
48	360	1560	1.560	0.780	200	0.003900	17671.459	20.372	0.000018	0.003918
49	350	1580	1.580	0.790	200	0.003950	17671.459	19.806	0.000018	0.003968



Gambar L.8 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-2-D2

Diketahui,

$$S_2 = 9.468$$

$$S_1 = 0.666$$

$$\epsilon_2 = 0.000739$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-2-D2 = 12773.331 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (21 dari 71)

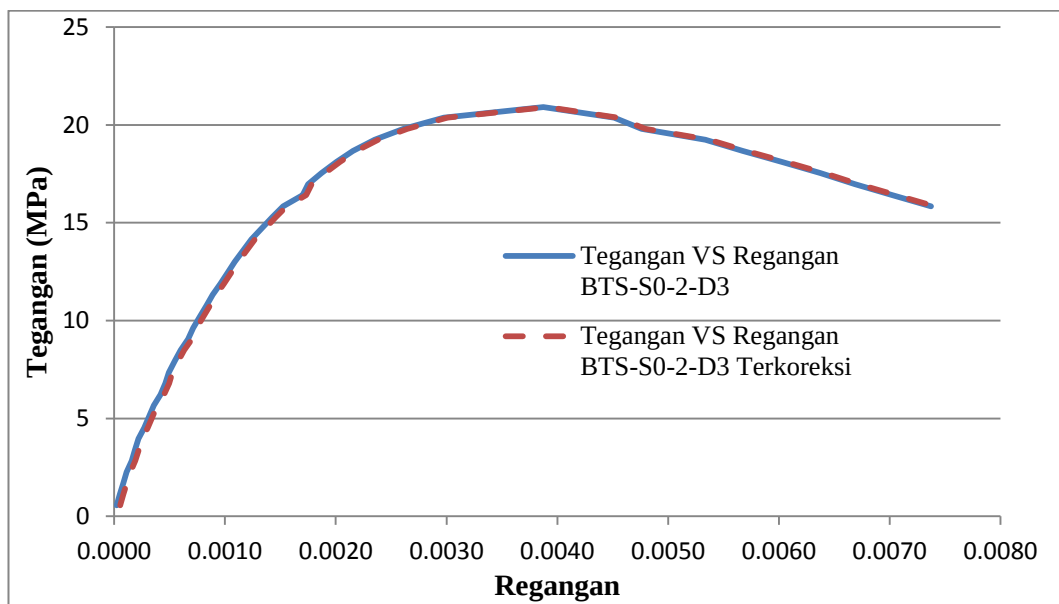
Tabel L.52 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	9	0.009	0.005	200	0.000023	17671.459	0.566	0.000032	0.000055
2	20	20	0.020	0.010	200	0.000050	17671.459	1.132	0.000032	0.000082
3	30	33	0.033	0.017	200	0.000083	17671.459	1.698	0.000032	0.000115
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	0.000032	0.000145
5	50	63	0.063	0.032	200	0.000158	17671.459	2.829	0.000032	0.000190
6	60	75	0.075	0.038	200	0.000188	17671.459	3.395	0.000032	0.000220
7	70	87	0.087	0.044	200	0.000218	17671.459	3.961	0.000032	0.000250
8	80	108	0.108	0.054	200	0.000270	17671.459	4.527	0.000032	0.000303
9	90	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	5.093	0.000032	0.000345
10	100	143	0.143	0.072	200	0.000358	17671.459	5.659	0.000032	0.000390
11	110	167	0.167	0.084	200	0.000418	17671.459	6.225	0.000032	0.000450
12	120	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	6.791	0.000032	0.000495
13	130	197	0.197	0.099	200	0.000493	17671.459	7.356	0.000032	0.000525
14	140	218	0.218	0.109	200	0.000545	17671.459	7.922	0.000032	0.000578
15	150	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	8.488	0.000032	0.000633
16	160	267	0.267	0.134	200	0.000668	17671.459	9.054	0.000032	0.000700
17	170	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	9.620	0.000032	0.000745
18	180	308	0.308	0.154	200	0.000770	17671.459	10.186	0.000032	0.000803
19	190	332	0.332	0.166	200	0.000830	17671.459	10.752	0.000032	0.000863
20	200	355	0.355	0.178	200	0.000888	17671.459	11.318	0.000032	0.000920
21	210	383	0.383	0.192	200	0.000958	17671.459	11.884	0.000032	0.000990
22	220	410	0.410	0.205	200	0.001025	17671.459	12.449	0.000032	0.001058
23	230	435	0.435	0.218	200	0.001088	17671.459	13.015	0.000032	0.001120
24	240	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	13.581	0.000032	0.001195
25	250	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	14.147	0.000032	0.001270
26	260	532	0.532	0.266	200	0.001330	17671.459	14.713	0.000032	0.001363
27	270	570	0.570	0.285	200	0.001425	17671.459	15.279	0.000032	0.001458
28	280	610	0.610	0.305	200	0.001525	17671.459	15.845	0.000032	0.001558
29	290	680	0.680	0.340	200	0.001700	17671.459	16.411	0.000032	0.001733
30	300	700	0.700	0.350	200	0.001750	17671.459	16.977	0.000032	0.001783
31	310	748	0.748	0.374	200	0.001870	17671.459	17.542	0.000032	0.001903
32	320	803	0.803	0.402	200	0.002008	17671.459	18.108	0.000032	0.002040
33	330	862	0.862	0.431	200	0.002155	17671.459	18.674	0.000032	0.002188
34	340	940	0.940	0.470	200	0.002350	17671.459	19.240	0.000032	0.002383
35	350	1045	1.045	0.523	200	0.002613	17671.459	19.806	0.000032	0.002645
36	360	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	20.372	0.000032	0.003008

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (22 dari 71)

Lanjutan Tabel L.52 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-2-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	369.5	1550	1.550	0.775	200	0.003875	17671.459	20.909	0.000032	0.003908
38	360	1805	1.805	0.903	200	0.004513	17671.459	20.372	0.000032	0.004545
39	350	1905	1.905	0.953	200	0.004763	17671.459	19.806	0.000032	0.004795
40	340	2135	2.135	1.068	200	0.005338	17671.459	19.240	0.000032	0.005370
41	330	2270	2.270	1.135	200	0.005675	17671.459	18.674	0.000032	0.005708
42	320	2410	2.410	1.205	200	0.006025	17671.459	18.108	0.000032	0.006058
43	310	2550	2.550	1.275	200	0.006375	17671.459	17.542	0.000032	0.006408
44	300	2675	2.675	1.338	200	0.006688	17671.459	16.977	0.000032	0.006720
45	290	2810	2.810	1.405	200	0.007025	17671.459	16.411	0.000032	0.007058
46	280	2950	2.950	1.475	200	0.007375	17671.459	15.845	0.000032	0.007408



Gambar L.9 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-2-D3
Diketahui,

$$S_2 = 8.364$$

$$S_1 = 0.514$$

$$\epsilon_2 = 0.000620$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-2-D3 = 13761.096 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (23 dari 71)

Tabel L.53 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D1 (Regangan
Terkoreksi)

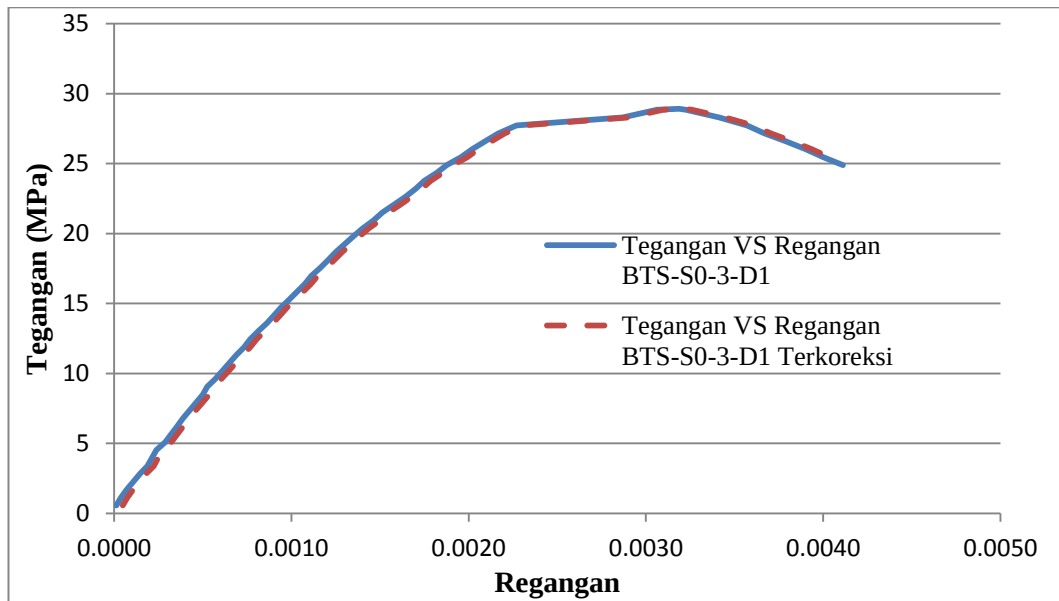
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	5	0.005	0.003	200	0.000013	17671.459	0.566	0.000035	0.000048
2	20	15	0.015	0.008	200	0.000038	17671.459	1.132	0.000035	0.000072
3	30	28	0.028	0.014	200	0.000070	17671.459	1.698	0.000035	0.000105
4	40	43	0.043	0.022	200	0.000108	17671.459	2.264	0.000035	0.000143
5	50	58	0.058	0.029	200	0.000145	17671.459	2.829	0.000035	0.000180
6	60	75	0.075	0.038	200	0.000188	17671.459	3.395	0.000035	0.000223
7	70	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	3.961	0.000035	0.000248
8	80	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	4.527	0.000035	0.000273
9	90	115	0.115	0.058	200	0.000288	17671.459	5.093	0.000035	0.000323
10	100	128	0.128	0.064	200	0.000320	17671.459	5.659	0.000035	0.000355
11	110	142	0.142	0.071	200	0.000355	17671.459	6.225	0.000035	0.000390
12	120	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	6.791	0.000035	0.000423
13	130	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	7.356	0.000035	0.000460
14	140	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	7.922	0.000035	0.000498
15	150	200	0.200	0.100	200	0.000500	17671.459	8.488	0.000035	0.000535
16	160	210	0.210	0.105	200	0.000525	17671.459	9.054	0.000035	0.000560
17	170	228	0.228	0.114	200	0.000570	17671.459	9.620	0.000035	0.000605
18	180	244	0.244	0.122	200	0.000610	17671.459	10.186	0.000035	0.000645
19	190	260	0.260	0.130	200	0.000650	17671.459	10.752	0.000035	0.000685
20	200	276	0.276	0.138	200	0.000690	17671.459	11.318	0.000035	0.000725
21	210	293	0.293	0.147	200	0.000733	17671.459	11.884	0.000035	0.000768
22	220	307	0.307	0.154	200	0.000768	17671.459	12.449	0.000035	0.000803
23	230	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	13.015	0.000035	0.000848
24	240	344	0.344	0.172	200	0.000860	17671.459	13.581	0.000035	0.000895
25	250	360	0.360	0.180	200	0.000900	17671.459	14.147	0.000035	0.000935
26	260	376	0.376	0.188	200	0.000940	17671.459	14.713	0.000035	0.000975
27	270	395	0.395	0.198	200	0.000988	17671.459	15.279	0.000035	0.001023
28	280	413	0.413	0.207	200	0.001033	17671.459	15.845	0.000035	0.001068
29	290	430	0.430	0.215	200	0.001075	17671.459	16.411	0.000035	0.001110
30	300	445	0.445	0.223	200	0.001113	17671.459	16.977	0.000035	0.001148
31	310	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	17.542	0.000035	0.001198
32	320	483	0.483	0.242	200	0.001208	17671.459	18.108	0.000035	0.001243
33	330	500	0.500	0.250	200	0.001250	17671.459	18.674	0.000035	0.001285
34	340	520	0.520	0.260	200	0.001300	17671.459	19.240	0.000035	0.001335

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (24 dari 71)

Lanjutan Tabel L.53 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	540	0.540	0.270	200	0.001350	17671.459	19.806	0.000035	0.001385
36	360	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	20.372	0.000035	0.001435
37	370	585	0.585	0.293	200	0.001463	17671.459	20.938	0.000035	0.001498
38	380	605	0.605	0.303	200	0.001513	17671.459	21.504	0.000035	0.001548
39	390	632	0.632	0.316	200	0.001580	17671.459	22.069	0.000035	0.001615
40	400	657	0.657	0.329	200	0.001643	17671.459	22.635	0.000035	0.001678
41	410	680	0.680	0.340	200	0.001700	17671.459	23.201	0.000035	0.001735
42	420	700	0.700	0.350	200	0.001750	17671.459	23.767	0.000035	0.001785
43	430	728	0.728	0.364	200	0.001820	17671.459	24.333	0.000035	0.001855
44	440	750	0.750	0.375	200	0.001875	17671.459	24.899	0.000035	0.001910
45	450	783	0.783	0.392	200	0.001958	17671.459	25.465	0.000035	0.001993
46	460	808	0.808	0.404	200	0.002020	17671.459	26.031	0.000035	0.002055
47	470	838	0.838	0.419	200	0.002095	17671.459	26.597	0.000035	0.002130
48	480	867	0.867	0.434	200	0.002168	17671.459	27.162	0.000035	0.002203
49	490	908	0.908	0.454	200	0.002270	17671.459	27.728	0.000035	0.002305
50	500	1148	1.148	0.574	200	0.002870	17671.459	28.294	0.000035	0.002905
51	510	1225	1.225	0.613	200	0.003063	17671.459	28.860	0.000035	0.003098
52	511.2	1275	1.275	0.638	200	0.003188	17671.459	28.928	0.000035	0.003223
53	510	1290	1.290	0.645	200	0.003225	17671.459	28.860	0.000035	0.003260
54	500	1365	1.365	0.683	200	0.003413	17671.459	28.294	0.000035	0.003448
55	490	1428	1.428	0.714	200	0.003570	17671.459	27.728	0.000035	0.003605
56	480	1468	1.468	0.734	200	0.003670	17671.459	27.162	0.000035	0.003705
57	470	1515	1.515	0.758	200	0.003788	17671.459	26.597	0.000035	0.003823
58	460	1560	1.560	0.780	200	0.003900	17671.459	26.031	0.000035	0.003935
59	450	1600	1.600	0.800	200	0.004000	17671.459	25.465	0.000035	0.004035
60	440	1645	1.645	0.823	200	0.004113	17671.459	24.899	0.000035	0.004148

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (25 dari 71)



Gambar L.10 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-3-D1

Diketahui,

$$S_2 = 11.571$$

$$S_1 = 0.622$$

$$\varepsilon_2 = 0.000744$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-3-D1 = 15775.356 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (26 dari 71)

Tabel L.54 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D2 (Regangan
Terkoreksi)

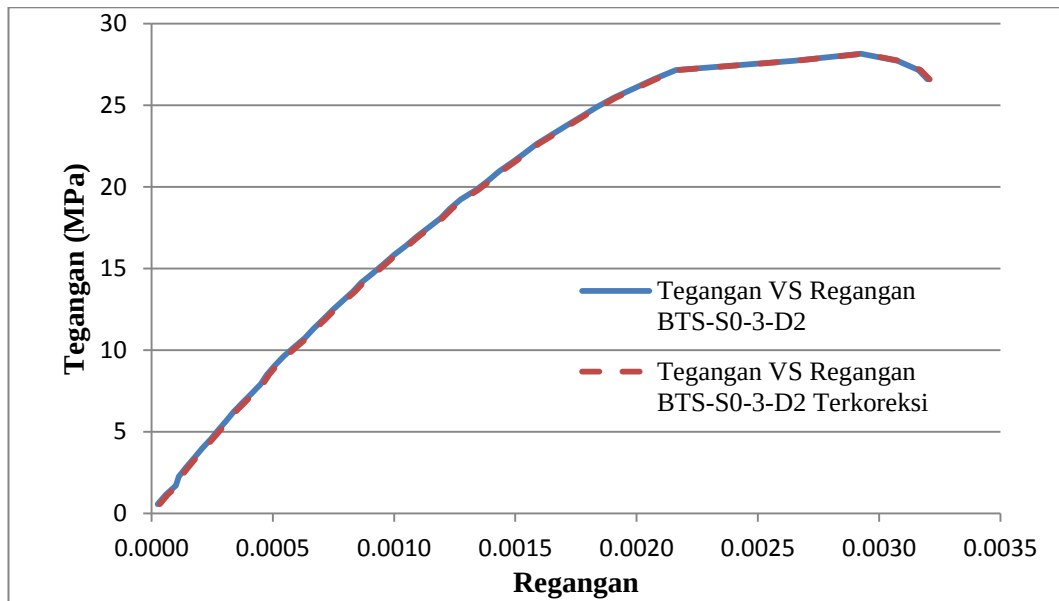
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000009	0.000034
2	20	23	0.023	0.012	200	0.000058	17671.459	1.132	0.000009	0.000066
3	30	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	1.698	0.000009	0.000109
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	0.000009	0.000121
5	50	57	0.057	0.029	200	0.000143	17671.459	2.829	0.000009	0.000151
6	60	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	3.395	0.000009	0.000184
7	70	83	0.083	0.042	200	0.000208	17671.459	3.961	0.000009	0.000216
8	80	97	0.097	0.049	200	0.000243	17671.459	4.527	0.000009	0.000251
9	90	110	0.110	0.055	200	0.000275	17671.459	5.093	0.000009	0.000284
10	100	123	0.123	0.062	200	0.000308	17671.459	5.659	0.000009	0.000316
11	110	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	6.225	0.000009	0.000346
12	120	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	6.791	0.000009	0.000384
13	130	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	7.356	0.000009	0.000421
14	140	180	0.180	0.090	200	0.000450	17671.459	7.922	0.000009	0.000459
15	150	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	8.488	0.000009	0.000484
16	160	203	0.203	0.102	200	0.000508	17671.459	9.054	0.000009	0.000516
17	170	218	0.218	0.109	200	0.000545	17671.459	9.620	0.000009	0.000554
18	180	235	0.235	0.118	200	0.000588	17671.459	10.186	0.000009	0.000596
19	190	253	0.253	0.127	200	0.000633	17671.459	10.752	0.000009	0.000641
20	200	267	0.267	0.134	200	0.000668	17671.459	11.318	0.000009	0.000676
21	210	283	0.283	0.142	200	0.000708	17671.459	11.884	0.000009	0.000716
22	220	298	0.298	0.149	200	0.000745	17671.459	12.449	0.000009	0.000754
23	230	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	13.015	0.000009	0.000796
24	240	332	0.332	0.166	200	0.000830	17671.459	13.581	0.000009	0.000839
25	250	346	0.346	0.173	200	0.000865	17671.459	14.147	0.000009	0.000874
26	260	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	14.713	0.000009	0.000921
27	270	383	0.383	0.192	200	0.000958	17671.459	15.279	0.000009	0.000966
28	280	400	0.400	0.200	200	0.001000	17671.459	15.845	0.000009	0.001009
29	290	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	16.411	0.000009	0.001059
30	300	438	0.438	0.219	200	0.001095	17671.459	16.977	0.000009	0.001104
31	310	458	0.458	0.229	200	0.001145	17671.459	17.542	0.000009	0.001154
32	320	477	0.477	0.239	200	0.001193	17671.459	18.108	0.000009	0.001201
33	330	492	0.492	0.246	200	0.001230	17671.459	18.674	0.000009	0.001239
34	340	510	0.510	0.255	200	0.001275	17671.459	19.240	0.000009	0.001284

