

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH TUMBUKAN  
BATA SEBAGAI BAHAN AGREGAT HALUS  
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON 20 MPa  
(*THE EFFECT OF BRICK SUBSTITUTION AS A FINE  
AGGREGATE MATERIAL ON THE  
CHARACTERISTICS OF 20 MPa CONCRETE*)**

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



**Disusun Oleh :**

**FAUZAN HAZAMI  
20511257**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2026**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH SUBSTITUSI LIMBAH TUMBUKAN BATA  
SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI AGREGAT HALUS  
TERHADAP KARAKTERISTIK BETON 20 MPa  
(THE EFFECT OF ADDITIONING BRICK MILLING AS A FINE  
AGGREGATE SUBSTITUTION MATERIAL ON THE  
CHARACTERISTICS OF CONCRETE 20 MPa)**

Disusun Oleh :

**FAUZAN HAZAMI  
20511257**

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


Diuji Pada Tanggal 14 Januari 2026

Oleh Dewan Penguji

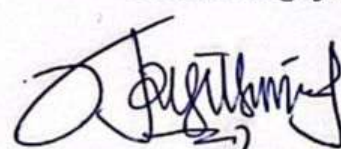
Dosen Penguji 1

Dosen Pembimbing

Dosen Penguji 2

  
19 Januari 2026

  
20.01.26

  
22/1/2026

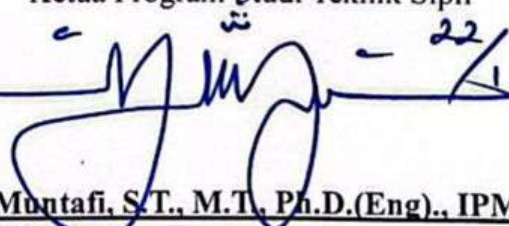
Prof. Ir. H. Sarwidi MSCE., Ph.D., IP-U.  
NIK : 845110101

Astriana Hardawati S.T., M.Eng.  
NIK : 165111301

Anggit Mas Arifudin S.T., M.T  
NIK : 185111304



Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
22/1/26  
Ir. Yunalia Montafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM.  
NIK : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya Fauzan Hazami dengan NIM 20511257 dari Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan menyatakan bahwa sesungguhnya laporan Tugas Akhir yang saya susun adalah hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Dalam penyusunan karya ini, saya telah berusaha untuk mengikuti kaidah akademik yang berlaku dengan mencantumkan sumber referensi secara benar dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Apabila di kemudian hari ditemukan bukti bahwa karya ilmiah ini terbukti merupakan hasil plagiat, baik sebagian maupun seluruhnya, saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 14 Januari 2026

Penulis,



Fauzan Hazami  
(20511257)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahilahi rabbi'alamin. Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas karunia dan rahmatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan lancar. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya hingga akhir zaman. Proposal Tugas akhir merupakan salah satu syarat untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan studi dan proposal tugas akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah memberikan balasan terbaik kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Prof. Ir. H. Sarwidi MSCE., Ph.D., IP-U. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Dengan penuh rasa hormat, kasih, dan doa, karya ini penulis persembahkan kepada almarhum Ayah tercinta Alm.K.H. Hasan Basri, sosok yang paling penulis rindukan dan yang telah berpulang ke rahmatullah sejak penulis duduk di bangku SMA. Kepergian beliau meninggalkan duka dan kehilangan yang sangat mendalam, namun semasa hidupnya beliau adalah teladan yang senantiasa menanamkan nilai keikhlasan, kedisiplinan, tanggung jawab, serta kecintaan terhadap ilmu sebagai bekal utama bagi penulis dalam menempuh pendidikan dan menjalani kehidupan. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan, kasih sayang, serta upaya beliau dalam memberikan kehidupan yang layak dan penuh makna, yang hingga kini menjadi alasan terbesar bagi penulis untuk tetap kuat dan berjuang meraih gelar

sarjana sebagaimana yang beliau impikan. Meskipun berat menjalani kerasnya kehidupan tanpa kehadiran dan pendampingan seorang ayah, rasa rindu dan iri yang kerap hadir justru menjadi pengingat akan besarnya cinta dan doa beliau yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dan motivasi. Karya ini penulis jadikan sebagai wujud bakti, rasa syukur, dan ungkapan terima kasih yang mendalam, dengan harapan semoga Allah SWT menerima seluruh amal ibadah almarhum, mengampuni segala khilafnya, serta menempatkan beliau di tempat terbaik di sisi-Nya. Aamiin.

5. Kepada ibu tercinta, ibu Rohaya, terima kasih telah mengorbankan banyak waktu, tenaga dan upaya, selalu berjuang untuk kehidupan anak-anaknya, menggantikan peran abeh menjadi suatu kebanggaan memiliki orang tua hebat yang selalu mendukung anak-anaknya untuk menggapai cita-cita. Beliau memang tidak sempat merasakan Pendidikan, namun beliau mampu mendidik dan memotivasi tiada henti hingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana.
6. Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, gelar ini penulis persembahkan kepada kakak dan suami serta abang penulis, Yayah Fauziah dan Ajum Junaedi, serta Farhan Muzaki, yang telah menjadi penopang dan penguat dalam perjalanan hidup penulis. Pengorbanan, ketulusan, dan tanggung jawab yang diberikan, termasuk kesediaan menggantikan peran seorang ayah, menjadi sumber kekuatan bagi penulis untuk terus berjuang menyelesaikan pendidikan. Dukungan yang tak pernah terputus, baik secara moril, materiil, maupun doa, sangat berarti dalam setiap langkah penulis. Semoga Allah SWT membalas seluruh kebaikan tersebut dengan keberkahan dan kebahagiaan yang berlipat ganda.
7. Seluruh Keluarga Besar, yang telah memberikan dukungan dan do'a.
8. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya Havizi Honora Safina Riyanto yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan pengertian selama proses penulis menempuh pendidikan. Kehadiran, doa, serta motivasi yang diberikan menjadi penyemangat tersendiri bagi penulis dalam menghadapi berbagai tantangan hingga karya ini dapat diselesaikan.

9. Dengan terima kasih, penulis mempersembahkan pencapaian ini kepada teman-teman KSR atas kebersamaan, solidaritas, dan dukungan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
10. Untuk penulis sendiri, penghargaan dan rasa terima kasih diberikan atas keteguhan dalam menjalani setiap proses hingga tahap ini. Di tengah berbagai keterbatasan, kelelahan, dan keraguan yang sempat muncul, penulis tetap berusaha bangkit dan melangkah maju. Seluruh usaha, kesabaran, serta pengalaman yang telah dilalui menjadi bukti bahwa konsistensi dan keyakinan mampu mengantarkan penulis pada pencapaian ini. Semoga hasil yang diraih dapat menjadi motivasi untuk terus berkembang dan menghadapi tantangan berikutnya dengan lebih baik.

Penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi mengembangkan kearah yang lebih baik. Semoga Allah SWT. Senantiasa melimpahkan rahmat dan Ridha-Nya kepada kita semua.

Yogyakarta, 14 Januari 2026

Penulis,

Fauzan Hazami  
(20511257)

## DAFTAR ISI

<b>TUGAS AKHIR</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	iii
<b>KATA PENGANTAR</b>	iv
<b>DAFTAR ISI</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	x
<b>DAFTAR TABEL</b>	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xiv
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	xv
<b>ABSTRAK</b>	xvii
<b>ABSTRACT</b>	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	6
2.1 Tinjauan pustaka	6
2.2 Penelitian terdahulu	6
2.2.1 Pengaruh Tumbukan batu bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton (Sofia, Shafira, & Kusumah,2019)	6
2.2.2 Pengaruh Tumbukan batu bata Terhadap Kuat Tekan Beton (Yulian et al., 2023)	7
2.2.3 Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 MPa Menggunakan Agregat Kasar PT.AMR dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru (Permatasari, 2019)	7

2.2.4	Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Subtitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal (Bima Hendra Nugraha, 2024)	7
2.2.5	Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Mensubstitusikan Tumbukan batu bata Pada Semen (Haris dan Tahir, 2020)	8
2.3	Penelitian Sekarang	8
2.4	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>		13
3.1	Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	13
3.2	Beton	13
3.2.1	Beton Berdasarkan Kelas dan Mutunya	14
3.2.2	Beton Berdasarkan Jenisnya	14
3.3	Bahan Campur Beton	15
3.3.1	Agregat	15
3.3.2	Semen Portland	25
3.3.3	Air26	
3.4	Bahan Tambah	27
3.4.1	Limbah tumbukan bata	27
3.5	Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	29
3.6	Kuat Tekan Beton	37
3.7	Kuat Tarik Belah Beton	38
3.8	Modulus Elastisitas Beton	39
3.9	Berat Volume Beton	40
3.10	Penyerapan Air	41
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>		42
4.1	Umum	42
4.2	Variable Penelitian	42
4.3	Bahan yang Digunakan	42
4.4	Alat yang Digunakan Dalam Penelitian	45
4.5	Benda Uji	52
4.6	Pelaksanaan penelitian	52

4.6.1	Persiapan Penelitian	52
4.6.2	Pembuatan Tumbukan Batu Bata	52
4.6.3	Pengujian Agregat	53
4.6.4	Perencanaan Campuran ( <i>Mix design</i> )	53
4.6.5	Pembuatan Benda Uji	54
4.6.6	Perawatan Benda Uji	55
4.6.7	Pengujian Sifat Mekanik Beton	56
4.6.8	Analisis Data	58
4.6.9	Pembahasan	58
4.6.10	Kesimpulan dan Saran	58
4.6.11	Diagram Alir Penelitian	58
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>		<b>62</b>
5.1	Tinjauan Umum	62
5.2	Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton	62
5.2.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	62
5.2.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	72
5.2.1	Hasil Pengujian Limbah tumbukan bata	80
5.3	Perencanaan Proporsi Campuran Beton	86
5.4	Pengujian dan Workability	99
5.4.1	Pengujian Slump	99
5.4.2	Pengujian Penyerapan Air	101
5.4.3	Pengujian Berat Volume Beton	103
5.4.4	Pengujian Kuat Tekan Beton	105
5.4.5	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	109
5.4.6	Modulus Elastisitas Beton	114
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>127</b>
6.1	Kesimpulan	127
6.1	Saran	128
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>129</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>131</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Limbah Tumbukan Bata	28
Gambar 3. 2 Tabel Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jumlah Semen Maksimum dari Jenis Lokasi Pembetonan	33
Gambar 3. 3 Persentase Agregat Halus dengan Ukuran Butir Agregat Kasar Maksimum 20 mm	35
Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton.	36
Gambar 3. 5 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton	39
Gambar 4. 1 Agregat Halus	43
Gambar 4. 2 Agregat Kasar	43
Gambar 4. 3 Semen Portland	44
Gambar 4. 4 Air	44
Gambar 4. 5 Tumbukan Batu Bata Merah	45
Gambar 4. 6 Saringan Agregat	46
Gambar 4. 7 Timbangan	46
Gambar 4. 8 Oven	47
Gambar 4. 9 Sekop	47
Gambar 4. 10 Piknometer	48
Gambar 4. 11 Concrete Mixer	49
Gambar 4. 12 Kerucut Abrams	50
Gambar 4. 13 Bekisting Beton	50
Gambar 4. 14 Compression Testing Machine	51
Gambar 4. 15 Meja Getar	51
Gambar 4. 16 Diagram Alir Penelitian	61
Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II	67
Gambar 5. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm	76
Gambar 5. 3 Gradasi Analisis Saringan Limbah tumbukan bata	82
Gambar 5. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang Biasa di Pakai di Indonesia	87

Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk benda Uji Silinder 150 x 300 mm (Sumber: SNI 03-2834, 2000)	88
Gambar 5. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum	89
Gambar 5. 7 Perkiraan Kebutuhan Air Per-meter Kubik Beton	90
Gambar 5. 8 Gradasi Pasir	91
Gambar 5. 9 Grafik 14: Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	92
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Persentase Proporsi Agregat Halus dan FAS	92
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan antara Berat isi beton dan kadar air bebas	94
Gambar 5. 12 Hasil Pemeriksaan Uji Slump	100
Gambar 5. 13 Hasil Rekapitulasi Penyerapan Air	102
Gambar 5. 14 Grafik Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton	105
Gambar 5. 15 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan	108
Gambar 5. 16 Proses Pengujian Kuat Tekan Beton	109
Gambar 5. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	109
Gambar 5. 18 Grafik Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik	112
Gambar 5. 19 Proses Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	113
Gambar 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	113
Gambar 5. 21 Grafik Data Mentah Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Untuk Beton Normal	118
Gambar 5. 22 Proses Koreksi Benda Uji Beton Normal Sempel 1	119
Gambar 5. 23 Kurva Tegangan-Regangan Terkoreksi	121
Gambar 5. 24 Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan	121
Gambar 5. 25 Grafik Hasil Rekapitulasi Modulus Elastisitas	124

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton	25
Tabel 3. 2 Faktor Pengendali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Yang Tersedia Kurang	31
Tabel 3. 3 Tabel Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang di Pakai	32
Tabel 3. 4 Tabel Penentuan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan Berdasarkan Penentuan Nilai Slump	34
Tabel 3. 5 Hubungan Antara Umur Beton dan Kuat Tekan Beton	38
Tabel 4. 1 Komposisi Mix Design Beton Normal ( $f'_c = 20$ MPa)	54
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus	65
Tabel 5. 2 Gradasi Agregat Halus	66
Tabel 5. 3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus	68
Tabel 5. 4 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Halus	70
Tabel 5. 5 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Halus	70
Tabel 5. 6 Hasil Uji Lolos Saringan No.200	71
Tabel 5. 7 Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Kasar	75
Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Kasar	76
Tabel 5. 9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	78
Tabel 5. 10 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Kasar	79
Tabel 5. 11 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Kasar	80
Tabel 5. 12 Hasil Analisis Saringan Limbah tumbukan bata	81
Tabel 5. 13 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah tumbukan bata	83
Tabel 5. 14 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Limbah tumbukan bata	85
Tabel 5. 15 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Limbah tumbukan bata	85
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	97
Tabel 5. 17 Hasil Mix Disain dengan Variasi Limbah tumbukan bata dengan Angka Penyusutan 20%	98

Tabel 5. 18 Rencana dan Pembagian Benda Uji Beton Berdasarkan Variasi Tumbukan Bata dan Jenis Pengujian	99
Tabel 5. 19 Hasil Pemeriksaan Slump	100
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Penyerapan Air Beton	102
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Beton	104
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	107
Tabel 5. 23 Hasil Rekapitulasi Kuat Tarik Belah Beton	111
Tabel 5. 24 Hasil Tegangan dan Regangan Beton 0% Sempel 1	116
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	123

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Time Schedule Tugas Akhir .....	132
Lampiran 2 Hasil Pengujian Slump Beton.....	133
Lampiran 3 Hasil Pengujian Penyerapan Air.....	134
Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Volume Beton.....	135
Lampiran 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton .....	136
Lampiran 6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton .....	137
Lampiran 7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	138
Lampiran 8 Grafik Pengujian Beton .....	139
Lampiran 9 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Sempel 2.....	142
Lampiran 10 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Sempel 3.....	144
Lampiran 11 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 1.....	146
Lampiran 12 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 2.....	148
Lampiran 13 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 3.....	150
Lampiran 14 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 1.....	152
Lampiran 15 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 2.....	154
Lampiran 16 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 3.....	156
Lampiran 17 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 1.....	158
Lampiran 18 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 2.....	160
Lampiran 19 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 3.....	162
Lampiran 20 Bahan Campuran Beton.....	164
Lampiran 21 Dokumentasi Mix Design.....	165
Lampiran 22 Dokumentasi Pengujian Slump .....	166
Lampiran 23 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan Beton.....	167
Lampiran 24 Dokumentasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	168
Lampiran 25 Dokumentasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	169

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f'c$	= Kuat Tekan Beton (MPa)
$f'cr$	= Kuat Tekan Beton Yang Direncanakan (MPa)
M	= Nilai Tambah (MPa)
Sr	= Standar Deviasi (MPa)
k	= Faktor Pengali Deviasi Standar
Wh	= Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Halus
Wk	= Perkiraan Jumlah Air Untuk Agregat Kasar
Wsemen	= Perkiraan Jumlah Semen Yang Dibutuhkan
Wair	= Perkiraan Jumlah Air Yang Dibutuhkan
FAS	= Faktor Air Semen
$BJ_{gabunga}$	= Berat Jenis Gabungan
$BJ_{halus}$	= Berat Jenis Agregat Halus
$BJ_{kasar}$	= Berat Jenis Agregat Kasar
%AH	= Persentase Agregat Halus
%AK	= Persentase Agregat Kasar
SNI	= Standar Nasional Indonesia
PCC	= <i>Portland Composit Cement</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface-Dry</i>
Wc	= Berat Isi Beton ( $kg/m^3$ )
P	= Beban Maksimum (N)
A	= Luas Penampang Benda Uji ( $mm^2$ )
$\sigma$	= Tegangan ( $N/mm^2$ )
$\varepsilon$	= Regangan
Ec	= Modulus Elastisitas (MPa)
S2	= Tegangan saat 40% dari Beban Maksimum (MPa)
S1	= Tegangan pada saat Regangan Longitudinal
$\varepsilon_1$	= 0,00005

$\epsilon_2$	= Regangan Longitudinal yang dihasilkan pada saat S2
$f_{ct}$	= Kuat Tarik Belah (MPa)
$l$	= Panjang benda uji pada bagian yang tertekan (mm)
$d$	= Diameter benda uji (mm)

## ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang paling umum digunakan dalam pembangunan infrastruktur karena memiliki kekuatan serta ketahanan yang baik. Namun, tingginya kebutuhan agregat alam dalam pembuatan beton dapat menimbulkan dampak lingkungan, sehingga diperlukan alternatif material yang lebih ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah limbah tumbukan batu bata sebagai bahan substitusi agregat halus.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah tumbukan bata sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik beton normal dengan mutu rencana 20 MPa. Variasi kadar substitusi yang digunakan sebesar 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% dari berat agregat halus. Parameter yang dianalisis meliputi kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, berat volume, dan daya serap air. Perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000, sedangkan pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari. Seluruh tahapan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa substitusi tumbukan batu bata berpengaruh terhadap sifat mekanik dan fisik beton. Pada variasi 7,5%-15%, beton masih mampu memenuhi kuat tekan rencana, sedangkan peningkatan persentasi substitusi yang lebih besar menyebabkan penurunan mutu beton akibat meningkatnya porositas dan penyerapan air. Oleh karena itu, tumbukan batu bata dapat dimanfaatkan sebagai substitusi parsial agregat halus dengan Batasan kadar 7%-15%..

**Kata kunci** : Agregat halus, beton normal, karakteristik beton, tumbukan batu bata.

## ABSTRACT

*Concrete is the most commonly used construction material in infrastructure development due to its good strength and durability. However, the high demand for natural aggregates in concrete production can cause environmental impacts, making it necessary to seek more environmentally friendly alternative materials. One potential alternative is waste crushed brick, which can be utilized as a substitute for fine aggregate.*

*This study aims to analyze the effect of using crushed brick waste as a partial replacement for fine aggregate on the characteristics of normal concrete with a design compressive strength of 20 MPa. The substitution levels used were 0%, 7.5%, 15%, and 22.5% by weight of fine aggregate. The parameters analyzed included compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, unit weight, and water absorption. The concrete mix design was carried out in accordance with SNI 03-2834-2000, while testing was conducted at the concrete age of 28 days. All stages of the research were carried out at the Construction Materials Technology Laboratory, Universitas Islam Indonesia.*

*The results showed that the substitution of crushed brick affected both the mechanical and physical properties of concrete. At substitution levels of 7.5%–15%, the concrete was still able to meet the target compressive strength, whereas higher substitution percentages led to a decrease in concrete quality due to increased porosity and water absorption. Therefore, crushed brick can be utilized as a partial substitute for fine aggregate with a recommended substitution range of 7%–15%.*

**Keywords:** *fine aggregate, normal concrete, concrete characteristics, crushed brick waste.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Beton adalah bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi seperti pembangunan gedung, jalan, dan fasilitas lainnya. Kebutuhan akan beton telah meningkat sebagai akibat dari pembangunan dan perawatan infrastruktur yang terus berkembang. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa beton menjadi material yang paling sering digunakan dalam konstruksi karena sifatnya yang kuat, tahan terhadap cuaca, dan murah. Akibatnya, beton menjadi pilihan utama untuk proyek konstruksi yang melibatkan pembangunan dan perawatan infrastruktur yang terus berkembang. Beton memiliki banyak keunggulan, termasuk kekuatan tekannya yang tinggi, kemampuan untuk menahan suhu tinggi, dan kemampuan untuk berubah bentuk sesuai kebutuhan.

Kebutuhan akan bahan bangunan diperkirakan akan meningkat secara signifikan seiring dengan kemajuan dan perkembangan struktur Indonesia saat ini. Oleh karena itu, ada cara lain untuk menggantikan sebagian pasir. Bahan yang digunakan sebagai pengganti harus memiliki kualitas yang lebih baik daripada bahan bangunan beton yang biasa digunakan. Alternatifnya adalah menggunakan batu bata yang dibuang selama konstruksi.

Menurut SNI 15-2094-2000 batu bata adalah salah satu bahan yang umum digunakan dalam pembangunan. di mana batu bata ini dibuat hanya dari tanah liat atau tanah lempung tanpa campuran bahan lain. Menurut (Elianora, 2010), batu bata sebagian besar mengandung alumina oksida ( $Al_2O_3$ ), yang berfungsi sebagai perekat. Batu bata juga mengandung senyawa kimia silika oksida ( $SiO_2$ ), yang dapat digunakan sebagai pelindung termal pada suhu tinggi, tahan api, dan juga dapat berfungsi sebagai zat perekat untuk mengurangi pelepasan kapurayang.

Limbah tumbukan bata dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton, memiliki peluang yang cukup signifikan untuk

meningkatkan keberlangsungan dan efisiensi penggunaan material di sektor konstruksi. Pada penelitian ini, limbah bata digunakan sebagai pengganti agregat halus karena limbah tersebut mampu mengisi ruang kosong di antara agregat, yang berpotensi meningkatkan kekuatan tekan beton. Dengan pemanfaatan limbah bata yang optimal, material ini dapat berfungsi sebagai pilihan alternatif yang efisien dan berkelanjutan untuk agregat halus tradisional. Adopsi limbah bata sebagai bahan campuran agregat halus dapat menekan pengeluaran material dan biaya pembuangan.

Untuk mengubah tumbukan batu bata menjadi agregat halus, diperlukan langkah penghancuran atau penghalusan dari potongan tumbukan batu bata yang tidak terpakai menjadi partikel yang lebih kecil dan lebih halus menggunakan mesin penghancur batu. Tumbukan batu bata yang dapat dimanfaatkan menjadi agregat halus adalah yang memiliki ukuran partikel di bawah 4,80 mm agar memenuhi kriteria agregat halus. Dengan memanfaatkan tumbukan batu bata dalam proses pembuatan beton, diharapkan dapat tercipta konstruksi yang lebih eco-friendly dengan kualitas yang tetap baik sesuai dengan penelitian dari (Sofia, Shafira, & Kusumah, 2019).

Inovasi dihasilkan dengan mengganti agregat halus dengan sisa batu bata, guna memperoleh hasil pengujian yang lebih optimal dibandingkan beton konvensional. Berdasarkan permasalahan yang ada, penggunaan sisa batu bata dapat dimanfaatkan untuk dijadikan bahan bangunan yang lebih ramah lingkungan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, peneliti ingin mengeksplorasi seberapa besar kekuatan tekan beton yang menggunakan bahan sisa batu bata dengan tingkat variasi 0%, 7,5%, 15% dan 22,5% sebagai pengganti agregat halus.

Dengan memasukkan limbah tumbukan bata yang optimal, bahan ini dapat berperan sebagai alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk pasir halus konvensional. Penggunaan pecahan bata sebagai komponen campuran untuk agregat halus dapat mengurangi pengeluaran bahan dan biaya pembuangan.

Penelitian terkait pemanfaatan limbah tumbukan bata sebagai material substitusi dalam beton telah dilakukan secara berkelanjutan sejak tahun 2019, dimulai oleh (Sofia et al., 2019) hingga penelitian terbaru oleh (Bima Hendra

Nugraha, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa topik tersebut memiliki relevansi yang tinggi dan terus menarik perhatian peneliti. Meskipun demikian, hasil-hasil penelitian yang ada masih menunjukkan adanya variasi dan ketidakpastian, terutama terkait kadar optimum dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik beton. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa meskipun penelitian telah dilakukan secara konsisten dari tahun ke tahun, eksplorasi terhadap material ini masih memerlukan kajian lebih lanjut untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang penilaian ini, rumusan masalah yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah tumbukan bata pada pasir dengan variasi 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% terhadap kuat tekan, kuat tarik, elastisitas, berat volume, dan daya serap air beton?
2. Berapa persen tingkat substitusi limbah tumbukan bata pada pasir yang menghasilkan karakteristik beton paling optimal dibandingkan beton konvensional?
3. Bagaimana karakteristik beton dengan substitusi limbah tumbukan bata pada pasir dibandingkan beton standar tanpa substitusi dari sisi ketahanan struktur beton?

### **1.3 Tujuan**

Berdasarkan latar belakang penilaian ini, rumusan masalah yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis seberapa besar pengaruh substitusi limbah tumbukan bata pada pasir terhadap parameter mekanik dan fisik beton normal mutu 20 MPa.
2. Menentukan variasi substitusi limbah tumbukan bata pada pasir yang paling efektif dalam meningkatkan mutu beton dari segi kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas.

3. Mengevaluasi efektivitas limbah tumbukan bata pada pasir sebagai substitusi agregat halus dalam meningkatkan atau menurunkan daya tahan beton terhadap beban dan pengaruh lingkungan

#### **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini ialah sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan tentang konstruksi, khususnya dalam proses pembuatan beton standar dengan mengganti agregat halus menggunakan limbah batu.
2. Menjadi referensi untuk penggunaan beton standar dengan tambahan limbah bata dalam pembangunan nasional.
3. Sebagai pedoman untuk penelitian berikutnya mengenai penggunaan limbah bata sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tarik beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas, berat volume beton, dan penyerapan air

#### **1.5 Batasan Masalah**

Pada penelitian ini perlu dibatasi oleh beberapa batasan yang diharapkan memberi arah yang jelas pada penelitian tugas akhir itu. Batasan yang diperlukan tersebut sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana ( $f'_c = 20$  MPa).
2. Dasar perencanaan campuran beton normal SNI 03-2834-2000.
3. Variasi penggunaan tumbukan batu bata terhadap berat pasir pada campuran beton normal yaitu 0%, 7,5%, 15%, 22,5%.
4. Penelitian ini dilaksanakan pengujian beton pada umur 28 hari dengan perawatan beton dilakukan dengan merendam beton dalam air.
5. Agregat halus menggunakan pasir yang berasal dari sungai progo.
6. Agregat kasar yang menggunakan krikil yang berasal dari Clereg yang berada pada Lab. Bahan Kontruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
7. Semen yang digunakan semen portland tipe I yaitu semen tiga roda.
8. Air yang digunakan adalah air bersih yang berasal dari Lab. Bahan Kontruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

9. Material batu bata yang digunakan dalam penelitian ini tidak berasal dari satu lokasi saja, melainkan dikumpulkan dari limbah konstruksi di beberapa tempat.
10. Jumlah benda uji beton sebanyak 36 buah.
11. Penelitian dilakukan hanya sebatas kuat tarik beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas, daktilitas, densitas beton, serta kemampuan menyerap air.
12. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Lab.Bahan Kontruksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab II membahas tentang tinjauan Pustaka yang berisi tentang perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang

#### **2.1 Tinjauan pustaka**

Bab I membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, keuntungan, dan kekurangan penelitian. Untuk membuat hasil penelitian lebih akurat, penelitian ini membutuhkan referensi dan pada bab II membahas tentang tinjauan Pustaka yang berisi tentang perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.

#### **2.2 Penelitian terdahulu**

Penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dapat dijadikan sebagai acuan dalam penyusunan tinjauan pustaka untuk mendukung penelitian ini. Terdapat lima penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh peneliti lain, dengan hasil yang dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam pelaksanaan penelitian ini.

##### **2.2.1 Pengaruh Tumbukan batu bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton (Sofia, Shafira, & Kusumah,2019)**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan tumbukan batu bata yang dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat halus pada proses pembuatan beton. Dalam penelitian ini terlebih dahulu dirancang mix design dengan mengacu pada SNI 03-2834-2004. Sampel beton dibuat sebanyak 30 buah dengan menggunakan cetakan kubus. Penggantian sebagian pasir dengan tumbukan batu bata dilakukan sebanyak 5 variasi, yakni dengan persentase bahan pengganti sebesar 0%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai kuat tekan beton rata-rata pada BB 12% baik pada umur 14 hari maupun 28 hari. Dengan demikian, nilai persentase maksimal tumbukan batu bata yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir yaitu 9 %.

### **2.2.2 Pengaruh Tumbukan batu bata Terhadap Kuat Tekan Beton (Yulian et al., 2023)**

Penelitian batu bata dimanfaatkan sebagai substitusi agregat halus untuk mutu beton  $f_c$ '20 MPa. Metode penelitian eksperimen di laboratorium. Variasi 0%, 13%, 14%, 15%, 16% dan 17%, pengujian kuat tekan dilakukan umur 7, 14 dan 28 hari. Umur 28 hari kuat tekan berturut yaitu 20,24 MPa, 22,22 MPa, 22,79 MPa, 20,24 MPa, 18,54 MPa, dan 17,13 MPa. Hasil penelitian campuran yang memenuhi syarat pada variasi 13, 14, dan 15% dengan optimum pada variasi 14%.

### **2.2.3 Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 MPa Menggunakan Agregat Kasar PT.AMR dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru (Permatasari, 2019)**

Peneliti komposisi substitusi bata merah tersebut adalah 0%, 15%, 20% dan 25% dari berat pasir dengan komposisi campuran beton mengacu pada Mix design berdasarkan SNI T15-1990- 2003+ACI&ASTM tahun 2016. Kuat tekan tanpa substitusi bata merah sebesar 21,40 MPa, kuat tekan beton yang ditambahkan bata merah mengalami peningkatan pada campuran 15% sebesar 21,57 MPa, pada campuran 20% sebesar 21,02 MPa, dan pada campuran 25% sebesar 20,44 MPa. Kuat tekan beton yang direncanakan adalah 21,00 MPa. Artinya pada substitusi bata merah sebesar 15% beton mengalami peningkatan sedangkan pada substitusi bata merah 20% mengalami pengurangan tetapi tetap mencapai dari kuat tekan rencana, dan 25% bata merah terhadap campuran beton tidak dapat menambah kuat tekan beton melainkan menurunkan kuat tekan beton terhadap kuat tekan rencana.

### **2.2.4 Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal (Bima Hendra Nugraha, 2024)**

Penelitian ini membahas pemanfaatan limbah batu bata merah sebagai pengganti sebagian agregat halus serta abu sekam padi sebagai substitusi semen pada beton normal dengan mutu rencana 25 MPa. Limbah batu bata diaplikasikan dalam variasi 0–15% dari berat pasir, sedangkan abu sekam padi digunakan sebesar 10% dari berat semen, dengan perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dan pengujian dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa penggunaan kombinasi kedua material limbah tersebut berpengaruh positif terhadap sifat mekanik beton, yang ditunjukkan oleh peningkatan kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah, dengan nilai kuat tekan optimum sebesar 31,23 MPa pada variasi 12% limbah batu bata dan 10% abu sekam padi, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam campuran beton normal.

#### **2.2.5 Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Mensubstitusikan Tumbukan batu bata Pada Semen (Haris dan Tahir, 2020)**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penelitian tentang pengaruh penggantian/substitusi serbuk tumbukan batu bata pada semen terhadap kuat tekan beton. Dengan hasil serbuk limbah batu bata 25% pada semen terjadi penurunan kuat tekan yaitu 19,55 MPa dari beton normal yang kuat tekannya mencapai 26,27 MPa (terjadi penurunan 25,59%). serbuk tumbukan batu bata tidak memperoleh kuat tekan beton optimum. Akan tetapi pada persentase 5% pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata, nilai kuat tekan yang didapatkan yakni 24,61 MPa lebih rendah dari beton normal yang kuat tekannya 26,27 MPa (terjadi penurunan 6%). Dikarenakan daya ikat semen yang berkurang terhadap campuran.

### **2.3 Penelitian Sekarang**

Serangkaian studi yang disebutkan diatas, terlihat perbedaan dengan penelitian yang sedang dilakukan oleh penulis saat ini. Penelitian yang akan dilakukan oleh penulis melibatkan pengujian terhadap kuat tarik beton, kuat tekan beton, modulus elastisitas, berat volume beton, serta kemampuan menyerap air pada beton normal menggunakan bahan substitusi agregat halus dari limbah tumbukan bata dengan variasi 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5% dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Variasi 0% ditetapkan sebagai beton standar tanpa substitusi, yang berfungsi sebagai kontrol sekaligus acuan pembandingan dalam mengevaluasi pengaruh penambahan limbah tumbukan bata terhadap karakteristik beton.
2. Variasi 7,5% dipilih untuk mewakili kategori rendah. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Sofia et al., 2019), peningkatan sifat mekanik beton

mulai terlihat pada tingkat penggantian sekitar 6–9%. Dengan demikian, penggunaan variasi 7,5% dianggap tepat untuk melihat respon awal beton terhadap penambahan limbah tumbukan bata.

3. Variasi 15% ditetapkan sebagai tingkat substitusi menengah. Hasil penelitian sebelumnya (Yulian et al., 2023) menunjukkan bahwa mutu beton umumnya mencapai kondisi optimum pada kisaran 13–15%. Oleh karena itu, variasi 15% dipilih untuk menguji apakah nilai optimum tersebut juga tercapai dalam penelitian ini.
4. Variasi 22,5% digunakan sebagai tingkat substitusi tinggi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penurunan mutu beton mulai terlihat apabila substitusi melebihi 20% (Permatasari, 2019). Oleh sebab itu, variasi 22,5% dipilih untuk mengetahui sejauh mana batas kemampuan beton dalam mempertahankan sifat mekaniknya ketika persentase substitusi ditingkatkan.

Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggung jawabkan keasliannya.

#### **2.4 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

Berdasarkan jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penulis telah menguraikan perbedaan antara penelitian yang akan dilakukan dengan yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

<b>Penulis</b>	<b>Sofia, Shafira &amp; Kusumah, (2019)</b>	<b>Sylviana Permatasari, (2019)</b>	<b>Haris, (2020)</b>	<b>Hanifah Yuliana, (2023)</b>	<b>Bima Hendra, (2024)</b>
<b>Judul Penelitian</b>	Pengaruh Tumbukan batu bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton.	Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 MPa Menggunakan Agregat Kasar PT.AMR dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru.	Studi Eksperimental Kuat Tekan Beton dengan Mensubstitusikan Tumbukan batu bata Pada Semen.	Pengaruh Tumbukan Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus dan Abu Sekam Padi Sebagai Semen Pada Beton Normal
<b>Parameter yang di uji</b>	Mengetahui pengaruh tumbukan batu bata sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap mutu kuat tekan beton.	Hasil uji tekan pada beton dengan mengganti agregat halus menggunakan limbah bata.	Hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi tumbukan batu bata sebagai substitusi semen	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan substitusi batu bata sebagai substitusi semen	Hasil uji kuat tekan beton, modulus elastisitas beton, dan kuat tarik belah beton.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Penulis	Sofia, Shafira & Kusumah, (2019)	Sylviana Permatasari, (2019)	Haris, (2020)	Hanifah Yuliana, (2023)	Bima Hendra, (2024)
<b>Metode Penelitian</b>	Analisis perhitungan mix design beton, pengujian kuat tekan beton, menghitung standar deviasi beton	.Analisis perhitungan mix design beton, pengujian kuat tekan beton, menghitung standar deviasi beton	Analisis perhitungan mix design beton, pengujian kuat tekan beton.	Analisis perhitungan Mix design beton. Dengan mengganti pasir dengan tumbukan batu bata.	Metode eksperimental di laboratorium dengan perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000. Limbah batu bata digunakan sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0–15% dan abu sekam padi sebagai substitusi semen sebesar 10%. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Penulis	Sofia, Shafira & Kusumah, (2019)	Sylviana Permatasari, (2019)	Haris, (2020)	Hanifah Yuliana, (2023)	Bima Hendra, (2024)
<b>Hasil Penelitian</b>	Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton rata-rata meningkat 12% pada BB selama 14 dan 28 hari. Dengan demikian, nilai persentase maksimum batu bata yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir adalah 9 persen.	Pada saat beton ditambahkan bata merah sebesar 15% mengalami peningkatan, meskipun 20% bata merah ditambahkan tetapi masih mencapai kuat tekan rencana. Selain itu, substitusi 25 persen bata merah pada campuran beton hanya dapat menurunkan kuat tekan beton, bukan menambahnya.	hasil serbuk limbah batu bata 25% pada semen terjadi penurunan kuat tekan sebesar 25,59%, tetapi pada persentase 5% pengganti/substitusi serbuk limbah batu bata, nilai kuat tekan yang didapatkan yakni 24,61 MPa lebih rendah dari beton normal yang kuat tekannya 26,27 MPa (terjadi penurunan 6%).	Hasil penelitian campuran yang memenuhi syarat pada variasi 13%, 14%, dan 15% dengan optimum pada variasi 14%.	Kombinasi limbah batu bata dan abu sekam padi mampu meningkatkan sifat mekanik beton. Kuat tekan optimum sebesar 31,23 MPa diperoleh pada variasi 12% limbah batu bata dan 10% abu sekam padi, disertai peningkatan modulus elastisitas dan kuat tarik belah dibandingkan beton normal.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pelaksanaan dimulai dari persiapan bahan, pembuatan benda uji, hingga pengujian pada umur beton 28 hari.

#### **3.2 Beton**

Beton merupakan campuran yang terdiri dari semen, air, agregat serta bahan tambahan untuk meningkatkan kualitasnya. Bangunan seperti gedung, jembatan, dan jalan terbuat dari beton. Oleh karena itu, beton sangat berperan penting dalam dunia industri. Karakteristik beton yang mempunyai kekuatan, daya tahan, dan kemampuan untuk dibentuk dalam berbagai bentuk dan ukuran menjadikan beton salah satu bahan konstruksi yang paling umum digunakan di dunia.

Karakteristik utama beton, termasuk berat jenisnya yang relatif tinggi memengaruhi kapasitas beban konstruksi yang menggunakan beton. Berat jenis beton sangat mempengaruhi daya dukung Struktur. Untuk membuat beton, Sebagian besar produsen beton memanfaatkan semen sebagai bahan perekat pada beton, meskipun semen sangat berperan penting dalam pembuatan beton, penggunaan semen yang berlebihan akan memicu penurunan sumber daya alam, dikarenakan bahan semen yang terdiri dari bahan-bahan sumber daya alam seperti batu kapur, tanah liat, pasir silika, pasir besi, gipsum, batubara, pozzolan akan berkurang. hal ini memicu diperlukannya alternatif atau inovasi dalam formulasi beton untuk mengurangi keregantungan pada semen.

Selain berat jenis, sifat struktur yang baik dan kepadatan yang cukup juga memengaruhi kegunaan beton. Struktur beton yang baik mengurangi risiko retak karena beton dapat menopang beban bangunan yang dibangun. Kekuatan adalah salah satu standar yang harus dipenuhi saat menggunakan beton untuk membangun

bangunan. Selain kekuatan dan ketebalan, penggunaan faktor air-semen ke-14 menentukan kualitas struktur beton. Tekstur beton juga menentukan kualitasnya. Secara keseluruhan, semua faktor ini sangat penting untuk menentukan daya tahan dan kualitas beton secara keseluruhan.

### **3.2.1 Beton Berdasarkan Kelas dan Mutunya**

#### 1. Beton kelas I

Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non-struktural. Untuk menerapkannya tidak memerlukan pengetahuan khusus. Kontrol kualitas hanya dibatasi pada pemeriksaan sederhana kualitas material, sedangkan untuk pengujian kuat tekan tidak ada syarat pemeriksaan.

#### 2. Beton kelas II

Beton kelas II adalah beton yang digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya dibutuhkan keahlian-keahlian yang cukup dan dilakukan dibawah pengawasan tenaga ahli. Pengawasan mutu hanya memeriksa kualitas bahan, namun tidak memeriksa kekuatan tekanan.

#### 3. Beton Kelas III

Beton kelas III adalah beton yang digunakan untuk pekerjaan struktural yang membutuhkan tingkat kekuatan yang lebih tinggi dari K 225. Dibutuhkan keahlian khusus untuk melakukannya dan harus dilakukan di bawah bimbingan tenaga ahli. Dibutuhkan laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap dan dilayani oleh tenaga ahli yang mampu melakukan pengawasan terus-menerus terhadap kualitas beton.

### **3.2.2 Beton Berdasarkan Jenisnya**

#### 1. Beton Ringan

Beton ringan adalah jenis beton yang bobotnya lebih ringan daripada beton biasa. Untuk membuat beton ringan, agregat yang digunakan juga lebih ringan. Agregat biasanya berasal dari sisa-sisa dari pembakaran bahan-bahan seperti shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara, dan berbagai hasil dari letusan vulkanik. Bergantung pada kebutuhan struktur, berat agregat ringan berkisar antara 800 dan 1800 kg/m<sup>3</sup>, atau sekitar 1400

kg/m<sup>3</sup>. Beton ringan memiliki kekuatan tekan antara 6,89 MPa dan 17,24 MPa pada umur 28 hari, menurut (SNI 2847, 2019).

