

**TUGAS AKHIR**

**PEMANFAATAN LIMBAH BATU BATA MERAH  
SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DAN ABU  
SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA  
BETON NORMAL  
(UTILIZATION OF RED BRICK WASTE AS A  
SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATES AND RICE  
HUSK ASH AS A SUBSTITUTION OF CEMENT IN  
NORMAL CONCRETE)**

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



**Bima Hendra Nugraha**

**19511158**

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

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMANFAATAN LIMBAH BATU BATA MERAH  
SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DAN ABU  
SEKAM PADI SEBAGAI SUBSTITUSI SEMEN PADA  
BETON NORMAL  
(UTILIZATION OF RED BRICK WASTE AS A  
SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATES AND RICE  
HUSK ASH AS A SUBSTITUTION OF CEMENT IN  
NORMAL CONCRETE)**

Disusun Oleh

**Bima Hendra Nugraha**

**19511158**


Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan

Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 20 Juni 2024

Oleh Dewan Penguji:

**Pembimbing**

 24.06.24.

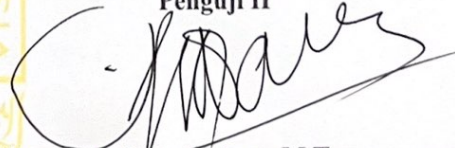
**Astriana Hardawati, S.T., M.Eng**  
NIK: 165111301

**Penguji I**

  
24/06  
2024

**Jafar, S.T., M.T., MURP.**  
NIK: 185111305

**Penguji II**



**Ir. Suharyatma., M.T.**  
NIK: 865110201

Mengesahkan,

Prodi Studi Teknik Sipil



**g.n. Ir. Yunalia Murtah, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Sepanjang Pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar Pustaka.

Yogyakarta, 20 Februari 2024



Bima Hendra Nugraha

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim.*

*Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia – Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pemanfaatan Limbah Batu Bata Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Pada Beton Normal” dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

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

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa Membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.

3. Ibu Enik Setyowati dan Bapak Tomi Herman Susilo, kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Callista Hermania Dian Kurniawati, selaku saudara kandung penulis yang selalu penulis jadikan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Keluarga Besar, yang telah memberikan dukungan dan do'a
6. Teman-Teman “Kos Cakep” yang selalu menemani penulis dalam kondisi apapun dan berbagi pengalaman kepada penulis.
7. Kepada pemilik NIM 20200420344 yang telah memberikan semangat dan menjadi motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu segala kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan penelitian ini menjadi lebih baik. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca, maupun peneliti lain sebagai tambahan referensi untuk sumber ide dan gagasan bagi penelitian selanjutnya, khususnya dibidang Teknik Sipil. Demikianlah yang dapat disampaikan, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-Nya kepada semua pihak yang telah membantu penulis.

*Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Peneliti Terdahulu	6
2.2 Penelitian Sekarang	9
2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	9
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Beton	13
3.2 Material Penyusun Beton	14
3.2.1 Agregat	14
3.2.2 Air	17
3.2.3 Semen Portland	18

3.4	Bahan Tambah	19
3.4.1	Limbah Batu Bata	20
3.4.2	Abu Sekam Padi	20
3.5	Perencanaan Campuran Beton	21
3.6	Kuat Tekan	30
3.7	Kuat Tarik Belah	32
3.9	Modulus Elastisitas	33
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		38
4.1	Umum	38
4.2	Variabel Penelitian	38
4.3	Bahan yang Digunakan	38
4.4	Alat yang Digunakan	39
4.5	Benda Uji	46
4.6	Pelaksanaan Penelitian	54
4.6.1	Persiapan	54
4.6.2	Pemeriksaan Agregat	54
4.6.3	Perencanaan Campuran ( <i>Mix Desain</i> )	55
4.6.4	Pembuatan Benda Uji	56
4.6.5	Pengujian <i>Slump</i>	56
4.6.6	Perawatan Benda Uji	57
4.6.7	Pengujian Sifat Mekanik Beton	58
4.6.8	Analisis Data	59
4.6.9	Pembahasan	60
4.6.10	Kesimpulan dan Saran	60
4.7	Bagan Alir Tahapan Penelitian	60
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		63
5.1	Tinjauan Umum	63
5.2	Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton	63
5.2.1	Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	63