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (277 dari 71)

Lanjutan Tabel L.54 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
35	350	535	0.535	0.268	200	0.001338	17671.459	19.806	0.000009	0.001346
36	360	555	0.555	0.278	200	0.001388	17671.459	20.372	0.000009	0.001396
37	370	573	0.573	0.287	200	0.001433	17671.459	20.938	0.000009	0.001441
38	380	595	0.595	0.298	200	0.001488	17671.459	21.504	0.000009	0.001496
39	390	615	0.615	0.308	200	0.001538	17671.459	22.069	0.000009	0.001546
40	400	635	0.635	0.318	200	0.001588	17671.459	22.635	0.000009	0.001596
41	410	660	0.660	0.330	200	0.001650	17671.459	23.201	0.000009	0.001659
42	420	685	0.685	0.343	200	0.001713	17671.459	23.767	0.000009	0.001721
43	430	710	0.710	0.355	200	0.001775	17671.459	24.333	0.000009	0.001784
44	440	735	0.735	0.368	200	0.001838	17671.459	24.899	0.000009	0.001846
45	450	763	0.763	0.382	200	0.001908	17671.459	25.465	0.000009	0.001916
46	460	795	0.795	0.398	200	0.001988	17671.459	26.031	0.000009	0.001996
47	470	828	0.828	0.414	200	0.002070	17671.459	26.597	0.000009	0.002079
48	480	865	0.865	0.433	200	0.002163	17671.459	27.162	0.000009	0.002171
49	490	1060	1.060	0.530	200	0.002650	17671.459	27.728	0.000009	0.002659
50	497.5	1170	1.170	0.585	200	0.002925	17671.459	28.153	0.000009	0.002934
51	490	1230	1.230	0.615	200	0.003075	17671.459	27.728	0.000009	0.003084
52	480	1265	1.265	0.633	200	0.003163	17671.459	27.162	0.000009	0.003171
53	470	1280	1.280	0.640	200	0.003200	17671.459	26.597	0.000009	0.003209

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (28 dari 71)



Gambar L.11 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-3-D2

Diketahui,

$$S_2 = 11.261$$

$$S_1 = 0.849$$

$$\varepsilon_2 = 0.000673$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-3-D2 = 16719.823 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (29 dari 71)

Tabel L.55 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D3 (Regangan
Terkoreksi)

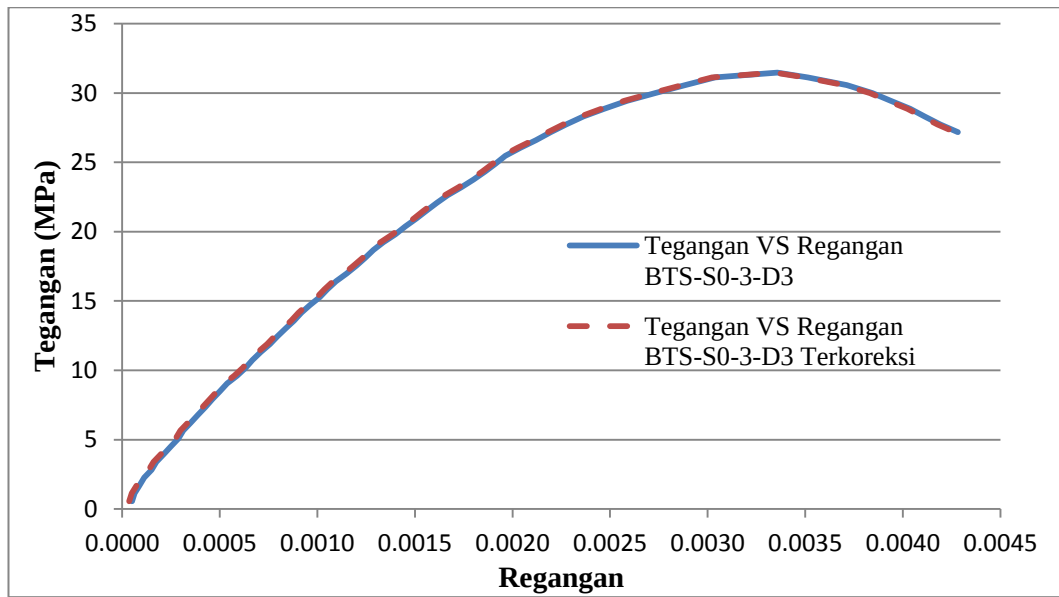
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	20	0.020	0.010	200	0.000050	17671.459	0.566	-0.000015	0.000035
2	20	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.132	-0.000015	0.000048
3	30	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	1.698	-0.000015	0.000073
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	-0.000015	0.000098
5	50	60	0.060	0.030	200	0.000150	17671.459	2.829	-0.000015	0.000135
6	60	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	3.395	-0.000015	0.000160
7	70	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	3.961	-0.000015	0.000198
8	80	100	0.100	0.050	200	0.000250	17671.459	4.527	-0.000015	0.000235
9	90	115	0.115	0.058	200	0.000288	17671.459	5.093	-0.000015	0.000273
10	100	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	5.659	-0.000015	0.000298
11	110	140	0.140	0.070	200	0.000350	17671.459	6.225	-0.000015	0.000335
12	120	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	6.791	-0.000015	0.000373
13	130	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	7.356	-0.000015	0.000410
14	140	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	7.922	-0.000015	0.000448
15	150	200	0.200	0.100	200	0.000500	17671.459	8.488	-0.000015	0.000485
16	160	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	9.054	-0.000015	0.000523
17	170	235	0.235	0.118	200	0.000588	17671.459	9.620	-0.000015	0.000573
18	180	253	0.253	0.127	200	0.000633	17671.459	10.186	-0.000015	0.000618
19	190	267	0.267	0.134	200	0.000668	17671.459	10.752	-0.000015	0.000653
20	200	284	0.284	0.142	200	0.000710	17671.459	11.318	-0.000015	0.000695
21	210	303	0.303	0.152	200	0.000758	17671.459	11.884	-0.000015	0.000743
22	220	318	0.318	0.159	200	0.000795	17671.459	12.449	-0.000015	0.000780
23	230	335	0.335	0.168	200	0.000838	17671.459	13.015	-0.000015	0.000823
24	240	352	0.352	0.176	200	0.000880	17671.459	13.581	-0.000015	0.000865
25	250	367	0.367	0.184	200	0.000918	17671.459	14.147	-0.000015	0.000903
26	260	385	0.385	0.193	200	0.000963	17671.459	14.713	-0.000015	0.000948
27	270	405	0.405	0.203	200	0.001013	17671.459	15.279	-0.000015	0.000998
28	280	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	15.845	-0.000015	0.001035
29	290	438	0.438	0.219	200	0.001095	17671.459	16.411	-0.000015	0.001080
30	300	460	0.460	0.230	200	0.001150	17671.459	16.977	-0.000015	0.001135
31	310	480	0.480	0.240	200	0.001200	17671.459	17.542	-0.000015	0.001185
32	320	498	0.498	0.249	200	0.001245	17671.459	18.108	-0.000015	0.001230
33	330	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	18.674	-0.000015	0.001273
34	340	535	0.535	0.268	200	0.001338	17671.459	19.240	-0.000015	0.001323

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (30 dari 71)

Lanjutan Tabel L.55 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-3-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	19.806	-0.000015	0.001385
36	360	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	20.372	-0.000015	0.001435
37	370	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	20.938	-0.000015	0.001493
38	380	623	0.623	0.312	200	0.001558	17671.459	21.504	-0.000015	0.001543
39	390	645	0.645	0.323	200	0.001613	17671.459	22.069	-0.000015	0.001598
40	400	667	0.667	0.334	200	0.001668	17671.459	22.635	-0.000015	0.001653
41	410	695	0.695	0.348	200	0.001738	17671.459	23.201	-0.000015	0.001723
42	420	720	0.720	0.360	200	0.001800	17671.459	23.767	-0.000015	0.001785
43	430	744	0.744	0.372	200	0.001860	17671.459	24.333	-0.000015	0.001845
44	440	765	0.765	0.383	200	0.001913	17671.459	24.899	-0.000015	0.001898
45	450	785	0.785	0.393	200	0.001963	17671.459	25.465	-0.000015	0.001948
46	460	816	0.816	0.408	200	0.002040	17671.459	26.031	-0.000015	0.002025
47	470	848	0.848	0.424	200	0.002120	17671.459	26.597	-0.000015	0.002105
48	480	878	0.878	0.439	200	0.002195	17671.459	27.162	-0.000015	0.002180
49	490	910	0.910	0.455	200	0.002275	17671.459	27.728	-0.000015	0.002260
50	500	945	0.945	0.473	200	0.002363	17671.459	28.294	-0.000015	0.002348
51	510	988	0.988	0.494	200	0.002470	17671.459	28.860	-0.000015	0.002455
52	520	1035	1.035	0.518	200	0.002588	17671.459	29.426	-0.000015	0.002573
53	530	1092	1.092	0.546	200	0.002730	17671.459	29.992	-0.000015	0.002715
54	540	1154	1.154	0.577	200	0.002885	17671.459	30.558	-0.000015	0.002870
55	550	1215	1.215	0.608	200	0.003038	17671.459	31.124	-0.000015	0.003023
56	555.9	1343	1.343	0.672	200	0.003358	17671.459	31.458	-0.000015	0.003343
57	550	1405	1.405	0.703	200	0.003513	17671.459	31.124	-0.000015	0.003498
58	540	1485	1.485	0.743	200	0.003713	17671.459	30.558	-0.000015	0.003698
59	530	1538	1.538	0.769	200	0.003845	17671.459	29.992	-0.000015	0.003830
60	520	1575	1.575	0.788	200	0.003938	17671.459	29.426	-0.000015	0.003923
61	510	1615	1.615	0.808	200	0.004038	17671.459	28.860	-0.000015	0.004023
62	500	1645	1.645	0.823	200	0.004113	17671.459	28.294	-0.000015	0.004098
63	490	1677	1.677	0.839	200	0.004193	17671.459	27.728	-0.000015	0.004178
64	480	1713	1.713	0.857	200	0.004283	17671.459	27.162	-0.000015	0.004268

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (31 dari 71)



Gambar L.12 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-3-D3

Diketahui,

$$S_2 = 12.583$$

$$S_1 = 1.178$$

$$\epsilon_2 = 0.000791$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-3-D3 = 15402.199 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (32 dari 71)

Tabel L.56 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D1 (Regangan
Terkoreksi)

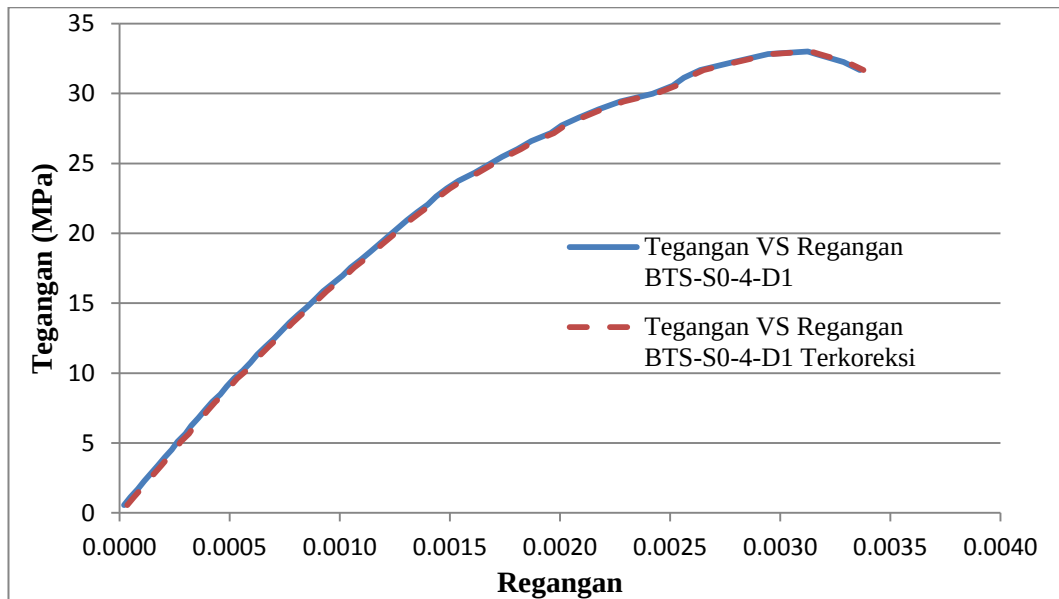
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	8	0.008	0.004	200	0.000020	17671.459	0.566	0.000015	0.000035
2	20	20	0.020	0.010	200	0.000050	17671.459	1.132	0.000015	0.000065
3	30	33	0.033	0.017	200	0.000083	17671.459	1.698	0.000015	0.000098
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	0.000015	0.000128
5	50	57	0.057	0.029	200	0.000143	17671.459	2.829	0.000015	0.000158
6	60	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	3.395	0.000015	0.000190
7	70	82	0.082	0.041	200	0.000205	17671.459	3.961	0.000015	0.000220
8	80	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	4.527	0.000015	0.000253
9	90	105	0.105	0.053	200	0.000263	17671.459	5.093	0.000015	0.000278
10	100	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	5.659	0.000015	0.000315
11	110	130	0.130	0.065	200	0.000325	17671.459	6.225	0.000015	0.000340
12	120	143	0.143	0.072	200	0.000358	17671.459	6.791	0.000015	0.000373
13	130	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	7.356	0.000015	0.000403
14	140	168	0.168	0.084	200	0.000420	17671.459	7.922	0.000015	0.000435
15	150	183	0.183	0.092	200	0.000458	17671.459	8.488	0.000015	0.000473
16	160	195	0.195	0.098	200	0.000488	17671.459	9.054	0.000015	0.000503
17	170	208	0.208	0.104	200	0.000520	17671.459	9.620	0.000015	0.000535
18	180	224	0.224	0.112	200	0.000560	17671.459	10.186	0.000015	0.000575
19	190	238	0.238	0.119	200	0.000595	17671.459	10.752	0.000015	0.000610
20	200	250	0.250	0.125	200	0.000625	17671.459	11.318	0.000015	0.000640
21	210	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	11.884	0.000015	0.000678
22	220	280	0.280	0.140	200	0.000700	17671.459	12.449	0.000015	0.000715
23	230	294	0.294	0.147	200	0.000735	17671.459	13.015	0.000015	0.000750
24	240	308	0.308	0.154	200	0.000770	17671.459	13.581	0.000015	0.000785
25	250	323	0.323	0.162	200	0.000808	17671.459	14.147	0.000015	0.000823
26	260	340	0.340	0.170	200	0.000850	17671.459	14.713	0.000015	0.000865
27	270	355	0.355	0.178	200	0.000888	17671.459	15.279	0.000015	0.000903
28	280	370	0.370	0.185	200	0.000925	17671.459	15.845	0.000015	0.000940
29	290	387	0.387	0.194	200	0.000968	17671.459	16.411	0.000015	0.000983
30	300	405	0.405	0.203	200	0.001013	17671.459	16.977	0.000015	0.001028
31	310	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	17.542	0.000015	0.001065
32	320	438	0.438	0.219	200	0.001095	17671.459	18.108	0.000015	0.001110
33	330	455	0.455	0.228	200	0.001138	17671.459	18.674	0.000015	0.001153
34	340	472	0.472	0.236	200	0.001180	17671.459	19.240	0.000015	0.001195

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (33 dari 71)

Lanjutan Tabel L.56 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
35	350	489	0.489	0.245	200	0.001223	17671.459	19.806	0.000015	0.001238
36	360	505	0.505	0.253	200	0.001263	17671.459	20.372	0.000015	0.001278
37	370	522	0.522	0.261	200	0.001305	17671.459	20.938	0.000015	0.001320
38	380	541	0.541	0.271	200	0.001353	17671.459	21.504	0.000015	0.001368
39	390	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	22.069	0.000015	0.001415
40	400	575	0.575	0.288	200	0.001438	17671.459	22.635	0.000015	0.001453
41	410	594	0.594	0.297	200	0.001485	17671.459	23.201	0.000015	0.001500
42	420	616	0.616	0.308	200	0.001540	17671.459	23.767	0.000015	0.001555
43	430	645	0.645	0.323	200	0.001613	17671.459	24.333	0.000015	0.001628
44	440	670	0.670	0.335	200	0.001675	17671.459	24.899	0.000015	0.001690
45	450	695	0.695	0.348	200	0.001738	17671.459	25.465	0.000015	0.001753
46	460	723	0.723	0.362	200	0.001808	17671.459	26.031	0.000015	0.001823
47	470	748	0.748	0.374	200	0.001870	17671.459	26.597	0.000015	0.001885
48	480	783	0.783	0.392	200	0.001958	17671.459	27.162	0.000015	0.001973
49	490	803	0.803	0.402	200	0.002008	17671.459	27.728	0.000015	0.002023
50	500	835	0.835	0.418	200	0.002088	17671.459	28.294	0.000015	0.002103
51	510	870	0.870	0.435	200	0.002175	17671.459	28.860	0.000015	0.002190
52	520	910	0.910	0.455	200	0.002275	17671.459	29.426	0.000015	0.002290
53	530	968	0.968	0.484	200	0.002420	17671.459	29.992	0.000015	0.002435
54	540	1005	1.005	0.503	200	0.002513	17671.459	30.558	0.000015	0.002528
55	550	1025	1.025	0.513	200	0.002563	17671.459	31.124	0.000015	0.002578
56	560	1055	1.055	0.528	200	0.002638	17671.459	31.690	0.000015	0.002653
57	570	1115	1.115	0.558	200	0.002788	17671.459	32.255	0.000015	0.002803
58	580	1178	1.178	0.589	200	0.002945	17671.459	32.821	0.000015	0.002960
59	583.5	1250	1.250	0.625	200	0.003125	17671.459	33.019	0.000015	0.003140
60	580	1265	1.265	0.633	200	0.003163	17671.459	32.821	0.000015	0.003178
61	570	1315	1.315	0.658	200	0.003288	17671.459	32.255	0.000015	0.003303
62	560	1345	1.345	0.673	200	0.003363	17671.459	31.690	0.000015	0.003378

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (34 dari 71)



Gambar L.13 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-4-D1

Diketahui,

$$S_2 = 13.208$$

$$S_1 = 0.844$$

$$\varepsilon_2 = 0.000762$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-4-D1 = 17360.963 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (35 dari 71)

Tabel L.57 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D2 (Regangan
Terkoreksi)