2. Beton Normal

Beton normal adalah beton yang dibuat dengan agregat pasir sebagai agregat halus dan batu pecah sebagai agregat kasar memiliki berat jenis antara 2200 kg/m<sup>3</sup> hingga 2400 kg/m<sup>3</sup> dan kekuatan tekan sekitar 15 hingga 40 MPa.

3. Beton Berat

Beton berat adalah jenis beton yang dibuat dengan menggunakan agregat dengan berat isi yang lebih tinggi dari beton biasa, yaitu lebih dari 2400 kg/m<sup>3</sup>. Agregat berat jenis tinggi, seperti barit, magnetit, atau limonit, digunakan untuk membuat beton berat, yang memiliki densitas yang lebih tinggi dan cocok untuk digunakan di struktur yang tahan terhadap radiasi atau beban berat, seperti struktur bawah atau pembangkit nuklir.

4. Beton Massa (*mass concrete*)

Beton massa digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan berat, seperti bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

### 3.3 Bahan Campur Beton

Bahan campuran beton merupakan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan beton, yaitu material komposit yang terdiri atas semen, air, agregat halus, agregat kasar, serta bahan tambahan (*admixture*) apabila diperlukan. Setiap bahan memiliki peran spesifik dalam membentuk beton yang memiliki kekuatan, ketahanan, dan karakteristik sesuai dengan tuntutan struktural.

#### 3.3.1 Agregat

Agregat adalah bahan yang digunakan untuk memberikan volume, kekuatan, dan stabilitas beton. Agregat ini biasanya terdiri dari pasir, kerikil, atau batu pecah yang dicampur dengan semen dan air untuk menghasilkan campuran beton yang kuat dan tahan lama. Agregat digunakan untuk melakukan beberapa peran penting dalam campuran beton. Pertama, agregat meningkatkan kekuatan beton, dengan ukuran agregat yang lebih besar. Kedua, agregat membantu mengisi rongga dalam beton, meningkatkan kekuatan dan mengurangi kerapuhan. Terakhir,

agregat memberikan volume pada campuran beton, yang menghasilkan struktur yang kokoh dan stabil.

Untuk menghasilkan beton yang kuat dan tahan lama, ukuran dan jenis agregat yang digunakan dalam campuran beton harus diperhatikan, agregat biasanya berukuran dari yang sangat kecil seperti pasir hingga yang sangat besar seperti batu besar.

Berdasarkan ASTM C330M , agregat beton ringan harus diterima dalam campuran beton. Agregat membentuk 70-75% dari volume total beton, dan kualitasnya sangat dipengaruhi oleh mutu beton (Antoni dan Nugraha P, 2007). Agregat terbagi menjadi dua jenis: agregat kasar dan agregat halus. Meskipun agregat hanya berfungsi sebagai pengisi, efeknya pada beton yang dihasilkan sangat besar.

#### 1. Agregat Kasar

(SNI 2847, 2019) menyatakan bahwa agregat kasar dapat digunakan untuk mengisi adukan campuran pada beton. Agregat kasar adalah standar yang digunakan untuk menentukan persyaratan umum untuk agregat kasar yang dapat digunakan sebagai campuran beton. Agregat kasar terdiri dari kerikil yang dihasilkan dari proses batuan pecah dengan ukuran butir 5,00 sampai 40 mm. (SK SNI S-04-F, 1989) menetapkan persyaratan ini.

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran-butiran yang kuat dan tidak memiliki pori-pori.
- b. Agregat kasar memiliki sifat ketahanan yang tinggi, yang berarti bahwa mereka tidak akan pecah atau hancur oleh cuaca, seperti hujan atau matahari.
- c. Agregat kasar dapat berupa kerikil yang berasal dari batuan asli atau batu pecah yang dibuat oleh pemecah batu.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang bersifat reaktif dan dapat merusak beton, seperti zat alkali yang bersifat reaktif.
- e. Ukuran butiran agregat kasar yang paling besar tidak boleh melebihi  $1/5$  dari jarak terkecil antara dua sisi cetakan,  $1/3$  tebal pelat beton, atau  $3/4$  dari jarak bersih antar tulangan beton.

- f. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. Jika kadar lumpur melebihi 1%, maka agregat kasar harus dibersihkan.

Untuk menentukan agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton memiliki beberapa pengujian yang dilakukan sebagai tolak ukur agregat kasar yang dapat digunakan. Berikut adalah pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

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

- 1) Berat jenis kering permukaan (*Saturated and surface dry/SSD*)

Berat jenis kering permukaan agregat kasar adalah ukuran yang mengukur kerapatan permukaan agregat kasar, yaitu berat permukaannya yang tidak termasuk pori-pori dan retakan yang terbuka. Ini adalah komponen penting dari berat jenis agregat kasar dan memberikan informasi tambahan tentang kepadatan atau kerapatan agregat tersebut. Persamaan 3.1 berikut menunjukkan perhitungan untuk analisis berat jenis kering permukaan agregat kasar.

$$\text{Berat jenis kering permukaan (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.1)$$

Dengan :

$B_j$  = berat kerikil kering mutlak (gram)

Ba = berat kerikil dalam air (gram)

2) Berat jenis semu (apparent specific gravity)

Berat jenis semu pada agregat kasar merupakan parameter yang mengukur berat jenis agregat kasar bersama dengan pori-pori yang ada dalam butiran agregat tersebut. Berat jenis semu mengacu pada kerapatan dan ruang pori-pori agregat kasar. Dengan kata lain, berat jenis semu menunjukkan seberapa baik agregat kasar berinteraksi dengan campuran beton. Semakin tinggi berat jenis semu, semakin sedikit pori-pori agregat, yang berarti bahwa agregat kasar memiliki lebih sedikit pori-pori. Dengan kata lain, berat jenis semu menunjukkan seberapa baik agregat kasar berinteraksi dengan campuran beton. Persamaan 3.2 berikut menunjukkan perhitungan untuk analisa berat jenis semu pada agregat kasar.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \quad (3.2)$$

Dengan :

Bk = berat kerikil kering mutlak (gram)

Ba = berat kerikil dalam air (gram)

3) Berat jenis mutlak (bulk specific gravity)

Berat jenis kering mutlak agregat kasar adalah ukuran kerapatan atau berat relatif agregat kasar tanpa mempertimbangkan retakan atau pori-pori dalam butiran agregat. Dengan kata lain, berat jenis kering mutlak adalah ukuran kerapatan atau kepadatan agregat kasar dalam kondisi paling padat yang mungkin, yaitu ketika semua pori-pori agregat tertutup atau diisi dengan bahan yang padat. Karena sifat fisik dan mekanik agregat, serta kinerja campuran beton atau aspal yang mengandung agregat, parameter ini sangat penting. Persamaan 3.3 berikut menunjukkan Perhitungan analisa berat jenis mutlak pada agregat kasar.

$$\text{Berat jenis mutlak} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.3)$$

Dengan :

$B_k$  = berat kerikil kering mutlak (gram)

$B_j$  = berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan/SSD (gram)

$B_a$  = berat kerikil dalam air (gram)

#### 4) Penyerapan Air

Salah satu karakteristik penting agregat kasar yang dapat memengaruhi sifat campuran beton atau aspal yang mengandung agregat tersebut adalah penyerapan air, yang mengacu pada jumlah air yang dapat diserap oleh agregat kasar dan dapat dipegang oleh pori-pori dan retakan agregat. Persamaan 3.4 berikut menunjukkan perhitungan analisa penyerapan air pada agregat kasar.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \quad (3.4)$$

Dengan :

$B_j$  = berat kerikil kondisi jenuh kering permukaan/SSD (gram)

$B_k$  = berat kerikil kering mutlak (gram)

#### 5) Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat bertujuan untuk mengukur massa atau berat agregat yang benar-benar padat tanpa ruang kosong. Agregat padat didefinisikan sebagai agregat yang tidak memiliki pori atau retakan yang berisi udara atau air. Persamaan 3.5 berikut menunjukkan perhitungan analisa berat isi padat pada agregat kasar

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \quad (3.5)$$

Dengan :

$W$  = berat agregat (gram)

$Vol$  = volume silinder yang digunakan (cm<sup>3</sup>)

#### 6) Pengujian analisis saringan

Pengujian analisis saringan merupakan salah satu cara untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat kasar. Metode ini, yang

didasarkan pada ukuran butiran agregat, memecah agregat kasar menjadi berbagai fraksi. Ini penting karena distribusi ukuran butiran agregat dapat memengaruhi sifat-sifat campuran beton atau aspal, seperti kekuatan, kerapatan, dan tekstur. Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut menunjukkan perhitungan analisa saringan dan modulus kehalusan pada agregat kasar.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\sum(\%kom) - 100}{100} \quad (3.7)$$

Dengan :

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram).

b = berat agregat setelah diayak (gram).

$\sum(\%kom)$  = berat tertinggal kumulatif (%).

#### 7) Agregat Halus

Agregat halus mempunyai ukuran butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat kasar, agregat halus memiliki butiran tidak lebih dari 4,76 milimeter (mm). Pasir adalah salah satu agregat halus yang sering ditemukan dan untuk membuat campuran beton yang berkualitas tinggi, pasir sangat penting. Agregat halus digunakan dalam campuran beton bersama dengan agregat kasar, semen, dan air untuk membentuk pasta beton yang dapat mengisi dan mengikat butiran agregat, mencipt, dan menjadi lebih kuat, rapat, daya tahan, tekstur, dan mudah diolah. Menurut SNI 03-6821-2002 persyaratan agregat halus sebagai berikut.

- a. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang keras, tajam, dan tidak mudah rusak oleh panas atau hujan.
- b. Butiran halus dalam agregat halus harus mempunyai sifat yang kekal, sifat yang kekal disini berarti agregat halus tidak akan pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca. Sifat kekal dapat diuji dengan

menggunakan larutan garam jenuh, dan apabila agregat tahan terhadap natrium sulfat maksimum sebanyak 10% dari beratnya dapat hancur.

- c. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Apabila jika kadar lumpur melebihi 5%, maka pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan dalam konstruksi.

Untuk menjamin kualitas dan kinerja penelitian ini secara keseluruhan, persyaratan ini sangat penting. Campuran beton yang kuat, tahan lama, dan sesuai dengan spesifikasi penelitian dapat dibuat dengan menggunakan agregat halus yang memenuhi persyaratan tersebut. Pasir Merapi adalah agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini. Sebelum agregat halus pasir merapi ini digunakan, beberapa pengujian harus dilakukan. Pengujian tersebut yaitu sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus

Pengujian berat jenis pada agregat halus merupakan prosedur yang digunakan untuk mengukur berat jenis atau kerapatan agregat halus. Berat jenis adalah perbandingan antara berat agregat halus dengan berat volume yang sama dari air murni pada suhu tertentu. Sementara itu, pengujian penyerapan air pada agregat halus adalah cara untuk mengetahui seberapa baik agregat halus menyerap air. Tingkat penyerapan air sangat penting karena memengaruhi kinerja campuran beton atau aspal serta ketahanan agregat terhadap cuaca dan kondisi lingkungan.

- 1) Berat jenis kering permukaan (saturated and surface dry/SSD)

Berat jenis kering permukaan pada agregat halus adalah metrik yang mengukur berat jenis atau kerapatan agregat halus pada permukaan butiran tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan di dalamnya. Dengan kata lain, berat jenis kering permukaan adalah metrik yang mengukur kerapatan agregat halus pada tingkat permukaannya tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan di dalamnya. Ini adalah salah satu komponen dari Untuk menilai kerapatan agregat halus pada

permukaan butiran, yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beton atau aspal, parameter ini berguna. Permukaan agregat halus yang padat dapat memengaruhi interaksi dengan pasta semen dalam campuran beton. Persamaan 3.8 berikut merupakan perhitungan analisa berat jenis kering permukaan pada agregat halus.

$$\text{Berat jenis SSD} = \frac{500}{B+500-B_y} \quad (3.8)$$

Dengan :

B = berat piknometer berisi air (gram),

B<sub>t</sub> = berat piknometer berisi air dan pasir (gram).

2) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak pada agregat halus merupakan parameter ukuran yang mengukur kerapatan atau berat relatif agregat halus tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan yang ada dalam butiran agregat. Dengan kata lain, berat jenis kering mutlak adalah parameter penting dalam pengujian agregat untuk mengetahui apakah kerapatan agregat halus mencapai tingkat tertingginya, yaitu ketika semua pori-pori agregat dihapus atau diisi dengan bahan yang padat. Karakteristik campuran beton atau aspal yang terdiri dari agregat halus dapat dipengaruhi oleh kerapatan agregat. Persamaan 3.9 berikut merupakan perhitungan analisa berat jenis kering mutlak pada agregat halus.

$$\text{Berat jenis kering mutlak} = \frac{B_k}{B+500-B_t} \quad (3.9)$$

Dengan :

B<sub>k</sub> = berat pasir kering mutlak (gram),

B<sub>t</sub> = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

B = berat piknometer berisi air (gram).

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu pada agregat halus adalah ukuran yang memperhitungkan berat jenis agregat halus dan ruang pori-porinya.

Dengan kata lain, berat jenis semu menghitung kerapatan agregat halus dan ruang pori-porinya. Ini adalah cara untuk menghitung bagaimana pori-pori atau ruang kosong agregat memengaruhi berat jenis agregat secara keseluruhan. Dalam analisis agregat, parameter ini sangat penting karena dapat memengaruhi kinerja agregat dalam campuran beton. Persamaan 3.10 berikut merupakan perhitungan analisa berat jenis kering semu pada agregat halus.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (3.10)$$

Dengan :

$B_k$  = berat pasir kering mutlak (gram),

$B_t$  = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

$B$  = berat piknometer berisi air (gram).

#### 4) Penyerapan air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air yang dapat diserap quarry terhadap berat agregat kering. Persamaan 3.11 berikut merupakan perhitungan analisa penyerapan air pada agregat halus.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - B_k}{B_k} \quad (3.11)$$

Dengan :

$B_k$  = berat pasir kering mutlak (gram).

#### b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat pada agregat halus merupakan prosedur yang digunakan untuk menentukan berat jenis atau berat isi padat agregat halus. Prosedur ini mengukur kerapatan agregat halus pada keadaan terpadat tanpa memperhitungkan pori-pori atau retakan agregat, sehingga berguna untuk mengukur kerapatan agregat yang dapat memengaruhi sifat campuran beton. Persamaan 3.12 berikut merupakan perhitungan Analisa berat isi padat pada agregat halus.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \quad (3.12)$$

Dengan :

W = berat agregat (gram),

Vol = volume silinder yang digunakan  $\text{cm}^3$ .

c. Analisa saringan

Pengujian analisa saringan pada agregat halus adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur distribusi ukuran butiran agregat halus, seperti pasir, dalam sampel. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memisahkan agregat halus menjadi berbagai fraksi berdasarkan ukuran butiran masing-masing. Hasil analisis saringan akan menunjukkan persentase agregat halus dalam masing-masing fraksi ukuran butiran. Persamaan 3.13 dan 3.14 berikut merupakan perhitungan analisa saringan dan modulus kehalusan pada agregat halus.

$$\text{Persentase berat yang hilang} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (3.13)$$

$$\text{Modulus kehalusan} = \frac{\sum(\% \text{kom}) - 100}{100} \quad (3.14)$$

Dengan :

a = berat agregat kering mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

$\Sigma (\% \text{kom.})$  = berat tertinggal kumulatif (%).

d. Pengujian lolos saringan no.200

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa banyak bahan yang keluar dari saringan no. 200 (0,075 mm) setelah agregat dicuci hingga air cucian menjadi jernih. Ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak lumpur yang terkandung dalam agregat halus dan agregat kasar. Lumpur adalah bahan halus yang menutupi permukaan butiran agregat dan lolos saringan no. 200. Kadar lumpur yang tinggi dapat mengurangi kekuatan, ketahanan, dan kualitas campuran beton atau aspal. Lumpur dan debu halus yang dihasilkan dari pemecahan batu sangat kecil. Jumlah air yang digunakan dalam pencampuran beton

dapat dipengaruhi oleh jumlah lumpur dan tanah liat yang terkandung dalam agregat. Selain itu, hal ini dapat menyebabkan ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi kurang kuat. Selain itu, dapat menyebabkan beton menjadi lebih lemah dan menghasilkan creep yang berlebihan. (SNI 03-2461, 2002) menetapkan batas maksimum untuk jumlah lumpur total. Untuk agregat halus dan kasar, kadar lumpur tidak boleh melebihi 5%. Untuk memastikan kualitas campuran beton yang baik, standar ini harus dipatuhi. Persamaan 3.15 menunjukkan perhitungan analisis kandungan lumpur pada agregat halus, dan efek agregat pada sifat beton dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (3.15)$$

Dengan :

$W_1$  = berat agregat halus kering oven (gram),

$W_2$  = berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

**Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton**

Sifat Agregat	Pengaruh	Sifat
Bentuk, tekstur dan gradasi	Beton cair	Kecelakaan pengikatan dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, dan mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, dan ketahanan ( <i>durability</i> )

### 3.3.2 Semen Portland

Semen Portland merupakan Jenis semen yang paling sering digunakan saat membangun bangunan. Semen Portland dibuat dari bahan utama batu kapur, tanah liat, pasir besi, dan bijih besi yang dicampur dalam jumlah tertentu dan dipanaskan dalam kiln pada suhu tinggi hingga mencapai tahap pembakaran atau kalsinasi. Setelah proses pembakaran, bahan mentah menjadi klinker yang kemudian dihaluskan menjadi bubuk halus berwarna abu-abu. Air dicampur dengan bubuk

semen Portland ini untuk membentuk pasta semen, yang digunakan untuk menempelkan batu bata, beton, atau bahan bangunan lainnya.

Keunggulan semen portland termasuk kekuatan tekannya yang tinggi, ketahanan terhadap kondisi lingkungan dan cuaca, dan kemampuan untuk mengeras dan mengikat dengan kuat ke permukaan. Selain itu, semen portland mudah ditemukan di pasar dan harganya terjangkau. Semen portland terdiri dari beberapa jenis.

1. semen portland tipe I: digunakan untuk konstruksi bangunan umum,
2. semen portland tipe II: digunakan untuk konstruksi bangunan yang terkena sulfat,
3. semen portland tipe III: digunakan untuk konstruksi bangunan dengan kecepatan pengeringan yang cepat,
4. semen portland tipe IV: digunakan untuk konstruksi bangunan dengan tingkat keamanan yang tinggi seperti bendungan atau Pelabuhan,
5. semen portland tipe V: digunakan untuk konstruksi bangunan yang terkena sulfat tinggi.

Dalam penggunaannya, harus diperhatikan proporsi campuran semen Portland dengan agregat dan air yang tepat agar menghasilkan campuran beton yang kuat dan tahan lama.

### **3.3.3 Air**

Air adalah badan dasar yang sangat penting untuk campuran beton karena membantu mereaksikan semen, membentuk pasta semen, dan memberikan kekuatan kepada beton. Tanpa air, semen tidak dapat mengeras dan membentuk beton yang kuat dan tahan lama. Namun, terlalu banyak air dalam campuran dapat menyebabkan beton runtuh.

Penggunaan air dalam campuran beton harus diukur dengan cermat dan disesuaikan dengan jenis semen dan agregat yang digunakan agar campuran menjadi kuat dan tahan lama. Selain itu, air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih dan tidak terkontaminasi oleh bahan lain yang dapat merusak kualitas beton. Untuk menentukan jumlah air yang tepat untuk campuran beton, beberapa hal harus dipertimbangkan, antara lain:

1. Jenis semen
2. Jenis dan ukuran agregat
3. Tekstur dan konsistensi campuran beton
4. Lingkungan sekitar tempat pengerjaan beton (seperti suhu udara, kelembaban udara, dan waktu pengeringan yang tersedia).

Pemakaian air untuk campuran beton disesuaikan dengan kondisi lapangan dan produsen semen dan agregat yang digunakan. Dibawah ini dapat dilihat pada gambar 3.1 merupakan grafik hubungan FAS dengan kuat tekan beton.

### **3.4 Bahan Tambah**

Berdasarkan (SNI 7656, 2012), bahan tambah adalah bahan yang bisa berbentuk serbuk atau cair, yang ditambahkan ke dalam adukan beton selama proses pencampuran dalam jumlah tertentu yang berguna untuk mengubah beberapa sifatnya. Menurut (Mulyono, 2004), bahan tambahan digunakan sesuai dengan kondisi untuk pekerjaan konstruksi di lapangan. Bahan tambah harus digunakan dengan proporsi persentase yang sedikit dan diawasi secara ketat untuk memastikan bahwa bahan diberikan secara proporsional. Penggunaan bahan yang berlebihan dapat menyebabkan kualitas dan sifat beton menjadi buruk. Mengubah sifat beton dapat membuatnya lebih baik untuk pekerjaan tertentu dan mendapatkan harga yang lebih murah lebih murah.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), bahan tambah berfungsi untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Mempercepat pengerasan.
2. Menambah encer adukan.
3. Menambah daktilitas (mengurangi sifat getas).
4. Menambah kuat tekan pada beton.
5. Mengurangi retak-retak pengerasan

#### **3.4.1 Limbah tumbukan bata**

Limbah tumbukan bata adalah material sisa yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi, renovasi, maupun pembongkaran bangunan, yang berasal dari bata merah yang mengalami kerusakan, pecah, atau tidak lagi memenuhi persyaratan penggunaan. Material ini umumnya berbentuk pecahan hingga butiran halus dengan

ukuran yang bervariasi, tergantung pada proses penghancuran yang dilakukan. Secara fisik, tumbukan bata memiliki permukaan yang relatif kasar, struktur berpori, serta kemampuan menyerap air yang lebih besar dibandingkan agregat halus alami seperti pasir. Dari sisi kimia, bata merah berasal dari tanah liat yang dibakar pada suhu tinggi sehingga mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang berpotensi memengaruhi sifat campuran beton. Apabila tidak dikelola dan dimanfaatkan dengan baik, limbah tumbukan bata dapat menambah volume limbah konstruksi, mempercepat penumpukan di tempat pembuangan akhir, serta menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah tumbukan bata sebagai bahan alternatif dalam campuran beton merupakan salah satu solusi yang sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan dan upaya pengurangan eksploitasi agregat alam. Dalam penerapannya pada beton, limbah tumbukan bata dapat digunakan sebagai substitusi parsial agregat halus, di mana pada persentase tertentu material ini dapat berperan sebagai bahan pengisi (filler) yang membantu mengisi rongga antar agregat sehingga menghasilkan beton yang lebih rapat dan padat. Namun demikian, apabila penggunaannya melebihi batas optimum, sifat poros dan tingginya daya serap air dari tumbukan bata dapat menyebabkan penurunan kelecakan (workability), peningkatan kebutuhan air, serta berpotensi menurunkan kekuatan dan durabilitas beton. Oleh sebab itu, pemanfaatan limbah tumbukan bata dalam beton perlu direncanakan secara cermat melalui pengendalian kadar substitusi dan desain campuran yang sesuai agar diperoleh kinerja beton yang optimal sekaligus memberikan manfaat lingkungan.



**Gambar 3. 1 Limbah Tumbukan Bata**

### 3.5 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton adalah proses merancang dan mengembangkan komposisi campuran beton untuk proyek konstruksi tertentu. Perencanaan campuran beton berfokus pada pembuatan campuran yang memiliki sifat mekanik seperti kekuatan, daya tahan, kerapatan, dan lainnya, yang sesuai dengan spesifikasi proyek dan persyaratan lingkungan. Penelitian ini menggunakan campuran beton berdasarkan (SNI-03-2834, 2000), yang mengatur prosedur pembuatan campuran beton standar.

Perlu diingat bahwa proporsi campuran beton yang tepat harus disesuaikan dengan jenis dan ukuran agregat yang digunakan, serta faktor-faktor lingkungan dan teknis lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas beton ringan. Oleh karena itu, sebaiknya mengacu pada SNI yang telah berlaku tentang beton normal serta memperhatikan faktor-faktor penting lainnya seperti konsistensi campuran, kekuatan beton yang dibutuhkan, dan penggunaan beton pada kondisi lingkungan tertentu. (SNI-03-2834, 2000) menetapkan persyaratan untuk menentukan proporsi campuran beton.

- a. Rencana campuran beton ditentukan berdasarkan hubungan antara kuat tekan beton terhadap berat jenis dan berat jenis terhadap jumlah fraksi agregat.
- b. Kuat hancur agregat tidak boleh lebih besar dari kuat tekan adukan.

Dalam proses memilih proporsi campuran beton, diperlukan pertimbangan tambahan. Kekuatan tekan rata-rata yang diinginkan, berat isi beton yang dibutuhkan, penggunaan agregat ringan, proporsi campuran ringan, dan koreksi proporsi campuran adalah semua elemen yang dihitung dalam perhitungan ini. Tata cara perencanaan proporsi campuran yang biasa digunakan adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan yang diisyaratkan

Kuat tekan yang diisyaratkan adalah kuat tekan yang akan direncanakan selama 28 hari perencanaan ( $f'_c$ ). Kuat tekan ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan campuran beton yang akan digunakan selama pembuatan beton.

## 2. Deviasi Standar

Deviasi standar pada kuat tekan rata-rata beton dihitung dengan mengukur kuat tekan beton dari sejumlah sampel, kemudian menghitung nilai rata-rata dan deviasi standar. Ini menunjukkan seberapa jauh kuat tekan rata-rata beton dari nilai rata-rata yang diharapkan. Deviasi standar kuat tekan rata-rata beton dapat menunjukkan seberapa homogen beton tersebut dan seberapa besar variasi kuat tekannya dari campuran beton yang sama. Menurut (SNI-03-2834, 2000) standar yang didapat dari proses deviasi dilapangan selama produksi beton menurut rumus :

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.16)$$

dengan :

$S_r$  = Deviasi standar.

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

$\bar{x}$  = Kuat tekan beton rata-rata.

$N$  = Jumlah nilai hasil uji yang harus diambil minimum 30 buah.

Untuk menghitung deviasi standar dari dua hasil yang akan digunakan memiliki persyaratan sebagai berikut.

- a. Mewakili bahan-bahan, prosedur pengawasan mutu, dan kondisi produksi yang sebanding dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. mewakili kuat tekan  $f'_c$  beton yang ditentukan, yang berada di bawah batas 7 MPa dari  $f_{cr}$ .
- c. Setidaknya terdiri dari 30 hasil uji yang diurutkan atau dua kelompok hasil uji yang dibuat dalam waktu kurang dari 45 hari.
- d. Jika hanya ada 15 hingga 29 hasil uji yang berurutan, tetapi tidak ada dua hasil uji yang memenuhi poin a, nilai deviasi standar akan dikalikan dari data hasil uji dengan faktor pengali yang tercantum pada tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3. 2 Faktor Pengendali Untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Yang Tersedia Kurang**

JUMLAH PENGUJIAN	FAKTOR PENGALI DEVIASI STANDAR
<15	Diterangkan lebih lanjut
15	1,16
20	1,18
25	1,03
30<	1,00

(Sumber : SNI-08-2834-2000)

- e. Kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan  $f'_{cr}$  tidak boleh kurang dari ( $f'_c = 12$  MPa) jika data uji lapangan kurang dari 15.

3. Nilai Tambah

Nilai tambah bisa di hitung dengan rumus:

$$M = k \times s \quad (3.17)$$

dengan :

$M$  = nilai tambah.

$K$  = tetapan statistic yang nilainya tergantung pada persentase hasil uji yang lebih rendah dari  $f'_c$ . dalam hal ini diambil 5% dan nilai  $k = 1,64$ .

$Sr$  = deviasi standar.

4. Kuat tekan rata-rata

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.18)$$

dengan :

$f'_{cr}$  = Kuat tekan beton rata-rata (MPa).

$f'_c$  = kuat tekan beton yang direncanakan (MPa).

$M$  = Nilai tambah margin (MPa).

5. Pemilihan Faktor Air Semen

Untuk mencapai kuat tekan rata-rata yang diisyaratkan, faktor air semen harus dipilih, menurut (SNI-03-2834, 2000):

- a. Sesuai dengan bahan dan kondisi pekerjaan yang disarankan, penelitian lapangan menemukan hubungan kuat tekan dan faktor air semen. Jika data tidak tersedia.

- b. Grafik 3.2 di bawah ini menunjukkan hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen. Penentuan faktor air semen didasarkan pada benda uji dengan bentuk doolinder 15 cm dan tinggi 30 cm.
- c. Tabel 3.3 tentang perkiraan kuat tekan beton dari (SNI-03-2834, 2000) menyediakan ketentuan kuat tekan rata-rata untuk memenuhi target dari grafik yang akan dibuat.

**Tabel 3. 3 Tabel Perkiraan Kuat Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang di Pakai**

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

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

- d. Setelah mengetahui FAS dari tabel dan grafik yang digunakan sesuai dengan (SNI-03-2834, 2000), adalah mungkin untuk menentukan FAS tertinggi yang akan digunakan sesuai dengan tabel yang ada di (SNI-03-2834, 2000). Tabel tersebut dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.

Keadaan beton	Jumlah semen minimum Per m <sup>3</sup> 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 kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan :	325	0,60
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,62
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung		
Beton yang masuk kedalam tanah :	325	0,55
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti		Lihat Tabel 3.5.b
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinue berhubungan :		Lihat Tabel 3.5.c
a. Air tawar		
b. Air laut		

**Gambar 3. 2 Tabel Penentuan Nilai FAS Maksimum dari Jumlah Semen Maksimum dari Jenis Lokasi Pembetonan**

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

6. Penentuan Nilai Slump  
Menurut (SNI-03-2834, 2000), Nilai slump ditentukan oleh kondisi pelaksanaan di lapangan sehingga beton yang mudah dikerjakan, dituangkan, didapatkan, dan diratakan dapat dihasilkan.
7. Penentuan Ukuran Agregat Maksimum  
Menurut (SNI-03-2834, 2000), Besar atau ukuran butir agregat yang paling besar dipilih sesuai dengan persyaratan yang tidak boleh melebihi:
  - a. Seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan,
  - b. sepertiga dari tebal pelat,
  - c. tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara batang-batang atau berkas-berkas tulangan.
8. Penentuan Kadar Air Bebas  
Kadar air bebas dihitung untuk mengetahui seberapa banyak air yang digunakan serta jumlah agregat yang diperkirakan digunakan. Kadar air

bebas sesuai dengan (SNI-03-2834, 2000) dapat dihitung dengan cara berikut:

- a. Nilai-nilai untuk kedua agregat tak dipecah dan agregat dipecah digunakan pada grafik penentuan slump; tabel penentuan kadar air bebas dapat ditemukan di bawah ini, Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4 Tabel Penentuan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan Berdasarkan Penentuan Nilai Slump**

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

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

- b. Agregat campuran (tak dipecah dan dipecah), dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$W = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.19)$$

dengan :

W = Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m<sup>3</sup>),

W<sub>h</sub> = perkiraan jumlah air untuk agregat halus,

W<sub>k</sub> = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

#### 9. Penentuan Kebutuhan Semen

Untuk mengetahui berapa banyak pengikat hidrolis yang diperlukan untuk beton, kadar semen yang diperlukan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{f_{\text{as}}} \quad (3.20)$$

dengan :

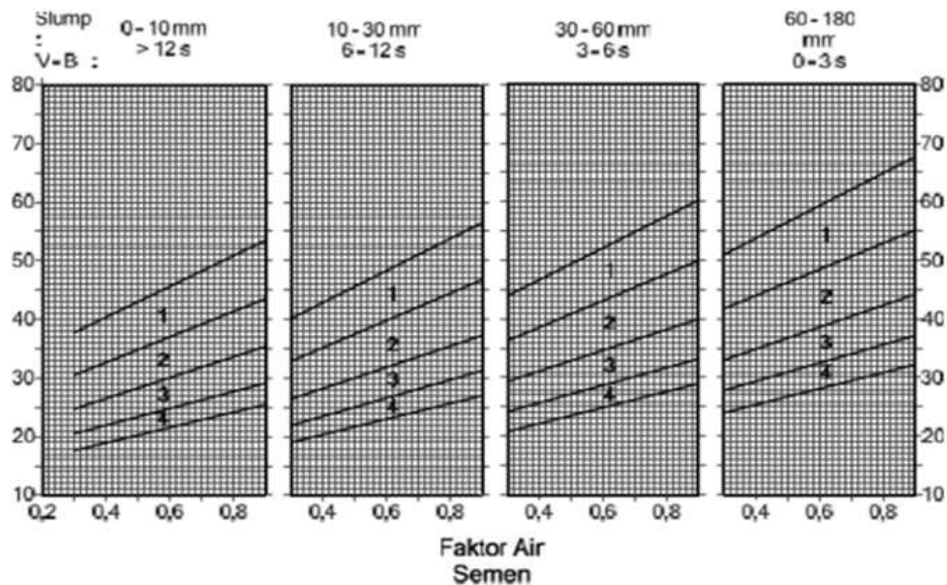
$W_{\text{semen}}$  = jumlah semen yang dibutuhkan,

$W_{\text{air}}$  = jumlah air yang dibutuhkan,

$f_{\text{as}}$  = nilai fas yang digunakan.

#### 10. Penentuan Persentase Jumlah Agregat Halus

Menurut (SNI-03-2834, 2000), jumlah agregat halus yang disimpan dihitung dengan menggunakan besar ukuran agregat kasar maksimum, nilai slump, daerah gradasi agregat halus, dan faktor air semen. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 3.4 grafik di bawah ini.



**Gambar 3. 3 Persentase Agregat Halus dengan Ukuran Butir Agregat Kasar Maksimum 20 mm**

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

#### 11. Penentuan Berat Jenis Relatif Gabungan

Gunakan persamaan untuk menemukan berat jenis relative gabungan agregat. Persamaan tersebut ditunjukkan di bawah ini.

$$B_{j_{\text{gabungan}}} = \%AH \times B_{j_{\text{halus}}} + \%AK \times B_{j_{\text{kasar}}} \quad (3.21)$$

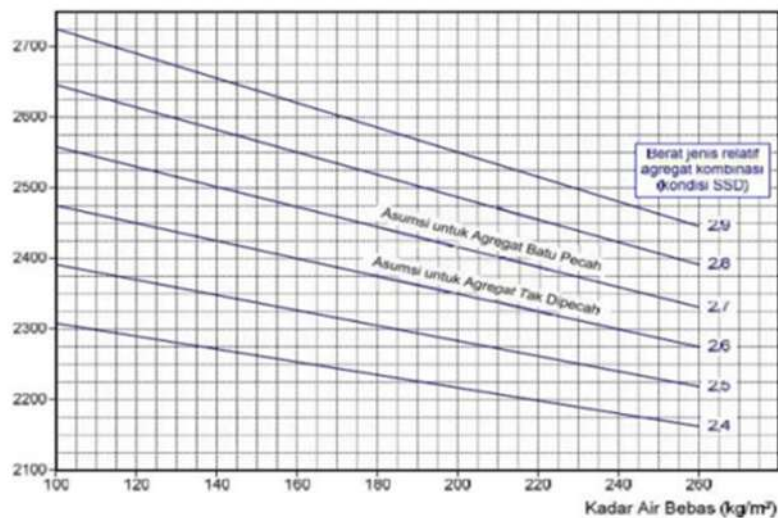
dengan :

$B_{j_{\text{gabungan}}}$  = berat jenis agregat gabungan,

- $B_{j_{halus}}$  = berat jenis agregat halus,  
 $B_{j_{kasar}}$  = berat jenis agregat kasar,  
 $\%AH$  = persen agregat halus,  
 $\%AK$  = persen agregat kasar.

## 12. Penentuan Berat Isi Beton

Berat isi beton dihitung untuk mengetahui berat total campuran dalam beton. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan gambar 3.5 di bawah ini.



**Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton.**

(Sumber : SNI-03-2834-2000)

## 13. Penentuan Proporsi Campuran Beton

Penentuan proporsi campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$W_{halus} = (W_{isi\ beton} - W_{isi\ semen} - W_{air}) \times \%AH \quad (3.22)$$

$$W_{kasar} = (W_{isi\ beton} - W_{isi\ semen} - W_{air}) \times \%AK \quad (3.23)$$

dengan :

$W_{halus}$  = berat isi beton,

$W_{kasar}$  = berat semen,

$W_{semen}$  = jumlah semen yang dibutuhkan,

$W_{air}$  = jumlah air yang dibutuhkan,

$\%AH$  = persen agregat halus,

$\%AK$  = persen agregat kasar.

#### 14. Penentuan Berat Volume Beton

Penentuan berat volume beton didapatkan dengan membandingkan antara berat beton dan volume beton. Berat volume beton dapat diketahui dengan persamaan 3.24 sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.24)$$

dengan :

$\gamma$  = berat volume beton (dalam kg/m<sup>3</sup> atau N/m<sup>3</sup>),

W = berat beton (dalam kg atau N)

V = volume beton (dalam m<sup>3</sup>)

### 3.6 Kuat Tekan Beton

Salah satu cara untuk mengukur kekuatan beton adalah dengan melakukan uji kekuatan tekannya. Uji kuat tekan biasanya dilakukan pada beton yang sudah mengeras di laboratorium konstruksi. Ini dilakukan dengan memotong sampel beton segar dan memasukkannya ke dalam mesin uji tekan. Setelah itu, beban tekan diberikan pada sampel beton secara bertahap hingga sampai pada titik pecah. Selanjutnya, kekuatan sampel beton diukur dalam satuan Newton per milimeter persegi (N/mm<sup>2</sup>) atau megapascal (MPa).

Hasil uji kuat tekan beton dapat digunakan untuk menentukan kualitas beton dan memastikan bahwa beton yang digunakan dalam konstruksi memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diberikan. Hasil uji juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran, jenis pengisi yang digunakan, waktu pengeringan, dan variabilitas lainnya yang mempengaruhi kekuatan beton.

Standar kekuatan tekan beton bervariasi tergantung pada jenis bangunan dan aplikasinya. Misalnya, untuk bangunan rumah tangga biasanya berkisar antara 17–30 MPa, namun, untuk bangunan bertingkat tinggi atau jembatan biasanya lebih tinggi, berkisar antara 30-60 MPa.

Menurut (Mulyono, 2004), pemeriksaan kekuatan tekan beton ringan dilakukan pada umur 28 hari untuk mengetahui apakah beton memenuhi standar atau tidak.

**Tabel 3. 5 Hubungan Antara Umur Beton dan Kuat Tekan Beton**

Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton (%)
7	65
14	88
21	95
28	100

(Sumber: Mulyono.T, 2004 )

Tabel 3.5 di atas menunjukkan bahwa umur beton berpengaruh pada kekuatan tekannya. Oleh karena itu, untuk menemukan nilai kadar optimum pada beton, pengujian yang dilakukan pada penelitian kuat tekan tidak hanya dilakukan pada beton yang berumur 28 hari.

Uji kuat tekan dilakukan dengan mesin uji tekan. (SNI 1974, 2011) menyatakan bahwa persamaan digunakan untuk menghitung kekuatan tekan beton, yang memengaruhi hasil pengujian di laboratorium dengan sampel beton. Kuat tekan beton dapat diketahui dengan persamaan 3.25 sebagai berikut.

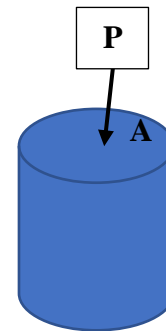
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.25)$$

dengan :

$f'c$  = kuat tekan

$P$  = beban tekan,

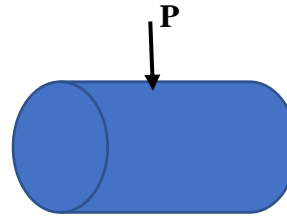
$A$  = luas penampang benda uji  $mm^2$ .



### 3.7 Kuat Tarik Belah Beton

Uji kekuatan tarik dilakukan pada silinder beton berdiameter 15 cm dan panjang 30 cm dengan mesin yang sama dengan pengujia kekuatan tekan beton. Uji dilakukan dengan benda uji diletakkan di alat uji secara memanjang atau horizontal, dan beban diberikan secara merata dari atas ke seluruh panjang silinder. Berdasarkan (SNI 03-2491, 2002), persamaan dapat digunakan untuk melakukan analisis kekuatan tarik/belah, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 3.26 berikut ini.

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L}$$



(3.26)

dengan :

$f_{ct}$  = Kuat tarik/belah beton pada umur 28 hari (MPa),

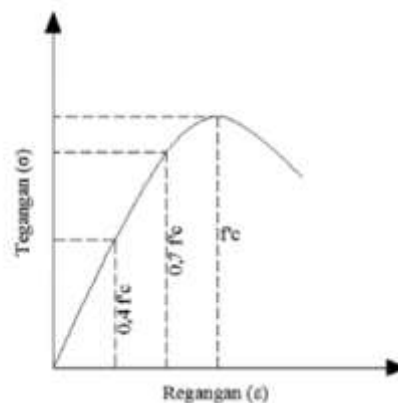
$P$  = beban maksimum (N),

$D$  = diameter silinder beton (mm), dan

$L$  = tinggi silinder beton (mm)

### 3.8 Modulus Elastisitas Beton

Menurut (G.Nawy, 1990) untuk membuat persamaan-persamaan analisis dan desain yang diperlukan, serta prosedur yang relevan untuk struktur beton, diperlukan pengetahuan tentang hubungan antara tegangan dan regangan beton. Modulus elastisitas beton, atau modulus young, menunjukkan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi elastis. Dengan demikian, modulus elastisitas menunjukkan kemampuan material untuk mengubah bentuknya saat dikenai beban pada benda uji. Salah satu cara untuk menunjukkan kekakuan suatu material adalah dengan menggunakan modulus elastisitasnya, semakin besar nilai modulusnya, semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi ketika material diberi gaya, dan semakin kecil regangan elastis yang terjadi, yang menunjukkan karakteristik kekakuan yang lebih tinggi (SNI 2826, 2008). Perbandingan tegangan dan regangan dapat dilihat dengan hubungan tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 3.4 Berikut ini.