5.2.2	Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	73
5.2.3	Hasil Pemeriksaan Limbah Batu Bata	81
5.3	Perencanaan Campuran Beton	92
5.4	Hasil Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> Beton Normal	101
5.5	Pengujian Nilai Slump	102
5.6	Pengujian Kuat Tekan Beton	104
5.7	Pengujian Modulus Elastisitas Beton	110
5.8	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	120
5.9	Pembahasan Secara Keseluruhan	126
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		128
6.1	Kesimpulan	128
6.2	Saran	129
DAFTAR PUSTAKA		130
LAMPIRAN		132



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus	15
Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar	17
Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi	21
Tabel 3. 4 Faktor Pengali Deviasi Standar	22
Tabel 3. 5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas = 0,5	23
Tabel 3. 6 Penetapan Nilai Slump Berdasarkan Pemakaian Beton	25
Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas Kg/m <sup>3</sup>	25
Tabel 3. 8 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan fas Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus	26
Tabel 3. 9 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton	31
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji	47
Tabel 4. 2 Mutu Pekerjaan	55
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus	64
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Halus Sampe 1	67
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Pada Agregat Halus Sampel 2	67
Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Agregat Halus	69
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Pada Agregat Halus	71
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus	71
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	72
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	74
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 1	76
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Agregat Kasar Sampel 2	77
Tabel 5. 11 Batas Gradasi Agregat Kasar	78
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	80

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	80
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Batu Bata	82
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Limbah Batu Bata Sampel 1	85
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Limbah Batu Bata Sampel 2	85
Tabel 5. 17 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus	86
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Batu Bata Merah	89
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Batu Bata Merah	89
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200	91
Tabel 5. 21 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia.	93
Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m <sup>3</sup> ) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	95
Tabel 5. 23 Hasil Perencanaan Campuran Beton 25 MPa (Mix Design)	99
Tabel 5. 24 Proporsi Campuran Untuk Beton Normal 25 MPa	101
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial	102
Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Nilai Slump	103
Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	106
Tabel 5. 28 Persentase Selisih Kenaikan nilai Kuat Tekan Beton	109
Tabel 5. 29 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Limbah Batu Bata 0% dan abu sekam 0%	112
Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	116
Tabel 5. 31 Persentase Selisih Pengujian Modulus Elastisitas	119
Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	121
Tabel 5. 33 Persentase Selisih Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton	124
Tabel 5. 34 Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton Normal	125

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan rata-rata dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder dengan Diameter 150 mm x Tinggi 300 mm)	24
Gambar 3. 2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm	27
Gambar 3. 3 Grafik Persen Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Maksimum 40 mm	28
Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan.	29
Gambar 3. 5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	32
Gambar 3. 6 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Beton	33
Gambar 3. 7 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton	34
Gambar 3. 8 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton	35
Gambar 3. 9 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas	36
Gambar 4. 1 Timbangan	40
Gambar 4. 2 Ayakan Mesh	40
Gambar 4. 3 Neraca Ohaus	41
Gambar 4. 4 Piknometer	41
Gambar 4. 5 Oven	42
Gambar 4. 6 Cetakan	42
Gambar 4. 7 Bak Penampung	43
Gambar 4. 8 Concrete Mixer	43
Gambar 4. 9 Sekop	44
Gambar 4. 10 Kerucut Abrams	44
Gambar 4. 11 Mesin uji tekan	45
Gambar 4. 12 Dial Gauge	45
Gambar 4. 13 Stone Crusher	46