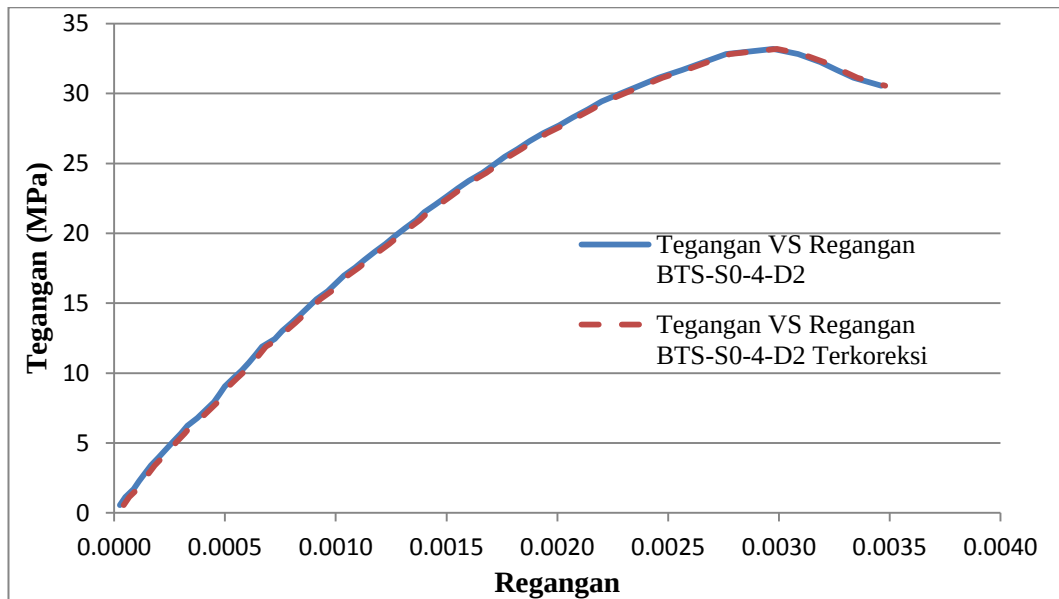
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000017	0.000042
2	20	20	0.020	0.010	200	0.000050	17671.459	1.132	0.000017	0.000067
3	30	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	1.698	0.000017	0.000105
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	0.000017	0.000130
5	50	55	0.055	0.028	200	0.000138	17671.459	2.829	0.000017	0.000155
6	60	66	0.066	0.033	200	0.000165	17671.459	3.395	0.000017	0.000182
7	70	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	3.961	0.000017	0.000217
8	80	93	0.093	0.047	200	0.000233	17671.459	4.527	0.000017	0.000250
9	90	106	0.106	0.053	200	0.000265	17671.459	5.093	0.000017	0.000282
10	100	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	5.659	0.000017	0.000317
11	110	132	0.132	0.066	200	0.000330	17671.459	6.225	0.000017	0.000347
12	120	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	6.791	0.000017	0.000392
13	130	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	7.356	0.000017	0.000430
14	140	180	0.180	0.090	200	0.000450	17671.459	7.922	0.000017	0.000467
15	150	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	8.488	0.000017	0.000492
16	160	200	0.200	0.100	200	0.000500	17671.459	9.054	0.000017	0.000517
17	170	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	9.620	0.000017	0.000555
18	180	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	10.186	0.000017	0.000592
19	190	243	0.243	0.122	200	0.000608	17671.459	10.752	0.000017	0.000625
20	200	255	0.255	0.128	200	0.000638	17671.459	11.318	0.000017	0.000655
21	210	267	0.267	0.134	200	0.000668	17671.459	11.884	0.000017	0.000685
22	220	290	0.290	0.145	200	0.000725	17671.459	12.449	0.000017	0.000742
23	230	303	0.303	0.152	200	0.000758	17671.459	13.015	0.000017	0.000775
24	240	320	0.320	0.160	200	0.000800	17671.459	13.581	0.000017	0.000817
25	250	335	0.335	0.168	200	0.000838	17671.459	14.147	0.000017	0.000855
26	260	350	0.350	0.175	200	0.000875	17671.459	14.713	0.000017	0.000892
27	270	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	15.279	0.000017	0.000930
29	290	400	0.400	0.200	200	0.001000	17671.459	16.411	0.000017	0.001017
30	300	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	16.977	0.000017	0.001055
31	310	435	0.435	0.218	200	0.001088	17671.459	17.542	0.000017	0.001105
32	320	452	0.452	0.226	200	0.001130	17671.459	18.108	0.000017	0.001147
33	330	470	0.470	0.235	200	0.001175	17671.459	18.674	0.000017	0.001192
34	340	490	0.490	0.245	200	0.001225	17671.459	19.240	0.000017	0.001242
35	350	507	0.507	0.254	200	0.001268	17671.459	19.806	0.000017	0.001285
36	360	525	0.525	0.263	200	0.001313	17671.459	20.372	0.000017	0.001330

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (36 dari 71)

Lanjutan Tabel L.57 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
37	370	545	0.545	0.273	200	0.001363	17671.459	20.938	0.000017	0.001380
38	380	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	21.504	0.000017	0.001417
39	390	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	22.069	0.000017	0.001467
40	400	600	0.600	0.300	200	0.001500	17671.459	22.635	0.000017	0.001517
41	410	620	0.620	0.310	200	0.001550	17671.459	23.201	0.000017	0.001567
42	420	640	0.640	0.320	200	0.001600	17671.459	23.767	0.000017	0.001617
43	430	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	24.333	0.000017	0.001680
44	440	685	0.685	0.343	200	0.001713	17671.459	24.899	0.000017	0.001730
45	450	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	25.465	0.000017	0.001780
46	460	728	0.728	0.364	200	0.001820	17671.459	26.031	0.000017	0.001837
47	470	750	0.750	0.375	200	0.001875	17671.459	26.597	0.000017	0.001892
48	480	775	0.775	0.388	200	0.001938	17671.459	27.162	0.000017	0.001955
49	490	803	0.803	0.402	200	0.002008	17671.459	27.728	0.000017	0.002025
50	500	828	0.828	0.414	200	0.002070	17671.459	28.294	0.000017	0.002087
51	510	855	0.855	0.428	200	0.002138	17671.459	28.860	0.000017	0.002155
52	520	880	0.880	0.440	200	0.002200	17671.459	29.426	0.000017	0.002217
53	530	913	0.913	0.457	200	0.002283	17671.459	29.992	0.000017	0.002300
54	540	948	0.948	0.474	200	0.002370	17671.459	30.558	0.000017	0.002387
55	550	983	0.983	0.492	200	0.002458	17671.459	31.124	0.000017	0.002475
56	560	1025	1.025	0.513	200	0.002563	17671.459	31.690	0.000017	0.002580
57	570	1065	1.065	0.533	200	0.002663	17671.459	32.255	0.000017	0.002680
58	580	1105	1.105	0.553	200	0.002763	17671.459	32.821	0.000017	0.002780
59	586.6	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	33.195	0.000017	0.002992
60	580	1235	1.235	0.618	200	0.003088	17671.459	32.821	0.000017	0.003105
61	570	1275	1.275	0.638	200	0.003188	17671.459	32.255	0.000017	0.003205
62	560	1305	1.305	0.653	200	0.003263	17671.459	31.690	0.000017	0.003280
63	550	1335	1.335	0.668	200	0.003338	17671.459	31.124	0.000017	0.003355
64	540	1385	1.385	0.693	200	0.003463	17671.459	30.558	0.000017	0.003480

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (37 dari 71)



Gambar L.14 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-4-D2

Diketahui,

$$S_2 = 13.278$$

$$S_1 = 0.738$$

$$\varepsilon_2 = 0.000795$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-4-D2 = 16840.649 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (38 dari 71)

Tabel L.58 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D3 (Regangan
Terkoreksi)

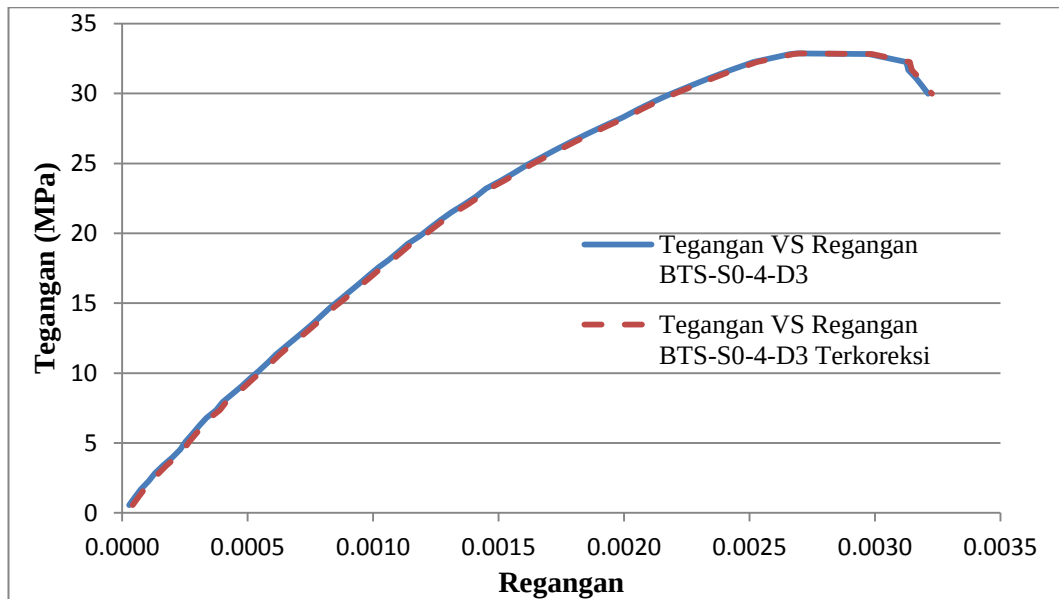
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	11	0.011	0.006	200	0.000028	17671.459	0.566	0.000014	0.000042
2	20	20	0.020	0.010	200	0.000050	17671.459	1.132	0.000014	0.000064
3	30	30	0.030	0.015	200	0.000075	17671.459	1.698	0.000014	0.000089
4	40	42	0.042	0.021	200	0.000105	17671.459	2.264	0.000014	0.000119
5	50	52	0.052	0.026	200	0.000130	17671.459	2.829	0.000014	0.000144
6	60	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	3.395	0.000014	0.000177
7	70	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	3.961	0.000014	0.000214
8	80	92	0.092	0.046	200	0.000230	17671.459	4.527	0.000014	0.000244
9	90	101	0.101	0.051	200	0.000253	17671.459	5.093	0.000014	0.000267
10	100	112	0.112	0.056	200	0.000280	17671.459	5.659	0.000014	0.000294
11	110	123	0.123	0.062	200	0.000308	17671.459	6.225	0.000014	0.000322
12	120	134	0.134	0.067	200	0.000335	17671.459	6.791	0.000014	0.000349
13	130	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	7.356	0.000014	0.000389
14	140	160	0.160	0.080	200	0.000400	17671.459	7.922	0.000014	0.000414
15	150	175	0.175	0.088	200	0.000438	17671.459	8.488	0.000014	0.000452
16	160	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	9.054	0.000014	0.000489
17	170	204	0.204	0.102	200	0.000510	17671.459	9.620	0.000014	0.000524
18	180	218	0.218	0.109	200	0.000545	17671.459	10.186	0.000014	0.000559
19	190	232	0.232	0.116	200	0.000580	17671.459	10.752	0.000014	0.000594
20	200	245	0.245	0.123	200	0.000613	17671.459	11.318	0.000014	0.000627
21	210	260	0.260	0.130	200	0.000650	17671.459	11.884	0.000014	0.000664
22	220	275	0.275	0.138	200	0.000688	17671.459	12.449	0.000014	0.000702
23	230	290	0.290	0.145	200	0.000725	17671.459	13.015	0.000014	0.000739
24	240	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	13.581	0.000014	0.000777
25	250	318	0.318	0.159	200	0.000795	17671.459	14.147	0.000014	0.000809
26	260	332	0.332	0.166	200	0.000830	17671.459	14.713	0.000014	0.000844
27	270	348	0.348	0.174	200	0.000870	17671.459	15.279	0.000014	0.000884
28	280	363	0.363	0.182	200	0.000908	17671.459	15.845	0.000014	0.000922
29	290	378	0.378	0.189	200	0.000945	17671.459	16.411	0.000014	0.000959
30	300	393	0.393	0.197	200	0.000983	17671.459	16.977	0.000014	0.000997
31	310	408	0.408	0.204	200	0.001020	17671.459	17.542	0.000014	0.001034
32	320	425	0.425	0.213	200	0.001063	17671.459	18.108	0.000014	0.001077
33	330	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	18.674	0.000014	0.001114
34	340	455	0.455	0.228	200	0.001138	17671.459	19.240	0.000014	0.001152

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (39 dari 71)

Lanjutan Tabel L.58 Perhitungan Regangan-Tegangan BTS-S0-4-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
35	350	475	0.475	0.238	200	0.001188	17671.459	19.806	0.000014	0.001202
36	360	490	0.490	0.245	200	0.001225	17671.459	20.372	0.000014	0.001239
37	370	507	0.507	0.254	200	0.001268	17671.459	20.938	0.000014	0.001282
38	380	525	0.525	0.263	200	0.001313	17671.459	21.504	0.000014	0.001327
39	390	545	0.545	0.273	200	0.001363	17671.459	22.069	0.000014	0.001377
40	400	564	0.564	0.282	200	0.001410	17671.459	22.635	0.000014	0.001424
41	410	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	23.201	0.000014	0.001464
42	420	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	23.767	0.000014	0.001522
43	430	625	0.625	0.313	200	0.001563	17671.459	24.333	0.000014	0.001577
44	440	646	0.646	0.323	200	0.001615	17671.459	24.899	0.000014	0.001629
45	450	670	0.670	0.335	200	0.001675	17671.459	25.465	0.000014	0.001689
46	460	693	0.693	0.347	200	0.001733	17671.459	26.031	0.000014	0.001747
47	470	718	0.718	0.359	200	0.001795	17671.459	26.597	0.000014	0.001809
48	480	744	0.744	0.372	200	0.001860	17671.459	27.162	0.000014	0.001874
49	490	770	0.770	0.385	200	0.001925	17671.459	27.728	0.000014	0.001939
50	500	798	0.798	0.399	200	0.001995	17671.459	28.294	0.000014	0.002009
51	510	822	0.822	0.411	200	0.002055	17671.459	28.860	0.000014	0.002069
52	520	848	0.848	0.424	200	0.002120	17671.459	29.426	0.000014	0.002134
53	530	875	0.875	0.438	200	0.002188	17671.459	29.992	0.000014	0.002202
54	540	906	0.906	0.453	200	0.002265	17671.459	30.558	0.000014	0.002279
55	550	938	0.938	0.469	200	0.002345	17671.459	31.124	0.000014	0.002359
56	560	970	0.970	0.485	200	0.002425	17671.459	31.690	0.000014	0.002439
57	570	1006	1.006	0.503	200	0.002515	17671.459	32.255	0.000014	0.002529
58	580	1065	1.065	0.533	200	0.002663	17671.459	32.821	0.000014	0.002677
59	581	1075	1.075	0.538	200	0.002688	17671.459	32.878	0.000014	0.002702
60	580	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	32.821	0.000014	0.002989
61	570	1250	1.250	0.625	200	0.003125	17671.459	32.255	0.000014	0.003139
62	560	1253	1.253	0.627	200	0.003133	17671.459	31.690	0.000014	0.003147
63	550	1265	1.265	0.633	200	0.003163	17671.459	31.124	0.000014	0.003177
64	540	1275	1.275	0.638	200	0.003188	17671.459	30.558	0.000014	0.003202
65	530	1285	1.285	0.643	200	0.003213	17671.459	29.992	0.000014	0.003227

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (40 dari 71)



Gambar L.15 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BTS-S0-4-D3

Diketahui,

$$S_2 = 13.151$$

$$S_1 = 0.772$$

$$\varepsilon_2 = 0.000748$$

Maka, Modulus elastisitas BTS-S0-4-D3 = 17727.232 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (41 dari 71)

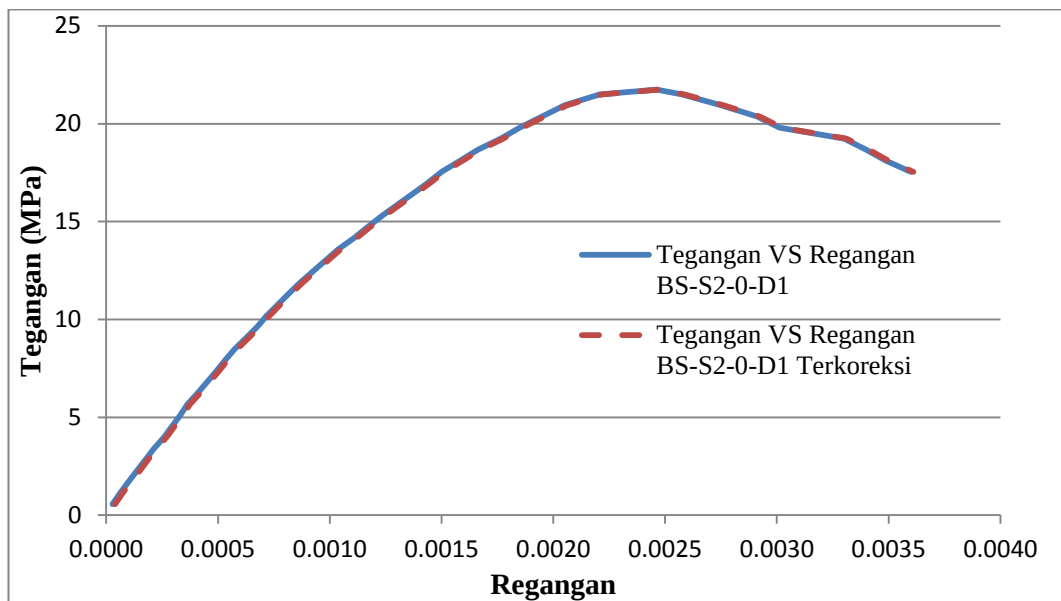
Tabel L.59 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	11	0.011	0.006	200	0.000028	17671.459	0.566	0.000012	0.000039
2	20	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.132	0.000012	0.000074
3	30	40	0.040	0.020	200	0.000100	17671.459	1.698	0.000012	0.000112
4	40	55	0.055	0.028	200	0.000138	17671.459	2.264	0.000012	0.000149
5	50	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	2.829	0.000012	0.000187
6	60	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	3.395	0.000012	0.000224
7	70	103	0.103	0.052	200	0.000258	17671.459	3.961	0.000012	0.000269
8	80	117	0.117	0.059	200	0.000293	17671.459	4.527	0.000012	0.000304
9	90	132	0.132	0.066	200	0.000330	17671.459	5.093	0.000012	0.000342
10	100	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.659	0.000012	0.000374
11	110	163	0.163	0.082	200	0.000408	17671.459	6.225	0.000012	0.000419
12	120	180	0.180	0.090	200	0.000450	17671.459	6.791	0.000012	0.000462
13	130	197	0.197	0.099	200	0.000493	17671.459	7.356	0.000012	0.000504
14	140	213	0.213	0.107	200	0.000533	17671.459	7.922	0.000012	0.000544
15	150	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	8.488	0.000012	0.000587
16	160	250	0.250	0.125	200	0.000625	17671.459	9.054	0.000012	0.000637
17	170	270	0.270	0.135	200	0.000675	17671.459	9.620	0.000012	0.000687
18	180	287	0.287	0.144	200	0.000718	17671.459	10.186	0.000012	0.000729
19	190	307	0.307	0.154	200	0.000768	17671.459	10.752	0.000012	0.000779
20	200	327	0.327	0.164	200	0.000818	17671.459	11.318	0.000012	0.000829
21	210	347	0.347	0.174	200	0.000868	17671.459	11.884	0.000012	0.000879
22	220	370	0.370	0.185	200	0.000925	17671.459	12.449	0.000012	0.000937
23	230	392	0.392	0.196	200	0.000980	17671.459	13.015	0.000012	0.000992
24	240	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	13.581	0.000012	0.001049
25	250	443	0.443	0.222	200	0.001108	17671.459	14.147	0.000012	0.001119
26	260	467	0.467	0.234	200	0.001168	17671.459	14.713	0.000012	0.001179
27	270	493	0.493	0.247	200	0.001233	17671.459	15.279	0.000012	0.001244
28	280	520	0.520	0.260	200	0.001300	17671.459	15.845	0.000012	0.001312
29	290	548	0.548	0.274	200	0.001370	17671.459	16.411	0.000012	0.001382
30	300	575	0.575	0.288	200	0.001438	17671.459	16.977	0.000012	0.001449
31	310	600	0.600	0.300	200	0.001500	17671.459	17.542	0.000012	0.001512
32	320	633	0.633	0.317	200	0.001583	17671.459	18.108	0.000012	0.001594
33	330	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	18.674	0.000012	0.001674
34	340	706	0.706	0.353	200	0.001765	17671.459	19.240	0.000012	0.001777
35	350	740	0.740	0.370	200	0.001850	17671.459	19.806	0.000012	0.001862
36	360	780	0.780	0.390	200	0.001950	17671.459	20.372	0.000012	0.001962