**Gambar 3. 5 Kurva Hubungan Tegangan dan Regangan Beton**

(Sumber: Nawy, 1990)

Persamaan yang diberikan dalam (SNI 2847, 2019), bagian 19.2.2, dapat digunakan untuk menghitung analisis modulus elastisitas beton. Untuk beton biasa dengan  $W_c$  yang berkisar antara 1440-2560 kg/m<sup>3</sup>. Persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.27 dan 3.28 sebagai berikut.

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.27)$$

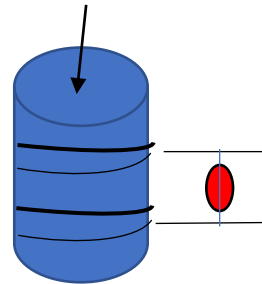
dan,

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.28)$$

dengan :

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa),

$W_c$  = berat isi beton (kg/m<sup>3</sup>).



Nilai modulus elastisitas pengujian dihitung menggunakan rumus ASTM C-469. Data pengujian diolah dan dianalisis seperti persamaan berikut.

$$E_c = \frac{S1-S2}{\varepsilon^2 - 0,00005} \quad (3.29)$$

dengan :

$E_c$  = modulus elastisitas beton (MPa),

$S1$  = kuat tekan beton pada saat regangan longitudinal mencapai  $\varepsilon^2 = 0.00005$ ,

$S2$  = kuat tekan beton pada saat 40% dari beban maksimum (MPa),

$\varepsilon^2$  = regangan longitudinal yang dihasilkan pada saat  $S2$ .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L0}$$

keterangan :

$\Delta L$  = deformasi longitudinal (mm),

$L0$  = tinggi efektif pengukuran (mm).

### 3.9 Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah massa beton per satuan volume, yang sering disebut sebagai densitas beton. berkisar antara 2200 dan 2500 kg/m<sup>3</sup>, tergantung pada proporsi bahan yang digunakan, serta jenis agregat, kadar semen, dan kadar air. Beton dengan agregat ringan memiliki berat volume yang lebih rendah, sedangkan beton dengan agregat padat, seperti batu pecah, memiliki berat volume yang lebih tinggi. Dalam pengujian berat volume beton mengacu pada metode (SNI

1973, 2016) yang mengacu pada standar (Astm:C138/C138M-13, 2013), digunakan untuk menguji berat volume beton segar. Pengujian ini dilakukan dengan menimbang beton dalam wadah ukur dan membandingkan massa dengan volumenya. Berat volume beton dapat diketahui dengan persamaan 3.30 dan 3.31 sebagai berikut.

Jika sudah di ketahui dimensi silinder, maka:

$$V = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \quad (3.30)$$

dengan :

V = Volume silinder,

d = diameter silinder,

t = tinggi atau panjang.

Rumus berat volume beton :

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.31)$$

dengan :

$\gamma$  = berat volume beton (dalam kg/m<sup>3</sup> atau N/m<sup>3</sup>),

W = berat beton (dalam kg atau N),

V = volume beton (dalam m<sup>3</sup>).

### 3.10 Penyerapan Air

Proses di mana beton menyerap sejumlah air tertentu disebut penyerapan air. Penggunaan agregat atau bahan tambah dalam pembuatan beton dapat menjadi faktor utama yang memengaruhi tingkat penyerapan air. Untuk melakukan pengukuran ini, kita dapat menggunakan persamaan 3.32 yang telah disediakan dalam pengujian yang relevan.

$$W = \frac{W_w - W_s}{W_s} \quad (3.32)$$

dengan :

W = persentase Penyerapan air,

W<sub>w</sub> = berat beton SSD (Kg),

W<sub>s</sub> = berat beton kering (Kg)

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yang berarti mengubah variabel bebas dalam kondisi tertentu untuk mengidentifikasi hubungan sebab akibat dari satu atau lebih variabel yang relevan. Studi ini dilakukan dalam empat tahap yaitu pengujian agregat, perencanaan mix design, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Dalam penelitian ini, limbah batu bata digunakan sebagai bahan substitusi. Persentase limbah tumbukan bata yaitu sebesar 0%, 7,5%, 15% dan 22,5% dari berat pasir sebagai bahan substitusi agregat halus. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

#### **4.2 Variable Penelitian**

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang dapat diukur, diamati, atau dikendalikan dalam suatu penelitian, dan yang mengalami perubahan atau perbedaan nilai antar objek atau subjek penelitian. Variabel berfungsi sebagai fokus utama dalam pengumpulan dan analisis data karena variabel mewakili gejala atau karakteristik yang ingin dikaji. Berikut ini adalah variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Variabel bebas: tumbukan batu bata sebagai substitusi pasir.
2. Variabel terikat: Kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, modulus elastis beton, uji slump, berat volume beton, dan penyerapan air.
3. Variabel tetap : Kuat tekan beton 20 MPa, bentuk benda uji, dimensi benda uji.

#### **4.3 Bahan yang Digunakan**

Berikut ini adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Agregat halus

Pada penelitian ini, agregat halus yang digunakan berasal dari Sungai Progo, DI Yogyakarta, dan telah melalui analisis saringan terlebih dahulu untuk menentukan gradasinya.



**Gambar 4. 1 Agregat Halus**

(Sumber : Pribadi, 2025)

## 2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah dari Clereng, DI Yogyakarta, yang memiliki diameter maksimal 20 milimeter.



**Gambar 4. 2 Agregat Kasar**

(Sumber : Pribadi, 2025)

### 3. Semen Portland

Semen portland yang digunakan dalam penelitian ini bertujuan sebagai bahan pengikat. Semen portland tipe I dengan merek tiga roda dan berat 40 kilogram.



**Gambar 4. 3 Semen Portland**

(Sumber : Pribadi, 2025)

### 4. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Kontruksi di Jurusan Teknik Sipil dan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan secara visual bebas dari bahan lain.



**Gambar 4. 4 Air**

(Sumber : Kibrispdr, 2025)

## 5. Tumbukan Batu Bata Merah

Tumbukan batu bata yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah proyek bangunan yang ada di Yogyakarta.



**Gambar 4. 5 Tumbukan Batu Bata Merah**

(Sumber : Pribadi, 2025)

### 4.4 Alat yang Digunakan Dalam Penelitian

Untuk mendukung pembuatan benda uji dalam penelitian ini, diperlukan beberapa alat yang berkualitas tinggi, seperti berikut.

#### 1. Saringan Agregat

Saringan agregat digunakan untuk memisahkan agregat (bahan kasar seperti pasir, kerikil, batu pecah, dll.) menjadi berbagai ukuran partikel. Alat ini terdiri dari beberapa lapisan saringan yang masing-masing memiliki ukuran lubang yang berbeda.

Pada saringan agregat, bahan biasanya dipisahkan dengan mengayak lapisan saringan. Partikel yang lebih besar akan terperangkap di atas lapisan saringan yang lebih halus, sedangkan partikel yang lebih kecil akan lolos melalui lubang-lubang saringan yang lebih besar.



**Gambar 4. 6 Saringan Agregat**

(Sumber : kumpulanengineer, 2014)

## 2. Timbangan

Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berat material yang akan digunakan selama proses pembuatan benda uji. Berat material yang dibutuhkan dihitung berdasarkan hasil perhitungan desain campuran.



**Gambar 4. 7 Timbangan**

(Sumber : Pribadi, 2025)

## 3. Oven

Oven adalah perangkat yang digunakan untuk mengeringkan sampel beton atau bahan beton lainnya pada suhu dan waktu yang ditentukan sebelum melakukan pengujian fisik dan mekanik pada bahan tersebut. Tujuan oven adalah untuk memastikan bahwa sampel beton menjadi kering dan stabil sebelum pengujian dilakukan, yang menghasilkan hasil yang lebih akurat dan konsisten.

Pengeringan sampel beton di oven dilakukan dengan memanaskan sampel pada suhu tertentu, biasanya antara 60 - 70 derajat Celcius, selama beberapa jam atau bahkan hari, tergantung pada jenis dan ukuran sampel beton yang diuji. Tujuan pengeringan dengan oven adalah untuk menghilangkan kelembaban dari sampel beton, yang membantu mengurangi dampak kelembaban pada hasil uji yang lebih akurat.



**Gambar 4. 8 Oven**

(Sumber: Andarupm, 2024)

#### 4. Sekop

Sekop beton, juga dikenal sebagai corong beton, digunakan untuk mencampur adukan beton dan memindahkan campuran dari tempat pencampuran ke tempat pengecoran. Sekop biasanya terbuat dari logam atau plastik dan memiliki pegangan yang membuatnya lebih mudah digunakan.



**Gambar 4. 9 Sekop**

(Sumber : bp-guide, 2023)

## 5. Pikhnometer

Pikhnometer adalah alat laboratorium yang digunakan untuk mengukur kerapatan atau densitas cairan atau zat padat. Alat ini berbentuk botol atau tabung yang terbuat dari kaca atau bahan lain yang tahan terhadap bahan yang akan diukur. Pikhnometer juga dilengkapi dengan tutup dan pengukur volume, yang biasanya terukir di badan tabung atau botolnya untuk mengukur densitasnya.



**Gambar 4. 10 Pikhnometer**

(Sumber : Safacitramandiri, 2025)

## 6. *Concrete Mixer*

*Concrete Mixer*, juga dikenal sebagai mesin pencampur beton, digunakan untuk mencampur bahan-bahan konstituen beton, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen, dan air, menjadi campuran beton yang halus dan homogen. Mesin pencampur beton biasanya terdiri dari sebuah drum atau tabung yang berputar di sekitar porosnya, dan memiliki sudut kemiringan yang memungkinkan campuran bahan-bahan konstituen dilakukan dengan baik.

Mesin pencampur beton dinyalakan, drum akan berputar dengan kecepatan yang stabil dan bahan-bahan konstituen dimasukkan ke dalamnya melalui pintu yang ada di atasnya. Drum terus berputar, sehingga bahan-bahan konstituen tercampur secara merata, menciptakan adukan beton yang konsisten dan homogen.

Untuk memastikan konsistensi yang diinginkan, air ditambahkan secara bertahap ke campuran selama proses pencampuran.



**Gambar 4. 11 Concrete Mixer**

(Sumber : Pribadi, 2025)

#### 7. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams dinamai insinyur Amerika Serikat Charles F. Abrams, yang mengembangkan metode pengujian konsistensi beton pada tahun 1918, dan digunakan untuk mengukur konsistensi dan kemampuan pemadatan beton segar.

Kerucut Abrams terbuat dari logam atau plastik dengan ukuran dan bentuk yang standar. Kerucut ini memiliki lubang di bagian bawahnya yang berukuran 20 mm x 10 mm dan berfungsi untuk mengalirkan adukan beton selama pengujian. Kerucut ini juga dilengkapi dengan pegangan untuk memudahkan penanganan.

Uji slump dengan kerucut Abrams dilakukan dengan mengisi kerucut dengan adukan beton baru yang telah diambil dari tempat pencampuran. Kemudian, stempel khusus yang disebut "tamping rod" digunakan untuk mencetak adukan beton di atas kerucut hingga 25 kali. Setelah itu, beton mengalir keluar dari lubang yang terletak di bagian bawah kerucut dan diukur dengan alat ukur.



**Gambar 4. 12 Kerucut Abrams**

(Sumber : Solusikonstruksi, 2020)

8. Bekisting Beton

Bekisting beton adalah struktur sementara yang digunakan untuk membantu membentuk dan mendukung beton selama proses pengecoran. Bekisting beton biasanya dibuat dari kayu, logam, atau plastik dan dibuat sesuai dengan bentuk dan ukuran beton yang diinginkan. Dalam kasus penilitan ini, bekisting berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



**Gambar 4. 13 Bekisting Beton**

(Sumber : Balisafety, 2024)

9. *Compression Testing Machine*

*Compression Testing Machine* biasanya digunakan di laboratorium atau pengujian material untuk mengukur kekuatan tekan beton dan memastikan bahwa beton memenuhi standar.



**Gambar 4. 14 Compression Testing Machine**

(Sumber : Pribadi, 2025)

10. Meja Getar (*Vibrating Table*)

Meja getar atau *vibrating table* adalah alat bantu laboratorium yang digunakan untuk memadatkan beton segar dalam cetakan dengan cara memberikan getaran. Berfungsi untuk memadatkan beton secara merata dalam cetakan, menghilangkan rongga udara (voids) di dalam beton yang bisa mengurangi kekuatan, dan menjamin kepadatan dan kekompakan beton, terutama pada uji kuat tekan, kuat lentur, dan lain-lain.



**Gambar 4. 15 Meja Getar**

(Sumber : Probo.W.D, 2024)

#### **4.5 Benda Uji**

Benda uji pada penelitian ini merupakan beton dengan mensubstitusi tumbukan batu bata pada agregat halus sebagai substitusi pasir dengan variasi kadar 0%, 7,5%, 15%, dan 22,5%. Variasi dari masing-masing kadar tumbukan batu bata dalam beton dilakukan pengujian selama 28 hari. Pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Pemilihan bentuk silinder didasarkan pada pertimbangan teknis dan kesesuaian terhadap standar seperti SNI 2493:2011 untuk uji tekan, SNI 03-4435:2004 untuk uji tarik belah, serta ASTM C39 dan ASTM C469. Bentuk silinder dipilih karena mampu mendistribusikan tegangan secara merata, lebih mewakili elemen struktur seperti kolom, dan dapat digunakan untuk berbagai jenis pengujian beton. Selain itu, proses pencetakan dan pengujian benda uji silinder lebih mudah dan terstandar, sehingga mendukung hasil pengujian yang valid dan andal. Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, penggunaan benda uji silinder dalam penelitian ini dinilai paling tepat untuk memperoleh hasil pengujian beton yang valid, representatif, dan sesuai dengan standar yang berlaku.

#### **4.6 Pelaksanaan penelitian**

Beberapa langkah diambil untuk melakukan penelitian ini, seperti persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian eksperimen, pembuatan dan perawatan benda uji, olah data, analisis dan diskusi, dan pelaporan.

##### **4.6.1 Persiapan Penelitian**

Tahap persiapan penelitian merupakan langkah awal yang dilakukan sebelum pelaksanaan eksperimen, yang meliputi kegiatan studi pustaka, penyiapan material, serta peralatan yang akan digunakan selama proses penelitian berlangsung.

##### **4.6.2 Pembuatan Tumbukan Batu Bata**

Tumbukan batu bata yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah bata merah sisa konstruksi yang sudah tidak terpakai. Proses pembuatan tumbukan dilakukan melalui beberapa tahapan, dimulai dari pemilihan batu bata yang masih memiliki struktur padat dan tidak rapuh. Selanjutnya, batu bata

dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar air yang berlebihan dan mempermudah proses penghancuran. Setelah itu, batu bata dihancurkan secara manual menggunakan palu hingga menjadi partikel kecil. Hasil tumbukan kemudian diayak menggunakan saringan dengan ukuran maksimum 4,75 mm untuk memastikan hanya partikel halus yang sesuai standar agregat halus yang digunakan. Material yang lolos saringan disimpan dalam kondisi kering dan bersih hingga siap dicampurkan ke dalam adukan beton. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan substitusi agregat halus dari tumbukan batu bata yang seragam, bebas kotoran, dan layak untuk digunakan dalam campuran beton mutu 20 MPa.

#### **4.6.3 Pengujian Agregat**

Pengujian agregat dilakukan untuk memastikan bahwa agregat yang digunakan dalam campuran beton memenuhi persyaratan teknis sesuai standar yang berlaku. Agregat yang diuji terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), yang masing-masing memiliki peran penting dalam menentukan kekuatan, keawetan, serta workability beton. Berikut ini adalah daftar pengujian yang akan dilakukan.

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

#### **4.6.4 Perencanaan Campuran (*Mix design*)**

Perencanaan campuran beton (*mix design*) merupakan proses penentuan proporsi bahan-bahan penyusun beton, seperti semen, agregat halus, agregat kasar,

air, dan bahan tambahan (jika diperlukan), agar diperoleh campuran beton yang memenuhi persyaratan mutu tertentu sesuai kebutuhan struktural. Tujuan dari mix design adalah untuk menghasilkan beton yang memiliki kuat tekan sesuai rencana, mudah dikerjakan (workable), tahan lama (durable), serta efisien dari segi penggunaan bahan. Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton mengacu pada (SNI-03-2834, 2000) yang memberikan panduan tentang tata cara perancangan campuran beton normal. Proses perencanaan dimulai dengan menentukan mutu beton yang ditargetkan ( $f'_c$ ), kemudian menetapkan nilai faktor air-semen (w/c ratio), serta menghitung kebutuhan bahan per meter kubik beton berdasarkan sifat dan karakteristik bahan yang digunakan. Setelah proporsi bahan ditentukan, dilakukan uji coba laboratorium untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan memenuhi syarat kekuatan dan performa yang diharapkan.

**Tabel 4. 1 Komposisi Mix Design Beton Normal ( $f'_c = 20$  MPa)**

Limbah tumbukan bata	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	Limbah tumbukan bata	FAS
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
0%	2,37	4,66	6,64	1,3	0	0,55
7,5%	2,37	4,31	6,64	1,3	0,35	0,55
15%	2,37	3,96	6,64	1,3	0,70	0,55
22,5%	2,37	3,61	6,64	1,3	1,05	0,55

#### 4.6.5 Pembuatan Benda Uji

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

1. Agregat kasar dan halus dikondisikan dalam keadaan jenuh permukaan kering SSD (Saturated Surface Dry) agar selama proses pembuatan adukan beton tidak diperlukan penyesuaian terhadap jumlah air pencampur.
2. Seluruh bahan ditimbang berdasarkan hasil perhitungan campuran beton (mix design), kemudian ditambahkan cadangan sebesar 10% hingga 20%

untuk mengantisipasi kehilangan material akibat menempelnya bahan pada alat pencampur dan penyebab lainnya.

3. Setiap cetakan silinder terlebih dahulu diolesi dengan pelumas, seperti oli, untuk mempermudah proses pelepasan benda uji, kemudian dilakukan penimbangan terhadap berat cetakan tersebut.
4. Mesin pengaduk dioperasikan, kemudian dalam kondisi berputar dimasukkan agregat halus dan agregat kasar terlebih dahulu, disusul dengan semen. Selanjutnya, tumbukan batu bata ditambahkan, lalu air dituangkan secara bertahap ke dalam campuran.
5. Proses pengadukan dilakukan hingga seluruh bahan tercampur secara merata dan membentuk adukan yang homogen.
6. Adukan beton dituangkan ke atas pelat cetakan yang telah dilembabkan, kemudian segera dilakukan pengujian slump untuk mengetahui tingkat kelayakan beton segar.
7. Jika hasil pengujian slump sesuai dengan nilai yang direncanakan, maka beton segar langsung dimasukkan ke dalam cetakan silinder. Pengisian dilakukan secara bertahap, yaitu setiap sepertiga tinggi cetakan, dan setiap lapisan dipadatkan dengan menusukkan batang pemadat sebanyak 25 kali secara merata. Selain itu, dinding cetakan juga diketuk menggunakan palu karet untuk membantu memadatkan beton dan mengeluarkan rongga udara yang terperangkap.
8. Setelah seluruh adukan terisi dalam cetakan, permukaan beton diratakan menggunakan mistar perata, kemudian setiap cetakan diberi penanda atau kode sesuai variasinya.
9. Sekitar satu jam setelah pengecoran, air yang muncul di permukaan beton akibat proses bleeding diambil menggunakan pipet, lalu ditampung dalam gelas ukur untuk dianalisis lebih lanjut.

#### **4.6.6 Perawatan Benda Uji**

Setelah beton mencapai waktu ikat (setting time) atau mengalami pengerasan awal, benda uji dikeluarkan dari cetakan untuk selanjutnya dilakukan proses perawatan. Perawatan dilakukan dengan menggunakan metode perendaman

di dalam air hingga benda uji mencapai umur 28 hari. Metode perendaman yang dimaksud dilakukan dengan cara merendam benda uji dalam air yang disediakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, hingga mencapai umur pengujian yang telah ditentukan.

#### **4.6.7 Pengujian Sifat Mekanik Beton**

Pengujian sifat mekanik beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban dan gaya luar yang bekerja terhadapnya. Dalam penelitian ini sifat mekanik beton yang di uji sebagai berikut.

##### **1. Pengujian Kuat Tekan**

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

- a. Menyiapkan benda uji berbentuk silinder yang telah selesai menjalani proses perawatan beton (curing).
- b. Mengukur dimensi diameter dan tinggi benda uji, serta menimbang beratnya untuk memastikan data karakteristik fisik yang akurat.
- c. Meletakkan benda uji pada posisi yang tepat di atas dudukan mesin uji tekan, kemudian memastikan bahwa jarum penunjuk (dial) berada pada posisi nol. Jika tidak, dilakukan penyetelan ulang pada alat sebelum pengujian dimulai.
- d. Melakukan pengujian dengan memberikan beban secara bertahap pada kecepatan antara 0,15 MPa/detik hingga 0,35 MPa/detik hingga benda uji mengalami keruntuhan.
- e. Mencatat nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji sebelum mengalami kerusakan total.

##### **2. Kuat Taruk/Belah Beton**

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan mengacu pada standar (SNI 03-2491, 2002). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tarik tidak langsung. Pengujian dilakukan saat benda uji telah mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian kuat tarik belah beton dijelaskan sebagai berikut.

- a. Menyiapkan peralatan uji serta benda uji berbentuk silinder yang akan digunakan dalam pengujian.
  - b. Menandai permukaan benda uji dengan menarik garis tengah pada kedua sisi ujung menggunakan alat bantu yang sesuai, dan memastikan bahwa kedua garis berada pada satu bidang aksial yang sama.
  - c. Meletakkan bantalan penahan beban secara tepat di bagian tengah meja tekan bagian bawah dari mesin uji tekan.
  - d. Menempatkan benda uji di atas bantalan sedemikian rupa sehingga garis tengah pada benda uji berada dalam posisi tegak lurus terhadap titik tengah bantalan penahan beban.
  - e. Menyesuaikan posisi benda uji sampai garis yang telah ditandai berada sejajar dengan titik tengah pada plat tekan bagian atas mesin uji, agar distribusi beban merata.
  - f. Mengoperasikan mesin uji dengan pemberian beban secara konstan hingga benda uji mengalami keretakan atau terbelah, lalu mencatat beban maksimum yang diterima sebelum terjadi kegagalan.
3. Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada beton saat diberikan beban. Pengujian ini mengacu pada standar (SNI 03-4169, 1996), dan umumnya dilakukan secara bersamaan dengan pengujian kuat tekan, mengingat keduanya saling berkaitan dalam menggambarkan perilaku mekanik beton. Adapun tahapan-tahapan dalam pengujian modulus elastisitas beton dijelaskan sebagai berikut.

- a. Menyiapkan seluruh benda uji beton beserta peralatan yang diperlukan untuk pelaksanaan pengujian.
- b. Melakukan pengukuran berat, diameter, dan tinggi benda uji menggunakan timbangan dan jangka sorong (kaliper) untuk memperoleh data dimensi awal.
- c. Memasang alat kompresometer dan ekstensiometer pada benda uji, lalu dilanjutkan dengan pemasangan alat pengukur deformasi secara tepat.

- d. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan, kemudian mengaktifkan mesin hidraulik untuk memberikan beban secara perlahan pada benda uji.
- e. Melakukan pencatatan deformasi yang terjadi pada setiap kenaikan beban sebesar 10 kN secara berurutan.
- f. Proses pencatatan dihentikan saat benda uji mengalami keruntuhan atau pecah.
- g. Mencatat beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji sebelum mengalami kerusakan total.

#### **4.6.8 Analisis Data**

Pengolahan data dilakukan terhadap hasil pengujian kuat tekan beton, kuat tarik, modulus elastisitas, berat volume, dan penyerapan air dengan mengacu pada landasan teori yang telah ditetapkan. Tujuan dari proses ini adalah untuk memperoleh parameter-parameter dasar yang menjadi acuan dalam interpretasi hasil pengujian. Setelah data diolah, selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan variabel-variabel tertentu guna mengetahui nilai-nilai yang diperoleh, yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam menyusun hasil dan pembahasan penelitian.

#### **4.6.9 Pembahasan**

Pembahasan adalah tahap di mana penulis menginterpretasikan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk memperoleh pemahaman terhadap perbedaan yang ditemukan selama perbandingan hasil pengujian pada tahap analisis.

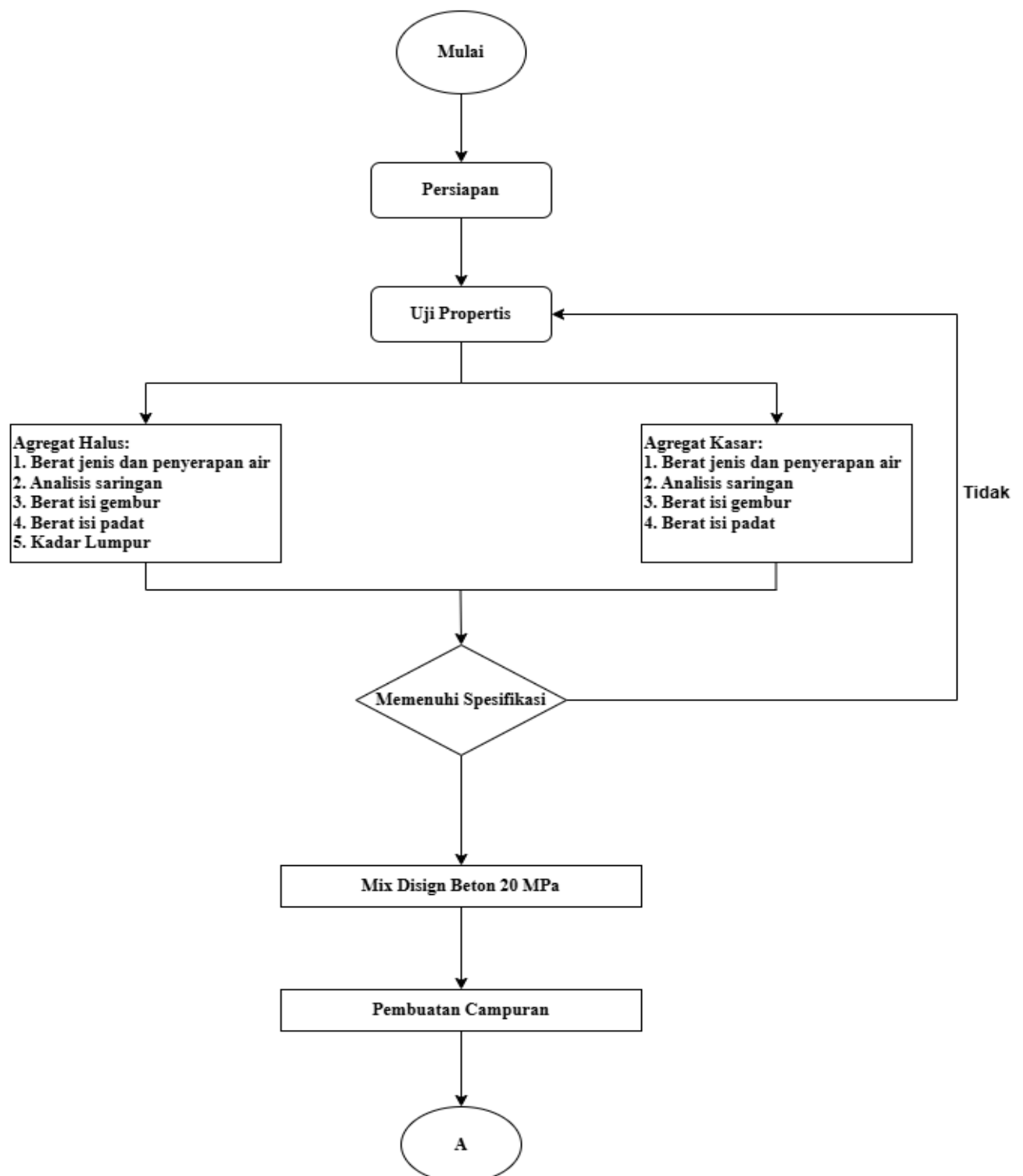
#### **4.6.10 Kesimpulan dan Saran**

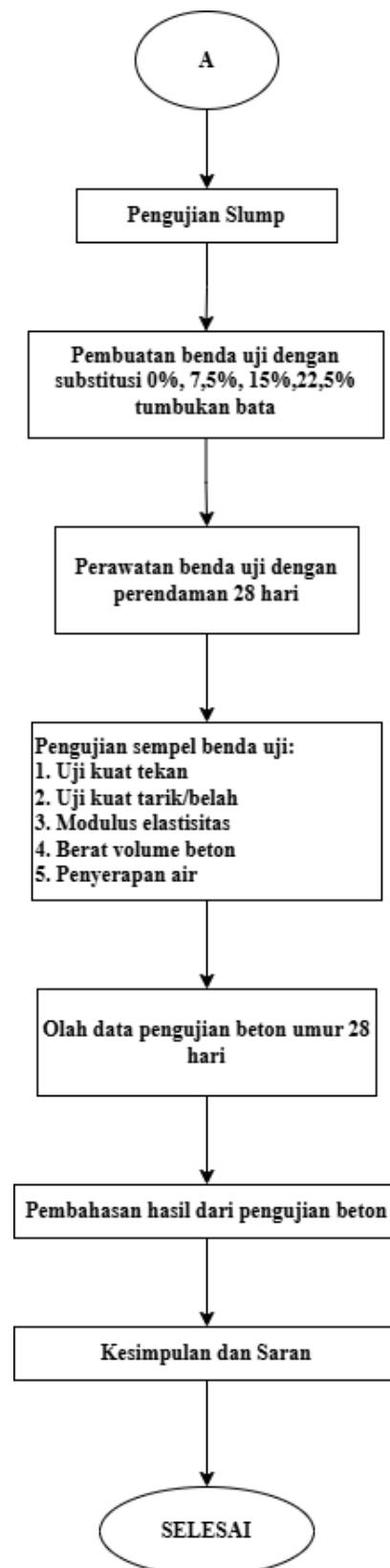
Kesimpulan disusun berdasarkan hasil pembahasan dari analisis pengujian yang dikaitkan dengan tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini juga disampaikan beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk pelaksanaan pengujian selanjutnya, yang dirumuskan berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh.

#### **4.6.11 Diagram Alir Penelitian**

Bagan alir penelitian menggambarkan urutan tahapan yang dilaksanakan selama proses penelitian berlangsung. Bagan ini berfungsi sebagai panduan

sekaligus alat evaluasi terhadap prosedur yang diterapkan. Adapun bagan alir metode penelitian ditampilkan pada Gambar 4.16.





**Gambar 4. 16 Diagram Alir Penelitian**

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Tinjauan Umum**

Bab ini menyajikan analisis terhadap hasil pengujian beton normal dengan variasi penggunaan tumbukan batu bata sebagai pengganti sebagian agregat halus. Evaluasi dilakukan terhadap karakteristik beton segar dan beton keras, meliputi nilai slump, kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, berat volume, serta daya serap air.

Seluruh data dianalisis secara komparatif dengan menjadikan beton tanpa substitusi sebagai acuan utama, sehingga pengaruh setiap variasi persentase tumbukan batu bata dapat diamati secara jelas.

#### **5.2 Hasil Pengujian Bahan Penyusun Beton**

Hasil pengujian terhadap bahan penyusun beton dijadikan dasar untuk melanjutkan tahapan penelitian berikutnya. Pengujian ini mencakup beberapa parameter penting, yaitu modulus halus butir, berat jenis, penyerapan air, berat isi gembur, berat isi padat, serta kadar lumpur pada agregat. Setiap parameter tersebut dibandingkan dengan ketentuan yang tercantum dalam (SNI-03-2834, 2000) tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal maupun standar terkait lainnya. Tujuan utama pengujian ini adalah memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi kriteria teknis sesuai standar perencanaan. Dengan demikian, kualitas bahan penyusun beton dapat dipastikan, dan penelitian dapat dilanjutkan dengan keyakinan bahwa parameter material telah sesuai dengan persyaratan yang diperlukan untuk menghasilkan mutu beton sesuai tujuan penelitian.

##### **5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus**

Pengujian terhadap agregat halus dilakukan untuk mengetahui karakteristik material yang akan digunakan dalam campuran beton. Parameter yang diuji meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, berat volume serta berat

isi gembur, dan kadar lumpur yang ditentukan melalui pengujian dengan saringan No. 200. Hasil dari serangkaian pengujian tersebut disajikan pada bagian berikut sebagai dasar penilaian kualitas agregat halus yang digunakan dalam penelitian.

#### 1. Pengujian analisa saringan agregat halus

Pengujian analisis saringan pada agregat halus dilaksanakan dengan mengacu pada standar nasional yang berlaku di Indonesia, yaitu (SNI ASTM C136, 2012) tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Benda uji yang digunakan berupa agregat halus dengan berat 2.000 gram. Prosedur pengujian dilakukan dengan menimbang berat tertahan pada setiap saringan yang digunakan. Adapun susunan saringan yang dipakai meliputi ukuran 9,5 mm (3/8”), 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), serta pan saringan untuk menampung material halus. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk data distribusi agregat yang kemudian digunakan untuk menentukan gradasi dan modulus halus butir agregat halus. Berikut ini merupakan data hasil pengujian analisis saringan agregat halus.

##### a. Analisis Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 4,75 mm} &= \frac{0}{2003} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 2,36 mm} &= \frac{150}{2003} \times 100\% \\ &= 7,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 1,18 mm} &= \frac{395}{2003} \times 100\% \\ &= 19,72\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 0,60 mm} &= \frac{630}{2003} \times 100\% \\ &= 31,45\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Saringan ukuran 0,30 mm} &= \frac{372}{2003} \times 100\% \end{aligned}$$

	= 18,57%
Saringan ukuran 0,15 mm	= $\frac{290}{2003} \times 100\%$
	= 14,48%
Pan	= $\frac{166}{2003} \times 100\%$
	= 8,28%
b. Analisis berat tertinggal komulatif	
Persentase berat tertinggal komulatif	= Bt (%) + Btk (%)
Saringan ukuran 4,75 mm	= 0% + 0%
	= 0%
Saringan ukuran 2,36 mm	= 0% + 7,49%
	= 7,49%
Saringan ukuran 1,18 mm	= 7,49% + 19,72%
	= 27,21%
Saringan ukuran 0,600 mm	= 27,21% + 31,45%
	= 58,66%
Saringan ukuran 0,300 mm	= 58,66% + 18,57%
	= 77,23%
Saringan ukuran 0,150 mm	= 77,23% + 14,48%
	= 91,71%
Pan	= 91,71% + 8,288
	= 100%
c. Analisis persen lolos komulatif	
Persentase lolos komulatif	= Bt (%) - Btk (%)
Saringan ukuran 4,75 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Saringan ukuran 2,36 mm	= 100% - 7,49%
	= 92,51%
Saringan ukuran 1,18 mm	= 100% - 27,21%
	= 72,79%
Saringan ukuran 0,600 mm	= 100% - 58,66%

	= 41.34%
Saringan ukuran 0,300 mm	= 100% - 77,23%
	= 22,77%
Saringan ukuran 0,150 mm	= 100 % - 91,71%
	= 8,29%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh rekapitulasi data pengujian analisis saringan agregat halus. Rekapitulasi tersebut disajikan dalam bentuk tabel yang telah divalidasi menggunakan pemrograman Excel. Adapun hasil lengkap pengujian disajikan pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5. 1 Rekapitulasi Analisa Saringan Agregat Halus**

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen lolos komulatif (%)
40,00	0	0	0	0
20,00	0	0	0	0
10,00	0	0	0	0
4,80	0	0,00	0,00	100,00
2,40	150	7,49	7,49	92,51
1,20	395	19,72	27,21	72,79
0,60	630	31,45	58,66	41,34
0,30	372	18,57	77,23	22,77
0,15	290	14,48	91,71	8,29
Sisa	166	8,288	100,000	0
Jumlah	2003	100	262,307	337,693

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal komulatif}}{100} \\
 &= \frac{263,307}{100} \\
 &= 2,623
 \end{aligned}$$

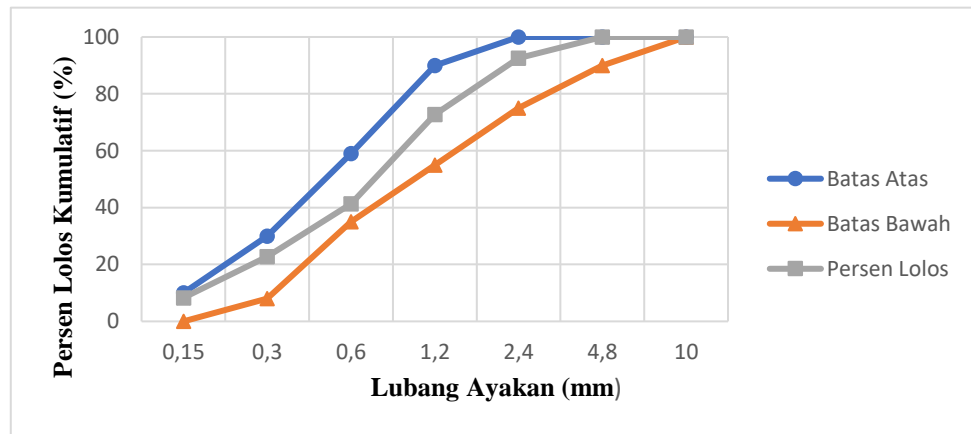
Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada pengujian modulus kehalusan butir agregat halus, diperoleh nilai modulus kehalusan agregat halus yang menjadi dasar untuk menarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Modulus Halus Butir (MHB) yang didapat sebesar 2,623. Sesuai dengan ketentuan dalam (SNI-03-2834, 2000), nilai MHB untuk pasir halus berkisar antara 2,20 dan 3,10, nilai ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan termasuk dalam kategori pasir bergradasi sedang.
2. Berdasarkan (SNI-03-2834, 2000), hasil perhitungan modulus kehalusan butir menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam gradasi agregat halus daerah II. Penentuan klasifikasi gradasi tersebut didasarkan pada Tabel 5.2 serta grafik gradasi pada Gambar 5.1 berikut.

**Tabel 5. 2 Gradasi Agregat Halus**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,40	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,20	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,60	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,30	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 – 10	0 – 10	0 – 10	0 – 15

(Sumber : SNI 2834 – 2000)



**Gambar 5. 1 Grafik Gradasi Agregat Halus Daerah II**

3. Berdasarkan standar (ASTM C 33, 2003), nilai modulus kehalusan butir yang berada dalam rentang 2,3 hingga 3,1 telah dinyatakan memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk Modulus Halus Butir (MHB).
2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Menurut (SNI 1970, 2016), pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus adalah prosedur laboratorium yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik fisik agregat halus, yang biasanya digunakan dalam campuran beton. Kedua parameter ini sangat penting bagi industri konstruksi dan rekayasa sipil, dan membantu dalam mengevaluasi kuadrat agregat halus yang digunakan dalam konstruksi. Perencana dan insinyur dapat membuat pilihan yang lebih baik untuk merancang dan membuat campuran beton atau aspal yang tahan lama dan efisien dengan mengetahui berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Selanjutnya, perhitungan dan hasil rekapitulasi berikut menunjukkan perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus. Tabel 5.3 menunjukkan hasil rekapitulasi.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B+500-B_t} \\
 &= \frac{489}{732+500+1033} \\
 &= 2,46 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat jenis kering muka (SSD)} &= \frac{500}{B+500-B_t}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{500}{732+500+1033}$$

$$= 2,51 \text{ gram}$$

c. Berat jenis semu

$$= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$$

$$= \frac{489}{732+489-1033}$$

$$= 2,60 \text{ gram}$$

d. Penyerapan air

$$= \frac{(500-Bk)}{Bk \times 100\%}$$

$$= \frac{(500-489)}{489 \times 100\%}$$

$$= 2,25 \%$$

**Tabel 5. 3 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus**

Uraian		Hasil Pengamatan		Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram	Bk	489	487,00	488,00
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram		500	500	500
Berat piknometer berisi air, gram	Bt	1033	1031,00	1032,00
Berat Piknometer berisi air	B	732	732,00	732,00
Berat jenis curah		2,46	2,42	2,44
Berat jenis jenuh kering muka		2,51	2,49	2,50
Berat jenis semu		2,60	2,59	2,60
Penyerapan air		2,25	2,67	2,46

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, berat jenis jenuh kering muka agregat rata-rata 2,50 gram/m<sup>3</sup>, dan penyerapan air rata-rata 2,46%. Data ini dapat ditafsirkan sebagai berikut:

1. Berat jenuh kering muka rata-rata 2,50 gram/m<sup>3</sup>, yang merupakan rentang normal untuk berat agregat seperti yang disebutkan oleh Tjokrodimuljo (2007) adalah 2,4–2,7.
2. Nilai rata-rata penyerapan air sebesar 2,46%.