Gambar 4. 14 Bagan Alir Tahapan Penelitian	62
Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	69
Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	70
Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	78
Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	79
Gambar 5. 5 Analisa Saringan Limbah Batu Bata Sampel 1	87
Gambar 5. 6 Analisa Saringan Limbah Batu Bata Sampel 2	87
Gambar 5. 7 Perbandingan Berat Volume Material	90
Gambar 5. 8 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)	94
Gambar 5. 9 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total	96
Gambar 5. 10 Grafik Perkiraan Berat Isi beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	97
Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Nilai Slump Pada Tiap Variasi	103
Gambar 5. 12 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Pada Tiap Variasi	108
Gambar 5. 13 Pengujian Kuat Tekan	110
Gambar 5. 14 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan	110
Gambar 5. 15 Grafik Modulus Elastisitas Variasi Limbah Batu Bata 0% dan Abu Sekam Padi 0% Sampel 1	114
Gambar 5. 16 Pengujian Modulus Elastisitas	115
Gambar 5. 17 Grafik Modulus Elastisitas Variasi Beton	118
Gambar 5. 18 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Pada Beton pada Tiap Variasi	123
Gambar 5. 19 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	126

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$f'_c$	= Kuat tekan beton (MPa)
PCC	= <i>Portland Composite Cement</i>
MPa	= Megapascal
$F_{as}$	= Faktor air semen
SNI	= Standar Nasional Indonesia
Sd	= Standar Deviasi
M	= Nilai Tambah
Sr	= Deviasi standar rencana
$f'_c$	= Kuat tekan beton (MPa)
$f'_{cr}$	= Kuat tekan beton rencana
W	= Jumlah air yang dibutuhkan
Wh	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus
Wk	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar
c	= Jumlah Semen
w	= Kadar air bebas
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
$f_{ct}$	= Kuat tarik belah beton rata-rata (MPa)
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
LBB	= Limbah Batu Bata
ASP	= Abu Sekam Padi

## ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan bangunan, maka perlu adanya inovasi dengan memanfaatkan limbah batu bata dan abu sekam padi sebagai alternatif pengganti beberapa bahan bangunan seperti pasir dan semen. Salah satu pemanfaatan limbah yaitu memanfaatkan kembali limbah batu bata hasil kegiatan konstruksi untuk campuran beton. Pada penelitian ini, bertujuan untuk memanfaatkan limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dari berat pasir dan abu sekam padi sebanyak 10% dari berat semen. Penelitian ini menggunakan mutu rencana beton sebesar 25 MPa dengan perawatan beton selama 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 03-2834-2000. Jumlah sampel yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak 60 buah sampel. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah batu bata sebagai agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dapat meningkatkan kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah. Kuat tekan beton dapat meningkatkan hingga 23,4%, modulus elastisitas hingga 20% dan kuat tarik belah hingga 19% dari beton normal. Nilai kuat tekan optimum didapatkan pada variasi limbah batu bata 12% - abu sekam padi 10% sebesar 31,23 MPa.

**Kata kunci:** Limbah batu bata, Abu sekam padi, Sifat mekanik beton.

## ***ABSTRACT***

*As the demand for building materials increases, there is a need for innovation by utilizing brick waste and rice husk ash as alternative replacements for some building materials such as sand and cement. One such utilization is the reuse of brick waste from construction activities in concrete mixtures. This study aims to utilize brick waste as a substitute for fine aggregate with variations of 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, and 15% by weight of sand, and rice husk ash at 10% by weight of cement. This research uses a concrete design strength of 25 MPa with a curing period of 28 days. The concrete mix design calculation follows SNI 03-2834-2000. A total of 60 samples were made in this study. The objective of this research is to determine the effect of the substituting brick waste as fine aggregate and rice husk ash as a cement substitute on the compressive strength, modulus of elasticity, and split tensile strength of concrete.*