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (42 dari 71)

Lanjutan Tabel L.59 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D1 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	820	0.820	0.410	200	0.002050	17671.459	20.938	0.000012	0.002062
38	380	883	0.883	0.442	200	0.002208	17671.459	21.504	0.000012	0.002219
39	384.4	985	0.985	0.493	200	0.002463	17671.459	21.753	0.000012	0.002474
40	380	1030	1.030	0.515	200	0.002575	17671.459	21.504	0.000012	0.002587
41	370	1100	1.100	0.550	200	0.002750	17671.459	20.938	0.000012	0.002762
42	360	1165	1.165	0.583	200	0.002913	17671.459	20.372	0.000012	0.002924
43	350	1205	1.205	0.603	200	0.003013	17671.459	19.806	0.000012	0.003024
44	340	1320	1.320	0.660	200	0.003300	17671.459	19.240	0.000012	0.003312
45	330	1360	1.360	0.680	200	0.003400	17671.459	18.674	0.000012	0.003412
46	320	1395	1.395	0.698	200	0.003488	17671.459	18.108	0.000012	0.003499
47	310	1440	1.440	0.720	200	0.003600	17671.459	17.542	0.000012	0.003612



Gambar L.16 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-0-D1

Diketahui,

$$S_2 = 8.701$$

$$S_1 = 0.742$$

$$\epsilon_2 = 0.000605$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-0-D1 = 14330.091 Mpa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (43 dari 71)

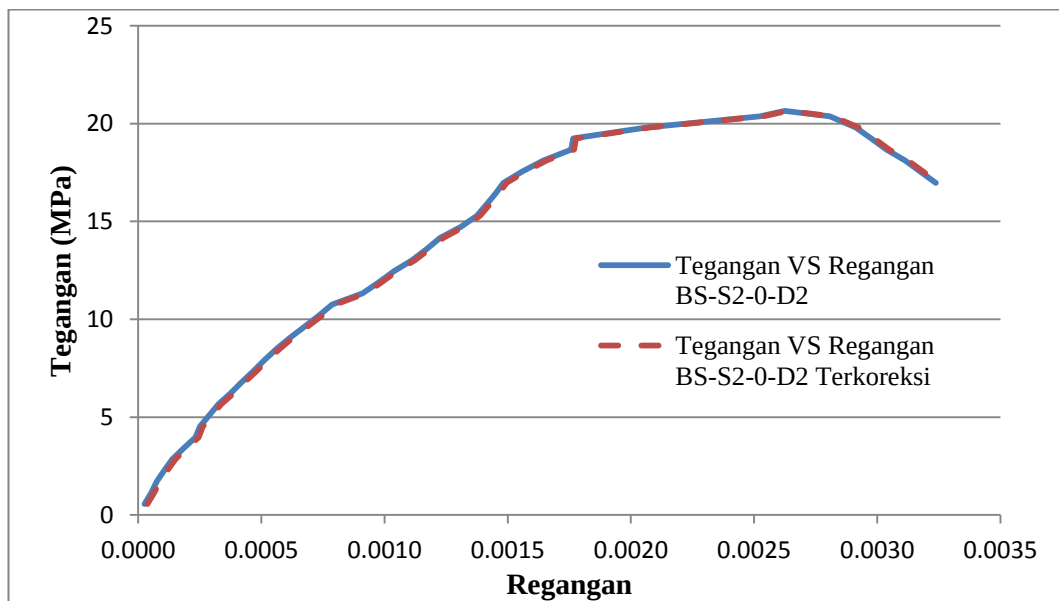
Tabel L.60 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000013	0.000038
2	20	21	0.021	0.011	200	0.000053	17671.459	1.132	0.000013	0.000065
3	30	30	0.030	0.015	200	0.000075	17671.459	1.698	0.000013	0.000088
4	40	42	0.042	0.021	200	0.000105	17671.459	2.264	0.000013	0.000118
5	50	55	0.055	0.028	200	0.000138	17671.459	2.829	0.000013	0.000150
6	60	73	0.073	0.037	200	0.000183	17671.459	3.395	0.000013	0.000195
7	70	93	0.093	0.047	200	0.000233	17671.459	3.961	0.000013	0.000245
8	80	100	0.100	0.050	200	0.000250	17671.459	4.527	0.000013	0.000263
9	90	115	0.115	0.058	200	0.000288	17671.459	5.093	0.000013	0.000300
10	100	130	0.130	0.065	200	0.000325	17671.459	5.659	0.000013	0.000338
11	110	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	6.225	0.000013	0.000388
12	120	168	0.168	0.084	200	0.000420	17671.459	6.791	0.000013	0.000433
13	130	187	0.187	0.094	200	0.000468	17671.459	7.356	0.000013	0.000480
14	140	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	7.922	0.000013	0.000525
15	150	225	0.225	0.113	200	0.000563	17671.459	8.488	0.000013	0.000575
16	160	246	0.246	0.123	200	0.000615	17671.459	9.054	0.000013	0.000628
17	170	270	0.270	0.135	200	0.000675	17671.459	9.620	0.000013	0.000688
18	180	293	0.293	0.147	200	0.000733	17671.459	10.186	0.000013	0.000745
19	190	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	10.752	0.000013	0.000800
20	200	364	0.364	0.182	200	0.000910	17671.459	11.318	0.000013	0.000923
21	210	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	11.884	0.000013	0.000988
22	220	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	12.449	0.000013	0.001050
23	230	444	0.444	0.222	200	0.001110	17671.459	13.015	0.000013	0.001123
24	240	468	0.468	0.234	200	0.001170	17671.459	13.581	0.000013	0.001183
25	250	490	0.490	0.245	200	0.001225	17671.459	14.147	0.000013	0.001238
26	260	523	0.523	0.262	200	0.001308	17671.459	14.713	0.000013	0.001320
27	270	550	0.550	0.275	200	0.001375	17671.459	15.279	0.000013	0.001388
28	280	565	0.565	0.283	200	0.001413	17671.459	15.845	0.000013	0.001425
29	290	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	16.411	0.000013	0.001463
30	300	593	0.593	0.297	200	0.001483	17671.459	16.977	0.000013	0.001495
31	310	623	0.623	0.312	200	0.001558	17671.459	17.542	0.000013	0.001570
32	320	658	0.658	0.329	200	0.001645	17671.459	18.108	0.000013	0.001658
33	330	703	0.703	0.352	200	0.001758	17671.459	18.674	0.000013	0.001770
34	340	706	0.706	0.353	200	0.001765	17671.459	19.240	0.000013	0.001778
35	350	825	0.825	0.413	200	0.002063	17671.459	19.806	0.000013	0.002075
36	360	1010	1.010	0.505	200	0.002525	17671.459	20.372	0.000013	0.002538

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (44 dari 71)

Lanjutan Tabel L.60 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000013	0.000038
37	364.8	1050	1.050	0.525	200	0.002625	17671.459	20.643	0.000013	0.002638
38	360	1123	1.123	0.562	200	0.002808	17671.459	20.372	0.000013	0.002820
39	350	1165	1.165	0.583	200	0.002913	17671.459	19.806	0.000013	0.002925
40	340	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	19.240	0.000013	0.002988
41	330	1215	1.215	0.608	200	0.003038	17671.459	18.674	0.000013	0.003050
42	320	1245	1.245	0.623	200	0.003113	17671.459	18.108	0.000013	0.003125
43	310	1270	1.270	0.635	200	0.003175	17671.459	17.542	0.000013	0.003188
44	300	1295	1.295	0.648	200	0.003238	17671.459	16.977	0.000013	0.003250



Gambar L.17 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-0-D2
Diketahui,

$$S_2 = 8.257$$

$$S_1 = 0.823$$

$$\epsilon_2 = 0.000555$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-0-D2 = 14733.013 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (45 dari 71)

Tabel L.61 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D3 (Regangan Terkoreksi)

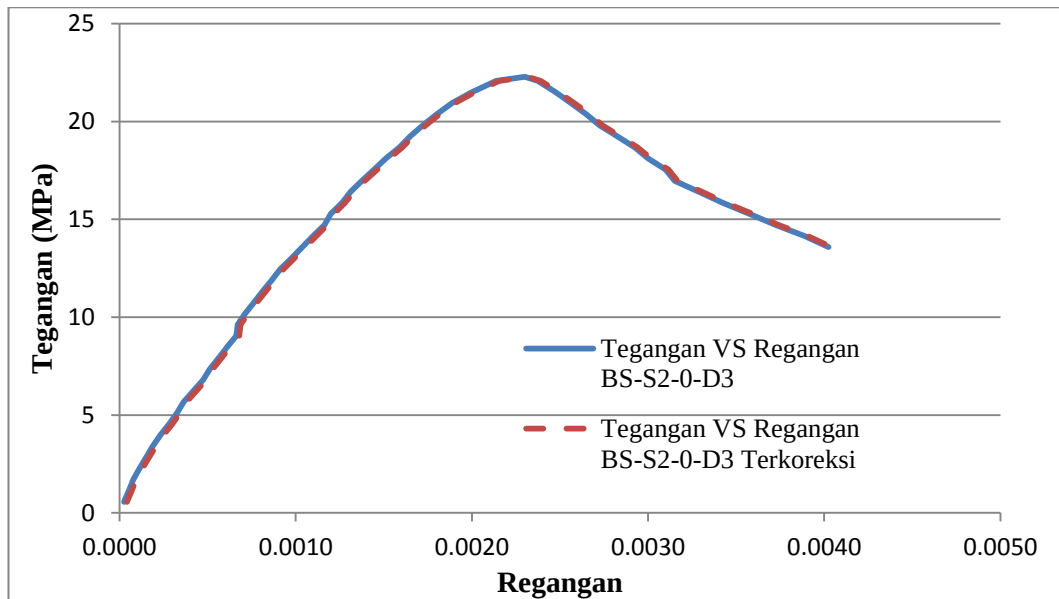
No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000017	0.000042
2	20	21	0.021	0.011	200	0.000053	17671.459	1.132	0.000017	0.000069
3	30	31	0.031	0.016	200	0.000078	17671.459	1.698	0.000017	0.000094
4	40	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	2.264	0.000017	0.000129
5	50	60	0.060	0.030	200	0.000150	17671.459	2.829	0.000017	0.000167
6	60	75	0.075	0.038	200	0.000188	17671.459	3.395	0.000017	0.000204
7	70	92	0.092	0.046	200	0.000230	17671.459	3.961	0.000017	0.000247
8	80	112	0.112	0.056	200	0.000280	17671.459	4.527	0.000017	0.000297
9	90	130	0.130	0.065	200	0.000325	17671.459	5.093	0.000017	0.000342
10	100	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.659	0.000017	0.000379
11	110	167	0.167	0.084	200	0.000418	17671.459	6.225	0.000017	0.000434
12	120	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	6.791	0.000017	0.000492
13	130	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	7.356	0.000017	0.000529
14	140	225	0.225	0.113	200	0.000563	17671.459	7.922	0.000017	0.000579
15	150	245	0.245	0.123	200	0.000613	17671.459	8.488	0.000017	0.000629
16	160	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	9.054	0.000017	0.000679
17	170	268	0.268	0.134	200	0.000670	17671.459	9.620	0.000017	0.000687
18	180	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	10.186	0.000017	0.000729
19	190	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	10.752	0.000017	0.000779
20	200	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	11.318	0.000017	0.000829
21	210	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	11.884	0.000017	0.000879
22	220	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	12.449	0.000017	0.000929
23	230	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	13.015	0.000017	0.000992
24	240	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	13.581	0.000017	0.001054
25	250	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	14.147	0.000017	0.001117
26	260	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	14.713	0.000017	0.001179
27	270	480	0.480	0.240	200	0.001200	17671.459	15.279	0.000017	0.001217
28	280	505	0.505	0.253	200	0.001263	17671.459	15.845	0.000017	0.001279
29	290	525	0.525	0.263	200	0.001313	17671.459	16.411	0.000017	0.001329
30	300	550	0.550	0.275	200	0.001375	17671.459	16.977	0.000017	0.001392
31	310	578	0.578	0.289	200	0.001445	17671.459	17.542	0.000017	0.001462
32	320	605	0.605	0.303	200	0.001513	17671.459	18.108	0.000017	0.001529
33	330	635	0.635	0.318	200	0.001588	17671.459	18.674	0.000017	0.001604
34	340	660	0.660	0.330	200	0.001650	17671.459	19.240	0.000017	0.001667
35	350	688	0.688	0.344	200	0.001720	17671.459	19.806	0.000017	0.001737
36	360	720	0.720	0.360	200	0.001800	17671.459	20.372	0.000017	0.001817

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (46 dari 71)

Lanjutan Tabel L.61 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-0-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
37	370	755	0.755	0.378	200	0.001888	17671.459	20.938	0.000017	0.001904
38	380	800	0.800	0.400	200	0.002000	17671.459	21.504	0.000017	0.002017
39	390	855	0.855	0.428	200	0.002138	17671.459	22.069	0.000017	0.002154
40	393.8	920	0.920	0.460	200	0.002300	17671.459	22.285	0.000017	0.002317
41	390	950	0.950	0.475	200	0.002375	17671.459	22.069	0.000017	0.002392
42	380	990	0.990	0.495	200	0.002475	17671.459	21.504	0.000017	0.002492
43	370	1025	1.025	0.513	200	0.002563	17671.459	20.938	0.000017	0.002579
44	360	1060	1.060	0.530	200	0.002650	17671.459	20.372	0.000017	0.002667
45	350	1090	1.090	0.545	200	0.002725	17671.459	19.806	0.000017	0.002742
46	340	1130	1.130	0.565	200	0.002825	17671.459	19.240	0.000017	0.002842
47	330	1170	1.170	0.585	200	0.002925	17671.459	18.674	0.000017	0.002942
48	320	1200	1.200	0.600	200	0.003000	17671.459	18.108	0.000017	0.003017
49	310	1240	1.240	0.620	200	0.003100	17671.459	17.542	0.000017	0.003117
50	300	1260	1.260	0.630	200	0.003150	17671.459	16.977	0.000017	0.003167
51	290	1315	1.315	0.658	200	0.003288	17671.459	16.411	0.000017	0.003304
52	280	1370	1.370	0.685	200	0.003425	17671.459	15.845	0.000017	0.003442
53	270	1430	1.430	0.715	200	0.003575	17671.459	15.279	0.000017	0.003592
54	260	1490	1.490	0.745	200	0.003725	17671.459	14.713	0.000017	0.003742
55	250	1555	1.555	0.778	200	0.003888	17671.459	14.147	0.000017	0.003904
56	240	1610	1.610	0.805	200	0.004025	17671.459	13.581	0.000017	0.004042

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (47 dari 71)



Gambar L.18 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-0-D3
Diketahui,

$$S_2 = 8.914$$

$$S_1 = 0.731$$

$$\varepsilon_2 = 0.000667$$

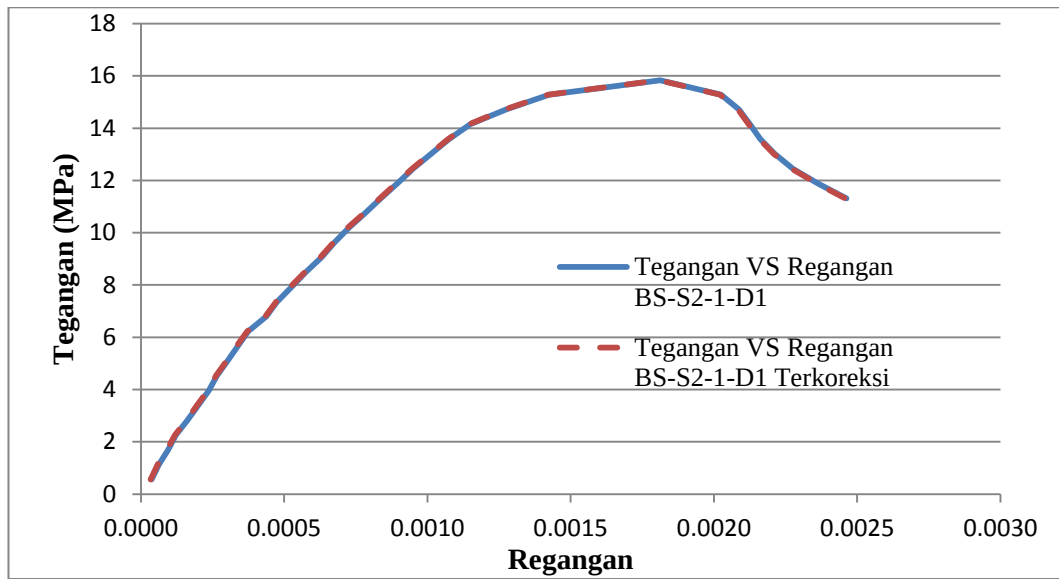
Maka, Modulus elastisitas BS-S2-0-D3 = 13260.480 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (48 dari 71)