Berdasarkan nilai berat jenis jenuh kering muka yang berada dalam kisaran 2,4 hingga 2,7, sebagaimana direkomendasikan oleh (Tjokrodimuljo, 2007), maka dapat disimpulkan bahwa agregat yang digunakan tergolong agregat dengan berat jenis normal.

### 3. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus

Sesuai dengan standar (SNI 03-4804, 1998), pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat halus dilakukan. Ini adalah pengujian laboratorium yang dilakukan untuk mengevaluasi sifat fisik agregat halus, yang sering digunakan dalam campuran beton. Pengujian ini memberikan informasi tentang tingkat kepadatan dan porositas agregat, yang dapat memengaruhi sifat mekanis dan daya tahan beton. Dengan mengetahui berat volume padat dan gembur agregat halus, insinyur dapat merencanakan campuran beton atau aspal dengan lebih efisien dan akurat. Pada akhirnya, ini akan mempengaruhi kinerja dan daya tahan struktur yang dibangun. Tabel 5.4 dan 5.5 menunjukkan perhitungan dan hasil rekapitulasi berat volume gembur dan padat untuk sampel 1.

$$\text{Berat Volume Gembur} = \frac{W}{\text{Vol}} \quad (5.9)$$

$$= \frac{7775}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30}$$

$$= 1,47 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Berat Volume Padat} = \frac{W}{\text{Vol}} \quad (5.10)$$

$$= \frac{8571}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30}$$

$$= 1,62 \text{ gram/cm}^3$$

**Tabel 5. 4 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Halus**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9349	9349	9349
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17124	17135	17130
Berat Agregat (W3)	7775	7786	7781
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15,00
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30,00
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Gembur	1,47	1,47	1,47

**Tabel 5. 5 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Halus**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9349	9349	9349
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17920	17982	17951
Berat Agregat (W3)	8571	8633	8602
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15,00
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30,00
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Padat	1,62	1,63	1,62

Berdasarkan hasil analisis yang didapat di lapangan, diperoleh berat volume agregat halus gembur rata-rata sebesar 1,47 gram/cm<sup>3</sup>, sedangkan berat volume agregat halus padat rata-rata sebesar 1,62 gram/cm<sup>3</sup>. Nilai berat

volume padat lebih besar dari pada berat volume gembur karena proses pemadatan mengurangi rongga udara antar butiran agregat. Akibatnya, volume total berkurang sementara massa agregat tetap, sehingga nilai berat volume padat lebih besar. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai berat volume padat pada agregat halus yang digunakan berada dalam kisaran standar yang ditetapkan. Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), nilai berat volume padat pada agregat halus berkisar 1,4 - 1,8 gram/cm<sup>3</sup>. Oleh karena itu, agregat halus yang digunakan termasuk dalam kategori agregat normal. Tingkat kepadatan agregat memengaruhi berat jenis total material, seperti yang ditunjukkan oleh perbedaan berat volume gembur dan padat. Agregat dengan kepadatan tinggi biasanya menghasilkan campuran beton yang lebih rapat dan kuat.

4. Pengujian Lolos saringan No. 200 (Uji kandungan Lumpur dalam Pasir)

Metode yang diatur oleh (SNI ASTM C117, 2012) digunakan untuk menguji kandungan lumpur. Hasil pengujian ini memberikan informasi tentang persentase berat lumpur dalam sampel. Ini dapat menjadi ukuran penting untuk menentukan kualitas pasir atau agregat halus dan kecocokannya untuk keperluan konstruksi. Tabel 5.6 berikut menunjukkan rincian perhitungan dan hasil uji yang memenuhi syarat pada saringan no.200.

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan Lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% & (5.11) \\
 &= \frac{500 - 491}{500} \times 100\% \\
 &= 1,8\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 6 Hasil Uji Lolos Saringan No.200**

Uraian	Sempel 1	Sempel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	491	488	491,5
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,8	2,4	2,1

Menurut (Pedoman Umum Bahan dan Jasa Konstruksi Indonesia, 1982) dalam Panduan Praktikum Teknologi, hasil pengujian saringan no. 200 menunjukkan kadar lumpur rata-rata sebesar 2,1 %. Kandungan umpur agregat halus tidak boleh lebih dari 5%, menurut Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Ini karena lumpur mengisi ruang ikatan antara agregat halus dan semen, mengurangi kekuatan beton yang dihasilkan. Dengan kandungan lumpur sebesar 2,1% dalam kasus ini, hasil pengujian memenuhi persyaratan PUBI-1982, yang memungkinkan kandungan lumpur hingga 5%. Oleh karena itu, agregat halus yang diuji dapat dianggap layak untuk digunakan dalam pencampuran beton. Keberhasilan agregat tersebut memenuhi standar tersebut menunjukkan bahwa penggunaan agregat tersebut tidak akan mempengaruhi kualitas atau kekuatan beton yang dibuat.

### **5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

Dalam penelitian ini, agregat kasar yang diperoleh dari sumber Clereng digunakan. Dilakukan sejumlah pengujian pada agregat kasar tersebut untuk mengevaluasi karakteristiknya. Jenis pengujian yang dilakukan termasuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, pengujian analisis saringan, dan pengujian volume padat dan gembur. Hasil pengujian ini memberikan gambaran tentang sifat fisik agregat kasar yang akan digunakan dalam konstruksi atau pencampuran beton. Kualitas dan kesesuaian agregat untuk digunakan dalam aplikasi kosong dapat dinilai dengan menggunakan hasil pengujian tersebut.

#### **1. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar**

Pengujian analisis saringan pada agregat halus dilaksanakan dengan mengacu pada standar nasional yang berlaku di Indonesia, yaitu (SNI ASTM C136, 2012) tentang Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Benda uji yang digunakan berupa agregat halus dengan berat 5000 gram. Prosedur pengujian dilakukan dengan menimbang berat tertahan pada setiap saringan yang digunakan. Adapun susunan saringan yang dipakai meliputi ukuran 38,10 mm (1,5") , 19,10 mm(3/4"),9,5 mm (3/8"), 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), serta pan saringan untuk menampung material halus. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk data distribusi agregat yang kemudian digunakan untuk menentukan gradasi dan modulus halus butir agregat halus. Berikut ini merupakan data hasil pengujian analisis saringan agregat halus.

a. Analisis Berat Tertinggal

Persentase berat tertinggal	$= \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$
Saringan ukuran 40,00 mm	$= \frac{0}{5004} \times 100\%$ $= 0 \%$
Saringan ukuran 20,00 mm	$= \frac{13}{5004} \times 100\%$ $= 0,26 \%$
Saringan ukuran 10,00 mm	$= \frac{3297}{5004} \times 100\%$ $= 65,89 \%$
Saringan ukuran 4,75 mm	$= \frac{1464}{5004} \times 100\%$ $= 29,26 \%$
Saringan ukuran 2,36 mm	$= \frac{203}{5004} \times 100\%$ $= 4,06 \%$
Saringan ukuran 1,18 mm	$= \frac{11}{5004} \times 100\%$ $= 0,22 \%$
Saringan ukuran 0,60 mm	$= \frac{0}{5004} \times 100\%$ $= 0 \%$
Saringan ukuran 0,30 mm	$= \frac{0}{5004} \times 100\%$ $= 0 \%$
Saringan ukuran 0,15 mm	$= \frac{0}{5004} \times 100\%$ $= 0 \%$
Pan	$= \frac{16}{5004} \times 100\%$ $= 0,32 \%$

b. Berat tertinggal kumulatif	
Persentase berat tertinggal komulatif	= Btk (%) + Bt (%)
Saringan ukuran 40,00 mm	= 0% + 0%
	= 0 %
Saringan ukuran 20,00 mm	= 0% + 0,26%
	= 0,26 %
Saringan ukuran 10,00 mm	= 0,26% + 65,89%
	= 66,15 %
Saringan ukuran 4,75 mm	= 66,15% + 29,26%
	= 95,40%
Saringan ukuran 2,36 mm	= 95,40% + 4,06%
	= 99,46 %
Saringan ukuran 1,18 mm	= 99,46% + 0,22%
	= 99,68 %
Saringan ukuran 0,600 mm	= 99,68% + 0%
	= 99,68 %
Saringan ukuran 0,300 mm	= 99,68% + 0%
	= 99,68 %
Saringan ukuran 0,150 mm	= 99,68% + 0%
	= 99,68%
Pan	= 99,68% + 0,32
	= 100%
c. Persen lolos kumulatif	
Persentase lolos komulatif	= Bt (%) – Btk (%)
Saringan ukuran 40,00 mm	= 100% - 0%
	= 0 %
Saringan ukuran 20,00 mm	= 100% - 0,26%
	= 99,74 % %
Saringan ukuran 10,00 mm	= 100% - 65,15%
	= 33,85 %
Saringan ukuran 4,75 mm	= 100% - 95,40%

	= 4,60 %
Saringan ukuran 2,36 mm	= 100% - 99,46%
	= 0,54 %
Saringan ukuran 1,18 mm	= 100% - 99,68%
	= 0,32 %
Saringan ukuran 0,600 mm	= 100% - 99,68%
	= 0,32 %
Saringan ukuran 0,300 mm	= 100% - 99,68%
	= 0,32 %
Saringan ukuran 0,150 mm	= 100% - 99,68%
	= 0,32 %
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

**Tabel 5. 7 Hasil Uji Analisa Saringan Agregat Kasar**

Lubang Ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100
20,00	13	0,26	0,26	99,74
10,00	3297	65,89	66,15	33,85
4,80	1464	29,26	95,40	4,60
2,40	203	4,06	99,46	0,54
1,20	11	0,22	99,68	0,32
0,60	0	0,00	99,68	0,32
0,30	0	0,00	99,68	0,32
0,15	0	0,00	99,68	0,32
Sisa	16	0,32	100,00	0,00
Jumlah	5004	100,00	659,99	240,01

d. Modulus Halus Butir (MHB)

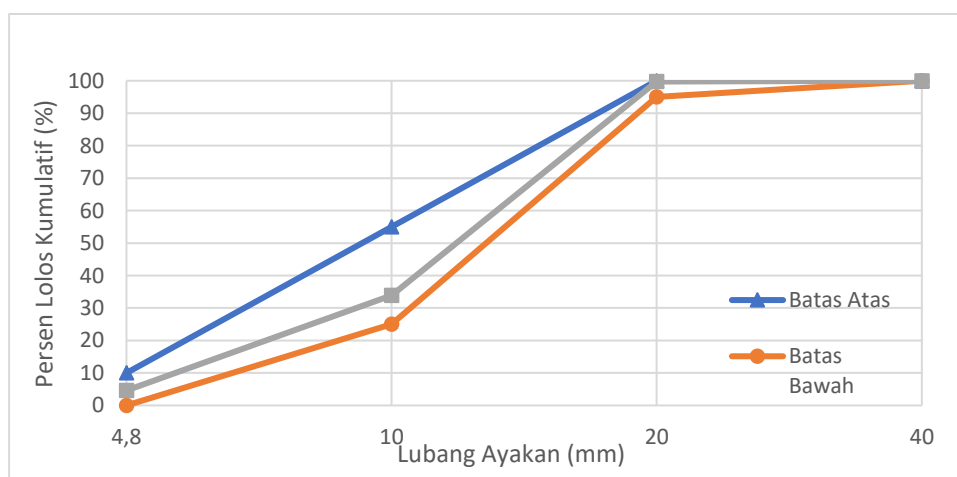
Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{659,99}{100} \\
 &= 6,60 \%
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai modulus halus butir memenuhi standar, karena menurut (Tjokrodinuljo, 2007), modulus halus butir agregat kasar biasanya berada di antara 6,0 - 7,0. Dalam bidang konstruksi dan rekayasa sipil, fungsi gradasi agregat kasar sangat penting. Gradasi mengacu pada distribusi ukuran partikel agregat kasar dalam suatu campuran. Salah satu fungsi gradasi agregat kasar adalah mendapatkan nilai butiran maksimum pada agregat kasar. Selain itu, batas gradasi ukuran butiran maksimum juga diperoleh selama analisis saringan agregat kasar, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 5.8 dan gambar 5.2 di bawah ini.

**Tabel 5. 8 Gradasi Agregat Kasar**

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95 – 100	100	
20,00	30 – 70	95 – 100	100
10,00	10 – 35	25 – 55	50 – 85
4,80	0 – 5	0 – 10	0 – 100



**Gambar 5. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Kasar Ukuran 20 mm**

Hasil perhitungan modulus halus butir agregat kasar menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi gradasi agregat kasar ukuran 20 mm. Gradasi agregat kasar mengacu pada distribusi

ukuran partikel agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton. Kurva gradasi agregat kasar adalah representasi grafis dari ukuran partikel agregat kasar terhadap persentase berat yang lolos dari masing-masing ukuran. Tabel 5.10 yang terlampir di atas berfungsi sebagai dasar untuk penetapan gradasi agregat kasar.

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian ini dilakukan dengan metode yang dijelaskan dalam (SNI 03-1969, 1990). Prosedur laboratorium digunakan untuk mengevaluasi sifat fisik agregat kasar, yang sering digunakan. dalam kombinasi beton. Berat jenis dan penyerapan air adalah dua parameter utama yang diukur dalam tes ini. Tabel 5.9 di bawah ini berisi rincian perhitungan dan hasil uji.

a. Berat jenis curah	$= \frac{B_k}{(B-B_a)}$ $= \frac{4925}{(5000-3130)}$ $= 2,68 \text{ gram}$
b. Berat jenis kering muka (SSD)	$= \frac{5000}{(B-B_a)}$ $= \frac{5000}{(5000-3165)}$ $= 2,72 \text{ gram}$
c. Berat jenis semu	$= \frac{B_k}{(B_k-B_a)}$ $= \frac{48749250}{(4870-3165)}$ $= 2,8 \text{ gram}$
d. Penyerapan air	$= \frac{(500-B_k)}{B_k \times 100\%}$ $= \frac{(5000-4925)}{4870 \times 100\%}$ $= 1,54 \%$

**Tabel 5. 9 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar**

Uraian		Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak,	Bk	4924	4930	4934,50
Berat Kerikil Jenuh Kering (SSD),	bj	5000	5000	5000
Berat Kerikil Dalam Air	Ba	3165,00	3160,00	3162,50
Berat Jenis Curah		2,68	2,69	2,69
Berat Jenis Jenuh Keiring Muka		2,72	2,72	2,72
Berat Jenis Semu		2,80	2,77	2,78
Penyerapan Air		1,54	1,42	1,48

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, ditemukan berat jenis jenuh kering muka rata-rata 2,72 gram/m<sup>3</sup> dan penyerapan air rata-rata 1,33%. Agregat kasar memiliki penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan dengan agregat halus, yang menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki rongga yang lebih sedikit yang diisi dengan air.

Dalam hal berat jenis, agregat kasar yang diuji berada dalam rentang berat jenis agregat normal, yaitu 2,4-2,7, sesuai dengan panduan (Tjokrodinuljo, 2007). Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat kasar memenuhi kriteria berat jenis agregat normal.

### 3. Pengujian Berat Volume Padat dan Gembur Agregat Kasar

Sesuai dengan standar (SNI 03-4804, 1998), agregat kasar telah diuji untuk berat volume gembur dan padat. Pengujian laboratorium ini digunakan untuk menilai sifat fisik agregat kasar, yang biasanya digunakan dalam komposisi beton. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kepadatan dan porositas agregat, yang berdampak pada sifat mekanis dan ketahanan beton. Untuk perhitungan berat volume gembur dan padat untuk sampel 1,

prosedur perhitungan dan rekapitulasi hasil diuraikan dan disajikan sebagai berikut pada tabel 5.10 dan 5.11.

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\ &= \frac{7514}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30} \\ &= 1,42 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\ &= \frac{9349}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30} \\ &= 1,49 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 10 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Agregat Kasar**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9349	9349	9349
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	16863	16520	16691,5
Berat Agregat (W3)	7514	7171	7342,5
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Gembur	1,42	1,35	1,39

**Tabel 5. 11 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Agregat Kasar**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9354	9354	9354
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17250	17247	17249
Berat Agregat (W3)	7896	7893	7895
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15,00
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30,00
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Gembur	1,49	1,49	1,49

Menurut hasil analisis berat volume, agregat kasar dengan berat volume gembur rata-rata 1,39 gram/m<sup>3</sup> dan agregat kasar dengan berat volume padat rata-rata 1,49 gram/m<sup>3</sup>. Karena setiap 1/3 tabung mengalami proses penumbukan untuk mengurangi pori-pori udara, berat volume padat memiliki nilai yang lebih tinggi daripada berat volume gembur. Berat volume agregat kasar lebih kecil daripada agregat halus. Agregat kasar memiliki lebih banyak rongga kosong antar butir daripada agregat halus yang memenuhi spesifikasi lolos pada saringan 4,8 mm. Perbedaan ini disebabkan oleh ukuran butir kasar yang memenuhi spesifikasi tertahan pada saringan 4,8 mm.

### 5.2.1 Hasil Pengujian Limbah tumbukan bata

Limbah tumbukan bata yang digunakan berasal dari limbah proyek bangunan yang berada di daerah Sleman, dan limbah tumbukan bata digunakan sebagai pengganti parsial untuk agregat halus. Pengujian yang dilakukan mirip dengan yang dilakukan pada agregat halus, yang meliputi analisis saringan, pengujian berat jenis, dan penyerapan air.

Proses ini dilakukan untuk menilai sifat fisik limbah tumbukan bata sebagai pengganti agregat halus. Hasil pengujian akan membantu dalam menentukan apakah

limbah tumbukan bata dapat digunakan dalam campuran beton atau konstruksi, dan seberapa baik limbah kertas dapat memenuhi persyaratan teknis. Pengujian didistribusikan sebagai berikut.

1. Pengujian Analisis Saringan Limbah tumbukan bata

Pengujian analisis saringan limbah tumbukan bata ini dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia dan menggunakan metode pengujian saringan agregat halus, yang di sesuaikan dengan (SNI ASTM C136, 2012). Selama proses pengujian, benda uji limbah tumbukan bata dengan berat 2000 gram yang digunakan, dan berat tersisa dari setiap saringan diukur untuk menghasilkan data. Pengujian ini menggunakan saringan dengan ukuran 9,5 mm (3/8”), 4,75 mm (saringan no.4), 2,36 mm (saringan no.8), 1,18 mm (saringan no.16), 0,600 mm (saringan no.30), 0,300 mm (saringan no.50), 0,150 mm (saringan no.100), dan pan saringan. Data hasil dari pengujian analisis limbah tumbukan bata disajikan di bawah ini pada tabel 5.12.

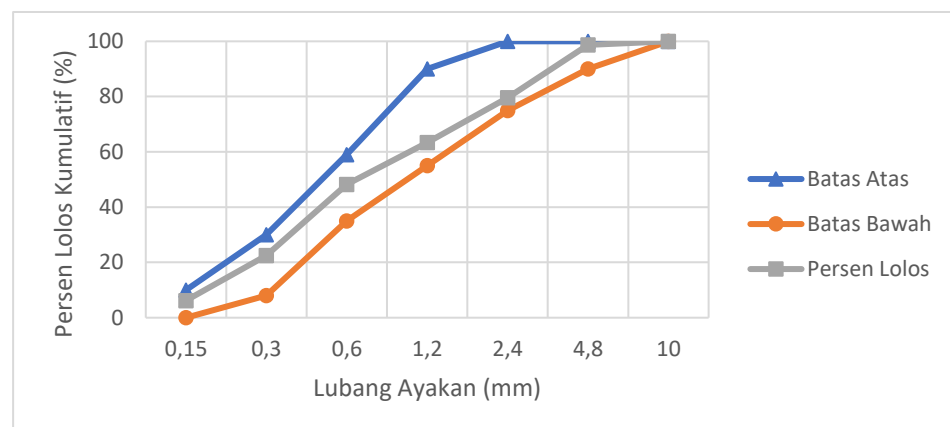
**Tabel 5. 12 Hasil Analisis Saringan Limbah tumbukan bata**

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal komulatif (%)	Persen lolos komulatif (%)
40,00	0	0	0	0
20,00	0	0	0	0
10,00	0	0	0	0
4,80	25	1,25	1,25	98,75
2,40	383	19,15	20,40	79,60
1,20	325	16,25	36,65	63,35
0,60	302	15,10	51,75	48,25
0,30	515	25,75	77,50	22,50
0,15	326	16,30	93,80	6,20
Sisa	124	6,200	100,000	0
Jumlah	2000	100	281,35	318,650

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\sum \text{Persentase berat tertinggal komulatif}}{100} \\
 &= \frac{281,35}{100} \\
 &= 2,814
 \end{aligned}$$

Sebagai kesimpulan dari perhitungan yang dilakukan untuk menguji modulus halus butir limbah tumbukan bata, hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Menurut standar SNI 03-1968-1990, modulus halus butir (MHB) yang berada di antara 2,60 dan 2,90 dianggap sebagai pasir sedang. Nilai pengujian untuk modulus halus butir ini adalah 2,814.
2. Mengacu pada standar (SNI-03-2834, 2000), hasil perhitungan modulus halus butir agregat halus limbah kertas menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam gradasi agregat halus daerah II. Grafik gradasi tersebut dapat dilihat pada gambar 5.3 dibawah ini.



**Gambar 5. 3 Gradasi Analisis Saringan Limbah tumbukan bata**

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah tumbukan bata  
 Karena limbah tumbukan bata digunakan sebagai pengganti parsial agregat halus dalam penelitian ini, pengujian berat jenis dan penyerapan air pada limbah tumbukan bata sama dengan yang dilakukan pada agregat halus. Standar (SNI 1970, 2016) mengatur pengujian ini. Pengujian laboratorium ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat fisik limbah tumbukan bata, yang sering digunakan dalam campuran beton. Selanjutnya, perhitungan dan tabel 5.13 berikut menunjukkan perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada limbah kertas.

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

$$= \frac{478}{732+500+1026}$$

$$= 2,32 \text{ gram}$$

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

$$= \frac{500}{732+500+1026}$$

$$= 2,43 \text{ gram}$$

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

$$= \frac{478}{732+489-1026}$$

$$= 2,60 \text{ gram}$$

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

$$= \frac{(500-478)}{478 \times 100\%}$$

$$= 4,6 \%$$

**Tabel 5. 13 Hasil Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah tumbukan bata**

Uraian		Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
		Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram	Bk	478	480	479,00
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram		500	500	500
Berat piknometer berisi air, gram	Bt	1026	1028	1027,00
Berat Piknometer berisi air	B	732	732	732,00
Berat jenis curah		2,32	2,35	2,34
Berat jenis jenuh kering muka		2,43	2,45	2,44
Berat jenis semu		2,60	2,61	2,60
Penyerapan air		4,60	4,17	4,38

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, ditemukan bahwa berat jenis jenuh kering muka limbah tumbukan bata memiliki rata-rata sebesar 2,44 gram/m<sup>3</sup>, dan penyerapan air rata-rata mencapai 4,38 %. Hasil ini dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

1. Berat jenis jenuh kering muka limbah tumbukan bata rata-rata 2,43 gram/m<sup>3</sup>, sesuai rentang normal untuk berat jenis agregat halus, yang dijelaskan oleh (Tjokrodimuljo, 2007), yang biasanya antara 2,4 dan 2,7 gram/m<sup>3</sup>.
2. Nilai rata-rata penyerapan air cukup besar, yakni sebesar 4,48 %. Hal ini disebabkan oleh sifat limbah tumbukan bata yang memiliki tingkat penyerapan air yang tinggi. Dengan nilai berat jenis jenuh kering muka yang rentang normal (2,4-2,7) yang disarankan oleh (Tjokrodimuljo, 2007), maka berat jenis tersebut memenuhi persyaratan.
3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Limbah tumbukan bata Metode (SNI 03-4804, 1998) digunakan untuk melakukan uji volume dan gembur limbah batu bata. Hasil perhitungan dan pengujian berat volume padat dan gembur limbah batu bata pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{8336}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30} \\
 &= 1,57 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{W}{\text{Vol}} \\
 &= \frac{9083}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30} \\
 &= 1,71 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 14 Hasil Uji Berat Volume Gembur pada Limbah tumbukan bata**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9349	9349	9349
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	17685	17724	17705
Berat Agregat (W3)	8336	8375	8356
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15,00
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30,00
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Gembur	1,57	1,58	1,58

**Tabel 5. 15 Hasil Uji Berat Volume Padat pada Limbah tumbukan bata**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat Tabung (W1)	9349	9349	9349
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18432	18426	18429
Berat Agregat (W3)	9083	9077	9080
Diameter Tabung (d)	15,00	15,00	15,00
Tinggi Tabung (t)	30,00	30,00	30,00
Volume Tabung (V)	5301,44	5301,44	5301,44
Berat Volume Gembur	1,71	1,71	1,71

Menurut hasil analisis berat volume, limbah tumbukan bata dengan berat volume gembur rata-rata 1,58 gram/m<sup>3</sup> dan limbah tumbukan bata dengan berat volume padat rata-rata 1,71 gram/m<sup>3</sup>. Karena setiap 1/3 tabung mengalami proses penumbukan untuk mengurangi pori-pori udara, berat volume padat memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada berat volume gembur. Berat volume limbah tumbukan bata lebih besar daripada agregat halus. dikarenakan beratnya yang lebih ringan

dan rapuh, banyak rongga udara terbentuk di antara butiran, yang menghasilkan volume yang lebih besar meskipun beratnya lebih kecil.

### 5.3 Perencanaan Proporsi Campuran Beton

Penelitian ini menggunakan metode (SNI-03-2834, 2000) untuk merancang campuran beton. Perencanaan beton dilakukan dengan tujuan mendapatkan proporsi campuran yang tepat untuk kuat tekan beton yang diinginkan. Nilai kuat tekan beton biasa berkisar antara 15 dan 30 MPa, menurut (Tjokrodinuljo, 2007). Untuk perencanaan beton umum ini, kuat tekan rencana yang diharapkan adalah 20 MPa, sesuai dengan perhitungan berikut.

1. Kuat tekan rencana ( $f^c$ )

Rencana kuat tekan rencana dimaksudkan untuk diterapkan pada beton dengan benda uji berdiameter 15 dan 30 cm.

$$\text{Kuat Tekan Rencana } (f^c) = 20 \text{ MPa.}$$

2. Deviasi standar (sr)

Deviasi standar merupakan nilai yang didapatkan berdasarkan pengalamana di lapangan sesuai dengan tingkata pengendalian mutu pekerjaan. Nilai deviasi stnadar yang diambil yaitu 7 MPa.

$$\text{Deviasi Standar } (sr) = 7 \text{ MPa.}$$

3. Nilai tambah (M)

Nilai tambah didapat dari rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Nilai Tambah} &= 1,64 \times sr \times 1 \\ &= 1,64 \times 7 \times 1 \\ &= 11,48 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

4. Kekuatan yang direncanakan ( $f^{cr}$ )

$$\begin{aligned} \text{Kekuatan yang direncanakan } (f^{cr}) &= f^c + M \\ &= 20 + 11,48 \\ &= 31,48 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

5. Jenis semen

Semen Portland tipe I dengan merek semen tiga roda yang digunakan dalam penelitian ini.

6. Jenis agregat halus dan agregat kasar

Agregat halus = Agregat halus murni dengan gradasi daerah II dari sungai Progo

Agregat kasar = Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm dari clereng Kulon Progo

7. Jenis bahan substitusi parsial agregat halus

Bahan substitusi agregat halus pada penelitian ini adalah limbah tumbukan bata dengan variasi substitusi sebesar 0%, 7,5%, 15%, 22,5%

8. Penentuan factor air semen (FAS)

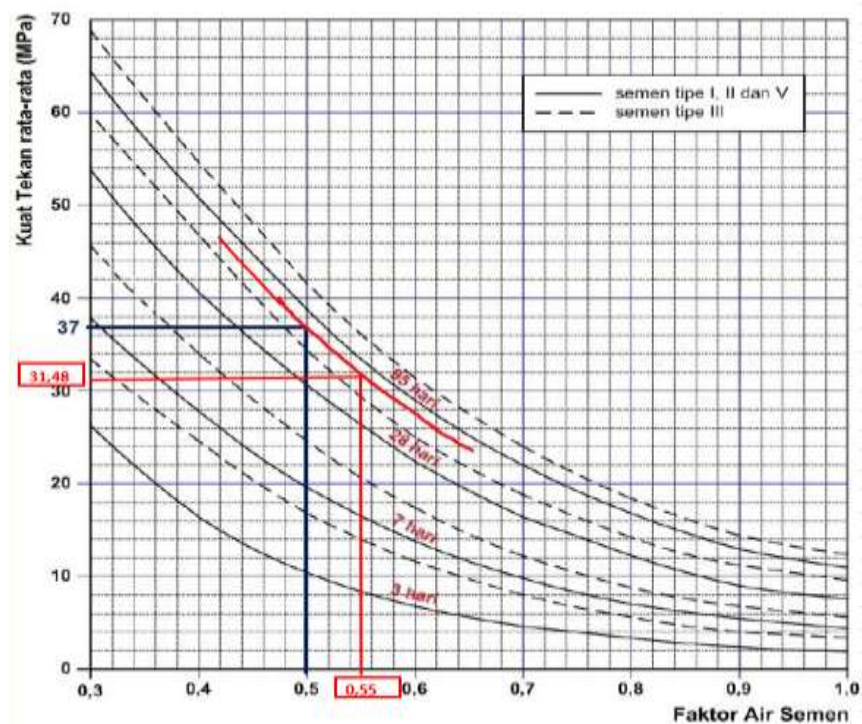
a. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I dan batu pecah alami. Pengujian ini dilakukan selama 28 hari. Semen Portland tipe I merupakan jenis semen yang paling mudah ditemukan dan paling sering digunakan. Semen Portland tipe I ini banyak tersedia di took bahan bangunan dan pabrik semen di setiap daerah. Dengan demikian, kuat tekan perkiraan beton adalah 37 MPa, seperti yang ditunjukkan pada tabel SNI yang tercantum di bawah ini pada gambar 5.4.

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

**Gambar 5. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan FAS dan Agregat Kasar yang Biasa di Pakai di Indonesia**

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

b. Selanjutnya, nilai FAS dihitung untuk beton dengan kuat tekan perkiraan 37 MPa dan umur rencana 28 hari. Hubungan antara kuat tekan beton dan faktor air semen (FAS) digambarkan pada gambar 5.5 di bawah ini.



**Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk benda Uji Silinder 150 x 300 mm**

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Digunakan grafik di atas untuk menentukan nilai FAS. Untuk melakukannya, tarik garis horizontal sejajar dengan kuat tekan rata-rata yang ditargetkan sampai ke garis putus umur beton rencana. Kemudian, tarik garis vertikal dari perpotongan antara garis umur rencana dan kuat tekan rata-rata ke titik nilai FAS. Nilai FAS yang ditemukan pada gambar tersebut adalah 0,55, dengan kuat tekan direncanakan rata-rata 31,48 MPa.

9. Faktor air semen maksimum dan kadar semen minimum

Dalam desain campuran beton, dua faktor penting yang harus diperhatikan adalah faktor air-semen maksimum (*maximum water-cement ratio*) dan kadar semen minimum (*minimum cement content*). Faktor-faktor ini bergantung pada berbagai faktor, termasuk kekuatan yang diinginkan, lingkungan di mana konstruksi dilakukan, dan jenis agregat yang digunakan. Tabel SNI untuk jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum untuk beton dapat dilihat pada gambar 5.6 di bawah ini.

Keadaan beton	Jumlah semen minimum Per m <sup>3</sup> 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 kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton diluar ruangan bangunan :	325	0,60
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,62
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung		
Beton yang masuk kedalam tanah :	325	0,55
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti		Lihat Tabel 3.5.b
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinue berhubungan :		Lihat Tabel 3.5.c
a. Air tawar		
b. Air laut		

**Gambar 5. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum**

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Berdasarkan tabel (SNI-03-2834, 2000) yang disajikan pada gambar 5.6 di atas menunjukkan nilai faktor air semen maksimum sebesar 0,6 dan jumlah kadar semen minimum sebesar 275 kg/m<sup>3</sup>.

10. Nilai slump

Nilai slump rencana yang dipilih untuk penelitian ini adalah 60-180 milimeter, sesuai dengan (SNI-03-2834, 2000) butir 4.2.3.3.

11. Kadar air yang digunakan

Perkiraan kadar air bebas dimasukkan ke dalam persamaan sesuai dengan (SNI-03-2834, 2000) untuk menentukan jumlah air kasar yang diperlukan. Tabel perkiraan kadar air bebas yang diperlukan, bersama dengan persamaannya, dapat dilihat di Gambar 5.7.

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

**Gambar 5. 7 Perkiraan Kebutuhan Air Per-meter Kubik Beton**

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Jumlah air agregat halus ( $W_h$ ) 195 dan agregat kasar ( $W_k$ ) 225 diperkirakan, masing-masing, untuk mendapatkan nilai kadar air bebas yang dibutuhkan, seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas. Persamaan ini adalah sebagai berikut.

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

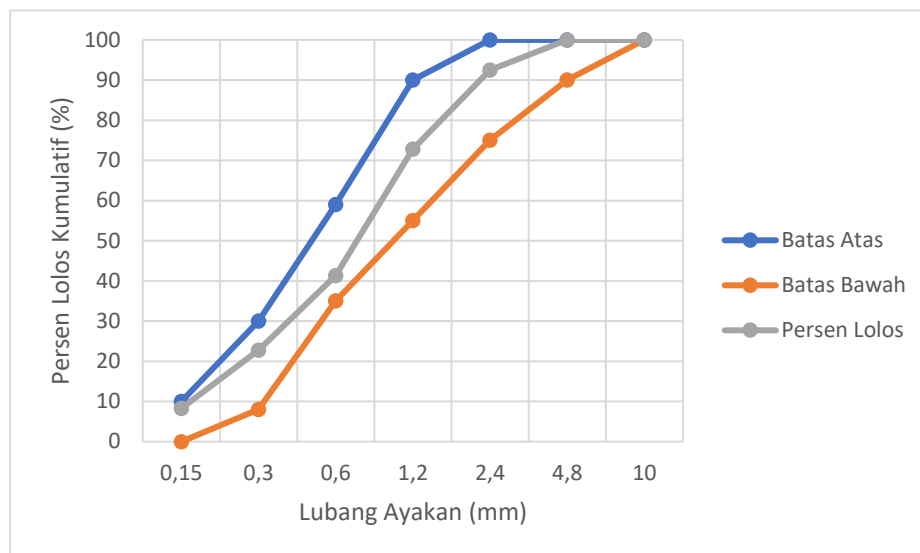
12. Kadar semen

Kadar semen didapat dari kadar air bebas dibagi dengan faktor air semen yang digunakan.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen yang digunakan (C)} &= \frac{\text{Kadar air bebas (W)}}{\text{FAS}} \\
 &= \frac{205}{0,55} \\
 &= 372,73 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Susunan besar butir agregat halus

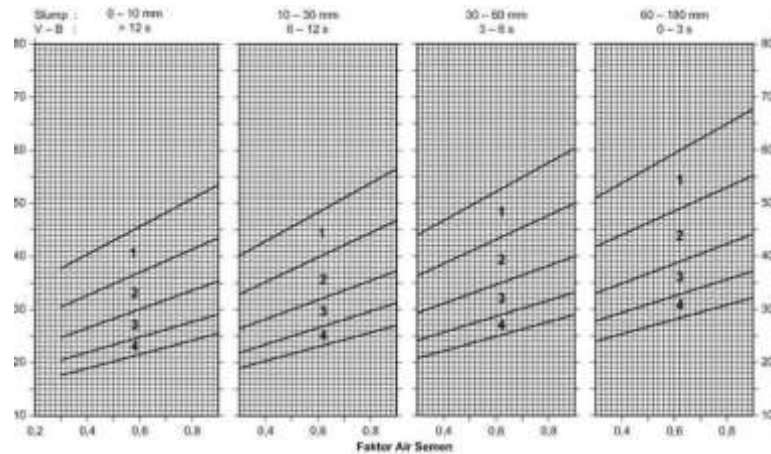
Tujuan dari susunan butir agregat halus ini adalah untuk mengidentifikasi jenis pasir yang sebenarnya. Jenis pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir sedang bergradasi pasir II, yang digambarkan pada gambar 5.8 di bawah ini.



**Gambar 5. 8 Gradasi Pasir**

14. Persentase agregat halus dan kasar

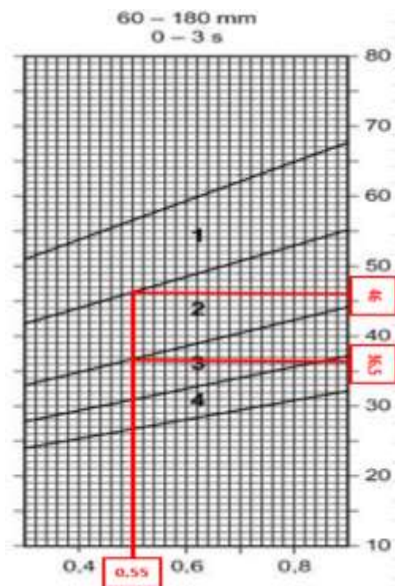
Parameter penting dalam perencanaan campuran beton adalah proporsi antara agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil atau batu pecah). Proporsi ini sangat memengaruhi kemudahan pekerjaan, dan biaya produksi beton. Tujuan penentuan persentase ini adalah untuk mencapai rasio volume atau massa yang ideal antara agregat kasar dan halus. Ini akan menghasilkan beton dengan gradasi yang baik (padat dengan rongga seminimal mungkin) dan memenuhi persyaratan mutu dan daya tahan yang ditetapkan. menggunakan data yang telah ada dan merujuk pada metode (SNI-03-2834, 2000). Pada penelitian ini menggunakan grafik 14 dikarenakan menggunakan ukuran butir maksimum 20 mm yang dapat dilihat pada gambar 5.9 sebagai berikut.



**Gambar 5. 9 Grafik 14: Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm**

(Sumber: SNI 03-2834, 2000)

Untuk menghitung persen agregat halus, menggunakan rencana slump 60–180 mm, FAS 0,55, dan ukuran butuk maksimum 20 mm, digunakan grafik di bawah ini pada gambar 5.10 sebagai berikut.



**Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Persentase Proporsi Agregat Halus dan FAS dengan Rencana Slump 60-180 mm**

Didapat hasil nilai persentase agregat halusnya sebesar 41,250%. Persentase proporsi agregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut,

$$\begin{aligned}\text{Nilai persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41,25\% \\ &= 58,75\%\end{aligned}$$

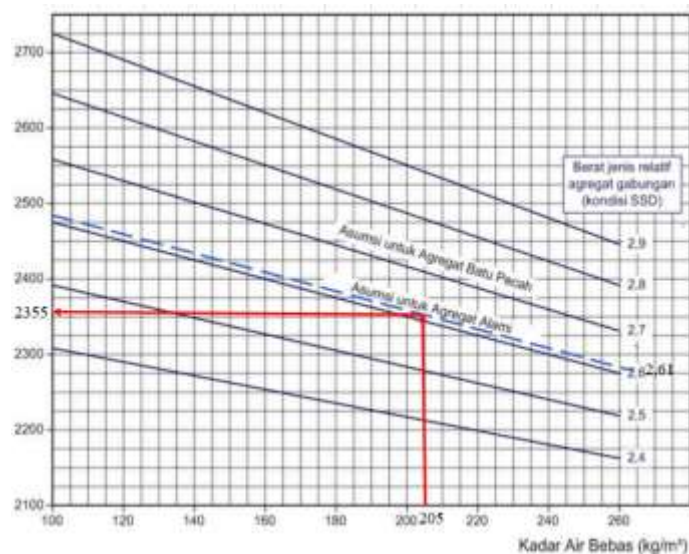
15. Berat jenis gabungan agregat

Setelah menguji propertis beton, didapatkan nilai berat jenis agregat halus 2,51 dan agregat kasar 2,67, sehingga berat jenis agregat gabungan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\text{Bert jenis agregat gabungan} &= (\%AH \times BJAH) + (\%AK \times BJA K) \\ &= (41,25\% \times 2,51) + (58,75\% \times 2,71) \\ &= 2,61\%\end{aligned}$$

16. Nilai berat isi beton

Nilai berat isi beton dihitung berdasarkan grafik hubungan antara berat isi beton dan kadar air bebas. Dalam penelitian ini, analisis grafik yang menghubungkan berat isi beton dengan kadar air bebas dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara berat isi beton dan kadar air bebasnya. Metode ini juga memberi kami pengetahuan yang bermanfaat tentang cara membuat campuran beton yang ideal untuk aplikasi konstruksi tertentu. Dengan menggunakan kadar air bebas 205 dan berat jenis gabungan 2,61, berat isi beton dapat dihitung dari grafik sesuai dengan gambar 5.11 di bawah ini.



### Gambar 5. 11 Grafik Hubungan antara Berat isi beton dan kadar air bebas

(Sumber:SNI 03-2834,2000)

Berdasarkan grafik di atas, berat isi beton basah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah  $2355 \text{ kg/m}^3$

#### 17. Kadar agregat gabungan

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung kadar agregat gabungan berdasarkan berat isi beton yang ditemukan pada grafik di atas.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{k. semen} - \text{k.air bebas} \\ &= 2355 - 372,73 - 205 \\ &= 1777,27 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

#### 18. Kadar agregat halus

Persamaan berikut digunakan untuk menghitung kadar agregat halus.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{k.agregat gabungan} \\ &= \frac{41,25}{100} \times 1777,27 \\ &= 733,13 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

#### 19. Kadar agregat kasar

Persamaan berikut digunakan untuk menghitung kadar agregat kasar.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar a.gabungan} - \text{kadar a.halus} \\ &= 1777,27 - 733,13 \\ &= 1044,15 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

#### 20. Proporsi campuran beton pada $1 \text{ m}^3$

Proporsi campuran beton dalam  $1 \text{ m}^3$  adalah perbandingan bahan yang digunakan untuk membuat beton, yang terdiri dari semen, air, agregat halus, dan agregat kasar. Ini dilakukan untuk menghasilkan beton yang memenuhi kekuatan yang direncanakan. Hasil proporsi campuran dapat dilihat sebagai berikut.