*The research results show that the use of brick waste as a substitute for fine aggregate with variations of 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, and 15% can increase compressive strength, modulus of elasticity, and split tensile strength. The compressive strength of concrete can increase by up to 23.4%, the modulus of elasticity by up to 20%, and the split tensile strength by up to 19% compared to normal concrete. The optimum compressive strength value was obtained with a variation of 12% brick waste and 10% rice husk ash, resulting in a compressive strength of 31.23 MPa.*

***Keywords:*** *Brick waste, Rice husk ash, Mechanical properties of concret*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Beton merupakan bagian dari bahan konstruksi bangunan yang digunakan dalam proyek konstruksi seperti bangunan gedung, jalan dan infrastruktur lainnya. Keberlanjutan dan perkembangan infrastruktur seiring berjalannya waktu telah meningkatkan permintaan dan kebutuhan akan beton. Beton menjadi material yang sering digunakan dalam konstruksi infrastruktur yaitu beton dapat menahan kekuatan, tahan terhadap cuaca dan biaya yang terjangkau. Oleh karena itu, beton menjadi pilihan utama dalam proyek konstruksi yang melibatkan Pembangunan dan perawatan infrastruktur yang berkembang seiringnya waktu, Bahan penyusun yang digunakan untuk pembuatan beton pada umumnya yaitu semen, agregat kasar, agregat halus, air, dengan atau tanpa penambahan tambah (*admixture*). Beton memiliki beberapa keunggulan antara lain kemampuannya berubah bentuk sesuai dengan kebutuhan, kuat tekan yang tinggi dan mampu menahan suhu tinggi.

Seiring dengan kemajuan dan perkembangan struktur Indonesia saat ini, kebutuhan bahan bangunan untuk konstruksi diperkirakan akan meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode alternatif untuk menggantikan sebagian dari pasir. Bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian pasir harus mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bangunan beton yang umum digunakan. Alternatifnya adalah dengan memanfaatkan limbah batu bata yang dihasilkan selama konstruksi.

batu bata mengandung kandungan senyawa silika oksidasi, yang berfungsi sebagai bahan tahan api dan pelindung panas suhu tinggi dikarenakan dalam kandungan batu bata terkandung senyawa silika berkisar 55-65% (Hanifah Yulian,



2023). Agregat halus dalam campuran beton harus bersifat kekal yang artinya tidak boleh hancur akibat pengaruh suhu ataupun cuaca didalam batu bata terdapat kandungan silika dimana kandungan ini dapat sebagai bahan tahan api dan sebagai pelindung termal suhu tinggi.

Limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton memiliki potensi besar dalam meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi material di industri konstruksi. Pada penelitian ini digunakan limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus karena limbah batu bata dapat mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga beton dapat menghasikan nilai kuat tekan yang lebih baik. Dengan pemanfaatan limbah batu bata yang tepat, limbah bata dapat menjadi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan untuk agregat halus konvensional. Penggunaan limbah batu bata sebagai campuran agregat halus dapat mengurangi biaya material dan pembuangan.

Untuk mendapatkan hasil limbah batu bata menjadi agregat halus diperlukan proses penghalusan atau penghancuran dari pecahan limbah batu bata yang sudah tidak terpakai menjadi butiran yang lebih kecil dan lebih halus menggunakan mesin penghancur batu (*stone crusher*). Material limbah batu bata yang bisa digunakan menjadi agregat halus yaitu ukuran butiran kurang dari 4,80 mm agar masuk kedalam kategori agregat halus. Dengan memanfaatkan limbah batu bata pada pembuatan beton, maka diharapkan dapat menghasilkan konstruksi yang lebih ramah lingkungan dengan kualitas yang tidak jauh berbeda Sofia, Shafira, & Kusumah, (2019).