Tabel L.62 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-1-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			($\times 10^{-3}$ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	15	0.015	0.008	200	0.000038	17671.459	0.566	-0.000004	0.000034
2	20	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.132	-0.000004	0.000059
3	30	38	0.038	0.019	200	0.000095	17671.459	1.698	-0.000004	0.000091
4	40	49	0.049	0.025	200	0.000123	17671.459	2.264	-0.000004	0.000119
5	50	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	2.829	-0.000004	0.000159
6	60	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	3.395	-0.000004	0.000196
7	70	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	3.961	-0.000004	0.000234
8	80	106	0.106	0.053	200	0.000265	17671.459	4.527	-0.000004	0.000261
9	90	121	0.121	0.061	200	0.000303	17671.459	5.093	-0.000004	0.000299
10	100	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	5.659	-0.000004	0.000334
11	110	150	0.150	0.075	200	0.000375	17671.459	6.225	-0.000004	0.000371
12	120	175	0.175	0.088	200	0.000438	17671.459	6.791	-0.000004	0.000434
13	130	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	7.356	-0.000004	0.000471
14	140	210	0.210	0.105	200	0.000525	17671.459	7.922	-0.000004	0.000521
15	150	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	8.488	-0.000004	0.000571
16	160	252	0.252	0.126	200	0.000630	17671.459	9.054	-0.000004	0.000626
17	170	270	0.270	0.135	200	0.000675	17671.459	9.620	-0.000004	0.000671
18	180	290	0.290	0.145	200	0.000725	17671.459	10.186	-0.000004	0.000721
19	190	313	0.313	0.157	200	0.000783	17671.459	10.752	-0.000004	0.000779
20	200	335	0.335	0.168	200	0.000838	17671.459	11.318	-0.000004	0.000834
21	210	358	0.358	0.179	200	0.000895	17671.459	11.884	-0.000004	0.000891
22	220	380	0.380	0.190	200	0.000950	17671.459	12.449	-0.000004	0.000946
23	230	405	0.405	0.203	200	0.001013	17671.459	13.015	-0.000004	0.001009
24	240	430	0.430	0.215	200	0.001075	17671.459	13.581	-0.000004	0.001071
25	250	460	0.460	0.230	200	0.001150	17671.459	14.147	-0.000004	0.001146
26	260	510	0.510	0.255	200	0.001275	17671.459	14.713	-0.000004	0.001271
27	270	570	0.570	0.285	200	0.001425	17671.459	15.279	-0.000004	0.001421
28	279.8	725	0.725	0.363	200	0.001813	17671.459	15.833	-0.000004	0.001809
29	270	810	0.810	0.405	200	0.002025	17671.459	15.279	-0.000004	0.002021
30	260	835	0.835	0.418	200	0.002088	17671.459	14.713	-0.000004	0.002084
31	250	850	0.850	0.425	200	0.002125	17671.459	14.147	-0.000004	0.002121
32	240	865	0.865	0.433	200	0.002163	17671.459	13.581	-0.000004	0.002159
33	230	885	0.885	0.443	200	0.002213	17671.459	13.015	-0.000004	0.002209
34	220	910	0.910	0.455	200	0.002275	17671.459	12.449	-0.000004	0.002271
35	210	945	0.945	0.473	200	0.002363	17671.459	11.884	-0.000004	0.002359
36	200	985	0.985	0.493	200	0.002463	17671.459	11.318	-0.000004	0.002459

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (49 dari 71)



Gambar L.19 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-1-D1

Diketahui,

$$S_2 = 6.333$$

$$S_1 = 0.934$$

$$\varepsilon_2 = 0.000383$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-1-D1 = 16203.053 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (50 dari 71)

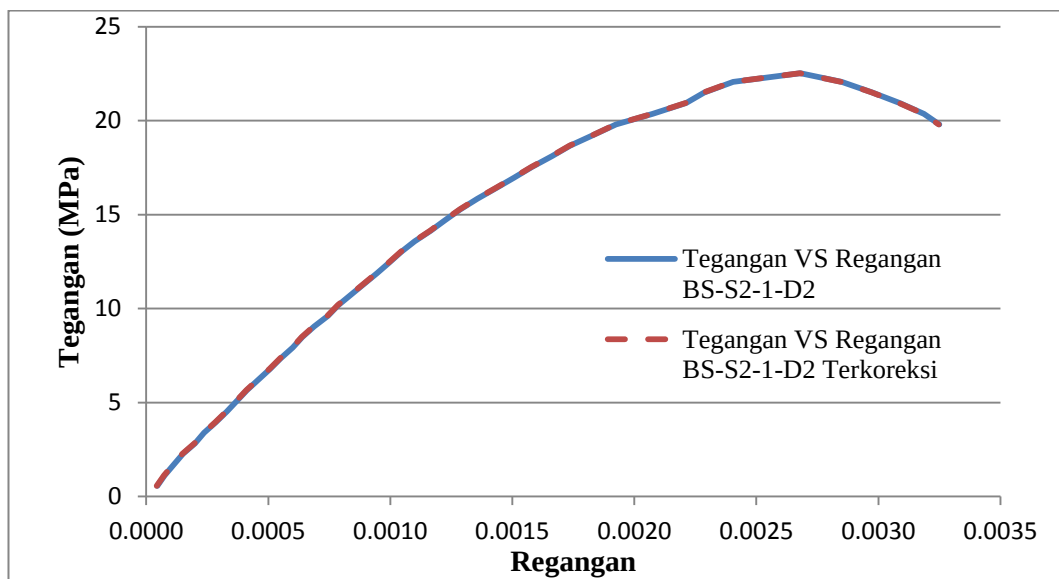
Tabel L.63 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-1-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	18	0.018	0.009	200	0.000045	17671.459	0.566	-0.000002	0.000043
2	20	30	0.030	0.015	200	0.000075	17671.459	1.132	-0.000002	0.000073
3	30	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	1.698	-0.000002	0.000110
4	40	60	0.060	0.030	200	0.000150	17671.459	2.264	-0.000002	0.000148
5	50	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	2.829	-0.000002	0.000198
6	60	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	3.395	-0.000002	0.000235
7	70	114	0.114	0.057	200	0.000285	17671.459	3.961	-0.000002	0.000283
8	80	132	0.132	0.066	200	0.000330	17671.459	4.527	-0.000002	0.000328
9	90	149	0.149	0.075	200	0.000373	17671.459	5.093	-0.000002	0.000370
10	100	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	5.659	-0.000002	0.000410
11	110	184	0.184	0.092	200	0.000460	17671.459	6.225	-0.000002	0.000458
12	120	203	0.203	0.102	200	0.000508	17671.459	6.791	-0.000002	0.000505
13	130	220	0.220	0.110	200	0.000550	17671.459	7.356	-0.000002	0.000548
14	140	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	7.922	-0.000002	0.000598
15	150	256	0.256	0.128	200	0.000640	17671.459	8.488	-0.000002	0.000638
16	160	275	0.275	0.138	200	0.000688	17671.459	9.054	-0.000002	0.000685
17	170	298	0.298	0.149	200	0.000745	17671.459	9.620	-0.000002	0.000743
18	180	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	10.186	-0.000002	0.000785
19	190	336	0.336	0.168	200	0.000840	17671.459	10.752	-0.000002	0.000838
20	200	357	0.357	0.179	200	0.000893	17671.459	11.318	-0.000002	0.000890
21	210	378	0.378	0.189	200	0.000945	17671.459	11.884	-0.000002	0.000943
22	220	398	0.398	0.199	200	0.000995	17671.459	12.449	-0.000002	0.000993
23	230	418	0.418	0.209	200	0.001045	17671.459	13.015	-0.000002	0.001043
24	240	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	13.581	-0.000002	0.001098
25	250	466	0.466	0.233	200	0.001165	17671.459	14.147	-0.000002	0.001163
26	260	490	0.490	0.245	200	0.001225	17671.459	14.713	-0.000002	0.001223
27	270	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	15.279	-0.000002	0.001285
28	280	543	0.543	0.272	200	0.001358	17671.459	15.845	-0.000002	0.001355
29	290	573	0.573	0.287	200	0.001433	17671.459	16.411	-0.000002	0.001430
30	300	603	0.603	0.302	200	0.001508	17671.459	16.977	-0.000002	0.001505
31	310	632	0.632	0.316	200	0.001580	17671.459	17.542	-0.000002	0.001578
32	320	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	18.108	-0.000002	0.001660
33	330	695	0.695	0.348	200	0.001738	17671.459	18.674	-0.000002	0.001735
34	340	733	0.733	0.367	200	0.001833	17671.459	19.240	-0.000002	0.001830
35	350	770	0.770	0.385	200	0.001925	17671.459	19.806	-0.000002	0.001923
36	360	830	0.830	0.415	200	0.002075	17671.459	20.372	-0.000002	0.002073

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (51 dari 71)

Lanjutan Tabel L.63 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-1-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	885	0.885	0.443	200	0.002213	17671.459	20.938	-0.000002	0.002210
38	380	915	0.915	0.458	200	0.002288	17671.459	21.504	-0.000002	0.002285
39	390	962	0.962	0.481	200	0.002405	17671.459	22.069	-0.000002	0.002403
40	398	1072	1.072	0.536	200	0.002680	17671.459	22.522	-0.000002	0.002678
41	390	1140	1.140	0.570	200	0.002850	17671.459	22.069	-0.000002	0.002848
42	380	1190	1.190	0.595	200	0.002975	17671.459	21.504	-0.000002	0.002973
43	370	1235	1.235	0.618	200	0.003088	17671.459	20.938	-0.000002	0.003085
44	360	1275	1.275	0.638	200	0.003188	17671.459	20.372	-0.000002	0.003185
45	350	1300	1.300	0.650	200	0.003250	17671.459	19.806	-0.000002	0.003248



Gambar L.20 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-1-D2
Diketahui,

$$S_2 = 9.009$$

$$S_1 = 0.707$$

$$\epsilon_2 = 0.000681$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-1-D2 = 13151.967 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (52 dari 71)

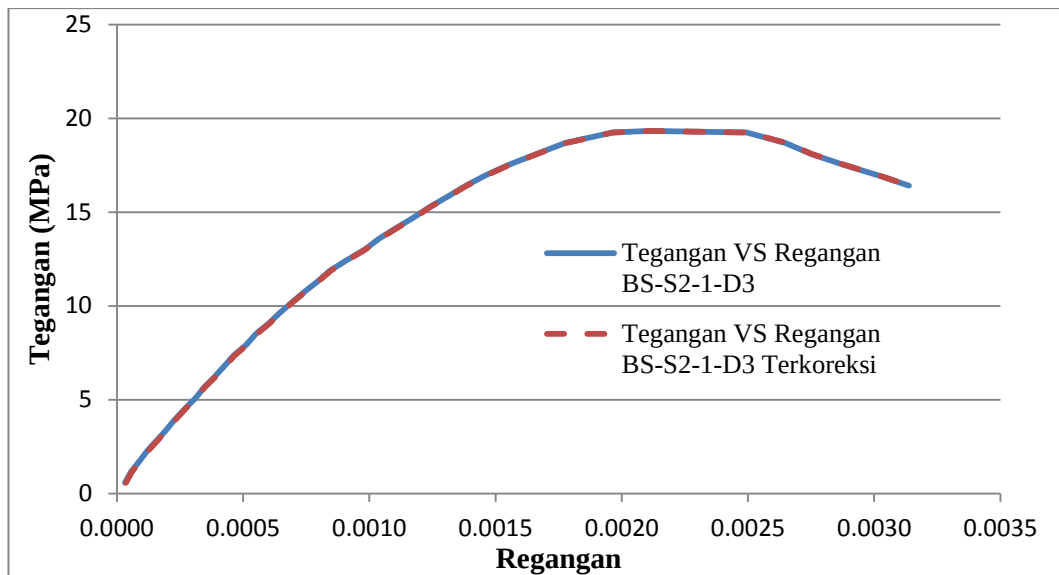
Tabel L.64 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-1-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	13	0.013	0.007	200	0.000033	17671.459	0.566	0.000003	0.000036
2	20	22	0.022	0.011	200	0.000055	17671.459	1.132	0.000003	0.000058
3	30	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	1.698	0.000003	0.000091
4	40	48	0.048	0.024	200	0.000120	17671.459	2.264	0.000003	0.000123
5	50	63	0.063	0.032	200	0.000158	17671.459	2.829	0.000003	0.000161
6	60	78	0.078	0.039	200	0.000195	17671.459	3.395	0.000003	0.000198
7	70	92	0.092	0.046	200	0.000230	17671.459	3.961	0.000003	0.000233
8	80	108	0.108	0.054	200	0.000270	17671.459	4.527	0.000003	0.000273
9	90	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	5.093	0.000003	0.000316
10	100	138	0.138	0.069	200	0.000345	17671.459	5.659	0.000003	0.000348
11	110	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	6.225	0.000003	0.000391
12	120	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	6.791	0.000003	0.000428
13	130	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	7.356	0.000003	0.000466
14	140	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	7.922	0.000003	0.000516
15	150	220	0.220	0.110	200	0.000550	17671.459	8.488	0.000003	0.000553
16	160	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	9.054	0.000003	0.000603
17	170	258	0.258	0.129	200	0.000645	17671.459	9.620	0.000003	0.000648
18	180	277	0.277	0.139	200	0.000693	17671.459	10.186	0.000003	0.000696
19	190	297	0.297	0.149	200	0.000743	17671.459	10.752	0.000003	0.000746
20	200	318	0.318	0.159	200	0.000795	17671.459	11.318	0.000003	0.000798
21	210	338	0.338	0.169	200	0.000845	17671.459	11.884	0.000003	0.000848
22	220	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	12.449	0.000003	0.000916
23	230	393	0.393	0.197	200	0.000983	17671.459	13.015	0.000003	0.000986
24	240	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	13.581	0.000003	0.001041
25	250	442	0.442	0.221	200	0.001105	17671.459	14.147	0.000003	0.001108
26	260	470	0.470	0.235	200	0.001175	17671.459	14.713	0.000003	0.001178
27	270	496	0.496	0.248	200	0.001240	17671.459	15.279	0.000003	0.001243
28	280	525	0.525	0.263	200	0.001313	17671.459	15.845	0.000003	0.001316
29	290	553	0.553	0.277	200	0.001383	17671.459	16.411	0.000003	0.001386
30	300	585	0.585	0.293	200	0.001463	17671.459	16.977	0.000003	0.001466
31	310	622	0.622	0.311	200	0.001555	17671.459	17.542	0.000003	0.001558
32	320	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	18.108	0.000003	0.001666
33	330	710	0.710	0.355	200	0.001775	17671.459	18.674	0.000003	0.001778
34	340	785	0.785	0.393	200	0.001963	17671.459	19.240	0.000003	0.001966
35	341.5	844	0.844	0.422	200	0.002110	17671.459	19.325	0.000003	0.002113
36	340	998	0.998	0.499	200	0.002495	17671.459	19.240	0.000003	0.002498

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (53 dari 71)

Lanjutan Tabel L.64 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-1-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	330	1060	1.060	0.530	200	0.002650	17671.459	18.674	0.000003	0.002653
38	320	1100	1.100	0.550	200	0.002750	17671.459	18.108	0.000003	0.002753
39	310	1150	1.150	0.575	200	0.002875	17671.459	17.542	0.000003	0.002878
40	300	1205	1.205	0.603	200	0.003013	17671.459	16.977	0.000003	0.003016
41	290	1255	1.255	0.628	200	0.003138	17671.459	16.411	0.000003	0.003141



Gambar L.21 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-1-D3
Diketahui,

$$S_2 = 7.730$$

$$S_1 = 0,922$$

$$\epsilon_2 = 0,000499$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-1-D3 = 15167,762 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (54 dari 71)

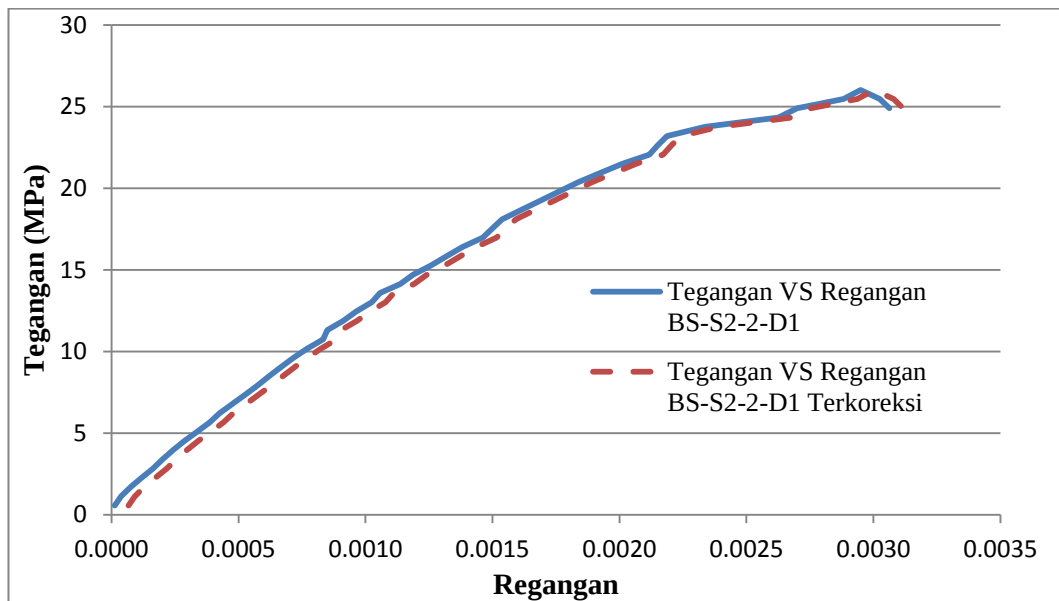
Tabel L.65 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	5	0.005	0.003	200	0.000013	17671.459	0.566	0.000054	0.000067
2	20	15	0.015	0.008	200	0.000038	17671.459	1.132	0.000054	0.000092
3	30	30	0.030	0.015	200	0.000075	17671.459	1.698	0.000054	0.000129
4	40	47	0.047	0.024	200	0.000118	17671.459	2.264	0.000054	0.000172
5	50	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	2.829	0.000054	0.000217
6	60	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	3.395	0.000054	0.000254
7	70	97	0.097	0.049	200	0.000243	17671.459	3.961	0.000054	0.000297
8	80	115	0.115	0.058	200	0.000288	17671.459	4.527	0.000054	0.000342
9	90	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	5.093	0.000054	0.000392
10	100	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	5.659	0.000054	0.000442
11	110	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	6.225	0.000054	0.000479
12	120	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	6.791	0.000054	0.000529
13	130	210	0.210	0.105	200	0.000525	17671.459	7.356	0.000054	0.000579
14	140	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	7.922	0.000054	0.000629
15	150	248	0.248	0.124	200	0.000620	17671.459	8.488	0.000054	0.000674
16	160	267	0.267	0.134	200	0.000668	17671.459	9.054	0.000054	0.000722
17	170	287	0.287	0.144	200	0.000718	17671.459	9.620	0.000054	0.000772
18	180	308	0.308	0.154	200	0.000770	17671.459	10.186	0.000054	0.000824
19	190	333	0.333	0.167	200	0.000833	17671.459	10.752	0.000054	0.000887
20	200	340	0.340	0.170	200	0.000850	17671.459	11.318	0.000054	0.000904
21	210	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	11.884	0.000054	0.000967
22	220	385	0.385	0.193	200	0.000963	17671.459	12.449	0.000054	0.001017
23	230	410	0.410	0.205	200	0.001025	17671.459	13.015	0.000054	0.001079
24	240	423	0.423	0.212	200	0.001058	17671.459	13.581	0.000054	0.001112
25	250	455	0.455	0.228	200	0.001138	17671.459	14.147	0.000054	0.001192
26	260	475	0.475	0.238	200	0.001188	17671.459	14.713	0.000054	0.001242
27	270	503	0.503	0.252	200	0.001258	17671.459	15.279	0.000054	0.001312
28	280	528	0.528	0.264	200	0.001320	17671.459	15.845	0.000054	0.001374
29	290	553	0.553	0.277	200	0.001383	17671.459	16.411	0.000054	0.001437
30	300	585	0.585	0.293	200	0.001463	17671.459	16.977	0.000054	0.001517
31	310	600	0.600	0.300	200	0.001500	17671.459	17.542	0.000054	0.001554
32	320	615	0.615	0.308	200	0.001538	17671.459	18.108	0.000054	0.001592
33	330	645	0.645	0.323	200	0.001613	17671.459	18.674	0.000054	0.001667
34	340	675	0.675	0.338	200	0.001688	17671.459	19.240	0.000054	0.001742
35	350	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	19.806	0.000054	0.001817
36	360	735	0.735	0.368	200	0.001838	17671.459	20.372	0.000054	0.001892