1. Air = 205 kg
2. Semen = 372,73 kg
3. Kadar agregat halusa = 733,13 kg
4. Kadar agregat kasar = 1044,15 kg

## 21. Proporsi campuran per benda uji ukuran 15 x 30 cm

Perhitungan jumlah bahan per meter kubik beton digunakan sebagai dasar untuk menentukan proporsi campuran untuk setiap benda uji 150 x 300 mm. Selanjutnya, volume campuran disesuaikan dengan volume silinder benda uji untuk mendapatkan takaran bahan yang tepat untuk setiap cetakan.

$$\begin{aligned} \text{Volume untuk 1 benda uji silinder} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 15^2 \times 30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a. Proporsi air per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\ &\quad \text{benda uji} \\ &= 205 \times 0,0053 \\ &= 1,09 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Proporsi semen per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\ &\quad \text{benda uji} \\ &= 372,73 \times 0,0053 \\ &= 1,98 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Proporsi AH per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\ &\quad \text{benda uji} \\ &= 733,13 \times 0,0053 \\ &= 3,89 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Proporsi AK per benda uji} &= \text{volume untuk setiap } 1 \text{ m}^3 \times \text{volume} \\ &\quad \text{benda uji} \\ &= 1044,15 \times 0,0053 \\ &= 5,54 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Proporsi pasir per benda uji} &= \text{berat AH untuk setiap benda uji} \times \\ &\quad \text{persentase variasi pasir } 7,5\% \\ &= 3,89 \times 7,5\% \end{aligned}$$

$$= 0,29 \text{ kg}$$

22. Kadar semen dengan angka penyusutan 20%

Penentuan kadar semen dengan angka penyusutan digunakan persamaan sebaga berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar semen dengan angka penyusutan} &= \text{Proporsi semen} \times 120\% \\ &= 1,98 \times 120\% \\ &= 2,37 \text{ kg} \end{aligned}$$

23. Kadar agregat halus dengan angka penyusutan 20%

Penentuan kadar agregat halus dengan angka penyusutan digunakan persamaan sebaga berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus dengan angka penyusutan} &= \text{Proporsi AH} \times 120\% \\ &= 3,89 \times 120\% \\ &= 4,66\% \end{aligned}$$

24. Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan 20%

Penentuan kadar agregat kasar dengan angka penyusutan digunakan persamaan sebaga berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan} &= \text{Proporsi AK} \times 120\% \\ &= 5,54 \times 120\% \\ &= 6,64\% \end{aligned}$$

25. Kadar air dengan angka penyusutan 20%

Penentuan kadar air dengan angka penyusutan digunakan persamaan sebaga berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar air dengan angka penyusutan} &= \text{Proporsi air} \times 120\% \\ &= 1,09 \times 120\% \\ &= 1,3\% \end{aligned}$$

26. Kadar pasir dengan angka penyusutan 20%

$$\begin{aligned} \text{Kadar pasir dengan angka penyusutan} &= \text{Proporsi pasir} \times 120\% \\ &= 0,29 \times 120\% \\ &= 0,35\% \end{aligned}$$

27. Hasil pencampuran beton

Rekapitulasi hasil campuran beton dibuat untuk menunjukkan perbandingan komposisi bahan penyusun untuk setiap variasi campuran yang digunakan. Data ini digunakan untuk mengevaluasi bagaimana proporsi bahan memengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Berikut merupakan rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

**Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton**

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang diisyaratkan	20	MPa
2	Standar deviasi	7	-
3	Nilai tambah/Margin (M)	11,48	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	31,48	
5	Jenis semen	Tipe 1	
6	Jenis agregat halus	Pasir	
7	Jenis agregat kasar	Batu Pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,55	
11	Slump	60-180	mm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	Kg/m <sup>3</sup>
14	kadar semen	372,73	Kg/m <sup>3</sup>
15	kadar semen maksimum	-	
16	Kadar semen minimum	275	Kg/m <sup>3</sup>
17	Kadar semen digunakan	372,73	Kg/m <sup>3</sup>
18	Fas disesuaikan	-	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
20	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,72	
21	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,51	
22	Persen Agregat Halus	41,250%	%
23	Persen Agregat Kasar	58,75%	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,61	
25	Berat isi Beton	2355	Kg/m <sup>3</sup>
26	Kadar agregat gabungan	1777,27	Kg/m <sup>3</sup>
27	Kadar agragat halus	733,13	Kg/m <sup>3</sup>
28	Kadar agregat kasar	1044,15	Kg/m <sup>3</sup>

**Lanjutan Table 5.16 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beto**

28	Kadar semen dengan Angka penyusutan	447,27	Kg/m <sup>3</sup>
29	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	879,75	Kg/m <sup>3</sup>
30	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1252,98	Kg/m <sup>3</sup>
31	Kadar air dengan angka penyusutan	246,00	Kg/m <sup>3</sup>

Penelitian ini membuktikan bahwa sifat-sifat fisik dan mekanik beton dipengaruhi secara signifikan oleh proporsi campuran beton yang diuji. Dengan memahami lebih lanjut tentang proporsi campuran dapat mengoptimalkan desain campuran untuk mencapai kinerja optimal dalam berbagai aplikasi beton. Tabel 5.17 di bawah ini menunjukkan proposi campuran untuk 1 sempel yang digunakan untuk penelitian ini.

**Tabel 5. 17 Hasil Mix Disain dengan Variasi Limbah tumbukan bata dengan Angka Penyusutan 20%**

Limbah tumbukan bata	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	Limbah tumbukan bata
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
0%	2,37	4,66	6,64	1,3	0
7,5%	2,37	4,31	6,64	1,3	0,35
15%	2,37	3,96	6,64	1,3	0,70
22,5%	2,37	3,61	6,64	1,3	1,05

**Tabel 5. 18 Rencana dan Pembagian Benda Uji Beton Berdasarkan Variasi Tumbukan Bata dan Jenis Pengujian**

Kode Benda Uji	Waktu Pengujian	No Benda Uji	Jensi Pengujian
Beton Normal	1 Oktober – 28 Oktober	1,2,3	Penyerapan Air
	1 Oktober – 28 Oktober	4,5,6	Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Berat Volume
	1 Oktober – 28 Oktober	7,8,9	Kuat Tarik Belah, Berat Volume
BTB-7,5%	2 Oktober – 29 Oktober	1,2,3	Penyerapan Air
	2 Oktober – 29 Oktober	4,5,6	Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Berat Volume
	2 Oktober – 29 Oktober	7,8,9	Kuat Tarik Belah, Berat Volume
BTB-15%	9 Oktober – 6 November	1,2,3	Penyerapan Air
	9 Oktober – 6 November	4,5,6	Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Berat Volume
	9 Oktober – 6 November	7,8,9	Kuat Tarik Belah, Berat Volume
BTB-22,5%	11 Oktober – 8 November	1,2,3	Penyerapan Air
	11 Oktober – 8 November	4,5,6	Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, Berat Volume
	11 Oktober – 8 November	7,8,9	Kuat Tarik Belah, Berat Volume

#### 5.4 Pengujian dan Workability

pengujian yang dilakukan untuk mengetahui bagaimana penambahan bata tumbuk mempengaruhi sifat beton, baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Tahap yang sangat penting dari penelitian ini ini adalah pengujian beton, karena melaluinya penulis dapat mengetahui bagaimana sifat beton berubah karena penambahan bata tumbuk pada sebagian agregat halus.

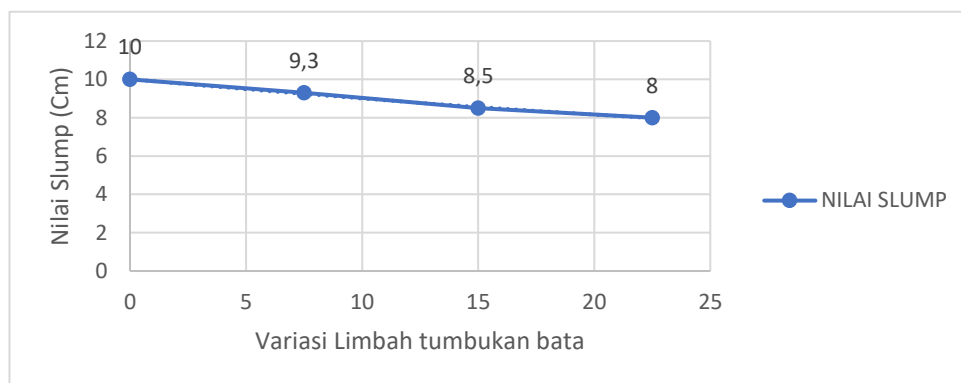
##### 5.4.1 Pengujian Slump

Setelah beton dicampur dengan mesin pengaduk hingga distribusi yang merata, pemeriksaan slump dilakukan. Slump digunakan sebagai pengukur kemudahan pengerjaan campuran beton. Sebelum pengecoran, pengujian slump dilakukan pada campuran beton untuk mengetahui konsistensi dan kekentalan campuran. Pengujian ini menunjukkan informasi penting tentang kemampuan campuran beton untuk mengalir dan membentuk permukaan yang halus. Hasil ini memungkinkan peneliti untuk menyesuaikan proporsi bahan dengan tepat untuk

mendapatkan hasil pengecoran yang terbaik. Proporsi campuran, jenis dan kualitas agregat, rasio air-semen, dan teknik pemadatan adalah beberapa faktor yang dapat memengaruhi hasil ujian slump. Oleh sebab itu, pengujian slump harus dilakukan dengan hati-hati dan sesuai dengan standar yang berlaku. Di bawah ini, Tabel 5.18 menunjukkan hasil pemeriksaan slump penelitian ini.

**Tabel 5. 19 Hasil Pemeriksaan Slump**

Benda Uji	Hasil Slump	Keterangan
BN-0%	10	Memenuhi
BTB-7,5%	9,3	Memenuhi
BTB-15%	8,5	Memenuhi
BTB-22,5%	8	Memenuhi



**Gambar 5. 12 Hasil Pemeriksaan Uji Slump**

Pada gambar 5.12 di atas menunjukkan bahwa nilai slump secara keseluruhan memenuhi syarat perencanaan, yang berkisar antara 60-180 cm. Nilai slump turun pada saat beton dicampurkan limbah tumbukan bata pada persentase 7,5%, 15%,22,5%. Persamaan regresi polynomial dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9966 menunjukkan hubungan yang kuat antara persentase limbah tumbukan bata dan nilai slump dan hasil prediksi memiliki kesesuaian yang sangat tinggi dengan hasil pengujian actual. Hasil di atas menunjukkan bahwa penambahan limbah tumbukan bata pada variasi beton akan memengaruhi penurunan nilai slump pada campuran beton. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tumbukan batu bata dapat menyerap air dalam jumlah besar, yang menyebabkan tekstur retakan menjadi lebih mengental dan penurunan ini terjadi karena sifat limbah tumbukan bata yang

lebih porous, sehingga adukan menjadi lebih kaku. Oleh karena itu, campuran beton menjadi lebih sulit untuk dipadatkan dibandingkan dengan beton normal. Penurunan slump berbanding lurus dengan peningkatan penyerapan air. Semakin tinggi persentase bata tumbuk, semakin rendah workability dan semakin tinggi absorpsi.

#### 5.4.2 Pengujian Penyerapan Air

Setelah direndam selama 28 hari, sampel beton diukur beratnya dalam kondisi basah sebelum dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 110 derajat Celcius untuk memeriksa daya serap airnya. Hasil perhitungan dan uji penyerapan air beton dengan variasi limbah tumbukan bata 0%, 7,5%, 15 %, dan 22,5 % ditunjukkan dalam tabel dan persamaan berikut.

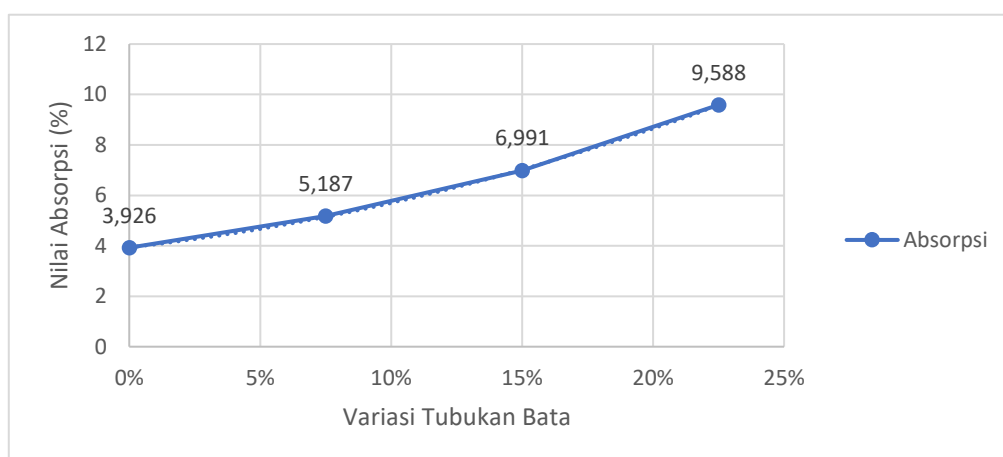
1. Sempel 1 BN-0%

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Penyerapan Air} &= \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100\% \\
 &= \frac{12,594 - 12,172}{12,172} \times 100\% \\
 &= 3,47 \%
 \end{aligned}$$

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama. Hasilnya adalah rekapitulasi, yang dapat dilihat pada Tabel 5.19.

**Tabel 5. 20 Rekapitulasi Hasil Penyerapan Air Beton**

Tanggal	Kode Benda Uji		Berat Kering Permukaan	Berat Kering Oven	Absorpsi	Rata-Rata
			(kg)	(kg)	(%)	(%)
1/10/25 - 28/10/25	BN	1	12,594	12,172	3,467	3,926
		2	12,893	12,415	3,850	
		3	12,436	11,905	4,460	
2/10/25 – 29/10/25	BTB - 7,5%	1	12,450	11,782	5,670	5,187
		2	12,565	11,880	5,766	
		3	12,365	11,875	4,126	
9/10/25 – 6/11/25	BTB - 15%	1	12,168	11,438	6,382	6,991
		2	12,096	11,188	8,116	
		3	12,204	11,462	6,474	
11/10/25 – 8/11/25	BTB - 22,5%	1	12,328	11,273	9,359	9,588
		2	12,265	11,127	10,227	
		3	12,407	11,364	9,178	

**Gambar 5. 13 Hasil Rekapitulasi Penyerapan Air**

Pengujian absorpsi beton menunjukkan peningkatan yang signifikan dan sistematis pada kemampuan penyerapan air seiring dengan peningkatan persentase substitusi agregat halus dengan limbah tumbukan bata (BTB). Nilai absorpsi rata-rata beton biasa (BN-0%) adalah 3,926%, tetapi meningkat drastis menjadi 9,588%

pada variasi BTB 22,5%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah tumbukan bata meningkatkan porositas matriks beton, yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan jumlah air yang diserap.

### 5.4.3 Pengujian Berat Volume Beton

Pada penelitian ini, pengujian berat volume beton dilakukan pada beton berusia 28 hari, setelah beton melewati proses perawatan dengan cara dihitung dengan membagi berat benda uji yang telah dikeringkan atau dijenuhkan dengan volume geometrisnya. Hasil pengujian ini sangat penting untuk mengklasifikasikan beton, apakah beton termasuk beton ringan (di bawah  $1800 \text{ kg/m}^3$ ), beton normal (sekitar  $2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$ ), atau beton berat. Berat volume beton menunjukkan kepadatan dan kualitas agregat yang digunakan, dan biasanya berbanding lurus dengan kuat tekan. Hasil perhitungan dan uji berat volume beton dengan variasi limbah tumbukan bata 0%, 7,5%, 15 %, dan 22,5 % ditunjukkan dalam tabel dan persamaan berikut.

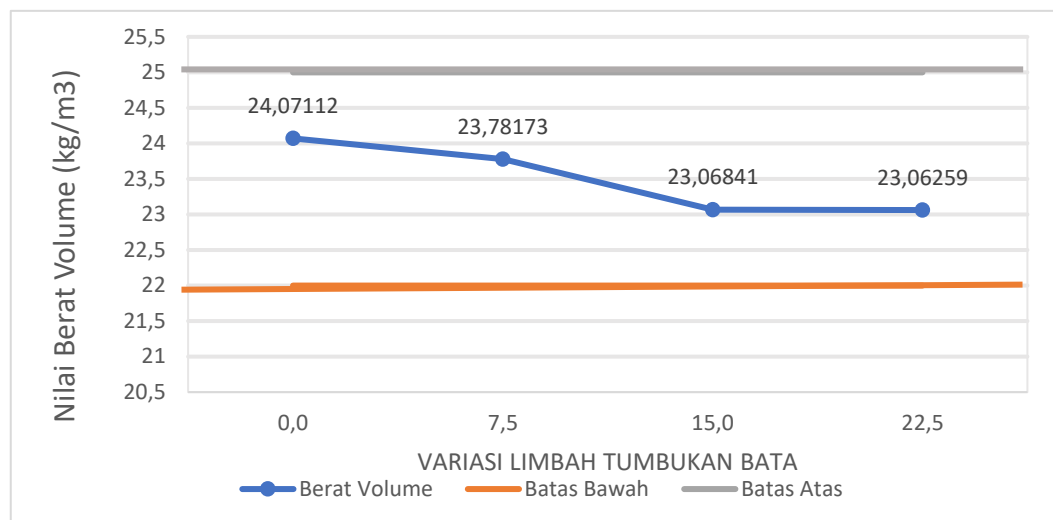
#### 1. Sempel 1 (Beton Normal)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Beton} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,9^2 \times 30 \\
 &= 5230,987 \text{ cm}^3 \\
 &= 0,005 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat Volume} &= \frac{\text{Berat Beton}}{\text{Volume Beton}} \\
 &= \frac{12,701}{0,005} \\
 &= 2428,031 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama. Hasilnya adalah rekapitulasi, yang dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Beton

Tanggal	Nomor benda Uji	Berat	Diameter	Tinggi	Luas	Volume	Berat Volume	Berat Volume Rata-Rata
		(kg)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
<b>BN</b>								
1 Oktober – 28 Oktober	4	12,701	14,900	30,000	174,366	0,005	2428,031	2407,112
1 Oktober – 28 Oktober	5	12,593	15,000	29,800	176,715	0,005	2391,336	
1 Oktober – 28 Oktober	6	12,649	15,000	29,800	176,715	0,005	2401,970	
<b>BTB – 7,5%</b>								
2 Oktober – 29 Oktober	4	12,684	15,000	30,100	176,715	0,005	2384,610	2378,173
2 Oktober – 29 Oktober	5	12,664	15,000	30,000	176,715	0,005	2388,786	
2 Oktober – 29 Oktober	6	12,351	14,900	30,000	174,366	0,005	2361,122	
<b>BTB – 15%</b>								
9 Oktober – 6 November	4	12,185	15,000	30,000	176,715	0,005	2298,433	2306,841
9 Oktober – 6 November	5	12,096	14,900	30,000	174,366	0,005	2312,374	
9 Oktober – 6 November	6	12,204	15,000	29,900	176,715	0,005	2309,716	
<b>BTB – 22,5%</b>								
11 Oktober – 8 November	4	11,939	14,800	29,900	172,034	0,005	2321,044	2306,259
11 Oktober – 8 November	5	12,064	15,000	30,000	176,715	0,005	2275,609	
11 Oktober – 8 November	6	12,147	14,900	30,000	174,366	0,005	2322,124	



**Gambar 5. 14 Grafik Hasil Rekapitulasi Berat Volume Beton**

Secara tren, Nilai berat volume material secara signifikan menurun karena peningkatan persentase limbah tumbukan bata dari 0% hingga 22,5%. Nilai berat volume turun dari 2412,8 kg/m<sup>3</sup> pada 0% menjadi 2300,6 kg/m<sup>3</sup> pada 22,5%. Ini disebabkan oleh berat jenis yang lebih rendah dari limbah tumbukan bata dan porositas yang lebih tinggi daripada agregat biasa. Akibatnya, penggunaan limbah tumbukan bata sebagai pengganti agregat akan mengurangi kepadatan total.

Menurut standar (SNI 2847, 2019) batas berat volume pada beton normal antara 2200 kg/m<sup>3</sup> – 2500 kg/m<sup>3</sup>, sehingga secara keseluruhan semua campuran beton memenuhi syarat dan diklasifikasikan sebagai beton normal. Namun, dengan adanya penurunan berat volume beton seiring dengan adanya peningkatan substitusi limbah tumbukan bata yang menandakan bahwa keberhasilan limbah tumbukan bata dalam membuat beton sedikit lebih ringan, dan menurunkan densitas beton karena sifat bata lebih ringan dan porous. Meskipun terjadi penurunan tidak menjadikan beton mencapai kekategori beton ringan.

#### 5.4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini, pengujian tekan kuat dilakukan pada beton usia 28 hari setelah melewati proses perawatan, yaitu direndam dalam air. 1 hari sebelum pengujian, beton diangkat. Pengujian kekuatan tekan rencana ( $f'_{cr}$ ) beton sebesar 20 MPa dilakukan pada 12 sampel silinder beton, masing-masing variasi 3 sampel di diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Sebelum pengujian tekan kuat beton dimulai,

permukaan benda uji dilapisi dengan caping. Ini dilakukan untuk membuat permukaan lebih halus dan rata sehingga beban yang dihasilkan dari mesin kompresi dapat didistribusikan secara merata di seluruh permukaan. Pengujian ini dilakukan sampai benda uji tidak mampu menahan beban mesin uji lagi, atau sampai beton pecah atau bahkan hancur. Tabel 5.21 dan Gambar grafik 5.15 menunjukkan rekapitulasi perhitungan dan hasil pengujian kekuatan tekan beton.

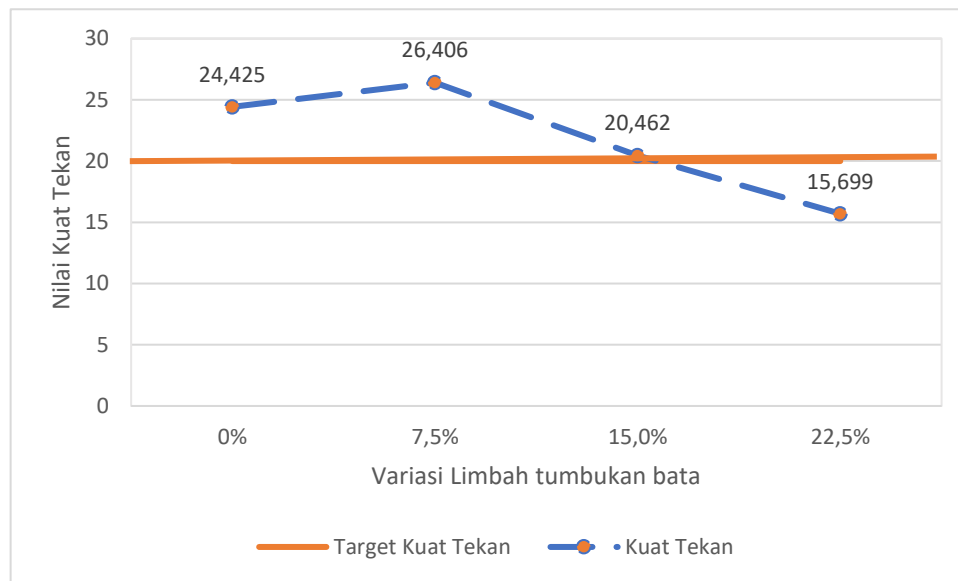
1. Kuat tekan beton dengan variasi limbah tumbukan bata 0%

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{P \text{ (KN)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{(P \times 1000)}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{448,92 \times 1000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 14,9^2} \\
 &= 25,746 \text{ MPa} \\
 f_c &= f_c^{\text{actual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 25,746 \times \frac{1}{1} \\
 &= 25,746 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama. Hasilnya adalah rekapitulasi, yang dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tanggal	Nomor Benda Uji	Beban Maksimum		Luas Penampang		Berat Volume	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata	Curva Fitting kuadrat
		(KN)	(N)	(cm <sup>2</sup> )	(mm <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(MPa)	(MPa)	(MPa)
<b>BN</b>									
1 Oktober – 28 Oktober	4	448,920	448920,000	174,366	17436,625	2428,031	25,746	24,2245	24,2877
1 Oktober – 28 Oktober	5	393,320	393320,000	176,715	17671,459	2391,336	22,257		
1 Oktober – 28 Oktober	6	446,570	446570,000	176,715	17671,459	2401,970	25,271		
<b>BTB – 7,5%</b>									
2 Oktober – 29 Oktober	4	466,390	466390,000	176,715	17671,459	2384,610	26,392	26,252	25,037
2 Oktober – 29 Oktober	5	472,780	472780,000	176,715	17671,459	2388,786	26,754		
2 Oktober – 29 Oktober	6	446,570	446570,000	174,366	17436,625	2361,122	25,611		
<b>BTB – 15%</b>									
9 Oktober – 6 November	4	364,000	364000,000	176,715	17671,459	2298,433	20,598	20,462	21,825
9 Oktober – 6 November	5	357,970	357970,000	174,366	17436,625	2312,374	20,530		
9 Oktober – 6 November	6	357,970	357970,000	176,715	17671,459	2309,716	20,257		
<b>BTB – 22,5</b>									
11 Oktober – 8 November	4	276,960	276960,000	172,034	17203,361	2321,044	16,099	15,699	15,24
11 Oktober – 8 November	5	269,510	269510,000	176,715	17671,459	2275,609	15,251		
11 Oktober – 8 November	6	274,570	274570,000	174,366	17436,625	2322,124	15,747		



**Gambar 5. 15 Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan**

Pada gambar 5.15 kuat tekan beton normal tanpa campuran limbah tumbukan bata rata-rata 24,2877 MPa, yang memenuhi dan melampaui standar. Kuat tekan meningkat menjadi 25,037 MPa pada variasi 7,5%. Ini menunjukkan bahwa limbah tumbukan bata dapat berfungsi sebagai filler pada kadar rendah, meningkatkan kekuatan dan kerapatan beton dengan mengisi celah kecil. Kuat tekan menurun drastis menjadi 21,825 MPa pada variasi 15%, tetapi masih di bawah batas mutu rencana, sehingga masih dapat diterima sebagai beton struktural. Namun, pada variasi 22,5%, kuat tekan menurun drastis menjadi 15,24 MPa dan tidak memenuhi persyaratan mutu beton 20 MPa. Kandungan limbah tumbukan bata yang terlalu tinggi menyebabkan beton menjadi lebih pori, kurang padat, dan memiliki daya ikat yang lebih rendah. Sifat dasar limbah tumbukan bata yang ringan dan berpori mengakibatkan peningkatan penyerapan air, penurunan densitas, dan penurunan kualitas ikatan pasta semen dengan agregat. Akibatnya, pada kadar 22,5%, struktur beton tidak dapat memenuhi tingkat kekuatan yang diinginkan. Oleh karena itu, tingkat limbah tumbukan bata yang paling tinggi yang dapat digunakan dalam campuran beton adalah 15%, sedangkan tingkat tumbukan yang ideal adalah 7,5%. Hal ini dikuatkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan (Sofia et al., 2019), Dengan menggunakan limbah batu bata sebagai pengganti agregat halus sebesar 9%, terbukti mampu meningkatkan kuat tekan beton dan

memenuhi standar mutu rencana. Namun, persentase agregat halus di atas 9% sekitar 25,465 menyebabkan kuat tekan menurun karena porositas yang lebih besar dan kualitas ikatan antar partikel yang lebih rendah. Oleh karena itu, batas ideal untuk substitusi limbah batu bata adalah 9% dari agregat halus total.



**Gambar 5. 16 Proses Pengujian Kuat Tekan Beton**



**Gambar 5. 17 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

#### **5.4.5 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

Uji kekuatan tarik belah beton dilakukan pada 28 hari setelah pembuatan benda uji. Benda uji yang digunakan adalah silinder dengan diameter 15 mm dan 30 mm, masing-masing dengan 12 sampel untuk setiap variasinya. Untuk melakukan pengujian ini, beton diletakkan secara horizontal di atas mesin dan

diberi beban. Metode (SNI 03-2491, 2002) digunakan untuk pengujian kuat tarik belah ini . Tabel 5.20 berikut menunjukkan hasil pengujian dan beban yang mampu ditahan benda uji berbentuk silinder berdasarkan perhitungan kuat tarik belah beton.

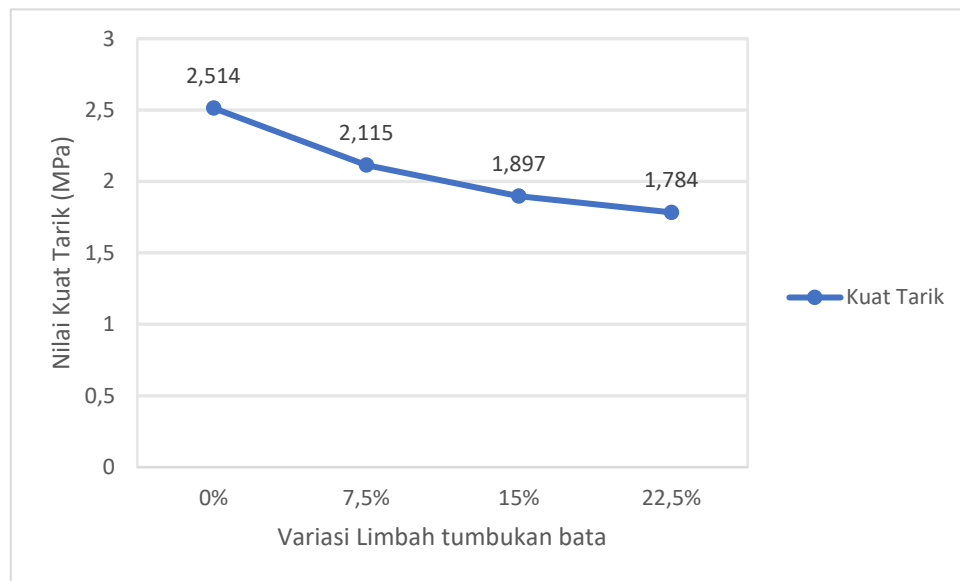
1. Kuat tarik belah beton dengan variasi limbah tumbukan bata 0%

$$\begin{aligned}\text{Tarik Belah 1} &= \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L} \\ &= \frac{2 \times 178000}{\pi \times 15000 \times 29900} \\ &= 2,572 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama. Hasilnya adalah rekapitulasi, yang dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5. 23 Hasil Rekapitulasi Kuat Tarik Belah Beton

Tanggal	Nomor Benda Uji	Beban Maksimum		Diameter	Tinggi	Kuat Tarik	Kuat Tarik Rata-Rata
		(KN)	(N)	(cm)	(cm)	(MPa)	(MPa)
<b>BN</b>							
1 Oktober – 28 Oktober	7	178,000	178000,000	15,000	29,900	2,527	2,514
1 Oktober – 28 Oktober	8	175,000	175000,000	14,800	30,000	2,509	
1 Oktober – 28 Oktober	9	176,000	176000,000	14,900	30,000	2,507	
<b>BTB – 7,5%</b>							
2 Oktober – 29 Oktober	7	159,000	159000,000	15,000	29,900	2,257	2,115
2 Oktober – 29 Oktober	8	148,000	148000,000	15,000	30,000	2,094	
2 Oktober – 29 Oktober	9	140,000	140000,000	14,900	30,000	1,994	
<b>BTB – 15%</b>							
9 Oktober – 6 November	7	129,000	129000,000	15,000	29,800	1,837	1,897
9 Oktober – 6 November	8	132,000	132000,000	15,000	30,000	1,867	
9 Oktober – 6 November	9	140,000	140000,000	15,000	29,900	1,987	
<b>BTB – 22,5%</b>							
11 Oktober – 8 November	7	125,000	125000,000	15,000	29,900	1,774	1,784
11 Oktober – 8 November	8	127,000	127000,000	15,000	30,000	1,797	
11 Oktober – 8 November	9	125,000	125000,000	14,900	30,000	1,780	



**Gambar 5. 18 Grafik Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik**

Hasil pengujian kuat tarik belah pada beton dengan mutu rencana 20 MPa menunjukkan nilai kuat tarik rata-rata sebesar 2,510 MPa. Nilai ini sebanding dengan estimasi teoritis kuat tarik beton menurut (SNI 2847, 2019), yang sekitar 2,50 MPa. Oleh karena itu, beton normal memenuhi mutu rencana yang ditargetkan. Namun, beton dengan penambahan Bahan Tambah Berbentuk limbah tumbukan bata dengan variasi kadar 7,5%, 15%, dan 22,5% mengalami penurunan kuat tarik yang konsisten seiring meningkatnya kadar limbah tumbukan bata. Untuk kadar variasi 7,5%, kuat tarik rata-rata turun menjadi 2,126 MPa, untuk kadar variasi 15% turun menjadi 1,886 MPa, dan untuk kadar variasi 22,5% turun menjadi 1,788 MPa.

Sifat fisik limbah tumbukan bata, yang lebih rapuh, berpori, dan memiliki daya serap air tinggi, bertanggung jawab atas penurunan kuat tarik ini. Sifat kimiawi limbah tumbukan bata juga bertanggung jawab atas penurunan ini. Limbah tumbukan bata berasal dari tanah liat yang dibakar, sehingga sebagian besar kandungannya terdiri dari silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Berbeda dengan pasir dengan silika yang stabil dan berfungsi sebagai agregat halus, limbah tumbukan bata tidak berpartisipasi secara signifikan dalam reaksi kimia semen, sehingga tidak membantu membentuk ikatan yang kuat pada matriks beton. Selain itu, ketika bata dibakar, beberapa komponen mineralnya mengalami perubahan struktur yang membuatnya tidak dapat membentuk ikatan kimia yang kuat dengan pasta semen.

Akibatnya, zona antarmuka (*interfacial transition zone, atau ITZ*) antara limbah tumbukan bata dan pasta semen menjadi lebih lemah dan lebih mudah retak.

Secara keseluruhan, sifat fisik bata yang berpori dan sifat kimiawinya yang kurang reaktif terhadap pasta semen menyebabkan campuran beton menjadi lebih padat dan ikatan internal yang lebih lemah. Hal ini berkontribusi secara langsung pada penurunan kekuatan tarik belah beton pada seluruh variasi kadar limbah tumbukan bata. Oleh karena itu, untuk beton struktural yang memiliki mutu rencana 20 MPa, tidak disarankan untuk menggunakan limbah tumbukan bata dengan persentase tinggi. Ini karena limbah tumbukan bata dapat secara signifikan mengurangi kinerja mekanis beton.



**Gambar 5. 19 Proses Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**



**Gambar 5. 20 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

#### 5.4.6 Modulus Elastisitas Beton

Tujuan dari pengujian modulus elastisitas beton adalah untuk mengetahui kekuatan beton untuk menahan deformasi ketika terpapar beban. Salah satu parameter yang sangat penting untuk menilai performa struktural beton adalah modulus elastisitasnya, yang menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah elastis. Beton dengan modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan sifat yang lebih kaku dan memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menahan perubahan bentuk, sedangkan beton dengan modulus elastisitas yang rendah cenderung lebih lentur dan lebih mudah rusak. Oleh karena itu, uji-uji ini dilakukan untuk memastikan bahwa beton yang dibuat memenuhi persyaratan kinerja struktural dan untuk mengevaluasi bagaimana perbedaan dalam campuran, seperti penggunaan limbah tumbukan bata, memengaruhi sifat mekanis beton. Pengujian modulus elastisitas dan pengujian tekanan kuat dilakukan satu sama lain. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan yang disebabkan oleh pembebanan terhadap panjang (regangan) dan arah aksial (longitudinal) silinder beton. Ini juga untuk mengetahui besarnya ( $P$ ) pada saat beton mulai retak. Hasil pengujian modulus elastisitas penelitian dilakukan setelah 28 hari. 12 benda uji digunakan untuk menguji modulus elastisitas, dengan 3 benda uji per variasi. Adapun perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban mencapai 10 kN pada pengujian modulus elastisitas dengan variasi tumbukan batu bata 0% pada sampel 1 sebagai berikut.

1. Perhitungan nilai  $\Delta L$

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

2. Perhitungan nilai regangan ( $\varepsilon$ )

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0025}{200}\end{aligned}$$

$$= 0,0000125$$

3. Perhitungan nilai tegangan ( $\sigma$ )

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{17436,62} \\ &= 0,5735 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Nilai tegangan dan regangan beton untuk setiap nilai penambahan beban 10 kN untuk sampel dapat dihitung dengan langkah perhitungan yang sama. Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton dengan variasi 0% dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

**Tabel 5. 24 Hasil Tegangan dan Regangan Beton 0% Sempel 1**

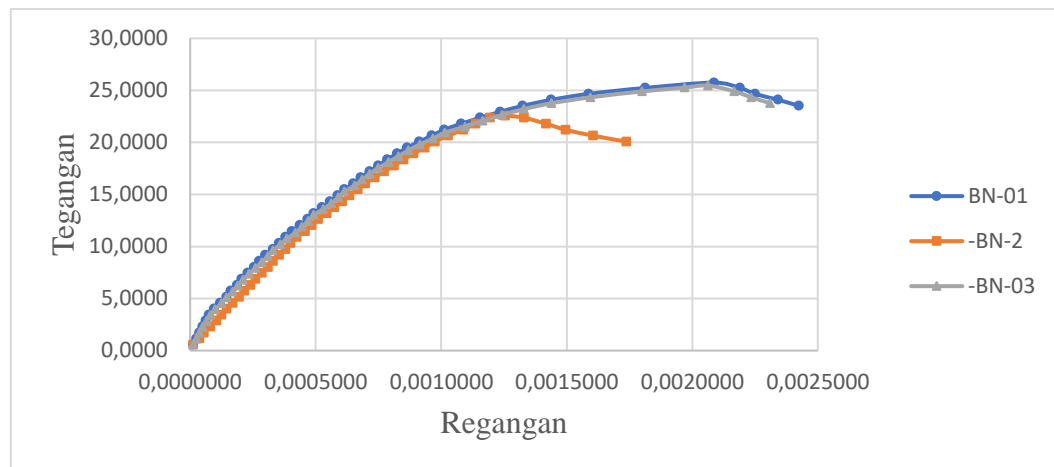
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5735	0,0000300
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1470	0,0000601
30	30000	15	0,00750	0,0000375	1,7205	0,0000901
40	40000	20	0,01000	0,0000500	2,2940	0,0001202
50	50000	25	0,01250	0,0000625	2,8675	0,0001502
60	60000	30	0,01500	0,0000750	3,4410	0,0001803
70	70000	38	0,01900	0,0000950	4,0145	0,0002103
80	80000	48	0,02400	0,0001200	4,5880	0,0002404
90	90000	58	0,02900	0,0001450	5,1615	0,0002704
100	100000	65	0,03250	0,0001625	5,7351	0,0003005
110	110000	75	0,03750	0,0001875	6,3086	0,0003305
120	120000	82	0,04100	0,0002050	6,8821	0,0003606
130	130000	92	0,04600	0,0002300	7,4556	0,0003906
140	140000	102	0,05100	0,0002550	8,0291	0,0004207
150	150000	110	0,05500	0,0002750	8,6026	0,0004507
160	160000	120	0,06000	0,0003000	9,1761	0,0004808
170	170000	132	0,06600	0,0003300	9,7496	0,0005108
180	180000	142	0,07100	0,0003550	10,3231	0,0005409
190	190000	152	0,07600	0,0003800	10,8966	0,0005709
200	200000	162	0,08100	0,0004050	11,4701	0,0006002
210	210000	175	0,08750	0,0004375	12,0436	0,0006327
220	220000	187	0,09350	0,0004675	12,6171	0,0006627
230	230000	197	0,09850	0,0004925	13,1906	0,0006877
240	240000	210	0,10500	0,0005250	13,7641	0,0007202
250	250000	223	0,11150	0,0005575	14,3376	0,0007527
260	260000	235	0,11750	0,0005875	14,9111	0,0007827
270	270000	246	0,12300	0,0006150	15,4846	0,0008102
280	280000	260	0,13000	0,0006500	16,0582	0,0008452
290	290000	272	0,13600	0,0006800	16,6317	0,0008752
300	300000	286	0,14300	0,0007150	17,2052	0,0009102
310	310000	300	0,15000	0,0007500	17,7787	0,0009452
320	320000	314	0,15700	0,0007850	18,3522	0,0009802
330	330000	330	0,16500	0,0008250	18,9257	0,0010202
340	340000	346	0,17300	0,0008650	19,4992	0,0010602
350	350000	365	0,18250	0,0009125	20,0727	0,0011077
360	360000	385	0,19250	0,0009625	20,6462	0,0011577
370	370000	405	0,20250	0,0010125	21,2197	0,0012077

Lanjutan Tabel 5.23 Hasil Regangan dan Tegangan Beton 0% Sempel 1

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	432	0,21600	0,0010800	21,7932	0,0012752
390	390000	462	0,23100	0,0011550	22,3667	0,0013502
400	400000	494	0,24700	0,0012350	22,9402	0,0014302
410	410000	530	0,26500	0,0013250	23,5137	0,0015202
420	420000	575	0,28750	0,0014375	24,0872	0,0016327
430	430000	635	0,31750	0,0015875	24,6607	0,0017827
440	440000	725	0,36250	0,0018125	25,2342	0,0020077
448,92	448920	835	0,41750	0,0020875	25,7458	0,0022827
440	440000	876	0,43800	0,0021900	25,2342	0,0023852
430	430000	900	0,45000	0,0022500	24,6607	0,0024452
420	420000	937	0,46850	0,0023425	24,0872	0,0025377
410	410000	970	0,48500	0,0024250	23,5137	0,0026202

Keterangan  = Tegangan 1  
 = Tegangan 2  
 = Tegangan Max

Selain itu, grafik tegangan dan regangan beton dapat dibuat berdasarkan hasil perhitungan tegangan dan regangan beton yang ditunjukkan pada Tabel 5.21 di atas. Gambar 5.23 menunjukkan grafik modulus elastisitas variasi 0% sampel 1. Nilai modulus elastisitas diperoleh dari kemiringan kurva regresi, yang juga dikenal sebagai kurva trend linier, pada daerah elastis.