Abu sekam padi mengandung silika yang dapat bereaksi dengan hasil samping reaksi semen dan air yaitu kalsium hidroksida yang akan berubah menjadi kalsium silikat hidrat. Pada penelitian sebelumnya tentang penggunaan abu sekam padi sebesar 0-12,5% sebagai bahan tambah dalam campuran beton, didapatkan kadar optimum penggunaan abu sekam padi sebesar 10% dari berat semen (Rochmah, Sutriyono, Beatrix, & Pertiwi, 2022). Pada penelitian tentang optimasi campuran beton dengan

abu sekam padi kadar optimum pada beton umur 28 hari didapatkan kuat tekan optimum pada variasi 10% sebagai substitusi semen (Satria Umar Dani, 2023). Abu Sekam Padi (ASP) bersifat seperti pozzolan yang dapat dipakai untuk meningkatkan kualitas beton serta memberikan pengaruh yang baik bagi lingkungan.

Inovasi dilakukan dengan mensubstitusikan agregat halus dengan limbah batu bata dan mensubstitusikan semen dengan abu sekam padi untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik lagi dari beton normal. Dari latar belakang masalah tersebut, Memanfaatkan limbah batu bata dapat berguna untuk dikembangkan menjadi bahan konstruksi yang ramah lingkungan, oleh karena itu dalam penelitian ini peneliti ingin mengetahui sejauh mana kuat tekan beton dengan menggunakan bahan limbah batu bata dengan variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% sebagai substitusi agregat halus dan penggunaan 10% Abu Sekam Padi (ASP) sebagai substitusi semen terhadap nilai kuat tekan dan kuat lentur dengan mutu rencana mutu beton 25 MPa.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh substitusi limbah batu bata merah sebagai agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari?
2. Berapa nilai kuat tekan beton, kuat tarik belah dan modulus elastisitas yang optimum dalam penggunaan limbah batu bata pada variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat pasir dengan campuran substitusi semen dengan abu sekam padi 10%?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Dari rumusan masalah di atas, pengujian ini dibatasi pada:

1. Mengetahui pengaruh substitusi limbah batu bata merah sebagai agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari.
2. Mendapatkan nilai kuat tekan beton, kuat tarik belah dan modulus elastisitas yang optimum penggunaan limbah batu bata pada variasi 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat pasir dengan campuran substitusi abu sekam padi 10%.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang didapat diperoleh melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi di bidang bangunan khususnya pembuatan beton normal dengan mensubstitusikan agregat halus dengan limbah batu bata dan mensubstitusikan semen dengan abu sekam padi.
2. Menjadi acuan untuk penerapan beton normal dengan penambahan limbah batu bata dan abu sekam padi dalam konstruksi nasional.
3. Sebagai acuan bagi penelitian selanjutnya tentang pemanfaatan limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus dan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah.

#### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian tidak terlampaui jauh dan melebar dari tujuan penelitian. Batasan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana ( $f'_c = 25$  MPa)
2. Abu sekam padi yang digunakan berbentuk butiran lolos saringan No. 200
3. Kadar abu sekam padi yang digunakan adalah 10%
4. Ukuran agregat kasar maksimum yang dipakai 20 mm
5. Agregat halus (pasir) Berasal dari Progo.
6. Agregat kasar (batu pecah) Berasal dari Clereng.

7. Variasi penambahan limbah batu bata yang digunakan adalah 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 15%.
8. Benda uji berupa silinder berdiameter 15 x 30 cm untuk uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat tarik belah.
9. Semen yang digunakan adalah PCC tipe 1 dengan merk Dynamix.
10. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
11. Perawatan beton dilakukan dengan merendam beton di dalam air dengan waktu perawatan 28 hari.
12. Jumlah benda uji beton sebanyak 60 buah.
13. Penelitian dilakukan hanya sebatas uji kuat tekan (SNI 1974-2011) Modulus Elastisitas (SNI 4169-1996) dan Tarik Belah Beton (SNI 03-2491-2014).
14. Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam melaksanakan tinjauan Pustaka ini, penting untuk dilakukan dan untuk mengetahui penelitian terlebih dahulu yang dapat menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian yang akan dilaksanakan karena adanya kesamaan metode pengujian, material yang digunakan dan bahan tambah yang digunakan. Tetapi terdapat beberapa perbedaan antara peneliti satu dengan yang lainnya.