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (55 dari 71)

Lanjutan Tabel L.65 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D1 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	770	0.770	0.385	200	0.001925	17671.459	20.938	0.000054	0.001979
38	380	805	0.805	0.403	200	0.002013	17671.459	21.504	0.000054	0.002067
39	390	847	0.847	0.424	200	0.002118	17671.459	22.069	0.000054	0.002172
40	400	860	0.860	0.430	200	0.002150	17671.459	22.635	0.000054	0.002204
41	410	875	0.875	0.438	200	0.002188	17671.459	23.201	0.000054	0.002242
42	420	935	0.935	0.468	200	0.002338	17671.459	23.767	0.000054	0.002392
43	430	1050	1.050	0.525	200	0.002625	17671.459	24.333	0.000054	0.002679
44	440	1080	1.080	0.540	200	0.002700	17671.459	24.899	0.000054	0.002754
45	450	1153	1.153	0.577	200	0.002883	17671.459	25.465	0.000054	0.002937
46	460	1180	1.180	0.590	200	0.002950	17671.459	26.031	0.000054	0.003004
47	450	1210	1.210	0.605	200	0.003025	17671.459	25.465	0.000054	0.003079
48	440	1225	1.225	0.613	200	0.003063	17671.459	24.899	0.000054	0.003117



Gambar L.22 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-2-D1

Diketahui,

$$S_2 = 10.412$$

$$S_1 = 0.425$$

$$\epsilon_2 = 0.000849$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-2-D1 = 12498.638 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (56 dari 71)

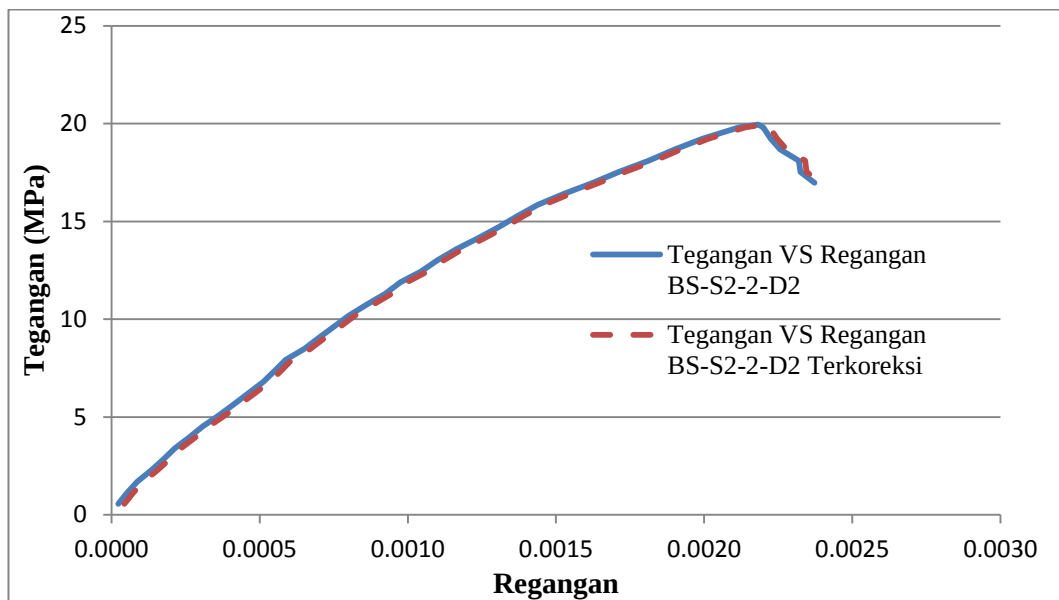
Tabel L.66 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	9	0.009	0.005	200	0.000023	17671.459	0.566	0.000021	0.000043
2	20	21	0.021	0.011	200	0.000053	17671.459	1.132	0.000021	0.000073
3	30	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	1.698	0.000021	0.000108
4	40	53	0.053	0.027	200	0.000133	17671.459	2.264	0.000021	0.000153
5	50	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	2.829	0.000021	0.000196
6	60	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	3.395	0.000021	0.000233
7	70	105	0.105	0.053	200	0.000263	17671.459	3.961	0.000021	0.000283
8	80	123	0.123	0.062	200	0.000308	17671.459	4.527	0.000021	0.000328
9	90	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.093	0.000021	0.000383
10	100	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	5.659	0.000021	0.000433
11	110	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	6.225	0.000021	0.000483
12	120	205	0.205	0.103	200	0.000513	17671.459	6.791	0.000021	0.000533
13	130	220	0.220	0.110	200	0.000550	17671.459	7.356	0.000021	0.000571
14	140	235	0.235	0.118	200	0.000588	17671.459	7.922	0.000021	0.000608
15	150	260	0.260	0.130	200	0.000650	17671.459	8.488	0.000021	0.000671
16	160	280	0.280	0.140	200	0.000700	17671.459	9.054	0.000021	0.000721
17	170	300	0.300	0.150	200	0.000750	17671.459	9.620	0.000021	0.000771
18	180	320	0.320	0.160	200	0.000800	17671.459	10.186	0.000021	0.000821
19	190	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	10.752	0.000021	0.000883
20	200	370	0.370	0.185	200	0.000925	17671.459	11.318	0.000021	0.000946
21	210	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	11.884	0.000021	0.000996
22	220	418	0.418	0.209	200	0.001045	17671.459	12.449	0.000021	0.001066
23	230	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	13.015	0.000021	0.001121
24	240	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	13.581	0.000021	0.001183
25	250	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	14.147	0.000021	0.001258
26	260	523	0.523	0.262	200	0.001308	17671.459	14.713	0.000021	0.001328
27	270	548	0.548	0.274	200	0.001370	17671.459	15.279	0.000021	0.001391
28	280	575	0.575	0.288	200	0.001438	17671.459	15.845	0.000021	0.001458
29	290	610	0.610	0.305	200	0.001525	17671.459	16.411	0.000021	0.001546
30	300	650	0.650	0.325	200	0.001625	17671.459	16.977	0.000021	0.001646
31	310	685	0.685	0.343	200	0.001713	17671.459	17.542	0.000021	0.001733
32	320	725	0.725	0.363	200	0.001813	17671.459	18.108	0.000021	0.001833
33	330	760	0.760	0.380	200	0.001900	17671.459	18.674	0.000021	0.001921
34	340	798	0.798	0.399	200	0.001995	17671.459	19.240	0.000021	0.002016
35	350	847	0.847	0.424	200	0.002118	17671.459	19.806	0.000021	0.002138
36	352.6	873	0.873	0.437	200	0.002183	17671.459	19.953	0.000021	0.002203

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (57 dari 71)

Lanjutan Tabel L.66 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	350	880	0.880	0.440	200	0.002200	17671.459	19.806	0.000021	0.002221
38	340	890	0.890	0.445	200	0.002225	17671.459	19.240	0.000021	0.002246
39	330	903	0.903	0.452	200	0.002258	17671.459	18.674	0.000021	0.002278
40	320	928	0.928	0.464	200	0.002320	17671.459	18.108	0.000021	0.002341
41	310	930	0.930	0.465	200	0.002325	17671.459	17.542	0.000021	0.002346
42	300	949	0.949	0.475	200	0.002373	17671.459	16.977	0.000021	0.002393



Gambar L.23 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-2-D2 Diketahui,

$$S_2 = 7.981$$

$$S_1 = 0.689$$

$$\epsilon_2 = 0.000615$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-2-D2 = 12907.097 Mpa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (58 dari 71)

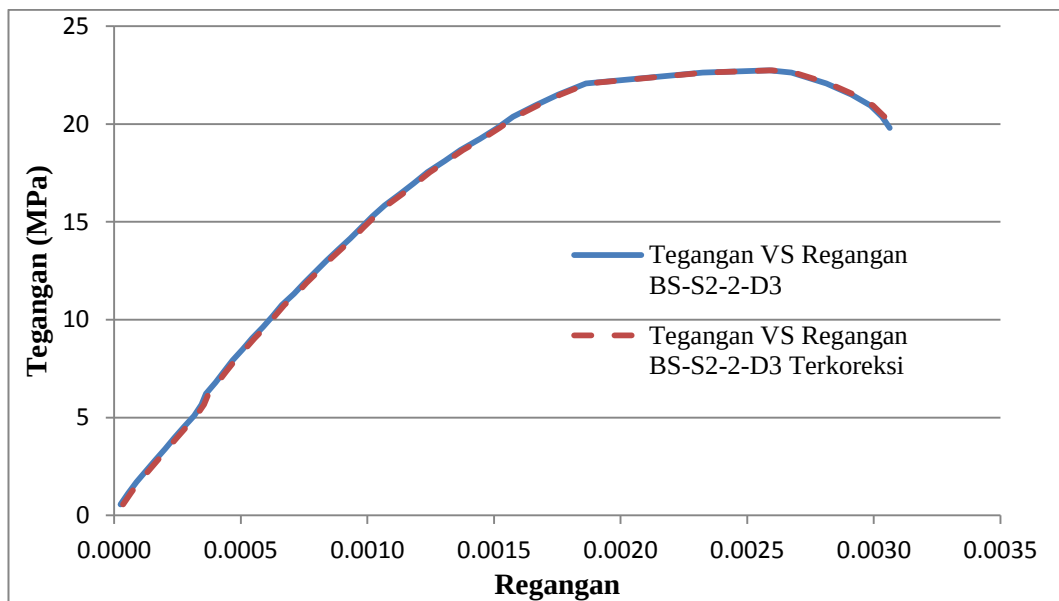
Tabel L.67 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	10	0.010	0.005	200	0.000025	17671.459	0.566	0.000010	0.000035
2	20	22	0.022	0.011	200	0.000055	17671.459	1.132	0.000010	0.000065
3	30	35	0.035	0.018	200	0.000088	17671.459	1.698	0.000010	0.000097
4	40	50	0.050	0.025	200	0.000125	17671.459	2.264	0.000010	0.000135
5	50	65	0.065	0.033	200	0.000163	17671.459	2.829	0.000010	0.000172
6	60	80	0.080	0.040	200	0.000200	17671.459	3.395	0.000010	0.000210
7	70	95	0.095	0.048	200	0.000238	17671.459	3.961	0.000010	0.000247
8	80	110	0.110	0.055	200	0.000275	17671.459	4.527	0.000010	0.000285
9	90	126	0.126	0.063	200	0.000315	17671.459	5.093	0.000010	0.000325
10	100	138	0.138	0.069	200	0.000345	17671.459	5.659	0.000010	0.000355
11	110	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	6.225	0.000010	0.000372
12	120	160	0.160	0.080	200	0.000400	17671.459	6.791	0.000010	0.000410
13	130	173	0.173	0.087	200	0.000433	17671.459	7.356	0.000010	0.000442
14	140	187	0.187	0.094	200	0.000468	17671.459	7.922	0.000010	0.000477
15	150	203	0.203	0.102	200	0.000508	17671.459	8.488	0.000010	0.000517
16	160	218	0.218	0.109	200	0.000545	17671.459	9.054	0.000010	0.000555
17	170	235	0.235	0.118	200	0.000588	17671.459	9.620	0.000010	0.000597
18	180	250	0.250	0.125	200	0.000625	17671.459	10.186	0.000010	0.000635
19	190	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	10.752	0.000010	0.000672
20	200	284	0.284	0.142	200	0.000710	17671.459	11.318	0.000010	0.000720
21	210	300	0.300	0.150	200	0.000750	17671.459	11.884	0.000010	0.000760
22	220	318	0.318	0.159	200	0.000795	17671.459	12.449	0.000010	0.000805
23	230	335	0.335	0.168	200	0.000838	17671.459	13.015	0.000010	0.000847
24	240	354	0.354	0.177	200	0.000885	17671.459	13.581	0.000010	0.000895
25	250	373	0.373	0.187	200	0.000933	17671.459	14.147	0.000010	0.000942
26	260	390	0.390	0.195	200	0.000975	17671.459	14.713	0.000010	0.000985
27	270	408	0.408	0.204	200	0.001020	17671.459	15.279	0.000010	0.001030
28	280	427	0.427	0.214	200	0.001068	17671.459	15.845	0.000010	0.001077
29	290	451	0.451	0.226	200	0.001128	17671.459	16.411	0.000010	0.001137
30	300	473	0.473	0.237	200	0.001183	17671.459	16.977	0.000010	0.001192
31	310	495	0.495	0.248	200	0.001238	17671.459	17.542	0.000010	0.001247
32	320	522	0.522	0.261	200	0.001305	17671.459	18.108	0.000010	0.001315
33	330	547	0.547	0.274	200	0.001368	17671.459	18.674	0.000010	0.001377
34	340	578	0.578	0.289	200	0.001445	17671.459	19.240	0.000010	0.001455
35	350	605	0.605	0.303	200	0.001513	17671.459	19.806	0.000010	0.001522
36	360	630	0.630	0.315	200	0.001575	17671.459	20.372	0.000010	0.001585

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (59 dari 71)

Lanjutan Tabel L.67 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-2-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	665	0.665	0.333	200	0.001663	17671.459	20.938	0.000010	0.001672
38	380	701	0.701	0.351	200	0.001753	17671.459	21.504	0.000010	0.001762
39	390	745	0.745	0.373	200	0.001863	17671.459	22.069	0.000010	0.001872
40	400	930	0.930	0.465	200	0.002325	17671.459	22.635	0.000010	0.002335
41	401.8	1035	1.035	0.518	200	0.002588	17671.459	22.737	0.000010	0.002597
42	400	1070	1.070	0.535	200	0.002675	17671.459	22.635	0.000010	0.002685
43	390	1125	1.125	0.563	200	0.002813	17671.459	22.069	0.000010	0.002822
44	380	1165	1.165	0.583	200	0.002913	17671.459	21.504	0.000010	0.002922
45	370	1195	1.195	0.598	200	0.002988	17671.459	20.938	0.000010	0.002997
46	360	1213	1.213	0.607	200	0.003033	17671.459	20.372	0.000010	0.003042
47	350	1225	1.225	0.613	200	0.003063	17671.459	19.806	0.000010	0.003072



Gambar L.24 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-2-D3
Diketahui,

$$S_2 = 9.095$$

$$S_1 = 0.855$$

$$\epsilon_2 = 0.000558$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-2-D3 = 16228.767 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (60 dari 71)

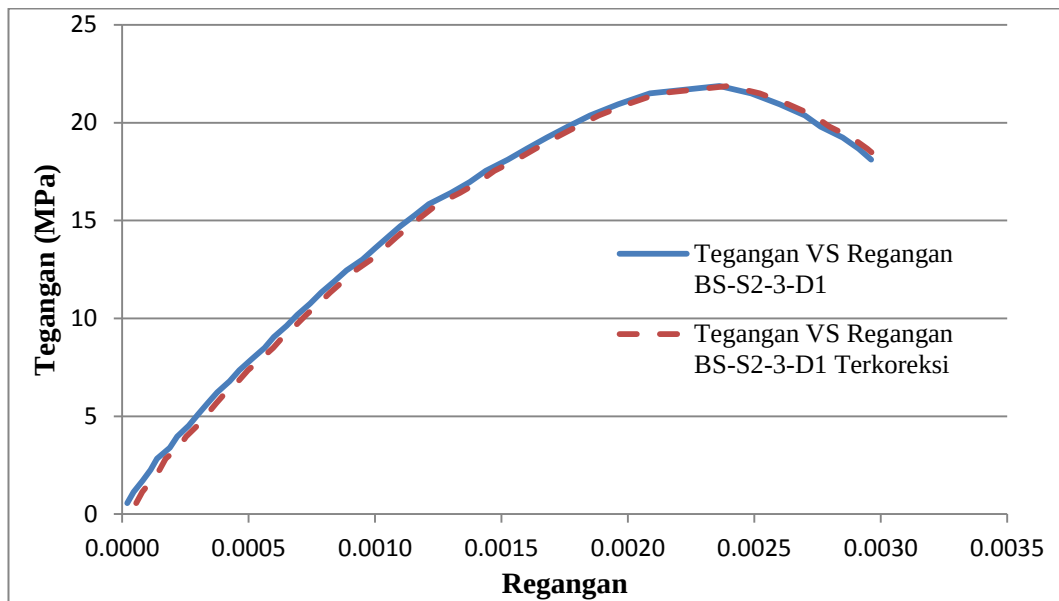
Tabel L.68 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	8	0.008	0.004	200	0.00002	17671.459	0.566	0.00003	0.00005
2	20	18	0.018	0.009	200	0.00005	17671.459	1.132	0.00003	0.00008
3	30	32	0.032	0.016	200	0.00008	17671.459	1.698	0.00003	0.00011
4	40	45	0.045	0.023	200	0.00011	17671.459	2.264	0.00003	0.00015
5	50	55	0.055	0.028	200	0.00014	17671.459	2.829	0.00003	0.00017
6	60	75	0.075	0.038	200	0.00019	17671.459	3.395	0.00003	0.00022
7	70	87	0.087	0.044	200	0.00022	17671.459	3.961	0.00003	0.00025
8	80	105	0.105	0.053	200	0.00026	17671.459	4.527	0.00003	0.00030
9	90	120	0.120	0.060	200	0.00030	17671.459	5.093	0.00003	0.00033
10	100	135	0.135	0.068	200	0.00034	17671.459	5.659	0.00003	0.00037
11	110	150	0.150	0.075	200	0.00038	17671.459	6.225	0.00003	0.00041
12	120	170	0.170	0.085	200	0.00043	17671.459	6.791	0.00003	0.00046
13	130	185	0.185	0.093	200	0.00046	17671.459	7.356	0.00003	0.00050
14	140	205	0.205	0.103	200	0.00051	17671.459	7.922	0.00003	0.00055
15	150	225	0.225	0.113	200	0.00056	17671.459	8.488	0.00003	0.00060
16	160	240	0.240	0.120	200	0.00060	17671.459	9.054	0.00003	0.00063
17	170	260	0.260	0.130	200	0.00065	17671.459	9.620	0.00003	0.00068
18	180	277	0.277	0.139	200	0.00069	17671.459	10.186	0.00003	0.00073
19	190	297	0.297	0.149	200	0.00074	17671.459	10.752	0.00003	0.00078
20	200	315	0.315	0.158	200	0.00079	17671.459	11.318	0.00003	0.00082
21	210	335	0.335	0.168	200	0.00084	17671.459	11.884	0.00003	0.00087
22	220	355	0.355	0.178	200	0.00089	17671.459	12.449	0.00003	0.00092
23	230	380	0.380	0.190	200	0.00095	17671.459	13.015	0.00003	0.00098
24	240	400	0.400	0.200	200	0.00100	17671.459	13.581	0.00003	0.00103
25	250	420	0.420	0.210	200	0.00105	17671.459	14.147	0.00003	0.00108
26	260	440	0.440	0.220	200	0.00110	17671.459	14.713	0.00003	0.00113
27	270	463	0.463	0.232	200	0.00116	17671.459	15.279	0.00003	0.00119
28	280	485	0.485	0.243	200	0.00121	17671.459	15.845	0.00003	0.00125
29	290	520	0.520	0.260	200	0.00130	17671.459	16.411	0.00003	0.00133
30	300	550	0.550	0.275	200	0.00138	17671.459	16.977	0.00003	0.00141
31	310	575	0.575	0.288	200	0.00144	17671.459	17.542	0.00003	0.00147
32	320	610	0.610	0.305	200	0.00153	17671.459	18.108	0.00003	0.00156
33	330	640	0.640	0.320	200	0.00160	17671.459	18.674	0.00003	0.00163
34	340	672	0.672	0.336	200	0.00168	17671.459	19.240	0.00003	0.00171
35	350	705	0.705	0.353	200	0.00176	17671.459	19.806	0.00003	0.00180
36	360	740	0.740	0.370	200	0.00185	17671.459	20.372	0.00003	0.00188