**Gambar 5. 21 Grafik Data Mentah Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Untuk Beton Normal**

Seperti yang ditunjukkan secara numeris dan grafis pada gambar 5.21, data hubungan antara regangan dan tegangan yang diderita oleh benda uji menunjukkan bahwa diperlukannya proses koreksi. Untuk proses koreksi dapat menggunakan Metode (Sarwidi, 2016), metode ini bertujuan untuk menemukan garis atau kurva linier pada data saat ini untuk menentukan area mana fenomena perilaku linier benda uji terjadi selama proses koreksi. Persamaan umum kurva linier digunakan disini, sebagai berikut.

$$y = ax + b \quad (5.58)$$

di mana :

$y$  = tegangan (MPa),

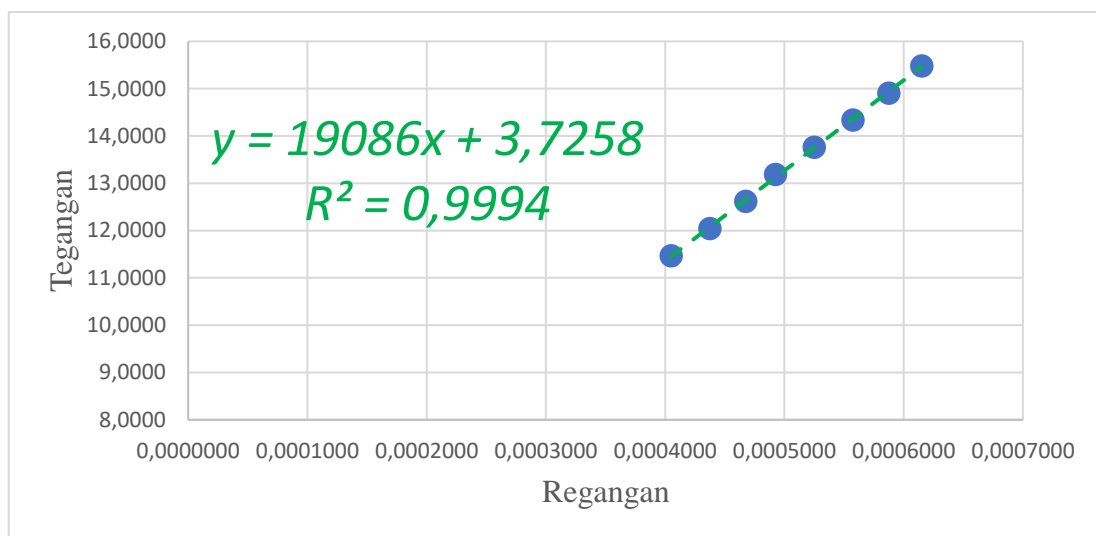
$x$  = regangan

$a$  = angka kemiringan garis atau modulus elastisitas, dan

$b$  = konstanta.

Dengan menggunakan persamaan umum kurva linier, bagian linier dari data mentah pada Gambar 5.21 ditentukan melalui metode coba-salah berdasarkan pengamatan visual, kemudian dikonfirmasi secara kuantitatif dengan menggunakan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara regangan ( $x$ ) dan tegangan ( $y$ ). Proses penentuan garis pendekatan pada Gambar 5.21 dihentikan ketika garis yang dibentuk dari sejumlah titik data menghasilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) tertinggi, yang menunjukkan tingkat kesesuaian (best fit) paling optimal

dibandingkan dengan alternatif garis lainnya.  $R^2$  bernilai antara 0 dan 1, di mana angka 0 menunjukkan tidak berkorelasi, sedangkan angka 1 menunjukkan berkorelasi penuh, dengan rincian: 0 : Tidak ada korelasi antara dua variabel;  $>0 - 0,25$ : Korelasi sangat lemah;  $>0,25 - 0,5$ : Korelasi cukup;  $>0,5 - 0,75$ : Korelasi kuat;  $>0,75 - 0,99$ : Korelasi sangat kuat; dan 1,0: Korelasi sempurna. Hasil dari proses koreksi tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.22.



**Gambar 5. 22 Proses Koreksi Benda Uji Beton Normal Sempel 1**

Contoh penerapan metode tersebut ditunjukkan pada gambar 5.22 untuk benda uji pertama yaitu beton normal sampel 1, persamaan linier sebagaimana dinyatakan dalam persamaan pada (5.58) diperoleh melalui pendekatan coba-salah dengan mengevaluasi beberapa alternatif garis linier yang disesuaikan terhadap sebaran data yang tersedia. Dari berbagai alternatif yang dicoba, dipilih garis dengan tingkat kesesuaian paling optimal terhadap data, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi tertinggi, yaitu pada beton normal sampel 1 dengan ( $R^2$ ) sebesar 0,9881. Melalui proses tersebut diperoleh garis pendekatan dengan tingkat kesesuaian terbaik (best fit), yang memiliki nilai konstanta  $a = 19086$  dan  $b = 3,726$ . Dengan demikian, persamaan garis linier tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk Persamaan (5.58) sebagai berikut:

$$y = 19086x + 3,726 \quad (5.59)$$

dengan:

$$R^2 = 0,9994 \quad (5.60)$$

Berdasarkan hasil indentifikasi zona perilaku linier material pada tahap awal pembebanan, dengan menggunakan bentuk dasar persamaan (5.4.1), nilai konstanta  $a$  dan  $b$  selanjutnya di olah untuk menentukan besarnya pergeseran simpangan. Sebagai contoh pada benda uji beton normal sempel 1 yang ditunjukkan pada Gambar 5.21, proses indentifikasi persamaan linier menghasilkan  $R^2$ ,  $a$ , dan  $b$  sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (5.59) dan (5.60).

Secara ideal, pengujian tegangan-regangan dinyatakan realistis apabila pada kondisi awal tanpa pembebanan tidak terjadi perpanjangan pada benda uji. Namun demikian , apabila garis linier pada persamaan 5.58 diekstrapolasikan hingga memotong sumbu  $y = 0$ , yaitu pada kondisi tanpa tegangan, masih terdapat nilai regangan tertentu. Regangan ini merepresntasikan adanya pergeseran mekanis akibat ketidak sempurnaan pemasangan benda uji sebelum mampu menahan beban tegangan secara penuh, yang dinyatakan sebagai nilai  $d$ . Oleh karena itu, bentuk umum persamaan (5.58) selanjutnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$0 = ad + b \quad (5.61)$$

sehingga ada pergeseran perpanjangan sebesar  $d$ , yaitu:

$$d = b / a \quad (5.62)$$

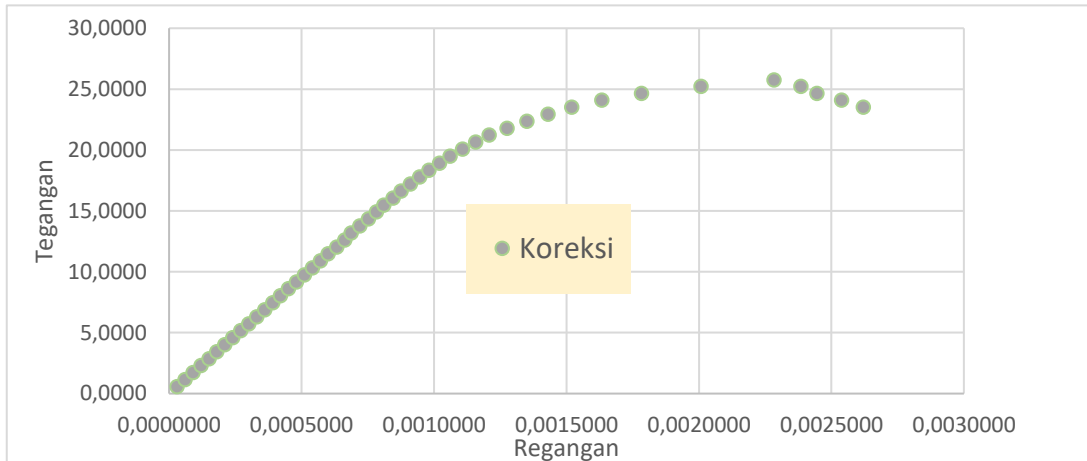
Untuk benda uji beton normal sempel 1 yang memiliki bentuk khusus sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (5.59), besarnya pergeseran perpanjangan  $d$  selanjutnya dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} d &= -3,7258 / 19086 \\ &= -0,000195 \end{aligned} \quad (5.63)$$

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama. hasil perbandingan grafik mentah dan grafik terkoreksi dapat dilihat pada gambar 5.23.

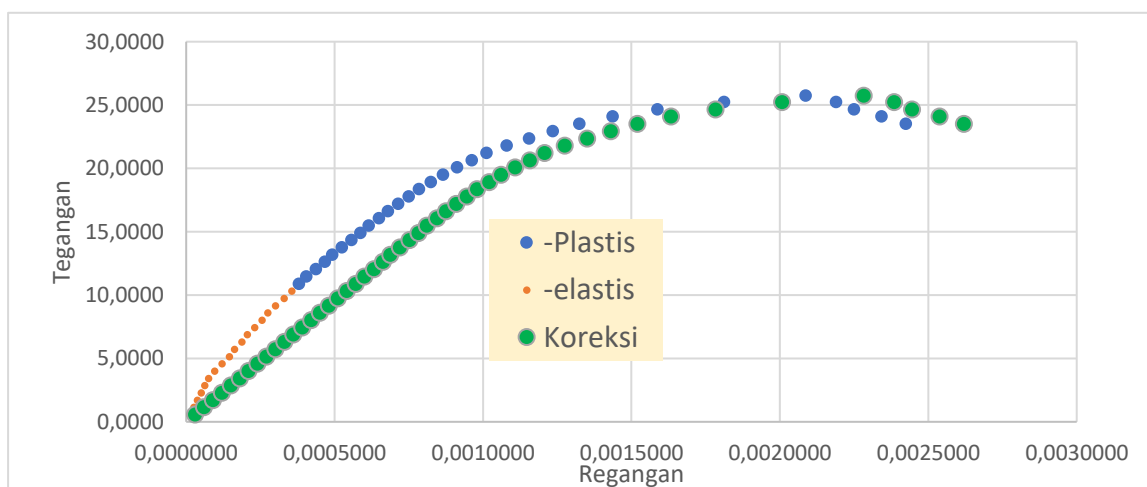
Setelah dilakukan pergeseran balik regangan dengan menerapkan prinsip linieritas pada awal kurva menurut teori (Sarwidi, 2016). Data hasil pengolahan yang merepresntasikan hasil penelitian dapat disajikan dalam bentuk grafik hungan tegangan dan regangan yang lebih realistis. Grafik hasil koreksi tersebut ditunjukkan

pada Gambar 5.23, yang merupakan perbaikan dari grafik mentah sebelumnya sebagaimana ditampilkan pada gambar 5.21.



**Gambar 5. 23 Kurva Tegangan-Regangan Terkoreksi**

Kurva tegangan-regangan terkoreksi menunjukkan perilaku mekanik beton yang lebih jelas. Ini ditunjukkan dengan daerah elastis yang jelas dan daerah plastis yang tidak linier, serta tegangan maksimum pada regangan tertentu sebelum penurunan tegangan pasca-puncak. Bentuk kurva ini sesuai dengan sifat beton sebagai material getas yang rusak secara bertahap setelah melewati batas elastisnya. hasil perbandingan grafik mentah dan grafik terkoreksi dapat dilihat pada gambar 5.24.



**Gambar 5. 24 Perbandingan Kurva Tegangan-Regangan**

Untuk nilai modulus elastisitas diperoleh melalui metode rumus empiris yang ditemukan dalam Pasal 19.2.2 (SNI 2847, 2019). Dengan pendekatan kuat tekan beton sebesar 25,745 MPa, modulus elastisitas benda uji variasi 0% pada silinder 1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \times \sqrt{f_c} & (5.67) \\ &= 4700 \times \sqrt{25,745} \\ &= 23,847 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= Wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c} & (5.68) \\ &= 2428,03 \times 0,043 \times \sqrt{25,745} \\ &= 26,013 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Namun demikian, untuk menentukan hasil kekuatan modulus elastisitas beton dari hasil uji lapangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} E_c &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} & (5.69) \\ &= \frac{10,3231 - 1,1470}{0,0005409 - 0,0000601} \\ &= 19,086 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

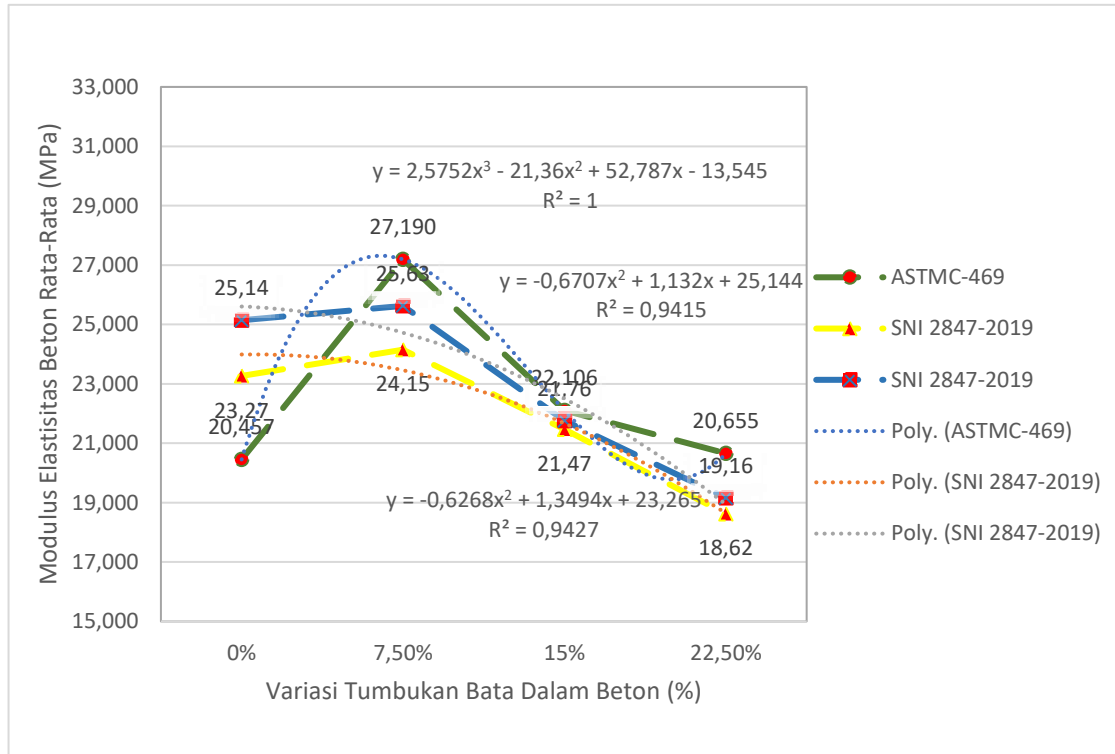
Berdasarkan grafik regim mapan linier diperoleh persamaan  $y = 19086x + 3,7258$  dengan nilai  $R^2 = 0,9994$ . Nilai gradien sebesar 19.086 menunjukkan modulus elastisitas beton hasil pengujian. Jika dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas menurut ASTM C469, yaitu 19.086, hasil tersebut menunjukkan kesesuaian yang sangat baik. Nilai koefisien determinasi yang mendekati satu menandakan hubungan tegangan–regangan bersifat linier dan stabil, sehingga penentuan modulus elastisitas beton dapat dinyatakan memenuhi ketentuan ASTM C469.

Untuk sampel dengan kadar penambahan yang berbeda, kuat tekan beton dapat dihitung dengan metode perhitungan yang sama.

Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Kode Benda Uji	Nomor Benda Uji	Diameter	Tinggi	Wc	Kuat Tekan	ASTMC-469	Rerata	SNI 2847-2019	Rerata	SNI 2847-2019	Retara
		(Cm)	(Cm)	(Kg/m <sup>3</sup> )	(MPa)	$(\frac{S_2-S_1}{\epsilon_2-\epsilon_1})$		$(4700 \times \sqrt{f'c})$		(MPa)	
BN	4	14,900	30,000	2428,03	25,746	19,086	20,457	23,848	23,26572474	26,10376123	25,1441
	5	15,000	29,800	2391,33	22,257	18,647		22,322		23,88202076	
	6	15,000	29,800	2401,97	25,271	23,638		23,627		25,44651554	
BTB – 7,5%	4	15,000	30,100	2384,610	26,392	26,932	27,190	24,146	24,15157683	25,724	25,62722
	5	15,000	30,000	2388,786	26,754	24,153		24,310		25,967	
	6	14,900	30,000	2361,122	26,073	30,485		23,999		25,191	
BTB – 15%	4	15,000	30,000	2298,433	20,598	21,978	22,106	21,34277286	21,46788237	21,51638264	21,762
	5	14,900	30,000	2312,374	20,530	22,218		21,90724083		22,28668312	
	6	15,000	29,900	2309,716	20,257	22,121		21,15363342		21,48292877	
BTB – 22,5%	4	14,800	29,900	2321,044	16,099	20,439	20,655	18,85817785	18,62084973	19,29281067	19,16089
	5	15,000	30,000	2275,609	15,251	19,490		18,35375489		18,65203654	
	6	14,900	30,000	2322,124	15,747	22,035		18,65061644		19,53781743	

Hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton yang ditunjukkan pada Tabel 5.25 di atas dapat digambarkan menjadi grafik modulus elastisitas beton, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.25.



**Gambar 5. 25 Grafik Hasil Rekapitulasi Modulus Elastisitas**

Berdasarkan pada gambar 5.25 diperoleh kecenderungan perubahan nilai modulus elastisitas yang bersifat nonlinier. Pada beton normal (0%), nilai modulus elastisitas berada pada kisaran 20.457–25.140 MPa. Kurva polinomial orde 3 pada metode ASTM C-469 dipilih karena jumlah titik data yang terbatas, yaitu empat variasi, sehingga secara matematis mampu memberikan kecocokan sempurna dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2 = 1,0$ ), yang merepresentasikan kesesuaian matematis terhadap data, bukan hubungan fisik yang mutlak. Selanjutnya, pada variasi tumbukan bata 7,5% terjadi peningkatan modulus elastisitas yang signifikan dan mencapai nilai maksimum. Berdasarkan metode ASTM C-469, hubungan tersebut dapat didekati dengan persamaan polinomial orde tiga, yaitu  $y = 2,5752x^3 - 21,36x^2 + 52,787x - 13,545$  dengan nilai koefisien determinasi  $R^2$ . Nilai  $R^2$  yang sangat tinggi menunjukkan bahwa persamaan tersebut mampu merepresentasikan data hasil pengujian secara sangat akurat. Peningkatan modulus

elastisitas pada variasi 7,5% ini menunjukkan bahwa tumbukan bata dalam jumlah terbatas masih berperan sebagai filler yang mampu meningkatkan kerapatan beton dan memperbaiki distribusi tegangan internal, sehingga beton menjadi lebih kaku.

Namun demikian, ketika variasi tumbukan bata meningkat menjadi 15%, nilai modulus elastisitas mulai mengalami penurunan. Berdasarkan pendekatan SNI 2847-2019, hubungan variasi tumbukan bata dengan modulus elastisitas dapat dinyatakan dengan persamaan polinomial  $y = -0,6707x^2 + 1,132x + 25,144$  dengan nilai  $R^2 = 0,9415$ . Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel masih sangat kuat. Penurunan modulus elastisitas pada variasi ini mengindikasikan bahwa proporsi tumbukan bata yang semakin besar mulai menggantikan agregat alami yang memiliki kekakuan lebih tinggi. Selain itu, sifat material bata yang lebih rapuh dan memiliki daya serap air tinggi menyebabkan penurunan kualitas ikatan antara pasta semen dan agregat, sehingga kemampuan beton dalam menahan deformasi elastis berkurang.

Penurunan nilai modulus elastisitas semakin nyata pada variasi tumbukan bata sebesar 22,5%. Berdasarkan regresi polinomial lainnya yang diperoleh dari pendekatan SNI 2847-2019, hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan  $y = -0,6268x^2 + 1,3494x + 23,26$  dengan nilai  $R^2 = 0,9427$ . Persamaan ini menunjukkan bahwa peningkatan variasi tumbukan bata di atas kadar optimum menyebabkan penurunan modulus elastisitas secara konsisten. Hal ini disebabkan oleh dominasi material bata yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah dibandingkan agregat alami, sehingga beton menjadi lebih mudah mengalami deformasi elastis. Selain itu, meningkatnya porositas dan potensi terbentuknya mikroretak turut memperlemah kekakuan beton secara keseluruhan.

Berdasarkan analisis persamaan polinomial dan nilai koefisien determinasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat kadar optimum tumbukan bata dalam campuran beton, yaitu sekitar 7,5%, yang mampu meningkatkan modulus elastisitas beton. Di atas kadar tersebut, pengaruh negatif dari tumbukan bata lebih dominan sehingga menyebabkan penurunan kekakuan beton. Oleh karena itu, penggunaan tumbukan bata sebagai bahan substitusi agregat harus dibatasi agar tidak menurunkan kinerja elastis beton, terutama untuk aplikasi pada elemen struktural

yang memerlukan tingkat kekakuan tinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan tumbukan bata masih layak pada kadar 7,5%, namun pada kadar 15% sifat elastisitas beton mengalami penurunan namun masih pada mutu rencana dan pada kadar 22,5% sifat elastis beton menurun signifikan hingga melewati mutu rencana 20 MPa sehingga tidak direkomendasikan untuk elemen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis penelitian ini, pengujian beton dilakukan dengan variasi substitusi limbah tumbukan bata terhadap agregat halus pada komposisi beton dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh substitusi limbah tumbukan bata merah pada agregat halus pada umur beton 28 hari dengan mutu rencana 20 MPa. Dari hasil pengujian substitusi limbah tumbukan bata sebagai agregat halus sangat berpengaruh nyata terhadap karakteristik beton.
2. Variasi substitusi limbah tumbukan bata sebesar 7,5%–15% merupakan kadar yang paling optimal. rentang variasi tersebut, beton masih mampu memenuhi kuat tekan rencana sebesar 20 MPa serta menunjukkan nilai kuat tarik belah dan modulus elastisitas yang relatif baik dibandingkan dengan beton normal. Dengan demikian, beton dengan kadar substitusi tersebut masih layak digunakan untuk aplikasi struktural terbatas.
3. Proporsi tingkat campuran limbah tumbukan bata yang paling tinggi yang dapat digunakan dalam substitusi campuran beton adalah 15%, sedangkan tingkat limbah tumbukan bata yang paling optimal dalam substitusi campuran beton adalah 7,5%. Pada variasi 22,5% tidak diekomendasikan untuk beton struktural karena penurunan mutu signifikan yang terjadi karena Kandungan limbah tumbukan bata yang terlalu tinggi menyebabkan beton menjadi lebih pori, kurang padat, dan memiliki daya ikat yang lebih rendah. Sifat dasar limbah tumbukan bata yang ringan dan berpori mengakibatkan peningkatan penyerapan air, penurunan densitas, dan penurunan kualitas ikatan pasta semen dengan agregat.

## 6.1 Saran

Dari kesimpulan yang telah didapatkan dalam penelitian ini, peneliti membuat saran untuk penelitian selanjutnya sebagai sumber acuan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Saran tersebut diuraikan sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memodifikasi komposisi campuran beton, misalnya seperti penggunaan bahan tambah pozzolan atau superplasticizer untuk mengatasi penurunan workability yang disebabkan oleh limbah tumbukan bata.
2. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang durabilitas jangka Panjang misalnya terhadap sulfat, klorida, dan siklus basah-kering) untuk memastikan ketahanan beton dengan substitusi bata.
3. Limbah tumbukan bata sebaiknya digunakan pada element non -struktural seperti pasangan dinding, lantai kerja, atau beton ringan apabila persentase diatas 15%. Untuk pengaplikasian struktural, batas substitusi maksimal 7,5% direkomendasikan agar mutu beton tetap mendekati standar rencana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astm:C138/C138M-13. (2013). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric). *ASTM International*, i, 23–26.
- ASTM C 33. (2003). Standard Specification for Concrete Aggregates. *ASTM International*.
- Bima Hendra Nugraha. (2024). *Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal*. Universitas Islam Indonesia.
- Elianora. (2010). *Pengaruh Penambahan Pasir Sungai Pada Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Dan Penyusutan di Talang Kering Kota Bengkulu*.
- G.Nawy, E. (1990). *BETON BERTULANG SUATU PENDEKATAN DASAR*. Eresco.
- Haris dan Tahir. (2020). *Volume 4 Nomor 1 2020/ 39*.
- Mulyono, T. (2004). *TEKNOLOGI BETON*. Andi Yogyakarta.
- Pedoman Umum Bahan dan Jasa Konstruksi Indonesia. (1982). *Panduan Pratikum Teknologi*.
- Permatasari, S. (2019). *PENGARUH BAHAN TAMBAH BATU BATA MERAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON FC'21 MENGGUNAKAN AGREGAT KASAR PT. AMR DAN AGREGAT HALUS DESA SUNGGUP KOTA BARU*. 8(2).
- Sarwidi. (2016). *METODE NUMERIK* (01 ed.). UII Press.
- SK SNI S-04-F. (1989). Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam). In *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI-03-2834. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.
- SNI 03-1969. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, 1–17.
- SNI 03-2461. (2002). Metode pengujian kandungan bahan organik dalam agregat halus. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.

- SNI 03-2491. (2002). Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 14.
- SNI 03-4169. (1996). metode pengujian modulus elastisitas statis dan rasio poisson beton dengan kompresometer ekstensometer. *Badan Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-4804. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–6.
- SNI 1970. (2016). Cara uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 4, 20.
- SNI 1973. (2016). Metode Uji Densitas, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara (Gravimetrik) Beton. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, 1–13.
- SNI 1974. (2011). Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*.
- SNI 2826. (2008). Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal. In *Badan Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 2847. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*.
- SNI 7656. (2012). Tata Cara Rancang Campuran Beton. *Badan Standardisasi Nasional*.
- SNI ASTM C117. (2012). Metode uji bahan yang lebih halus dari saringan (No. 200) dalam agregat mineral dengan pencucian. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 200. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- SNI ASTM C136. (2012). Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- Sofia, D. A., Shafira, P. A., & Kusumah, H. (2019). *Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton*.
- Tjokrodinuljo, K. (2007). *TEKNOLOGI BETON*.
- Yulian, H., Carlo, N., & Khaidir, I. (2023). Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 322–334.  
<https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6176>

# LAMPIRAN

### Lampiran 1 Time Schedule Tugas Akhir

Bulan ke - Minggu ke -	Jam Kerja	Sep-25				Okt-25				Nov-25				Des-25			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Kegiatan</b>																	
<b>Persiapan</b>																	
Pengajuan Judul	5	2	1	1	1												
Pengajuan Proposal	8	2	2	2	2												
Pengajuan Penelitian	9		3	3	3												
<b>Pengumpulan Data</b>																	
Pengumpulan Bahan	17					2	4	4	4	3							
Uji propertis	13								8	6							
Pembuatan Sample	12									3	3	3	3				
Pengujian Sample	7													4	3		
<b>Analisis dan Pembahasan</b>																	
Tobulasi Data	6															4	3
Analisis Statistik	15																
Laporan sementara	21				2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Laporan Akhir	19																
<b>Jumlah Total</b>	132																
<b>Rencana Mingguan</b>		4	6	6	7	4	6	6	13	13	4	4	5	5	4	5	4
<b>Jam Kerja Kumulatif</b>		4	10	16	23	27	33	39	52	65	69	73	78	83	87	92	96

## Lampiran 2 Hasil Pengujian Slump Beton



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### LAPORAN PENGUJIAN SLUMP BETON

(SNI 1972:2008)

Nama : Fauzan Hazami

NIM : 20511257

Asal Instansi : Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia

Keperluan : Penelitian Tugas Akhir

Hasil :

Benda Uji	Hasil Slump	Hasil Curva Fitting Kuadrat	Keterangan
BN-0%	10	10,9	Memenuhi
BTB-7,5%	9,3	9,4	Memenuhi
BTB-15%	8,5	8,5	Memenuhi
BTB-22,5%	8	8,3	Memenuhi



Gambar 1 Grafik Pengujian Slump Beton

Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik  
Sipil

(Astriana Hardawan, S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

(Daru Salam, A.Md.)

### Lampiran 3 Hasil Pengujian Penyerapan Air



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

#### LAPORAN PENGUJIAN PENYERAPAN AIR BETON (SNI 1970:2008)

Nama : Fauzan Hazami  
NIM : 20511257  
Asal Instansi : Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia  
Keperluan : Penelitian Tugas Akhir  
Hasil :

Tanggal	Kode Benda Uji		Berat Kering Permukaan	Berat Kering Oven	Absorpsi	Rata-Rata	Curva Fitting Kuadrat
			(kg)	(kg)	(%)	(%)	(%)
1/10/25 - 28/10/25	BN	1	12,594	12,172	3,467	3,926	3,94
		2	12,893	12,415	3,850		
		3	12,436	11,905	4,460		
2/10/25 - 29/10/25	BTB - 7,5%	1	12,450	11,782	5,670	5,187	5,15
		2	12,565	11,880	5,766		
		3	12,365	11,875	4,126		
9/10/25 - 6/11/25	BTB - 15%	1	12,168	11,438	6,382	6,991	7,03
		2	12,096	11,188	8,116		
		3	12,204	11,462	6,474		
11/10/25 - 8/11/25	BTB - 22,5%	1	12,328	11,273	9,359	9,588	9,58
		2	12,265	11,127	10,227		
		3	12,407	11,364	9,178		

Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil

(Astriana Hordawati, S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

(Daru Salam, A.Md.)

## Lampiran 4 Hasil Pengujian Berat Volume Beton




FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

LAPORAN PENGUJIAN BERAT VOLUME BETON  
(SNI 1973:2008)

Tanggal	Nomor benda Uji	Berat (kg)	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rata-Rata (kg/m <sup>3</sup> )	Curva Fitting Kuadrat (kg/m <sup>3</sup> )
<b>BN</b>									
1 Oktober – 28 Oktober	4	12,701	14,900	30,000	174,366	0,005	2428,031	2407,112	2412,8
1 Oktober – 28 Oktober	5	12,593	15,000	29,800	176,715	0,005	2391,336		
1 Oktober – 28 Oktober	6	12,649	15,000	29,800	176,715	0,005	2401,970		
<b>BTB – 7,5%</b>									
2 Oktober – 29 Oktober	4	12,684	15,000	30,100	176,715	0,005	2384,610	2378,173	2361,2
2 Oktober – 29 Oktober	5	12,664	15,000	30,000	176,715	0,005	2388,786		
2 Oktober – 29 Oktober	6	12,351	14,900	30,000	174,366	0,005	2361,122		
<b>BTB – 15%</b>									
9 Oktober – 6 November	4	12,185	15,000	30,000	176,715	0,005	2298,433	2306,841	2323,8
9 Oktober – 6 November	5	12,096	14,900	30,000	174,366	0,005	2312,374		
9 Oktober – 6 November	6	12,204	15,000	29,900	176,715	0,005	2309,716		
<b>BTB – 22,5%</b>									
11 Oktober – 8 November	4	11,939	14,800	29,900	172,034	0,005	2321,044	2306,259	2300,6
11 Oktober – 8 November	5	12,064	15,000	30,000	176,715	0,005	2275,609		
11 Oktober – 8 November	6	12,147	14,900	30,000	174,366	0,005	2322,124		

Mengetahui  
Kepala Laboratorium Konstruksi Teknik Sipil  
  
(Astriana Hurdawati, S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi  
  
(Daru Salam, A.Md.)

## Lampiran 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

## LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

(SNI 1974:2011)

Tanggal	Nomor Benda Uji	Beban Maksimum		Luas Penampang		Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Curva Fitting kuadrat (MPa)
		(KN)	(N)	(cm <sup>2</sup> )	(mm <sup>2</sup> )				
<b>BN</b>									
1 Oktober – 28 Oktober	4	448,920	448920,000	174,366	17436,625	2428,031	25,746	24,2245	24,2877
1 Oktober – 28 Oktober	5	393,320	393320,000	176,715	17671,459	2391,336	22,257		
1 Oktober – 28 Oktober	6	446,570	446570,000	176,715	17671,459	2401,970	25,271		
<b>BTB – 7,5%</b>									
2 Oktober – 29 Oktober	4	466,390	466390,000	176,715	17671,459	2384,610	26,392	26,252	25,037
2 Oktober – 29 Oktober	5	472,780	472780,000	176,715	17671,459	2388,786	26,754		
2 Oktober – 29 Oktober	6	446,570	446570,000	174,366	17436,625	2361,122	25,611		
<b>BTB – 15%</b>									
9 Oktober – 6 November	4	364,000	364000,000	176,715	17671,459	2298,433	20,598	20,462	21,825
9 Oktober – 6 November	5	357,970	357970,000	174,366	17436,625	2312,374	20,530		
9 Oktober – 6 November	6	357,970	357970,000	176,715	17671,459	2309,716	20,257		
<b>BTB – 22,5</b>									
11 Oktober – 8 November	4	276,960	276960,000	172,034	17203,361	2321,044	16,099	15,699	15,24
11 Oktober – 8 November	5	269,510	269510,000	176,715	17671,459	2275,609	15,251		
11 Oktober – 8 November	6	274,570	274570,000	174,366	17436,625	2322,124	15,747		

Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil

(Astria Hurdawati, S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

(Daru Salam, A.Md.)

## Lampiran 6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

LAPORAN PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON  
(SNI 03-2491-2002)

Tanggal	Nomor Benda Uji	Beban Maksimum		Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Tarik Rata-Rata (MPa)	Curva Fitting Kuadrat (MPa)
		(KN)	(N)						
<b>BN</b>									
1 Oktober – 28 Oktober	7	178,000	178000,000	15,000	29,900	174,366	2,527	2,514	2,510
1 Oktober – 28 Oktober	8	175,000	175000,000	14,800	30,000	176,715	2,509		
1 Oktober – 28 Oktober	9	176,000	176000,000	14,900	30,000	176,715	2,507		
<b>BTB – 7,5%</b>									
2 Oktober – 29 Oktober	7	159,000	159000,000	15,000	29,900	176,715	2,257	2,115	2,126
2 Oktober – 29 Oktober	8	148,000	148000,000	15,000	30,000	176,715	2,094		
2 Oktober – 29 Oktober	9	140,000	140000,000	14,900	30,000	174,366	1,994		
<b>BTB – 15%</b>									
9 Oktober – 6 November	7	129,000	129000,000	15,000	29,800	176,715	1,837	1,897	1,886
9 Oktober – 6 November	8	132,000	132000,000	15,000	30,000	174,366	1,867		
9 Oktober – 6 November	9	140,000	140000,000	15,000	29,900	176,715	1,987		
<b>BTB – 22,5%</b>									
11 Oktober – 8 November	7	125,000	125000,000	15,000	29,900	172,034	1,774	1,784	1,788
11 Oktober – 8 November	8	127,000	127000,000	15,000	30,000	176,715	1,797		
11 Oktober – 8 November	9	125,000	125000,000	14,900	30,000	174,366	1,780		

Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil

(Astria H. H. H. S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

(Daru Salam, A.Md.)

## Lampiran 7 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

## LAPORAN PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON

Kode Benda Uji	Nomor Benda Uji	Diameter (Cm)	Tinggi (Cm)	Wc (Kg/m <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (MPa)	ASTMC-469 $(\frac{S_2-S_1}{E_2-E_1})$	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 $(4700 \times \sqrt{f_c})$	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 $(W_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f_c})$	Retara (MPa)
BN	4	14,900	30,000	2428,03	25,746	19,086	20,457	23,848	23,26572474	26,10376123	25,1441
	5	15,000	29,800	2391,33	22,257	18,647		22,322		23,88202076	
	6	15,000	29,800	2401,97	25,271	23,638		23,627		25,44651554	
BTB – 7,5%	4	15,000	30,100	2384,610	26,392	26,932	27,190	24,146	24,15157683	25,724	25,62722
	5	15,000	30,000	2388,786	26,754	24,153		24,310		25,967	
	6	14,900	30,000	2361,122	26,073	30,485		23,999		25,191	
BTB – 15%	4	15,000	30,000	2298,433	20,598	21,978	22,106	21,34277286	21,46788237	21,51638264	21,762
	5	14,900	30,000	2312,374	20,530	22,218		21,90724083		22,28668312	
	6	15,000	29,900	2309,716	20,257	22,121		21,15363342		21,48292877	
BTB – 22,5%	4	14,800	29,900	2321,044	16,099	20,439	20,655	18,85817785	18,62084973	19,29281067	19,16089
	5	15,000	30,000	2275,609	15,251	19,490		18,35375489		18,65203654	
	6	14,900	30,000	2322,124	15,747	22,035		18,65061644		19,53781743	

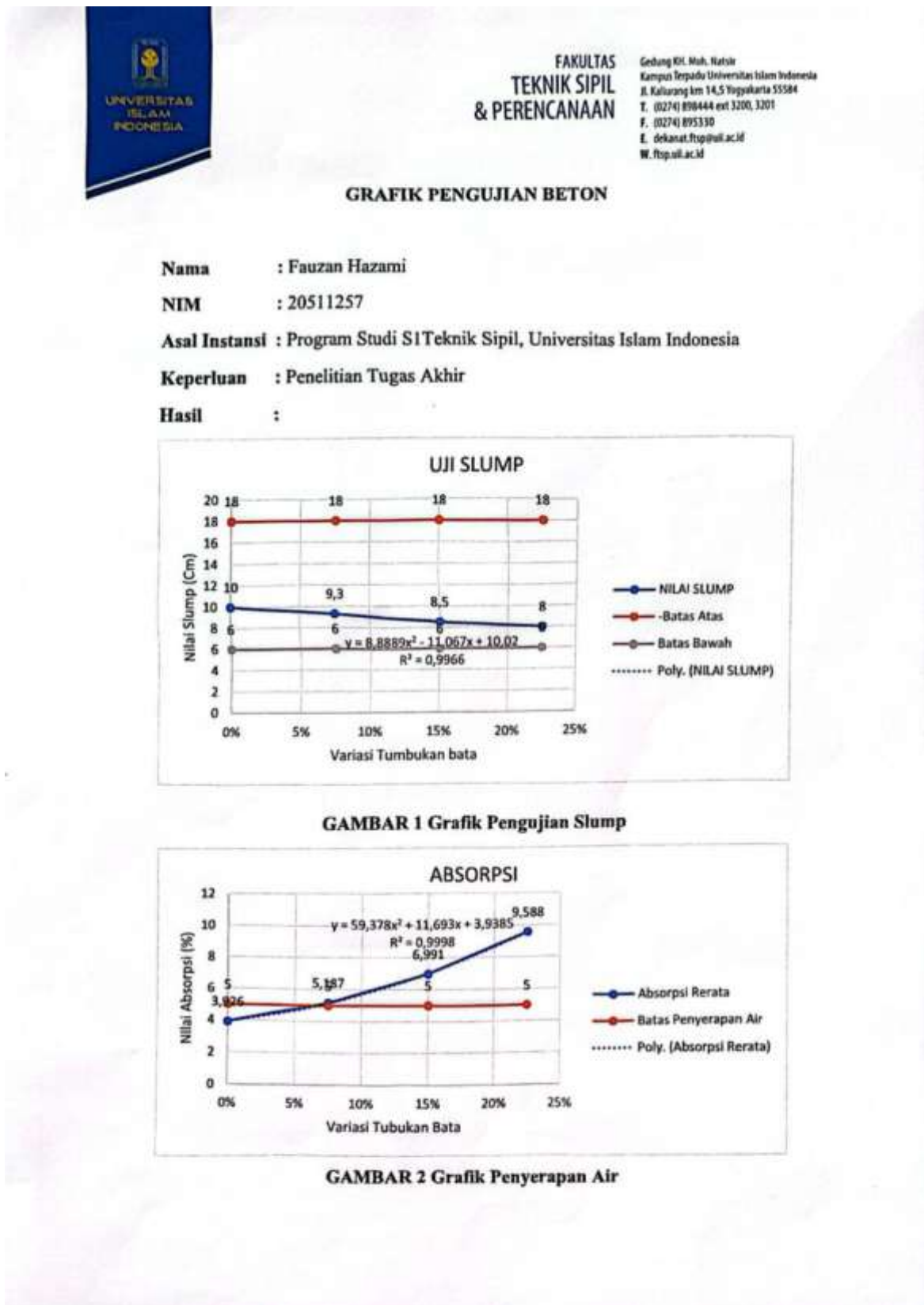
Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil

(Astriana H. Ardawati, S.T., M.Eng.)

Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

(Daru Salam, A.Md.)

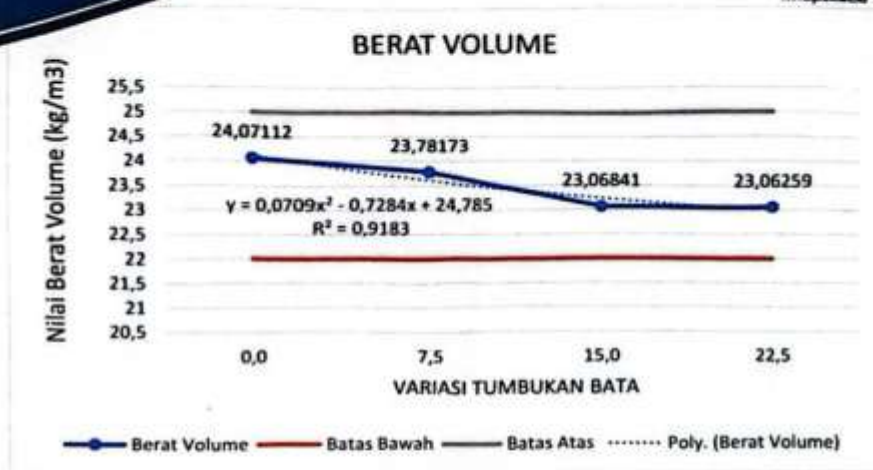
## Lampiran 8 Grafik Pengujian Beton





**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

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



**GAMBAR 3** Grafik Pengujian Berat Volume



**GAMBAR 4** Grafik Pengujian Kuat Tekan

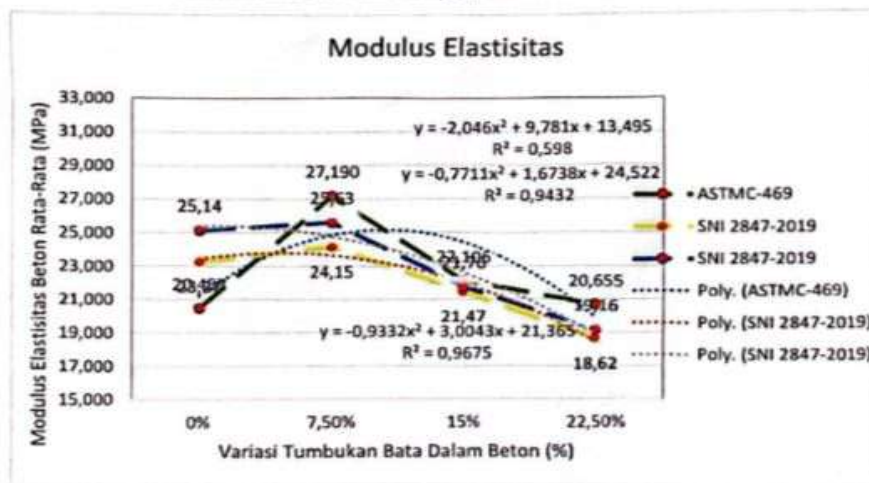


FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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



GAMBAR 5 Grafik Pengujian Kuat Tarik/Belah



GAMBAR 6 Grafik Pengujian Modulus Elastisitas

Mengetahui  
Kepala Lab. Bahan Konstruksi Teknik Sipil

*(Signature)*  
(Astriana Herdawati, S.T., M.Eng.)

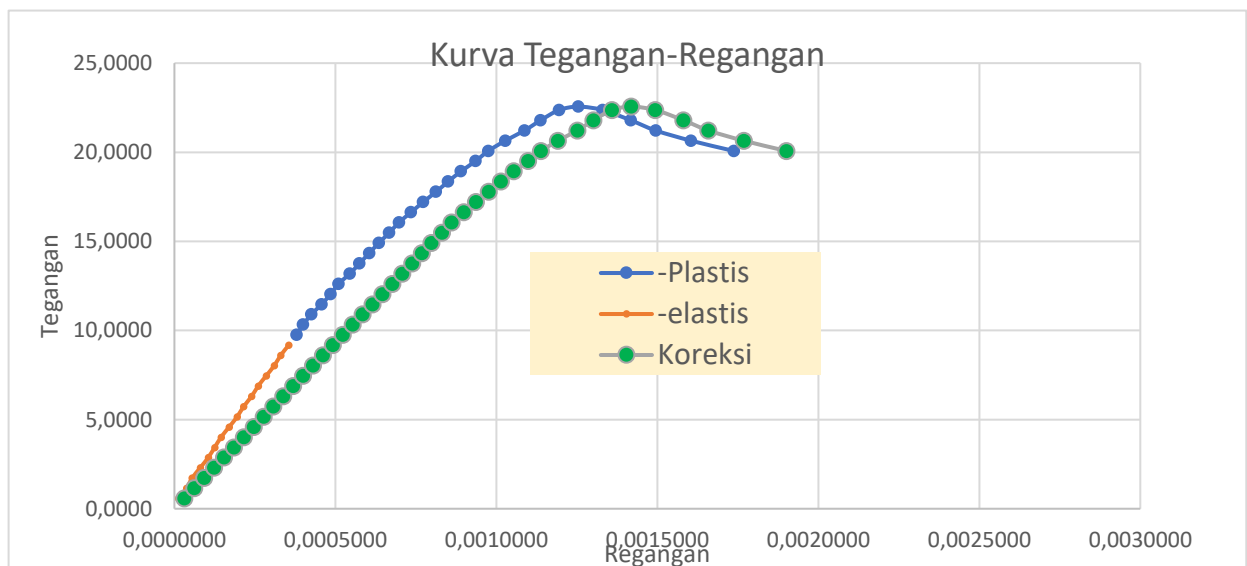
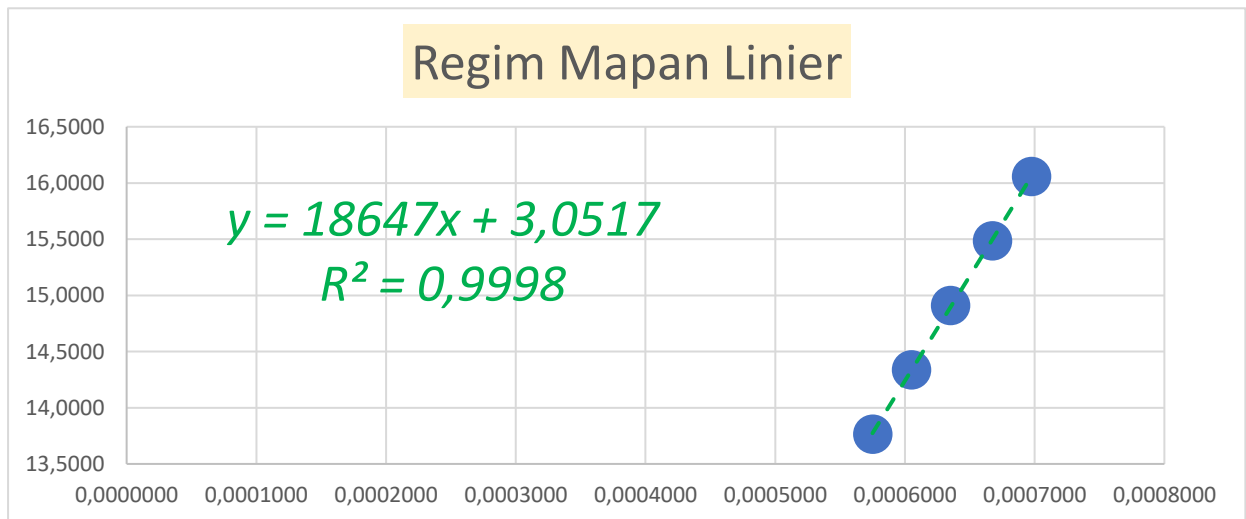
Di periksa oleh  
PLP/Teknisi

*(Signature)*  
(Daru Salam, A.Md.)

**Lampiran 9 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Sempel 2**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5735	0,0000308
20	20000	15	0,00750	0,0000375	1,1470	0,0000615
30	30000	22	0,01100	0,0000550	1,7205	0,0000923
40	40000	32	0,01600	0,0000800	2,2940	0,0001230
50	50000	42	0,02100	0,0001050	2,8675	0,0001538
60	60000	50	0,02500	0,0001250	3,4410	0,0001845
70	70000	58	0,02900	0,0001450	4,0145	0,0002153
80	80000	68	0,03400	0,0001700	4,5880	0,0002460
90	90000	78	0,03900	0,0001950	5,1615	0,0002768
100	100000	86	0,04300	0,0002150	5,7351	0,0003076
110	110000	96	0,04800	0,0002400	6,3086	0,0003383
120	120000	104	0,05200	0,0002600	6,8821	0,0003691
130	130000	114	0,05700	0,0002850	7,4556	0,0003998
140	140000	124	0,06200	0,0003100	8,0291	0,0004306
150	150000	132	0,06600	0,0003300	8,6026	0,0004613
160	160000	142	0,07100	0,0003550	9,1761	0,0004921
170	170000	152	0,07600	0,0003800	9,7496	0,0005229
180	180000	160	0,08000	0,0004000	10,3231	0,0005536
190	190000	170	0,08500	0,0004250	10,8966	0,0005844
200	200000	183	0,09150	0,0004575	11,4701	0,0006151
210	210000	194	0,09700	0,0004850	12,0436	0,0006459
220	220000	204	0,10200	0,0005100	12,6171	0,0006766
230	230000	218	0,10900	0,0005450	13,1906	0,0007074
240	240000	230	0,11500	0,0005750	13,7641	0,0007387
250	250000	242	0,12100	0,0006050	14,3376	0,0007687
260	260000	254	0,12700	0,0006350	14,9111	0,0007987
270	270000	267	0,13350	0,0006675	15,4846	0,0008312
280	280000	279	0,13950	0,0006975	16,0582	0,0008612
290	290000	294	0,14700	0,0007350	16,6317	0,0008987
300	300000	309	0,15450	0,0007725	17,2052	0,0009362
310	310000	325	0,16250	0,0008125	17,7787	0,0009762
320	320000	340	0,17000	0,0008500	18,3522	0,0010137
330	330000	356	0,17800	0,0008900	18,9257	0,0010537
340	340000	374	0,18700	0,0009350	19,4992	0,0010987
350	350000	390	0,19500	0,0009750	20,0727	0,0011387
360	360000	411	0,20550	0,0010275	20,6462	0,0011912
370	370000	435	0,21750	0,0010875	21,2197	0,0012512

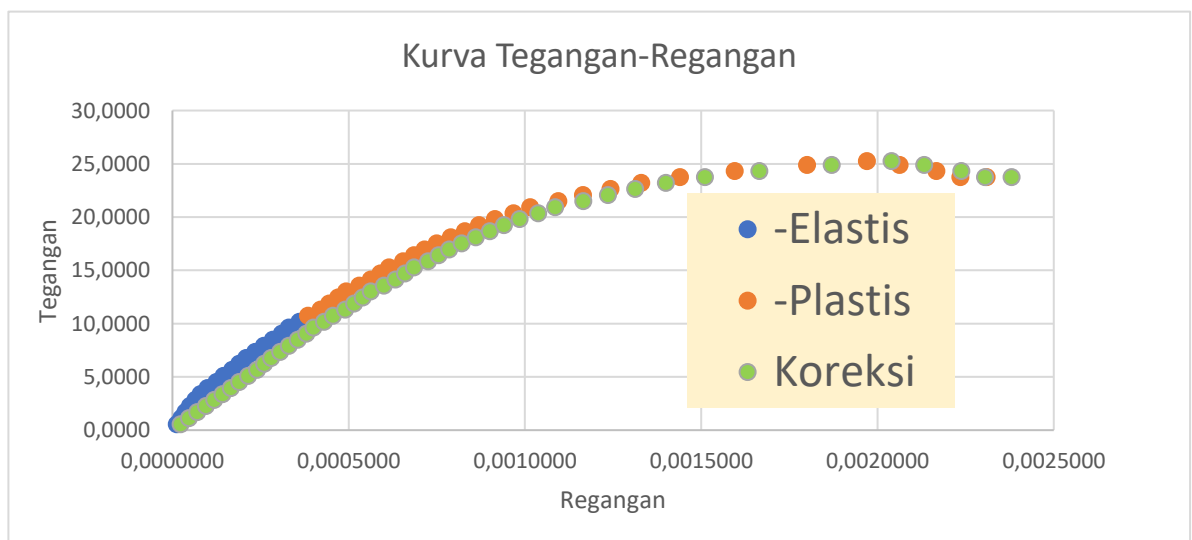
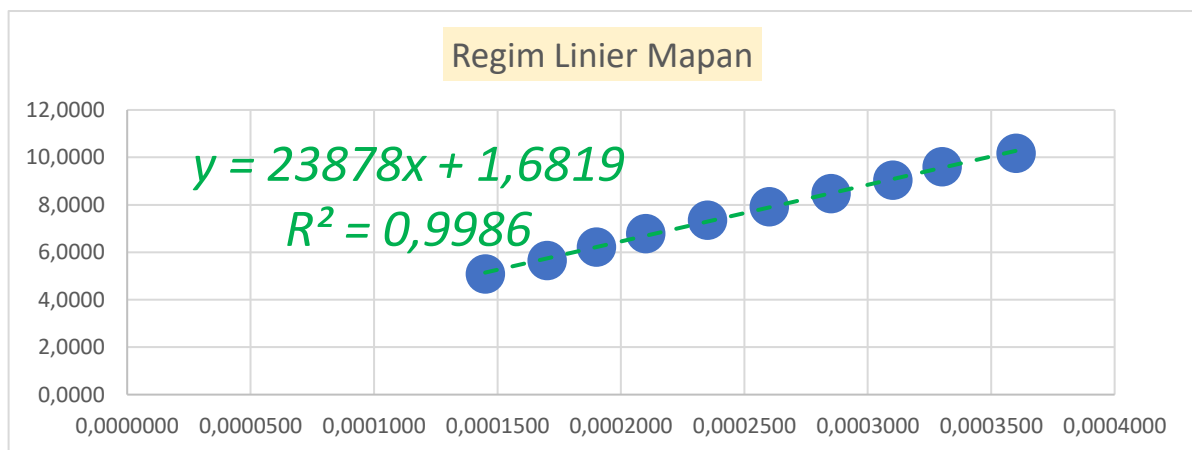
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$ (mm)	Regangan (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan Terkoreksi (mm)
kN	N					
380	380000	432	0,21600	0,0010800	21,7932	0,0013012
390	390000	462	0,23100	0,0011550	22,3667	0,0013587
393,32	400000	494	0,24700	0,0012350	22,9402	0,0014187
390	410000	530	0,26500	0,0013250	23,5137	0,0014937
380	420000	575	0,28750	0,0014375	24,0872	0,0015812
370	430000	635	0,31750	0,0015875	24,6607	0,0016587
360	440000	725	0,36250	0,0018125	25,2342	0,0017687
350	448920	835	0,41750	0,0020875	25,7458	0,0019012



**Lampiran 10 Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal Sempel 3**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000237
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1318	0,0000474
30	30000	15	0,00750	0,0000375	1,6977	0,0000711
40	40000	20	0,01000	0,0000500	2,2635	0,0000948
50	50000	26	0,01300	0,0000650	2,8294	0,0001185
60	60000	32	0,01600	0,0000800	3,3953	0,0001422
70	70000	40	0,02000	0,0001000	3,9612	0,0001659
80	80000	50	0,02500	0,0001250	4,5271	0,0001896
90	90000	58	0,02900	0,0001450	5,0930	0,0002154
100	100000	68	0,03400	0,0001700	5,6588	0,0002404
110	110000	76	0,03800	0,0001900	6,2247	0,0002604
120	120000	84	0,04200	0,0002100	6,7906	0,0002804
130	130000	94	0,04700	0,0002350	7,3565	0,0003054
140	140000	104	0,05200	0,0002600	7,9224	0,0003304
150	150000	114	0,05700	0,0002850	8,4883	0,0003554
160	160000	124	0,06200	0,0003100	9,0541	0,0003804
170	170000	132	0,06600	0,0003300	9,6200	0,0004004
180	180000	144	0,07200	0,0003600	10,1859	0,0004304
190	190000	154	0,07700	0,0003850	10,7518	0,0004554
200	200000	168	0,08400	0,0004200	11,3177	0,0004904
210	210000	178	0,08900	0,0004450	11,8836	0,0005154
220	220000	188	0,09400	0,0004700	12,4495	0,0005404
230	230000	197	0,09850	0,0004925	13,0153	0,0005629
240	240000	212	0,10600	0,0005300	13,5812	0,0006004
250	250000	225	0,11250	0,0005625	14,1471	0,0006329
260	260000	236	0,11800	0,0005900	14,7130	0,0006604
270	270000	246	0,12300	0,0006150	15,2789	0,0006854
280	280000	262	0,13100	0,0006550	15,8448	0,0007254
290	290000	274	0,13700	0,0006850	16,4106	0,0007554
300	300000	286	0,14300	0,0007150	16,9765	0,0007854
310	310000	300	0,15000	0,0007500	17,5424	0,0008204
320	320000	316	0,15800	0,0007900	18,1083	0,0008604
330	330000	332	0,16600	0,0008300	18,6742	0,0009004
340	340000	348	0,17400	0,0008700	19,2401	0,0009404
350	350000	366	0,18300	0,0009150	19,8059	0,0009854
360	360000	387	0,19350	0,0009675	20,3718	0,0010379
370	370000	406	0,20300	0,0010150	20,9377	0,0010854

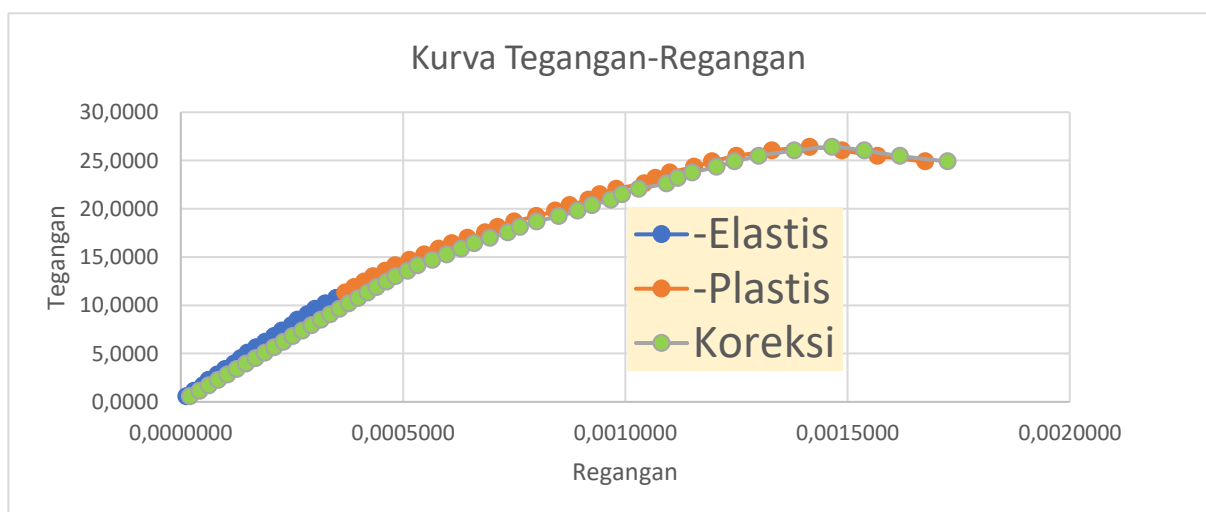
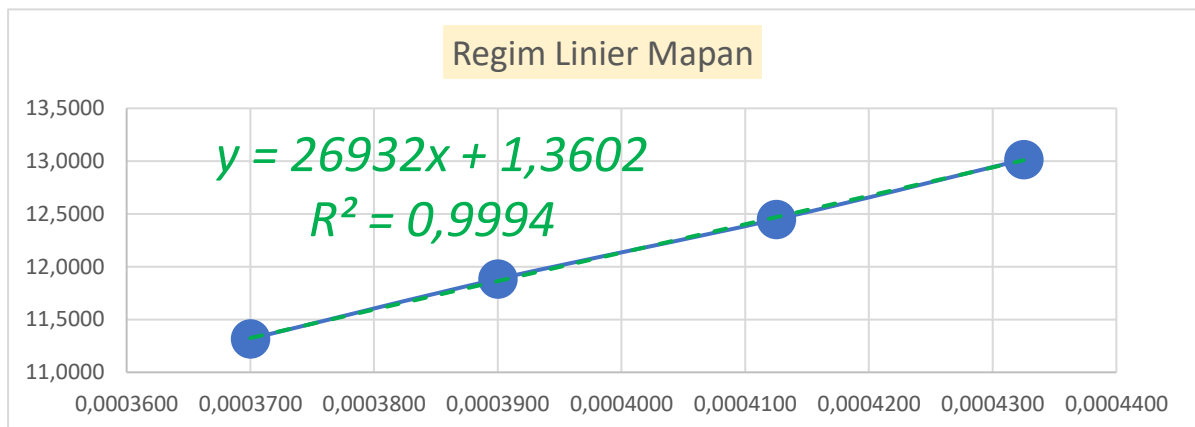
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	438	0,21900	0,0010950	21,5036	0,0011654
390	390000	466	0,23300	0,0011650	22,0695	0,0012354
400	400000	497	0,24850	0,0012425	22,6354	0,0013129
410	410000	532	0,26600	0,0013300	23,2013	0,0014004
420	420000	576	0,28800	0,0014400	23,7671	0,0015104
430	430000	638	0,31900	0,0015950	24,3330	0,0016654
440	440000	720	0,36000	0,0018000	24,8989	0,0018704
446,57	448920	788	0,39400	0,0019700	25,2707	0,0020404
440	440000	825	0,41250	0,0020625	25,4648	0,0021329
430	430000	867	0,43350	0,0021675	24,8989	0,0022379
420	420000	894	0,44700	0,0022350	24,3330	0,0023054



**Lampiran 11 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 1**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000210
20	20000	12	0,00600	0,0000300	1,1318	0,0000420
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,6977	0,0000630
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2635	0,0000840
50	50000	33	0,01650	0,0000825	2,8294	0,0001051
60	60000	40	0,02000	0,0001000	3,3953	0,0001261
70	70000	48	0,02400	0,0001200	3,9612	0,0001471
80	80000	54	0,02700	0,0001350	4,5271	0,0001681
90	90000	60	0,03000	0,0001500	5,0930	0,0001891
100	100000	68	0,03400	0,0001700	5,6588	0,0002101
110	110000	76	0,03800	0,0001900	6,2247	0,0002311
120	120000	84	0,04200	0,0002100	6,7906	0,0002521
130	130000	91	0,04550	0,0002275	7,3565	0,0002732
140	140000	100	0,05000	0,0002500	7,9224	0,0002942
150	150000	105	0,05250	0,0002625	8,4883	0,0003152
160	160000	114	0,05700	0,0002850	9,0541	0,0003362
170	170000	121	0,06050	0,0003025	9,6200	0,0003572
180	180000	130	0,06500	0,0003250	10,1859	0,0003782
190	190000	140	0,07000	0,0003500	10,7518	0,0003992
200	200000	148	0,07400	0,0003700	11,3177	0,0004205
210	210000	156	0,07800	0,0003900	11,8836	0,0004405
220	220000	165	0,08250	0,0004125	12,4495	0,0004630
230	230000	173	0,08650	0,0004325	13,0153	0,0004830
240	240000	184	0,09200	0,0004600	13,5812	0,0005105
250	250000	193	0,09650	0,0004825	14,1471	0,0005330
260	260000	206	0,10300	0,0005150	14,7130	0,0005655
270	270000	219	0,10950	0,0005475	15,2789	0,0005980
280	280000	232	0,11600	0,0005800	15,8448	0,0006305
290	290000	244	0,12200	0,0006100	16,4106	0,0006605
300	300000	258	0,12900	0,0006450	16,9765	0,0006955
310	310000	274	0,13700	0,0006850	17,5424	0,0007355
320	320000	285	0,14250	0,0007125	18,1083	0,0007630
330	330000	300	0,15000	0,0007500	18,6742	0,0008005
340	340000	320	0,16000	0,0008000	19,2401	0,0008505
350	350000	337	0,16850	0,0008425	19,8059	0,0008930
360	360000	350	0,17500	0,0008750	20,3718	0,0009255
370	370000	367	0,18350	0,0009175	20,9377	0,0009680

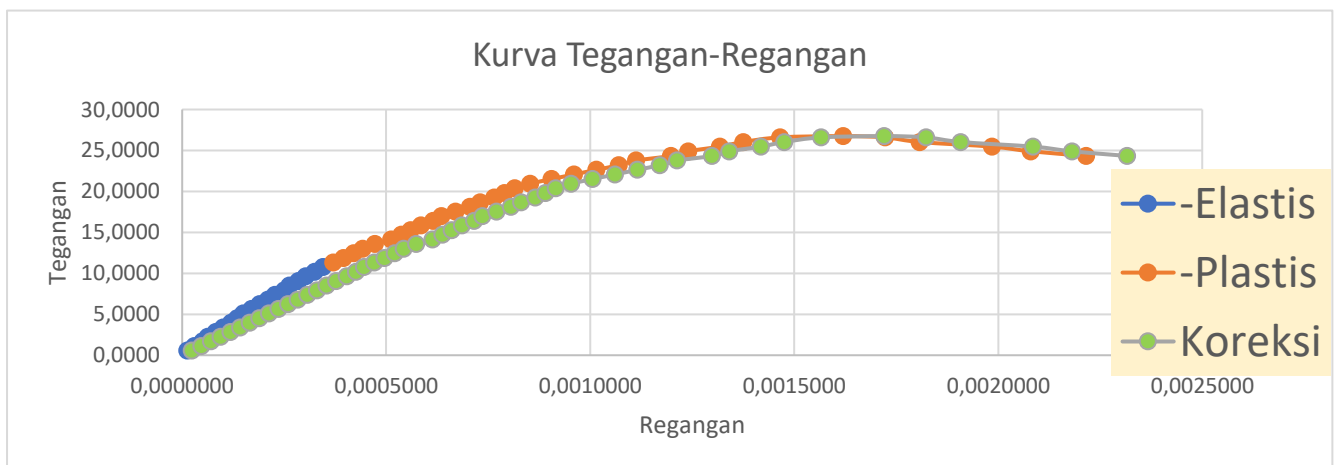
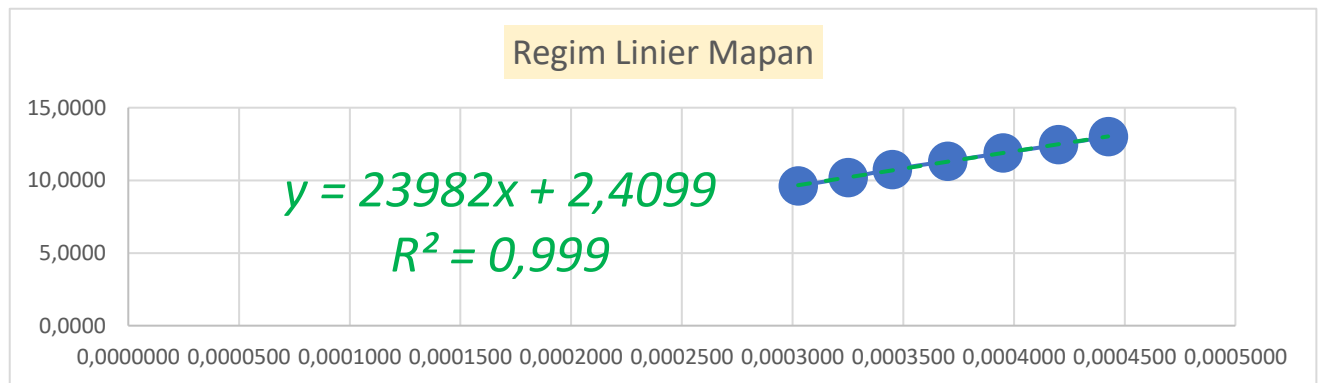
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	377	0,18850	0,0009425	21,5036	0,0009930
390	390000	392	0,19600	0,0009800	22,0695	0,0010305
400	400000	417	0,20850	0,0010425	22,6354	0,0010930
410	410000	427	0,21350	0,0010675	23,2013	0,0011180
420	420000	440	0,22000	0,0011000	23,7671	0,0011505
430	430000	462	0,23100	0,0011550	24,3330	0,0012055
440	440000	478	0,23900	0,0011950	24,8989	0,0012455
450	450000	500	0,25000	0,0012500	25,4648	0,0013005
460	460000	532	0,26600	0,0013300	26,0307	0,0013805
466,39	466390	566	0,28300	0,0014150	26,3923	0,0014655
460	460000	595	0,29750	0,0014875	26,0307	0,0015380
450	450000	627	0,31350	0,0015675	25,4648	0,0016180
440	440000	670	0,33500	0,0016750	24,8989	0,0017255



**Lampiran 12 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 2**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000221
20	20000	12	0,00600	0,0000300	1,1318	0,0000396
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,6977	0,0000596
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2635	0,0000721
50	50000	33	0,01650	0,0000825	2,8294	0,0000921
60	60000	40	0,02000	0,0001000	3,3953	0,0001096
70	70000	48	0,02400	0,0001200	3,9612	0,0001296
80	80000	54	0,02700	0,0001350	4,5271	0,0001446
90	90000	60	0,03000	0,0001500	5,0930	0,0001596
100	100000	68	0,03400	0,0001700	5,6588	0,0001796
110	110000	76	0,03800	0,0001900	6,2247	0,0001996
120	120000	84	0,04200	0,0002100	6,7906	0,0002196
130	130000	91	0,04550	0,0002275	7,3565	0,0002371
140	140000	100	0,05000	0,0002500	7,9224	0,0002596
150	150000	105	0,05250	0,0002625	8,4883	0,0002721
160	160000	114	0,05700	0,0002850	9,0541	0,0002946
170	170000	121	0,06050	0,0003025	9,6200	0,0003121
180	180000	130	0,06500	0,0003250	10,1859	0,0003346
190	190000	138	0,06900	0,0003450	10,7518	0,0003546
200	200000	148	0,07400	0,0003700	11,3177	0,0003796
210	210000	158	0,07900	0,0003950	11,8836	0,0004046
220	220000	168	0,08400	0,0004200	12,4495	0,0004296
230	230000	177	0,08850	0,0004425	13,0153	0,0004521
240	240000	189	0,09450	0,0004725	13,5812	0,0004821
250	250000	205	0,10250	0,0005125	14,1471	0,0005221
260	260000	215	0,10750	0,0005375	14,7130	0,0005471
270	270000	224	0,11200	0,0005600	15,2789	0,0005696
280	280000	234	0,11700	0,0005850	15,8448	0,0005946
290	290000	246	0,12300	0,0006150	16,4106	0,0006246
300	300000	254	0,12700	0,0006350	16,9765	0,0006446
310	310000	268	0,13400	0,0006700	17,5424	0,0006796
320	320000	282	0,14100	0,0007050	18,1083	0,0007146
330	330000	292	0,14600	0,0007300	18,6742	0,0007396
340	340000	306	0,15300	0,0007650	19,2401	0,0007746
350	350000	316	0,15800	0,0007900	19,8059	0,0007996
360	360000	326	0,16300	0,0008150	20,3718	0,0008246
370	370000	341	0,17050	0,0008525	20,9377	0,0008621

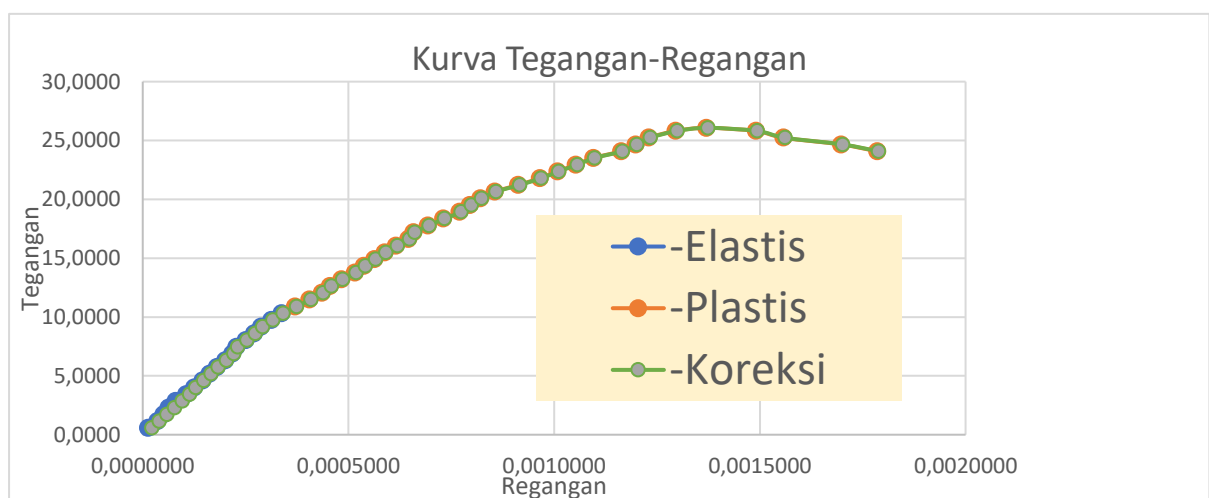
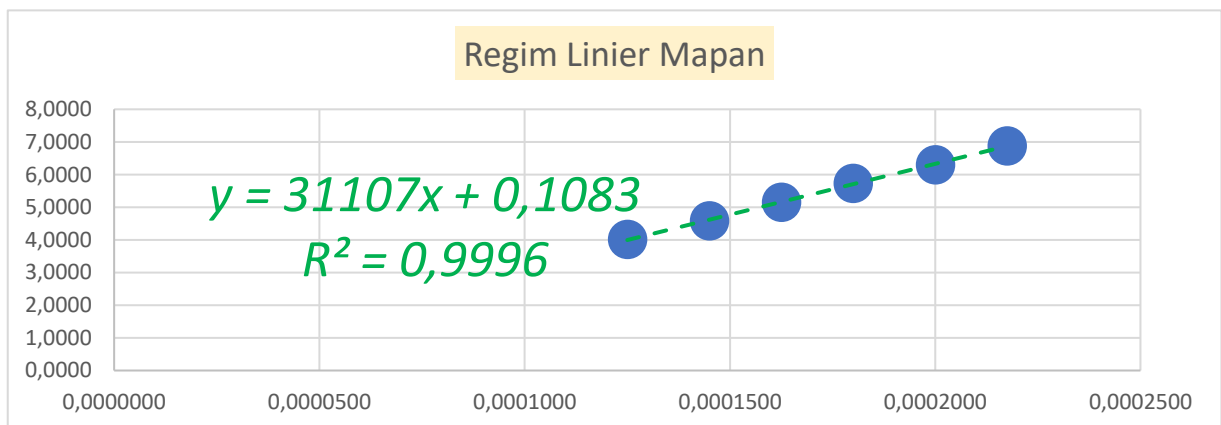
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	362	0,18100	0,0009050	21,5036	0,0009146
390	390000	384	0,19200	0,0009600	22,0695	0,0009696
400	400000	406	0,20300	0,0010150	22,6354	0,0010246
410	410000	428	0,21400	0,0010700	23,2013	0,0010796
420	420000	445	0,22250	0,0011125	23,7671	0,0011221
430	430000	479	0,23950	0,0011975	24,3330	0,0012071
440	440000	496	0,24800	0,0012400	24,8989	0,0012496
450	450000	527	0,26350	0,0013175	25,4648	0,0013271
460	460000	550	0,27500	0,0013750	26,0307	0,0013846
470	470000	586	0,29300	0,0014650	26,5966	0,0014746
472,78	472780	648	0,32400	0,0016200	26,7539	0,0016296
470	470000	689	0,34450	0,0017225	26,5966	0,0017321
460	460000	723	0,36150	0,0018075	26,0307	0,0018171
450	450000	794	0,39700	0,0019850	25,4648	0,0019946
440	440000	832	0,41600	0,0020800	24,8989	0,0020896
430	430000	886	0,44300	0,0022150	24,3330	0,0022246



**Lampiran 13 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 7,5% Sempel 3**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5735	
20	20000	14	0,00700	0,0000350	1,1470	0,0000369
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,7205	0,0000553
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2940	0,0000737
50	50000	32	0,01600	0,0000800	2,8675	0,0000922
60	60000	42	0,02100	0,0001050	3,4410	0,0001106
70	70000	50	0,02500	0,0001250	4,0145	0,0001285
80	80000	58	0,02900	0,0001450	4,5880	0,0001485
90	90000	65	0,03250	0,0001625	5,1615	0,0001660
100	100000	72	0,03600	0,0001800	5,7351	0,0001835
110	110000	80	0,04000	0,0002000	6,3086	0,0002035
120	120000	87	0,04350	0,0002175	6,8821	0,0002210
130	130000	91	0,04550	0,0002275	7,4556	0,0002310
140	140000	100	0,05000	0,0002500	8,0291	0,0002535
150	150000	108	0,05400	0,0002700	8,6026	0,0002735
160	160000	115	0,05750	0,0002875	9,1761	0,0002910
170	170000	125	0,06250	0,0003125	9,7496	0,0003160
180	180000	135	0,06750	0,0003375	10,3231	0,0003410
190	190000	148	0,07400	0,0003700	10,8966	0,0003735
200	200000	162	0,08100	0,0004050	11,4701	0,0004085
210	210000	174	0,08700	0,0004350	12,0436	0,0004385
220	220000	182	0,09100	0,0004550	12,6171	0,0004585
230	230000	193	0,09650	0,0004825	13,1906	0,0004860
240	240000	206	0,10300	0,0005150	13,7641	0,0005185
250	250000	215	0,10750	0,0005375	14,3376	0,0005410
260	260000	225	0,11250	0,0005625	14,9111	0,0005660
270	270000	235	0,11750	0,0005875	15,4846	0,0005910
280	280000	246	0,12300	0,0006150	16,0582	0,0006185
290	290000	258	0,12900	0,0006450	16,6317	0,0006485
300	300000	263	0,13150	0,0006575	17,2052	0,0006610
310	310000	277	0,13850	0,0006925	17,7787	0,0006960
320	320000	292	0,14600	0,0007300	18,3522	0,0007335
330	330000	308	0,15400	0,0007700	18,9257	0,0007735
340	340000	318	0,15900	0,0007950	19,4992	0,0007985
350	350000	328	0,16400	0,0008200	20,0727	0,0008235
360	360000	342	0,17100	0,0008550	20,6462	0,0008585
370	370000	365	0,18250	0,0009125	21,2197	0,0009160

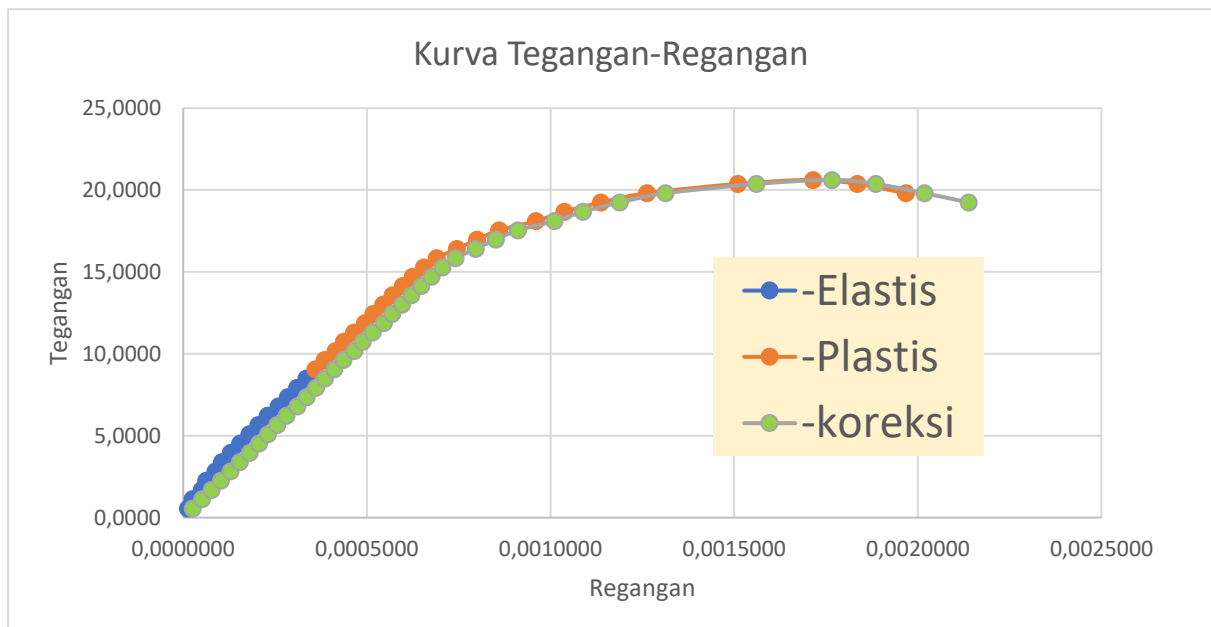
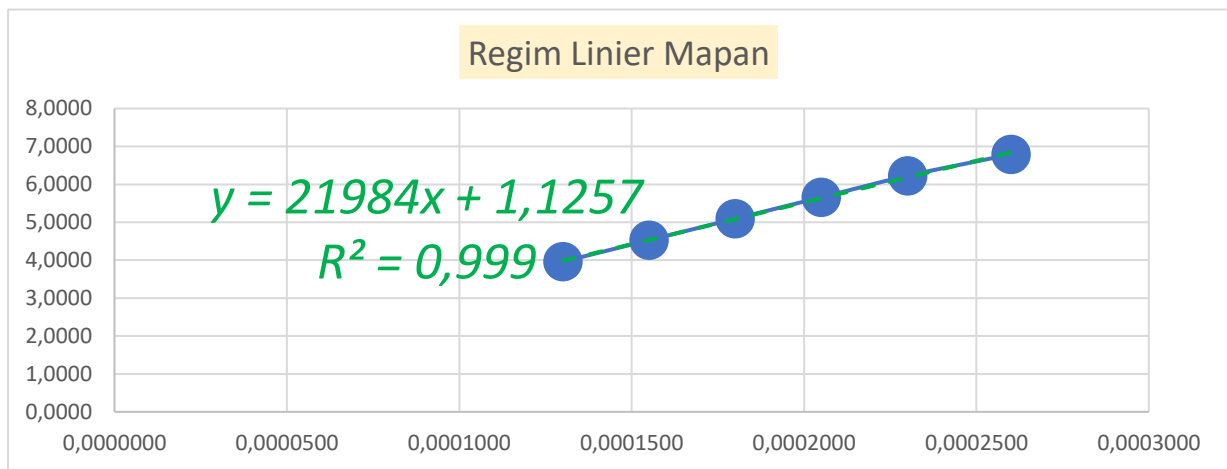
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	362	0,18100	0,0009050	21,5036	0,0009685
390	390000	384	0,19200	0,0009600	22,0695	0,0010110
400	400000	406	0,20300	0,0010150	22,6354	0,0010560
410	410000	428	0,21400	0,0010700	23,2013	0,0010985
420	420000	445	0,22250	0,0011125	23,7671	0,0011660
430	430000	479	0,23950	0,0011975	24,3330	0,0012010
440	440000	496	0,24800	0,0012400	24,8989	0,0012335
450	450000	527	0,26350	0,0013175	25,4648	0,0012985
454,62	460000	550	0,27500	0,0013750	26,0307	0,0013735
450	470000	586	0,29300	0,0014650	26,5966	0,0014935
440	472780	648	0,32400	0,0016200	26,7539	0,0015610
430	470000	689	0,34450	0,0017225	26,5966	0,0017010
420	460000	723	0,36150	0,0018075	26,0307	0,0017885