#### **2.1 Peneliti Terdahulu**

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

1. Pengaruh Penambahan Abu sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (Pirdaus & Susanti, 2019)

Penelitian ini menjelaskan bagaimana memanfaatkan Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan tambah atau bahan pengganti dalam pembuatan beton. Abu Sekam Padi memiliki unsur untuk meningkatkan mutu beton, mengandung silika yang sangat menonjol jika unsur tersebut dicampurkan dengan 2 semen kan menghasilkan kekuatan mutu yang lebih tinggi. Pada penelitian ini untuk mengetahui variasi penambahan abu sekam padi dengan persentase: 0%, 3%, 5%, 10% dan 15%. Hasil dari penelitian kuat tekan dengan mensubstitusi semen dengan abu sekam padi di dapatkan pada variasi 3% yaitu 21,33 Mpa, pada variasi 5% yaitu 20,19 Mpa, pada variasi 10% yaitu 19,33 Mpa dan pada 15%

didapatkan 18,59 Mpa. Hasil menunjukkan semakin bertambahnya abu sekam padi dalam campuran beton maka mutu akan semakin menurun.

2. Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 menggunakan Agregat Kasar PT. AMR dan Agregat Halus Desa Sanggup Kota Baru. (Permatasari, 2019)

Penelitian ini menjelaskan bagaimana pengaruh campuran beton dengan menambahkan batu bata merah dari limbah sebagai substitusi agregat halus. Komposisi penambahan batu bata merah yang digunakan dengan variasi presentasi 0%, 15%, 20% dan 25%. Komposisi campuran beton yang digunakan mengacu pada *Mix desain* berdasarkan SNI T15-1990-2003 + ACI & STM tahun 2016. Pada proses pengujian yang dilakukan kuat tekan beton mengalami peningkatan pada campuran 15% didapatkan 21,57 MPa, sedangkan pada variasi campuran 20% dan 25% kuat tekan beton mengalami penurunan yang didapat 21,02 MPa dan 20,44 MPa. Kuat beton yang direncanakan di awal adalah 21,00 MPa. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dengan menambahkan batu bata merah sebesar 15% beton mengalami peningkatan sedangkan dengan menambahkan batu bata merah sebesar 20% beton mengalami penurunan tetapi masih tetap masuk dalam kuat tekan rencana dan pada campuran 25% kuat tekan mengalami penurunan yang tidak masuk dalam kuat tekan rencana. Penelitian ini mengacu pada AHSP Bidang Cipta Karya kementerian PU tahun 2013 untuk mutu Fc' 21 dengan menggunakan material lokal.

3. Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton (Sofia, Shafira, & Kusumah, 2019)

Penelitian ini bertujuan untuk bagaimana menganalisis pengaruh limbah batu bata yang dimanfaatkan sebagai agregat halus pengganti pada proses pembuatan beton. Penelitian merancang *mix desain* dengan menggunakan acuan pada SNI 03-2834-2004. Sample beton yang digunakan pada penelitian ini dibuat sebanyak 30 buah dan menggunakan cetakan kubus. Proses

penggantian pasir dengan sebagian besar menggunakan limbah batu bata dilakukan dengan 5 variasi, dengan persentase 0%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Pada proses pencampuran beton ini dilakukan pengujian pada 14 hari dan 28 hari. Hasil yang didapat dengan hasil baik yaitu pada umur 14 hari maupun 28 hari, pengujian menunjukkan terdapat kenaikan nilai kuat tekan beton pada rata-rata BB 12%. Hasil yang didapat pada pengujian dengan presentasi maksimum limbah batu bata pada persentase 9%.