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (61 dari 71)

Lanjutan Tabel L.68 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	785	0.785	0.393	200	0.00196	17671.459	20.938	0.00003	0.00200
38	380	835	0.835	0.418	200	0.00209	17671.459	21.504	0.00003	0.00212
39	386.7	945	0.945	0.473	200	0.00236	17671.459	21.883	0.00003	0.00240
40	380	995	0.995	0.498	200	0.00249	17671.459	21.504	0.00003	0.00252
41	370	1040	1.040	0.520	200	0.00260	17671.459	20.938	0.00003	0.00263
42	360	1080	1.080	0.540	200	0.00270	17671.459	20.372	0.00003	0.00273
43	350	1105	1.105	0.553	200	0.00276	17671.459	19.806	0.00003	0.00280
44	340	1140	1.140	0.570	200	0.00285	17671.459	19.240	0.00003	0.00288
45	330	1165	1.165	0.583	200	0.00291	17671.459	18.674	0.00003	0.00295
46	320	1185	1.185	0.593	200	0.00296	17671.459	18.108	0.00003	0.00300



Gambar L.25 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-3-D1
Diketahui,

$$S_2 = 8.753$$

$$S_1 = 0.518$$

$$\epsilon_2 = 0.000615$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S5-D2 = 14583.919 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (62 dari 71)

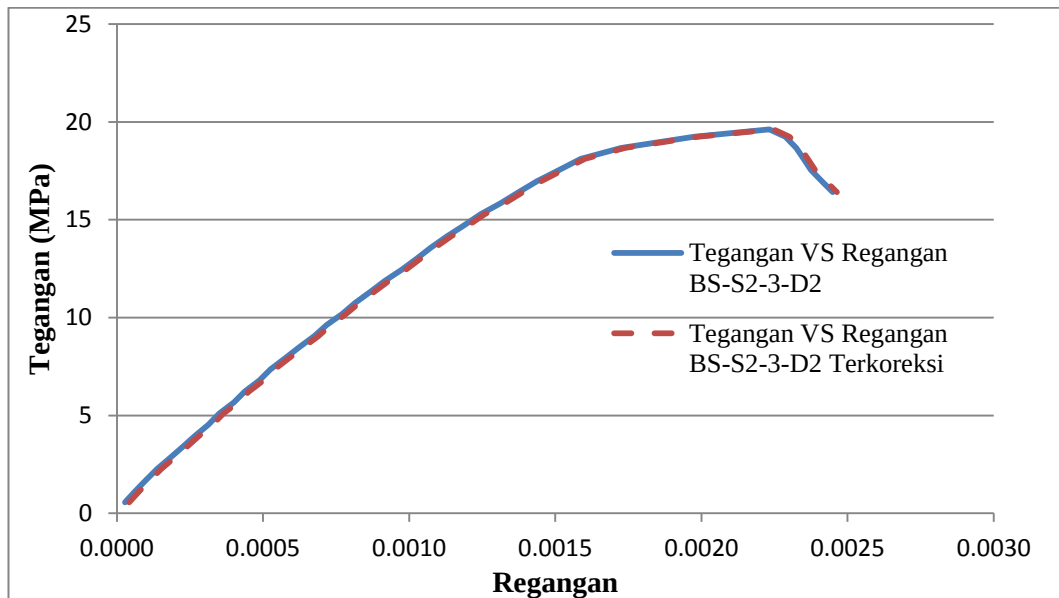
Tabel L.69 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	11	0.011	0.006	200	0.0000275	17671.459	0.566	0.0000140	0.0000415
2	20	25	0.025	0.013	200	0.0000625	17671.459	1.132	0.0000140	0.0000765
3	30	40	0.040	0.020	200	0.0001000	17671.459	1.698	0.0000140	0.0001140
4	40	55	0.055	0.028	200	0.0001375	17671.459	2.264	0.0000140	0.0001515
5	50	73	0.073	0.037	200	0.0001825	17671.459	2.829	0.0000140	0.0001965
6	60	90	0.090	0.045	200	0.0002250	17671.459	3.395	0.0000140	0.0002390
7	70	107	0.107	0.054	200	0.0002675	17671.459	3.961	0.0000140	0.0002815
8	80	125	0.125	0.063	200	0.0003125	17671.459	4.527	0.0000140	0.0003265
9	90	140	0.140	0.070	200	0.0003500	17671.459	5.093	0.0000140	0.0003640
10	100	160	0.160	0.080	200	0.0004000	17671.459	5.659	0.0000140	0.0004140
11	110	175	0.175	0.088	200	0.0004375	17671.459	6.225	0.0000140	0.0004515
12	120	195	0.195	0.098	200	0.0004875	17671.459	6.791	0.0000140	0.0005015
13	130	210	0.210	0.105	200	0.0005250	17671.459	7.356	0.0000140	0.0005390
14	140	230	0.230	0.115	200	0.0005750	17671.459	7.922	0.0000140	0.0005890
15	150	250	0.250	0.125	200	0.0006250	17671.459	8.488	0.0000140	0.0006390
16	160	270	0.270	0.135	200	0.0006750	17671.459	9.054	0.0000140	0.0006890
17	170	287	0.287	0.144	200	0.0007175	17671.459	9.620	0.0000140	0.0007315
18	180	308	0.308	0.154	200	0.0007700	17671.459	10.186	0.0000140	0.0007840
19	190	326	0.326	0.163	200	0.0008150	17671.459	10.752	0.0000140	0.0008290
20	200	347	0.347	0.174	200	0.0008675	17671.459	11.318	0.0000140	0.0008815
21	210	367	0.367	0.184	200	0.0009175	17671.459	11.884	0.0000140	0.0009315
22	220	390	0.390	0.195	200	0.0009750	17671.459	12.449	0.0000140	0.0009890
23	230	410	0.410	0.205	200	0.0010250	17671.459	13.015	0.0000140	0.0010390
24	240	430	0.430	0.215	200	0.0010750	17671.459	13.581	0.0000140	0.0010890
25	250	452	0.452	0.226	200	0.0011300	17671.459	14.147	0.0000140	0.0011440
26	260	475	0.475	0.238	200	0.0011875	17671.459	14.713	0.0000140	0.0012015
27	270	498	0.498	0.249	200	0.0012450	17671.459	15.279	0.0000140	0.0012590
28	280	525	0.525	0.263	200	0.0013125	17671.459	15.845	0.0000140	0.0013265
29	290	550	0.550	0.275	200	0.0013750	17671.459	16.411	0.0000140	0.0013890
30	300	575	0.575	0.288	200	0.0014375	17671.459	16.977	0.0000140	0.0014515
31	310	605	0.605	0.303	200	0.0015125	17671.459	17.542	0.0000140	0.0015265
32	320	635	0.635	0.318	200	0.0015875	17671.459	18.108	0.0000140	0.0016015
33	330	690	0.690	0.345	200	0.0017250	17671.459	18.674	0.0000140	0.0017390
34	340	790	0.790	0.395	200	0.0019750	17671.459	19.240	0.0000140	0.0019890
35	346.7	893	0.893	0.447	200	0.0022325	17671.459	19.619	0.0000140	0.0022465
36	340	915	0.915	0.458	200	0.0022875	17671.459	19.240	0.0000140	0.0023015

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (63 dari 71)

Lanjutan Tabel L.69 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D2 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	330	930	0.930	0.465	200	0.0023250	17671.459	18.674	0.0000140	0.0023390
38	320	940	0.940	0.470	200	0.0023500	17671.459	18.108	0.0000140	0.0023640
39	310	950	0.950	0.475	200	0.0023750	17671.459	17.542	0.0000140	0.0023890
40	300	965	0.965	0.483	200	0.0024125	17671.459	16.977	0.0000140	0.0024265
41	290	980	0.980	0.490	200	0.0024500	17671.459	16.411	0.0000140	0.0024640



Gambar L.26 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-3-D2

Diketahui,

$$S_2 = 7.848$$

$$S_1 = 0.704$$

$$\epsilon_2 = 0.000582$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-3-D2 = 13418.961 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (64 dari 71)

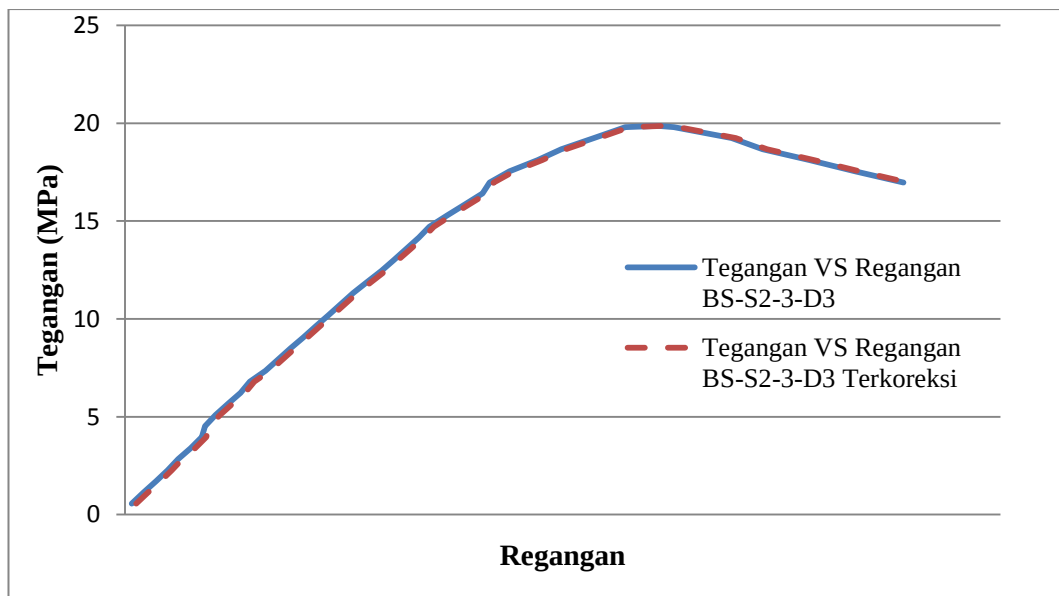
Tabel L.70 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			($\times 10^{-3}$ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	11	0.011	0.006	200	0.000028	17671.459	0.566	0.000018	0.000045
2	20	30	0.030	0.015	200	0.000075	17671.459	1.132	0.000018	0.000093
3	30	50	0.050	0.025	200	0.000125	17671.459	1.698	0.000018	0.000143
4	40	68	0.068	0.034	200	0.000170	17671.459	2.264	0.000018	0.000188
5	50	85	0.085	0.043	200	0.000213	17671.459	2.829	0.000018	0.000230
6	60	105	0.105	0.053	200	0.000263	17671.459	3.395	0.000018	0.000280
7	70	123	0.123	0.062	200	0.000308	17671.459	3.961	0.000018	0.000325
8	80	128	0.128	0.064	200	0.000320	17671.459	4.527	0.000018	0.000338
9	90	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.093	0.000018	0.000380
10	100	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	5.659	0.000018	0.000430
11	110	185	0.185	0.093	200	0.000463	17671.459	6.225	0.000018	0.000480
12	120	200	0.200	0.100	200	0.000500	17671.459	6.791	0.000018	0.000518
13	130	225	0.225	0.113	200	0.000563	17671.459	7.356	0.000018	0.000580
14	140	245	0.245	0.123	200	0.000613	17671.459	7.922	0.000018	0.000630
15	150	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	8.488	0.000018	0.000680
16	160	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	9.054	0.000018	0.000730
17	170	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	9.620	0.000018	0.000780
18	180	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	10.186	0.000018	0.000830
19	190	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	10.752	0.000018	0.000880
20	200	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	11.318	0.000018	0.000930
21	210	387	0.387	0.194	200	0.000968	17671.459	11.884	0.000018	0.000985
22	220	410	0.410	0.205	200	0.001025	17671.459	12.449	0.000018	0.001043
23	230	430	0.430	0.215	200	0.001075	17671.459	13.015	0.000018	0.001093
24	240	450	0.450	0.225	200	0.001125	17671.459	13.581	0.000018	0.001143
25	250	470	0.470	0.235	200	0.001175	17671.459	14.147	0.000018	0.001193
26	260	487	0.487	0.244	200	0.001218	17671.459	14.713	0.000018	0.001235
27	270	515	0.515	0.258	200	0.001288	17671.459	15.279	0.000018	0.001305
28	280	543	0.543	0.272	200	0.001358	17671.459	15.845	0.000018	0.001375
29	290	572	0.572	0.286	200	0.001430	17671.459	16.411	0.000018	0.001448
30	300	583	0.583	0.292	200	0.001458	17671.459	16.977	0.000018	0.001475
31	310	615	0.615	0.308	200	0.001538	17671.459	17.542	0.000018	0.001555
32	320	660	0.660	0.330	200	0.001650	17671.459	18.108	0.000018	0.001668
33	330	698	0.698	0.349	200	0.001745	17671.459	18.674	0.000018	0.001763
34	340	750	0.750	0.375	200	0.001875	17671.459	19.240	0.000018	0.001893
35	350	800	0.800	0.400	200	0.002000	17671.459	19.806	0.000018	0.002018
36	351.1	853	0.853	0.427	200	0.002133	17671.459	19.868	0.000018	0.002150

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (65 dari 71)

Lanjutan Tabel L.70 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-3-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	350	878	0.878	0.439	200	0.002195	17671.459	19.806	0.000018	0.002213
38	340	970	0.970	0.485	200	0.002425	17671.459	19.240	0.000018	0.002443
39	330	1020	1.020	0.510	200	0.002550	17671.459	18.674	0.000018	0.002568
40	320	1095	1.095	0.548	200	0.002738	17671.459	18.108	0.000018	0.002755
41	310	1168	1.168	0.584	200	0.002920	17671.459	17.542	0.000018	0.002938
42	300	1245	1.245	0.6225	200	0.003113	17671.459	16.977	0.000018	0.003130



Gambar L.27 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-3-D3

Diketahui,

$$S_2 = 7.947$$

$$S_1 = 0.625$$

$$\epsilon_2 = 0.000632$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-3-D3 = 12576.138 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (66 dari 71)

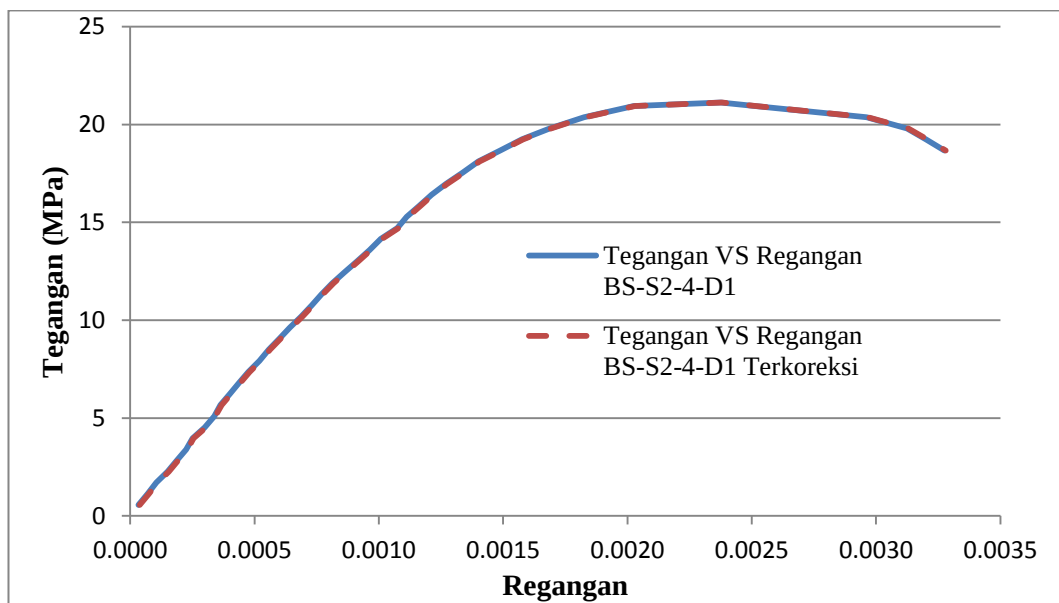
Tabel L.71 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D1 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	13	0.013	0.007	200	0.000033	17671.459	0.566	0.000005	0.000038
2	20	28	0.028	0.014	200	0.000070	17671.459	1.132	0.000005	0.000075
3	30	42	0.042	0.021	200	0.000105	17671.459	1.698	0.000005	0.000110
4	40	60	0.060	0.030	200	0.000150	17671.459	2.264	0.000005	0.000155
5	50	75	0.075	0.038	200	0.000188	17671.459	2.829	0.000005	0.000193
6	60	90	0.090	0.045	200	0.000225	17671.459	3.395	0.000005	0.000230
7	70	100	0.100	0.050	200	0.000250	17671.459	3.961	0.000005	0.000255
8	80	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	4.527	0.000005	0.000305
9	90	135	0.135	0.068	200	0.000338	17671.459	5.093	0.000005	0.000343
10	100	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.659	0.000005	0.000368
11	110	160	0.160	0.080	200	0.000400	17671.459	6.225	0.000005	0.000405
12	120	175	0.175	0.088	200	0.000438	17671.459	6.791	0.000005	0.000443
13	130	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	7.356	0.000005	0.000480
14	140	208	0.208	0.104	200	0.000520	17671.459	7.922	0.000005	0.000525
15	150	223	0.223	0.112	200	0.000558	17671.459	8.488	0.000005	0.000563
16	160	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	9.054	0.000005	0.000605
17	170	257	0.257	0.129	200	0.000643	17671.459	9.620	0.000005	0.000648
18	180	275	0.275	0.138	200	0.000688	17671.459	10.186	0.000005	0.000693
19	190	292	0.292	0.146	200	0.000730	17671.459	10.752	0.000005	0.000735
20	200	308	0.308	0.154	200	0.000770	17671.459	11.318	0.000005	0.000775
21	210	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	11.884	0.000005	0.000818
22	220	345	0.345	0.173	200	0.000863	17671.459	12.449	0.000005	0.000868
23	230	365	0.365	0.183	200	0.000913	17671.459	13.015	0.000005	0.000918
24	240	385	0.385	0.193	200	0.000963	17671.459	13.581	0.000005	0.000968
25	250	403	0.403	0.202	200	0.001008	17671.459	14.147	0.000005	0.001013
26	260	430	0.430	0.215	200	0.001075	17671.459	14.713	0.000005	0.001080
27	270	445	0.445	0.223	200	0.001113	17671.459	15.279	0.000005	0.001118
28	280	465	0.465	0.233	200	0.001163	17671.459	15.845	0.000005	0.001168
29	290	485	0.485	0.243	200	0.001213	17671.459	16.411	0.000005	0.001218
30	300	508	0.508	0.254	200	0.001270	17671.459	16.977	0.000005	0.001275
31	310	535	0.535	0.268	200	0.001338	17671.459	17.542	0.000005	0.001343
32	320	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	18.108	0.000005	0.001405
33	330	595	0.595	0.298	200	0.001488	17671.459	18.674	0.000005	0.001493
34	340	630	0.630	0.315	200	0.001575	17671.459	19.240	0.000005	0.001580
35	350	675	0.675	0.338	200	0.001688	17671.459	19.806	0.000005	0.001693
36	360	730	0.730	0.365	200	0.001825	17671.459	20.372	0.000005	0.001830