**Lampiran 14 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 1**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	2,57407E-05
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1318	5,14815E-05
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,6977	7,72222E-05
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2635	0,000102963
50	50000	35	0,01750	0,0000875	2,8294	0,000128704
60	60000	42	0,02100	0,0001050	3,3953	0,000154444
70	70000	52	0,02600	0,0001300	3,9612	0,0001812
80	80000	62	0,03100	0,0001550	4,5271	0,0002062
90	90000	72	0,03600	0,0001800	5,0930	0,0002312
100	100000	82	0,04100	0,0002050	5,6588	0,0002562
110	110000	92	0,04600	0,0002300	6,2247	0,0002812
120	120000	104	0,05200	0,0002600	6,7906	0,0003112
130	130000	114	0,05700	0,0002850	7,3565	0,0003362
140	140000	124	0,06200	0,0003100	7,9224	0,0003612
150	150000	134	0,06700	0,0003350	8,4883	0,0003862
160	160000	144	0,07200	0,0003600	9,0541	0,0004112
170	170000	154	0,07700	0,0003850	9,6200	0,0004362
180	180000	166	0,08300	0,0004150	10,1859	0,0004662
190	190000	175	0,08750	0,0004375	10,7518	0,0004887
200	200000	186	0,09300	0,0004650	11,3177	0,0005162
210	210000	198	0,09900	0,0004950	11,8836	0,0005462
220	220000	207	0,10350	0,0005175	12,4495	0,0005687
230	230000	218	0,10900	0,0005450	13,0153	0,0005962
240	240000	228	0,11400	0,0005700	13,5812	0,0006212
250	250000	239	0,11950	0,0005975	14,1471	0,0006487
260	260000	250	0,12500	0,0006250	14,7130	0,0006762
270	270000	262	0,13100	0,0006550	15,2789	0,0007062
280	280000	276	0,13800	0,0006900	15,8448	0,0007412
290	290000	298	0,14900	0,0007450	16,4106	0,0007962
300	300000	320	0,16000	0,0008000	16,9765	0,0008512
310	310000	344	0,17200	0,0008600	17,5424	0,0009112
320	320000	384	0,19200	0,0009600	18,1083	0,0010112
330	330000	415	0,20750	0,0010375	18,6742	0,0010887
340	340000	455	0,22750	0,0011375	19,2401	0,0011887
350	350000	505	0,25250	0,0012625	19,8059	0,0013137
360	360000	604	0,30200	0,0015100	20,3718	0,0015612
364,4	364400	686	0,34300	0,0017150	20,6208	0,0017662

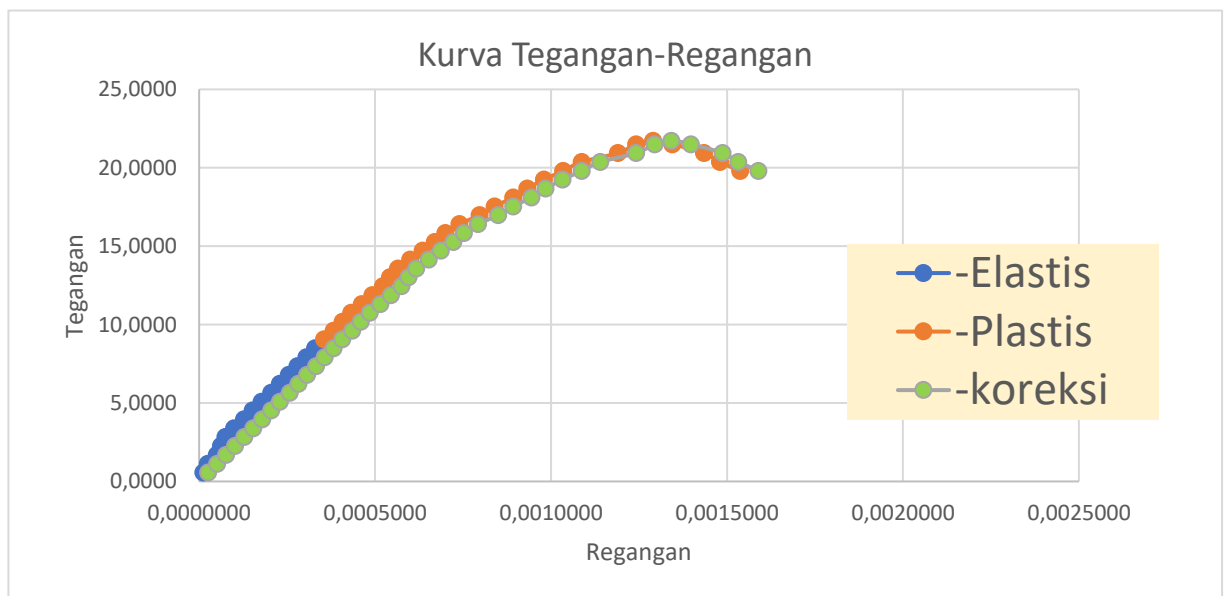
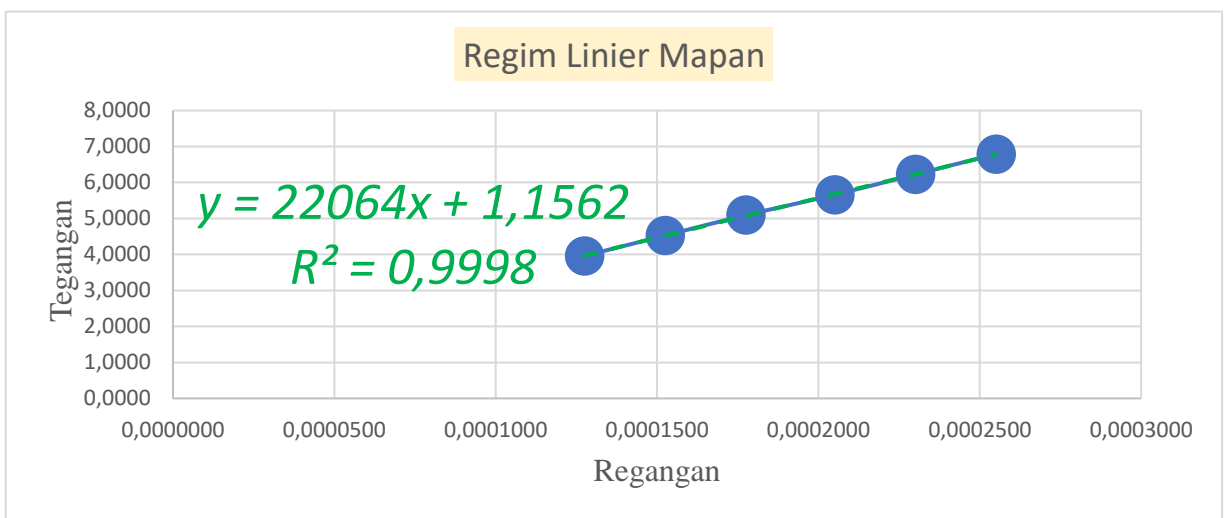
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
360	360000	734	0,36700	0,0018350	20,3718	0,0018862
350	350000	787	0,39350	0,0019675	19,8059	0,0020187
340	340000	835	0,41750	0,0020875	19,2401	0,0021387
330	330000	886	0,44300	0,0022150	18,6742	0,0022662



**Lampiran 15 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 2**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000256
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1318	0,0000513
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,6977	0,0000769
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2635	0,0001026
50	50000	30	0,01500	0,0000750	2,8294	0,0001282
60	60000	40	0,02000	0,0001000	3,3953	0,0001539
70	70000	51	0,02550	0,0001275	3,9612	0,0001799
80	80000	61	0,03050	0,0001525	4,5271	0,0002049
90	90000	71	0,03550	0,0001775	5,0930	0,0002299
100	100000	82	0,04100	0,0002050	5,6588	0,0002574
110	110000	92	0,04600	0,0002300	6,2247	0,0002824
120	120000	102	0,05100	0,0002550	6,7906	0,0003074
130	130000	112	0,05600	0,0002800	7,3565	0,0003324
140	140000	122	0,06100	0,0003050	7,9224	0,0003574
150	150000	132	0,06600	0,0003300	8,4883	0,0003824
160	160000	142	0,07100	0,0003550	9,0541	0,0004074
170	170000	153	0,07650	0,0003825	9,6200	0,0004349
180	180000	163	0,08150	0,0004075	10,1859	0,0004599
190	190000	173	0,08650	0,0004325	10,7518	0,0004849
200	200000	185	0,09250	0,0004625	11,3177	0,0005149
210	210000	197	0,09850	0,0004925	11,8836	0,0005449
220	220000	209	0,10450	0,0005225	12,4495	0,0005749
230	230000	217	0,10850	0,0005425	13,0153	0,0005949
240	240000	226	0,11300	0,0005650	13,5812	0,0006174
250	250000	240	0,12000	0,0006000	14,1471	0,0006524
260	260000	254	0,12700	0,0006350	14,7130	0,0006874
270	270000	268	0,13400	0,0006700	15,2789	0,0007224
280	280000	280	0,14000	0,0007000	15,8448	0,0007524
290	290000	296	0,14800	0,0007400	16,4106	0,0007924
300	300000	319	0,15950	0,0007975	16,9765	0,0008499
310	310000	336	0,16800	0,0008400	17,5424	0,0008924
320	320000	357	0,17850	0,0008925	18,1083	0,0009449
330	330000	373	0,18650	0,0009325	18,6742	0,0009849
340	340000	392	0,19600	0,0009800	19,2401	0,0010324
350	350000	414	0,20700	0,0010350	19,8059	0,0010874
360	360000	435	0,21750	0,0010875	20,3718	0,0011399
370	370000	476	0,23800	0,0011900	20,9377	0,0012424

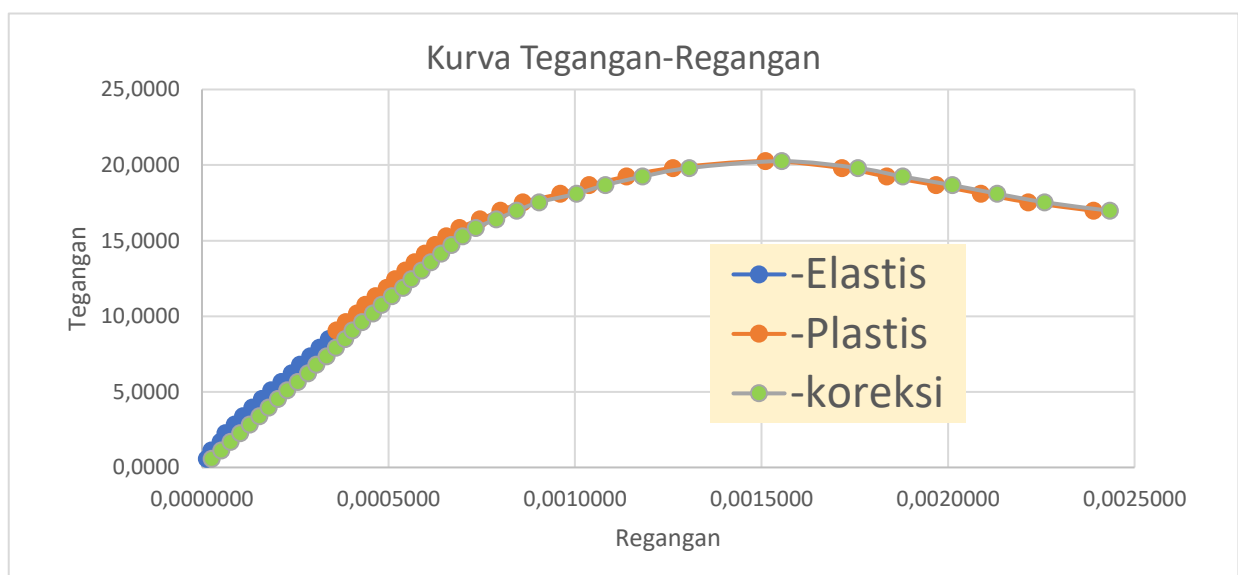
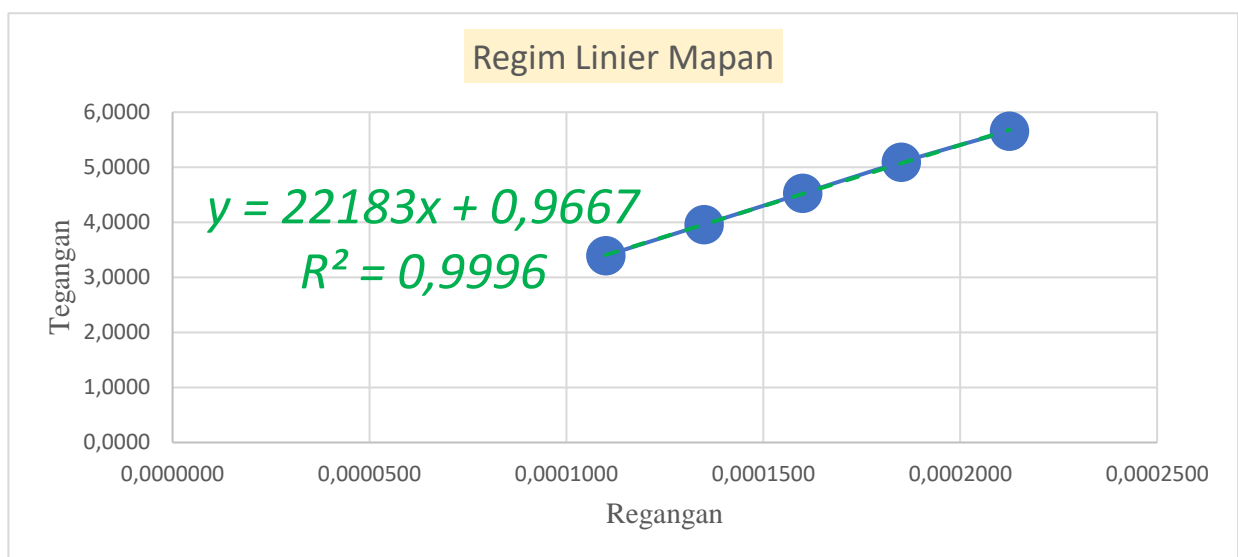
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
380	380000	497	0,24850	0,0012425	21,5036	0,0012949
383,93	383930	516	0,25800	0,0012900	21,7260	0,0013424
380	380000	538	0,26900	0,0013450	21,5036	0,0013974
370	370000	574	0,28700	0,0014350	20,9377	0,0014874
360	360000	592	0,29600	0,0014800	20,3718	0,0015324
350	350000	615	0,30750	0,0015375	19,8059	0,0015899



**Lampiran 16 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 15% Sempel 3**

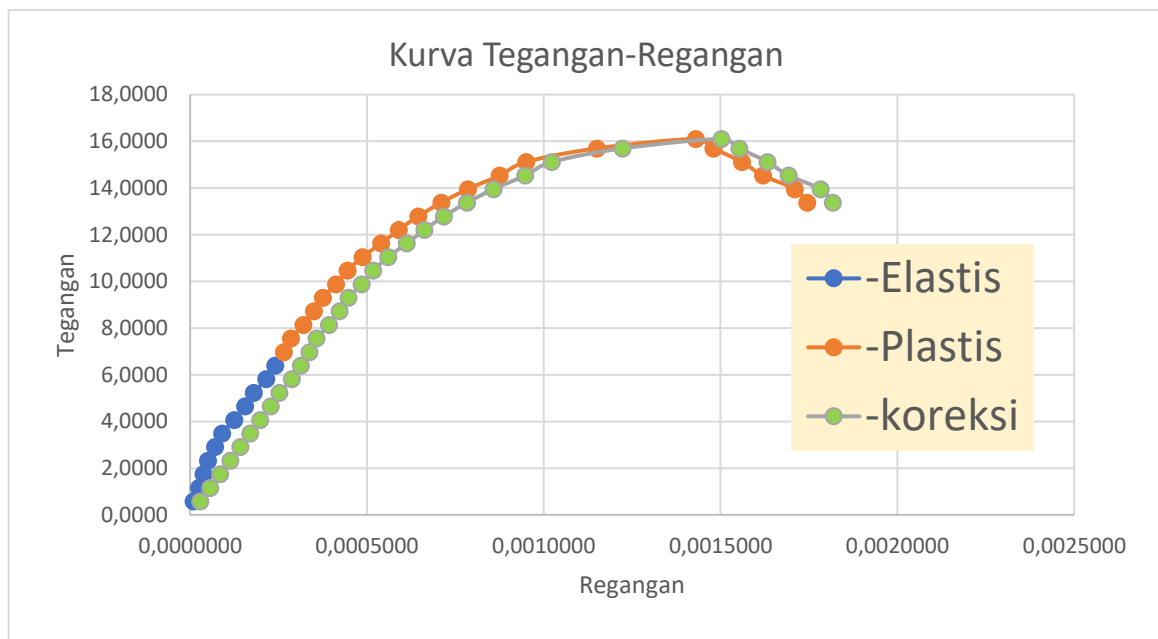
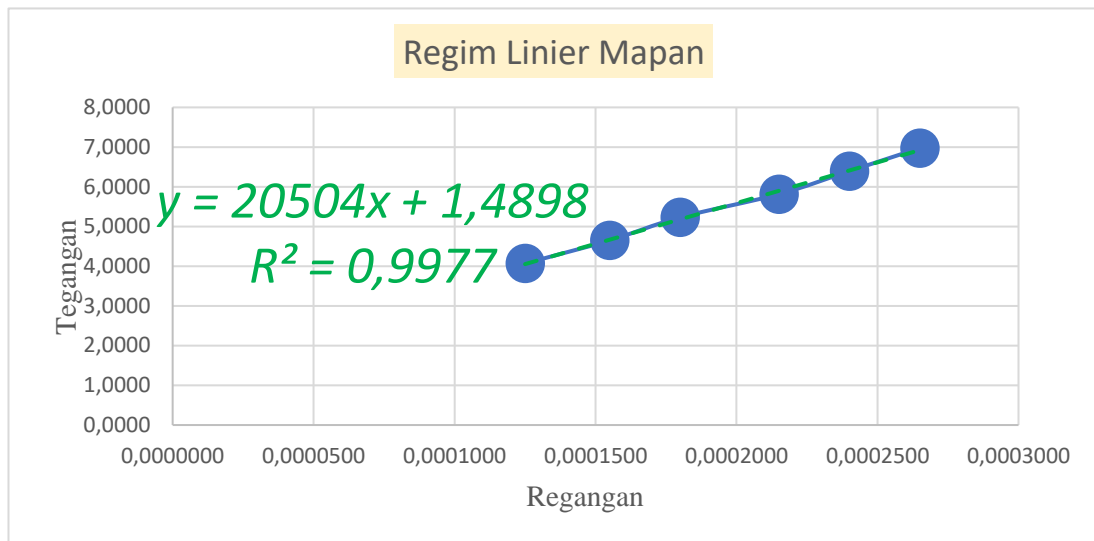
Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000255
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1318	0,0000510
30	30000	20	0,01000	0,0000500	1,6977	0,0000765
40	40000	25	0,01250	0,0000625	2,2635	0,0001020
50	50000	35	0,01750	0,0000875	2,8294	0,0001275
60	60000	44	0,02200	0,0001100	3,3953	0,0001536
70	70000	54	0,02700	0,0001350	3,9612	0,0001786
80	80000	64	0,03200	0,0001600	4,5271	0,0002036
90	90000	74	0,03700	0,0001850	5,0930	0,0002286
100	100000	85	0,04250	0,0002125	5,6588	0,0002561
110	110000	96	0,04800	0,0002400	6,2247	0,0002836
120	120000	105	0,05250	0,0002625	6,7906	0,0003061
130	130000	116	0,05800	0,0002900	7,3565	0,0003336
140	140000	126	0,06300	0,0003150	7,9224	0,0003586
150	150000	136	0,06800	0,0003400	8,4883	0,0003836
160	160000	144	0,07200	0,0003600	9,0541	0,0004036
170	170000	154	0,07700	0,0003850	9,6200	0,0004286
180	180000	166	0,08300	0,0004150	10,1859	0,0004586
190	190000	175	0,08750	0,0004375	10,7518	0,0004811
200	200000	186	0,09300	0,0004650	11,3177	0,0005086
210	210000	198	0,09900	0,0004950	11,8836	0,0005386
220	220000	207	0,10350	0,0005175	12,4495	0,0005611
230	230000	218	0,10900	0,0005450	13,0153	0,0005886
240	240000	228	0,11400	0,0005700	13,5812	0,0006136
250	250000	239	0,11950	0,0005975	14,1471	0,0006411
260	260000	250	0,12500	0,0006250	14,7130	0,0006686
270	270000	262	0,13100	0,0006550	15,2789	0,0006986
280	280000	276	0,13800	0,0006900	15,8448	0,0007336
290	290000	298	0,14900	0,0007450	16,4106	0,0007886
300	300000	320	0,16000	0,0008000	16,9765	0,0008436
310	310000	344	0,17200	0,0008600	17,5424	0,0009036
320	320000	384	0,19200	0,0009600	18,1083	0,0010036
330	330000	415	0,20750	0,0010375	18,6742	0,0010811
340	340000	455	0,22750	0,0011375	19,2401	0,0011811
350	350000	505	0,25250	0,0012625	19,8059	0,0013061
357,97	357970	604	0,30200	0,0015100	20,2570	0,0015536
350	350000	686	0,34300	0,0017150	19,8059	0,0017586

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
340	340000	734	0,36700	0,0018350	19,2401	0,0018786
330	330000	787	0,39350	0,0019675	18,6742	0,0020111
320	320000	835	0,41750	0,0020875	18,1083	0,0021311
310	310000	886	0,44300	0,0022150	17,5424	0,0022586
300	300000	956	0,47800	0,0023900	16,9765	0,0024336



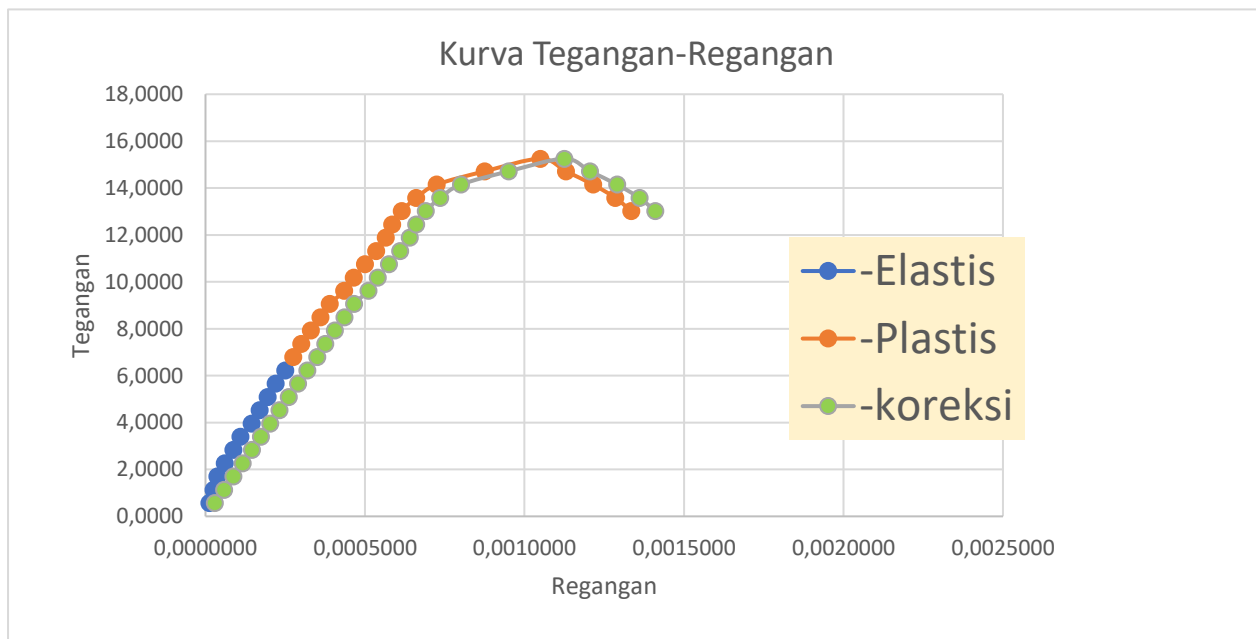
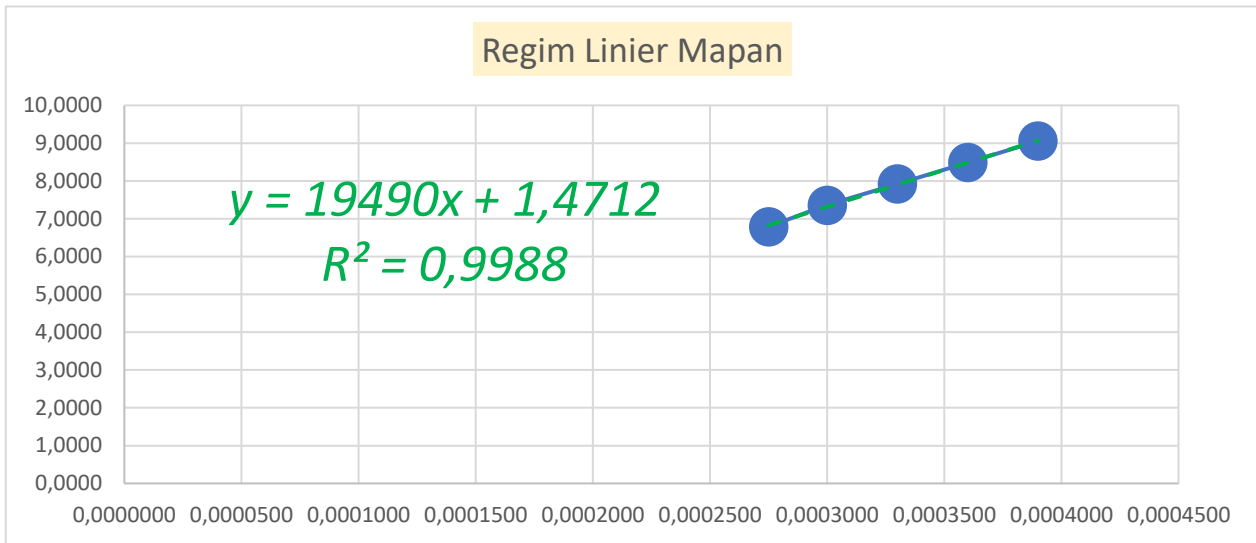
**Lampiran 17 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 1**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	4	0,00200	0,0000100	0,5813	0,0000283
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1626	0,0000567
30	30000	15	0,00750	0,0000375	1,7438	0,0000850
40	40000	20	0,01000	0,0000500	2,3251	0,0001134
50	50000	28	0,01400	0,0000700	2,9064	0,0001417
60	60000	36	0,01800	0,0000900	3,4877	0,0001701
70	70000	50	0,02500	0,0001250	4,0690	0,0001977
80	80000	62	0,03100	0,0001550	4,6503	0,0002277
90	90000	72	0,03600	0,0001800	5,2315	0,0002527
100	100000	86	0,04300	0,0002150	5,8128	0,0002877
110	110000	96	0,04800	0,0002400	6,3941	0,0003127
120	120000	106	0,05300	0,0002650	6,9754	0,0003377
130	130000	114	0,05700	0,0002850	7,5567	0,0003577
140	140000	128	0,06400	0,0003200	8,1379	0,0003927
150	150000	140	0,07000	0,0003500	8,7192	0,0004227
160	160000	150	0,07500	0,0003750	9,3005	0,0004477
170	170000	165	0,08250	0,0004125	9,8818	0,0004852
180	180000	178	0,08900	0,0004450	10,4631	0,0005177
190	190000	195	0,09750	0,0004875	11,0444	0,0005602
200	200000	216	0,10800	0,0005400	11,6256	0,0006127
210	210000	236	0,11800	0,0005900	12,2069	0,0006627
220	220000	258	0,12900	0,0006450	12,7882	0,0007177
230	230000	284	0,14200	0,0007100	13,3695	0,0007827
240	240000	314	0,15700	0,0007850	13,9508	0,0008577
250	250000	350	0,17500	0,0008750	14,5320	0,0009477
260	260000	380	0,19000	0,0009500	15,1133	0,0010227
270	270000	460	0,23000	0,0011500	15,6946	0,0012227
276,96	276960	572	0,28600	0,0014300	16,0992	0,0015027
270	270000	592	0,29600	0,0014800	15,6946	0,0015527
260	260000	624	0,31200	0,0015600	15,1133	0,0016327
250	250000	648	0,32400	0,0016200	14,5320	0,0016927
240	240000	684	0,34200	0,0017100	13,9508	0,0017827
230	230000	698	0,34900	0,0017450	13,3695	0,0018177



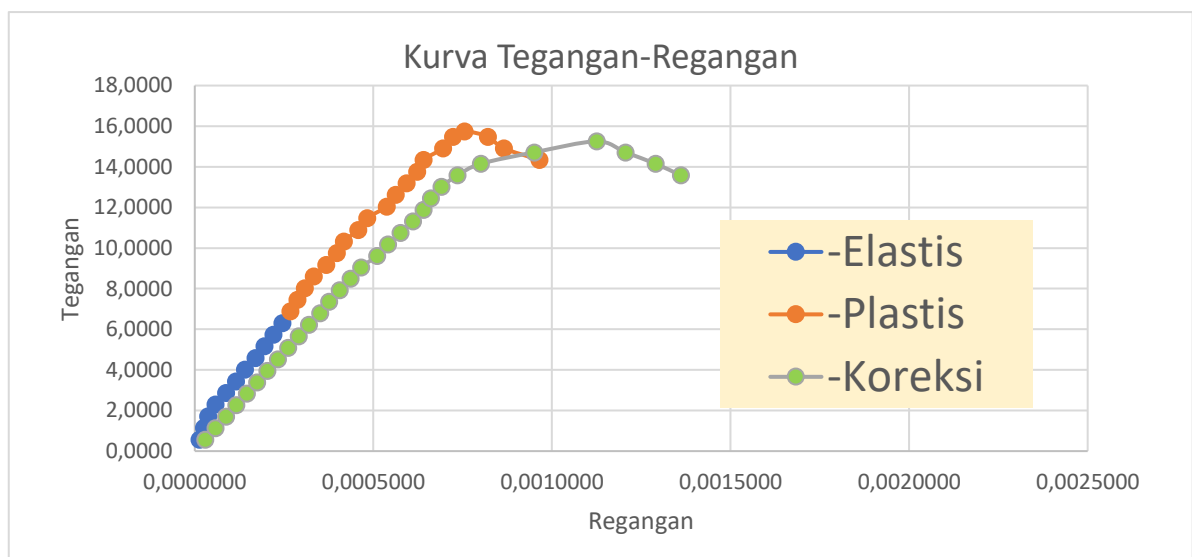
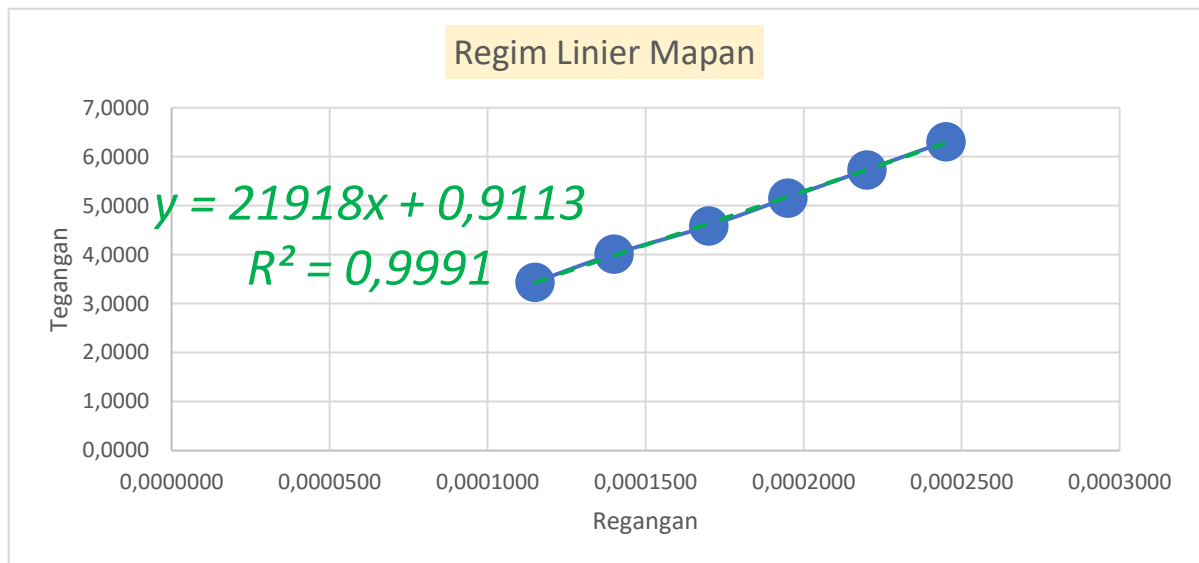
**Lampiran 18 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 2**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5659	0,0000290
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1318	0,0000581
30	30000	15	0,00750	0,0000375	1,6977	0,0000871
40	40000	24	0,01200	0,0000600	2,2635	0,0001161
50	50000	35	0,01750	0,0000875	2,8294	0,0001452
60	60000	44	0,02200	0,0001100	3,3953	0,0001742
70	70000	58	0,02900	0,0001450	3,9612	0,0002032
80	80000	68	0,03400	0,0001700	4,5271	0,0002323
90	90000	78	0,03900	0,0001950	5,0930	0,0002613
100	100000	88	0,04400	0,0002200	5,6588	0,0002903
110	110000	100	0,05000	0,0002500	6,2247	0,0003194
120	120000	110	0,05500	0,0002750	6,7906	0,0003505
130	130000	120	0,06000	0,0003000	7,3565	0,0003755
140	140000	132	0,06600	0,0003300	7,9224	0,0004055
150	150000	144	0,07200	0,0003600	8,4883	0,0004355
160	160000	156	0,07800	0,0003900	9,0541	0,0004655
170	170000	174	0,08700	0,0004350	9,6200	0,0005105
180	180000	186	0,09300	0,0004650	10,1859	0,0005405
190	190000	200	0,10000	0,0005000	10,7518	0,0005755
200	200000	214	0,10700	0,0005350	11,3177	0,0006105
210	210000	226	0,11300	0,0005650	11,8836	0,0006405
220	220000	234	0,11700	0,0005850	12,4495	0,0006605
230	230000	246	0,12300	0,0006150	13,0153	0,0006905
240	240000	264	0,13200	0,0006600	13,5812	0,0007355
250	250000	290	0,14500	0,0007250	14,1471	0,0008005
260	260000	350	0,17500	0,0008750	14,7130	0,0009505
269,48	269480	420	0,21000	0,0010500	15,2494	0,0011255
260	260000	452	0,22600	0,0011300	14,7130	0,0012055
250	250000	486	0,24300	0,0012150	14,1471	0,0012905
240	240000	514	0,25700	0,0012850	13,5812	0,0013605
230	230000	534	0,26700	0,0013350	13,0153	0,0014105



**Lampiran 19 Pengujian Modulus Elastisitas BTB 22,5% Sempel 3**

Beban (P)		Pembacaan Dial	$\Delta L$	Regangan	Tegangan	Regangan Terkoreksi
kN	N		(mm)	(mm)	(MPa)	(mm)
10	10000	5	0,00250	0,0000125	0,5735	0,0000262
20	20000	10	0,00500	0,0000250	1,1470	0,0000523
30	30000	15	0,00750	0,0000375	1,7205	0,0000785
40	40000	23	0,01150	0,0000575	2,2940	0,0001047
50	50000	37	0,01850	0,0000925	2,8675	0,0001308
60	60000	46	0,02300	0,0001150	3,4410	0,0001566
70	70000	56	0,02800	0,0001400	4,0145	0,0001816
80	80000	68	0,03400	0,0001700	4,5880	0,0002116
90	90000	78	0,03900	0,0001950	5,1615	0,0002366
100	100000	88	0,04400	0,0002200	5,7351	0,0002616
110	110000	98	0,04900	0,0002450	6,3086	0,0002866
120	120000	107	0,05350	0,0002675	6,8821	0,0003091
130	130000	115	0,05750	0,0002875	7,4556	0,0003291
140	140000	123	0,06150	0,0003075	8,0291	0,0003491
150	150000	133	0,06650	0,0003325	8,6026	0,0003741
160	160000	147	0,07350	0,0003675	9,1761	0,0004091
170	170000	159	0,07950	0,0003975	9,7496	0,0004391
180	180000	167	0,08350	0,0004175	10,3231	0,0004591
190	190000	183	0,09150	0,0004575	10,8966	0,0004991
200	200000	193	0,09650	0,0004825	11,4701	0,0005241
210	210000	215	0,10750	0,0005375	12,0436	0,0005791
220	220000	225	0,11250	0,0005625	12,6171	0,0006041
230	230000	237	0,11850	0,0005925	13,1906	0,0006341
240	240000	249	0,12450	0,0006225	13,7641	0,0006641
250	250000	256	0,12800	0,0006400	14,3376	0,0006816
260	260000	278	0,13900	0,0006950	14,9111	0,0007366
270	270000	289	0,14450	0,0007225	15,4846	0,0007641
276,96	274570	302	0,15100	0,0007550	15,7467	0,0007966
270	270000	328	0,16400	0,0008200	15,4846	0,0008616
260	260000	346	0,17300	0,0008650	14,9111	0,0009066
250	250000	386	0,19300	0,0009650	14,3376	0,0010066



Lampiran 20 Bahan Campuran Beton



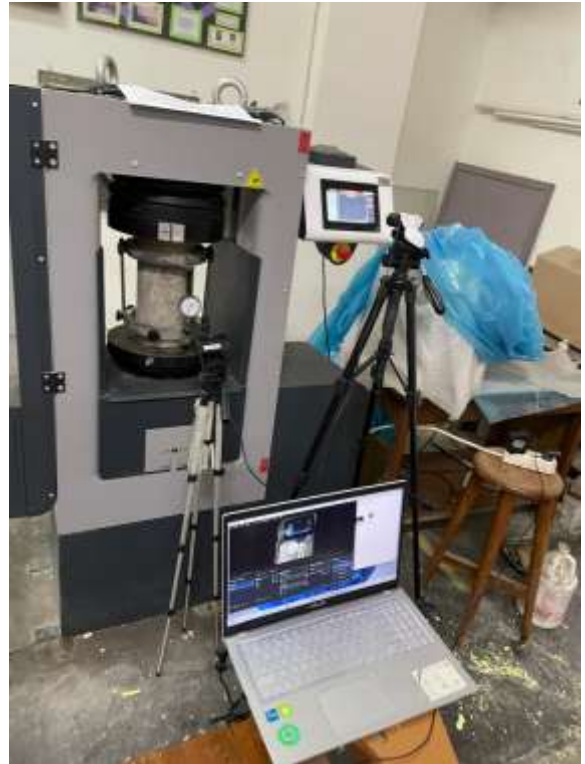
Lampiran 21 Dokumentasi Mix Design



## Lampiran 22 Dokumentasi Pengujian Slump



**Lampiran 23 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan Beton**



### Lampiran 24 Dokumentasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton



**Lampiran 25 Dokumentasi Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