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (67 dari 71)

Lanjutan Tabel L.71 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D1 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	810	0.810	0.405	200	0.002025	17671.459	20.938	0.000005	0.002030
38	373.2	950	0.950	0.475	200	0.002375	17671.459	21.119	0.000005	0.002380
39	370	1005	1.005	0.503	200	0.002513	17671.459	20.938	0.000005	0.002518
40	360	1185	1.185	0.593	200	0.002963	17671.459	20.372	0.000005	0.002968
41	350	1250	1.250	0.625	200	0.003125	17671.459	19.806	0.000005	0.003130
42	340	1280	1.280	0.640	200	0.003200	17671.459	19.240	0.000005	0.003205
43	330	1310	1.310	0.655	200	0.003275	17671.459	18.674	0.000005	0.003280



Gambar L.28 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-4-D1
Diketahui,

$$S_2 = 8.448$$

$$S_1 = 0.755$$

$$\epsilon_2 = 0.000560$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-4-D1 = 15090.246 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (68 dari 71)

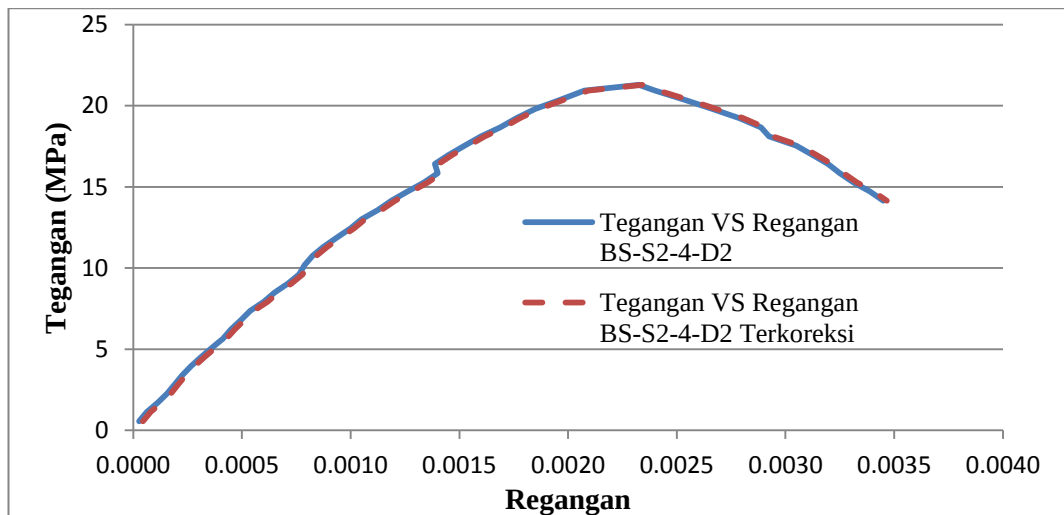
Tabel L.72 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			($\times 10^{-3}$ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	11	0.011	0.006	200	0.000028	17671.459	0.566	0.000017	0.000044
2	20	25	0.025	0.013	200	0.000063	17671.459	1.132	0.000017	0.000079
3	30	45	0.045	0.023	200	0.000113	17671.459	1.698	0.000017	0.000129
4	40	62	0.062	0.031	200	0.000155	17671.459	2.264	0.000017	0.000172
5	50	76	0.076	0.038	200	0.000190	17671.459	2.829	0.000017	0.000207
6	60	90	0.090	0.045	200	0.000225	17671.459	3.395	0.000017	0.000242
7	70	106	0.106	0.053	200	0.000265	17671.459	3.961	0.000017	0.000282
8	80	125	0.125	0.063	200	0.000313	17671.459	4.527	0.000017	0.000329
9	90	145	0.145	0.073	200	0.000363	17671.459	5.093	0.000017	0.000379
10	100	165	0.165	0.083	200	0.000413	17671.459	5.659	0.000017	0.000429
11	110	180	0.180	0.090	200	0.000450	17671.459	6.225	0.000017	0.000467
12	120	198	0.198	0.099	200	0.000495	17671.459	6.791	0.000017	0.000512
13	130	215	0.215	0.108	200	0.000538	17671.459	7.356	0.000017	0.000554
14	140	240	0.240	0.120	200	0.000600	17671.459	7.922	0.000017	0.000617
15	150	260	0.260	0.130	200	0.000650	17671.459	8.488	0.000017	0.000667
16	160	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	9.054	0.000017	0.000729
17	170	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	9.620	0.000017	0.000779
18	180	315	0.315	0.158	200	0.000788	17671.459	10.186	0.000017	0.000804
19	190	330	0.330	0.165	200	0.000825	17671.459	10.752	0.000017	0.000842
20	200	350	0.350	0.175	200	0.000875	17671.459	11.318	0.000017	0.000892
21	210	375	0.375	0.188	200	0.000938	17671.459	11.884	0.000017	0.000954
22	220	400	0.400	0.200	200	0.001000	17671.459	12.449	0.000017	0.001017
23	230	420	0.420	0.210	200	0.001050	17671.459	13.015	0.000017	0.001067
24	240	450	0.450	0.225	200	0.001125	17671.459	13.581	0.000017	0.001142
25	250	475	0.475	0.238	200	0.001188	17671.459	14.147	0.000017	0.001204
26	260	505	0.505	0.253	200	0.001263	17671.459	14.713	0.000017	0.001279
27	270	535	0.535	0.268	200	0.001338	17671.459	15.279	0.000017	0.001354
28	280	560	0.560	0.280	200	0.001400	17671.459	15.845	0.000017	0.001417
29	290	555	0.555	0.278	200	0.001388	17671.459	16.411	0.000017	0.001404
30	300	580	0.580	0.290	200	0.001450	17671.459	16.977	0.000017	0.001467
31	310	610	0.610	0.305	200	0.001525	17671.459	17.542	0.000017	0.001542
32	320	640	0.640	0.320	200	0.001600	17671.459	18.108	0.000017	0.001617
33	330	675	0.675	0.338	200	0.001688	17671.459	18.674	0.000017	0.001704
34	340	705	0.705	0.353	200	0.001763	17671.459	19.240	0.000017	0.001779
35	350	740	0.740	0.370	200	0.001850	17671.459	19.806	0.000017	0.001867
36	360	785	0.785	0.393	200	0.001963	17671.459	20.372	0.000017	0.001979

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (69 dari 71)

Lanjutan Tabel L.72 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D2 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	830	0.830	0.415	200	0.002075	17671.459	20.938	0.000017	0.002092
38	376.1	930	0.930	0.465	200	0.002325	17671.459	21.283	0.000017	0.002342
39	370	960	0.960	0.480	200	0.002400	17671.459	20.938	0.000017	0.002417
40	360	1015	1.015	0.508	200	0.002538	17671.459	20.372	0.000017	0.002554
41	350	1065	1.065	0.533	200	0.002663	17671.459	19.806	0.000017	0.002679
42	340	1115	1.115	0.558	200	0.002788	17671.459	19.240	0.000017	0.002804
43	330	1155	1.155	0.578	200	0.002888	17671.459	18.674	0.000017	0.002904
44	320	1170	1.170	0.585	200	0.002925	17671.459	18.108	0.000017	0.002942
45	310	1220	1.220	0.610	200	0.003050	17671.459	17.542	0.000017	0.003067
46	300	1250	1.250	0.625	200	0.003125	17671.459	16.977	0.000017	0.003142
47	290	1278	1.278	0.639	200	0.003195	17671.459	16.411	0.000017	0.003212
48	280	1300	1.300	0.650	200	0.003250	17671.459	15.845	0.000017	0.003267
49	270	1325	1.325	0.663	200	0.003313	17671.459	15.279	0.000017	0.003329
50	260	1355	1.355	0.678	200	0.003388	17671.459	14.713	0.000017	0.003404
51	250	1380	1.380	0.690	200	0.003450	17671.459	14.147	0.000017	0.003467



Gambar L.29 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-4-D2

Diketahui,

$$S_2 = 8.513$$

$$S_1 = 0.655$$

$$\epsilon_2 = 0.000670$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-4-D2 = 12679.676 MPa

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (70 dari 71)

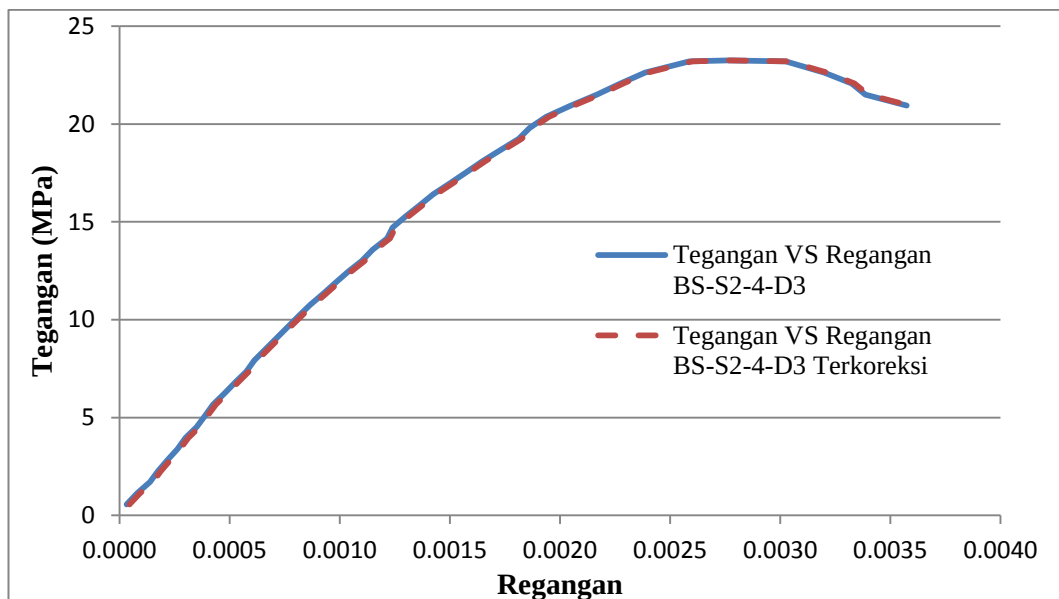
Tabel L.73 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D3 (Regangan Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL	L_0	ϵ	A	σ	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)	(mm)	(mm)		(mm ²)	(Mpa)		
1	10	13	0.013	0.007	200	0.000033	17671.459	0.566	0.000013	0.000045
2	20	32	0.032	0.016	200	0.000080	17671.459	1.132	0.000013	0.000093
3	30	55	0.055	0.028	200	0.000138	17671.459	1.698	0.000013	0.000150
4	40	70	0.070	0.035	200	0.000175	17671.459	2.264	0.000013	0.000188
5	50	87	0.087	0.044	200	0.000218	17671.459	2.829	0.000013	0.000230
6	60	105	0.105	0.053	200	0.000263	17671.459	3.395	0.000013	0.000275
7	70	120	0.120	0.060	200	0.000300	17671.459	3.961	0.000013	0.000313
8	80	140	0.140	0.070	200	0.000350	17671.459	4.527	0.000013	0.000363
9	90	155	0.155	0.078	200	0.000388	17671.459	5.093	0.000013	0.000400
10	100	170	0.170	0.085	200	0.000425	17671.459	5.659	0.000013	0.000438
11	110	190	0.190	0.095	200	0.000475	17671.459	6.225	0.000013	0.000488
12	120	210	0.210	0.105	200	0.000525	17671.459	6.791	0.000013	0.000538
13	130	230	0.230	0.115	200	0.000575	17671.459	7.356	0.000013	0.000588
14	140	245	0.245	0.123	200	0.000613	17671.459	7.922	0.000013	0.000625
15	150	265	0.265	0.133	200	0.000663	17671.459	8.488	0.000013	0.000675
16	160	285	0.285	0.143	200	0.000713	17671.459	9.054	0.000013	0.000725
17	170	305	0.305	0.153	200	0.000763	17671.459	9.620	0.000013	0.000775
18	180	325	0.325	0.163	200	0.000813	17671.459	10.186	0.000013	0.000825
19	190	346	0.346	0.173	200	0.000865	17671.459	10.752	0.000013	0.000878
20	200	370	0.370	0.185	200	0.000925	17671.459	11.318	0.000013	0.000938
21	210	392	0.392	0.196	200	0.000980	17671.459	11.884	0.000013	0.000993
22	220	415	0.415	0.208	200	0.001038	17671.459	12.449	0.000013	0.001050
23	230	440	0.440	0.220	200	0.001100	17671.459	13.015	0.000013	0.001113
24	240	460	0.460	0.230	200	0.001150	17671.459	13.581	0.000013	0.001163
25	250	486	0.486	0.243	200	0.001215	17671.459	14.147	0.000013	0.001228
26	260	496	0.496	0.248	200	0.001240	17671.459	14.713	0.000013	0.001253
27	270	520	0.520	0.260	200	0.001300	17671.459	15.279	0.000013	0.001313
28	280	545	0.545	0.273	200	0.001363	17671.459	15.845	0.000013	0.001375
29	290	570	0.570	0.285	200	0.001425	17671.459	16.411	0.000013	0.001438
30	300	600	0.600	0.300	200	0.001500	17671.459	16.977	0.000013	0.001513
31	310	630	0.630	0.315	200	0.001575	17671.459	17.542	0.000013	0.001588
32	320	660	0.660	0.330	200	0.001650	17671.459	18.108	0.000013	0.001663
33	330	692	0.692	0.346	200	0.001730	17671.459	18.674	0.000013	0.001743
34	340	725	0.725	0.363	200	0.001813	17671.459	19.240	0.000013	0.001825
35	350	745	0.745	0.373	200	0.001863	17671.459	19.806	0.000013	0.001875
36	360	775	0.775	0.388	200	0.001938	17671.459	20.372	0.000013	0.001950

Lampiran 2: Perhitungan Modulus Elastisitas (71 dari 71)

Lanjutan Tabel L.73 Perhitungan Regangan-Tegangan BS-S2-4-D3 (Regangan
Terkoreksi)

No.	Beban (Kn)	Pembacaan Dial		ΔL (mm)	L_0 (mm)	ϵ	A (mm ²)	σ (Mpa)	Koreksi	ϵ Terkoreksi
			(...x10 ⁻³ mm)							
37	370	820	0.820	0.410	200	0.002050	17671.459	20.938	0.000013	0.002063
38	380	867	0.867	0.434	200	0.002168	17671.459	21.504	0.000013	0.002180
39	390	910	0.910	0.455	200	0.002275	17671.459	22.069	0.000013	0.002288
40	400	955	0.955	0.478	200	0.002388	17671.459	22.635	0.000013	0.002400
41	410	1035	1.035	0.518	200	0.002588	17671.459	23.201	0.000013	0.002600
42	411	1105	1.105	0.553	200	0.002763	17671.459	23.258	0.000013	0.002775
43	410	1210	1.210	0.605	200	0.003025	17671.459	23.201	0.000013	0.003038
44	400	1280	1.280	0.640	200	0.003200	17671.459	22.635	0.000013	0.003213
45	390	1330	1.330	0.665	200	0.003325	17671.459	22.069	0.000013	0.003338
46	380	1355	1.355	0.678	200	0.003388	17671.459	21.504	0.000013	0.003400
47	370	1430	1.430	0.715	200	0.003575	17671.459	20.938	0.000013	0.003588



Gambar L.30 Grafik Hubungan Antara Tegangan Dan Regangan BS-S2-4-D3
Diketahui,

$$S_2 = 9.303$$

$$S_1 = 0.621$$

$$\epsilon_2 = 0.000747$$

Maka, Modulus elastisitas BS-S2-4-D3 = 12449.795 MPa

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (1 dari 8)



Gambar L.31 Kolam Penampungan Limbah Karet Cair



Gambar L.32 Kumpulan Gumpulan Limbah Padat Yang Tersuspensi Dari Limbah Cair

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (2 dari 8)



Gambar L.32 Proses Penjemuran Limbah Karet, Untuk Mengurangi Kadar Air Dalam Limbah



Gambar L.33 Limbah Karet yang Sudah Dipotong Bagianya Menjadi Lebih Kecil

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (3 dari 8)



Gambar L.34 Limbah Karet yang Siap Digunakan dalam Campuran Beton



Gambar L.35 Mempersiapkan Bahan Material Dengan Cara Mencuci Agregat Supaya Tidak Ada Pasir/Debu yang Ikut Dalam Campuran Beton

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (4 dari 8)



Gambar L.35 Cara Pemisahan Limbah Karet Yang Lengket Antara Satu Dengan Yang Lain Dengan Cara Direndam Dalam Air



Gambar L.36 Persiapan Material Campuran Beton Sebelum Diaduk

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (5 dari 8)



Gambar L.37 Pencampuran Adukan Beton



Gambar L.38 Pengukuran *Slump* Dan Pencetakan Benda Uji

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (6 dari 8)



Gambar L.39 Proses Pembongkaran Cetakan Benda Uji dan Perendaman Benda Uji Setelah Berumur Satu Hari



Gambar L.40 Benda Uji yang Sudah Direndam dan Siap Untuk Dibakar dalam Tungku

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (7 dari 8)



Gambar L.41 Peralatan yang Digunakan dalam Proses Pembakaran (Gambar Kiri: Burnre,Kanan : Thermometer)



Gambar L.42 Benda Uji Setelah Diberi Pengaruh Temperatur (Dibakar)

Lampiran 3: Dokumentasi Pelaksanaan (8 dari 8)



Gambar L.43 Pengujian Benda Uji (Gambar Kiri : Pengujian Kuat Desak, Kanan : Pengujian Kuat Tarik Belah)



Gambar L.44 Benda Uji Setelah Diuji