4. Pengaruh Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Parsial Semen dan Penambahan Sikacim Concrete Additive dalam Campuran Beton Normal mutu sedang (Setianto, 2022)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari sifat mekanik dan fisik beton mutu sedang dengan substitusi bata ringan dalam hal kuat tekan, modulus elastisitas, kuat lentur penyerapan air dan porositas beton. Mutu beton rencana yang akan dicapai adalah mutu beton sedangkan ( $F'_c = 25$  MPa). Dengan menggunakan jenis limbah bata ringan yaitu AAC (*Autoclaved Aerated Concrete*) lolos saringan 100 (0,15 mm), menggunakan variasi substitusi parsial semen 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dan SikaCim Concrete Additive sebesar 0,75 dari berat semen. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan kuat desak beton mutu sedang optimum mencapai pada substitusi limbah bata ringan 2,5% yaitu 27,98 MPa dengan peningkatan sebesar 5,22%. Pada pengujian kuat lentur optimum mencapai 3,68 MPa dengan peningkatan sebesar 1,60%. Pada pengujian modulus elastisitas beton sedang mengalami penurunan mengikuti dengan peningkatan kadar limbah bata ringan. Nilai penyerapan air minimum diperoleh sebesar 1,830% pada variasi substitusi limbah batu bata ringan 2,5%, dan nilai porositas beton minimum 3,876% pada variasi substitusi limbah batu bata 2,5%. Hasil dari penelitian ini bahwa beton mutu sedang dengan substitusi parsial semen dengan kadar bubuk limbah batu bata dapat digunakan sebagai bahan material elemen struktur bangunan.

5. Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete (Rochmah, Sutriyono, Beatrix, & Pertiwi, 2022)

Penelitian ini menjelaskan memanfaatkan Abu Sekam Padi (ASP) sebagai substitusi Sebagian semen yang mempunyai kegunaan untuk meningkatkan kualitas suatu beton. Tujuan dari penelitian penggunaan Abu sekam Padi (ASP) ini untuk mendapatkan atau memperoleh kuat tekan maksimum pada flowing concrete dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai substitusi semen pada variasi 0%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5% dengan menambahkan bahan superplasticizer sebesar 1,5% pada campuran beton. Pengujian Beton ini dilakukan dengan kuat tekan beton, pelaksanaan pengujian ini dilaksanakan di umur beton 7 hari dan 28 hari. Dengan mencapai kuat tekan maksimum ASP 10% yaitu 26,53 MPa.

## **2.2 Penelitian Sekarang**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat perbedaan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis sekarang. Penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah melakukan uji tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas terhadap beton normal dengan bahan substitusi agregat halus limbah baru bata variasi 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dengan substitusi semen menggunakan abu sekam padi sebesar 10%. Pengujian dilakukan pada beton umur 28 hari. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggung jawabkan keasliannya.

## **2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang**

Berdasarkan Jurnal Peneliti Terdahulu yang telah penulis uraikan terdapat Perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan yang telah dilakukan peneliti terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.



Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					
Peneliti	Pirdaus & Susanti (2019)	Permatasari (2019)	Sofia, Shafira & kusumah (2019)	Setianto (2022)	Rochmah, dkk (2022)
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Abu sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 menggunakan Agregat Kasar PT. AMR dan Agregat Halus Desa Sanggup Kota Baru.	Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Limbah Batu Bata Ringan Sebagai Substitusi Parsial Semen dan Penambahan <i>Sikacim Concrete Additive</i> dalam Campuran Beton Normal Mutu Sedang	Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete
Tujuan Penelitian	Untuk mengetahui hasil dari pengaruh penambahan abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton dengan variasi 0%, 3%, 5%, 10%, dan 15%	Untuk mengetahui pengaruh komposisi batu bata merah sebagai campuran beton mutu fc'21 dan untuk mengetahui hasil pengujian kuat tekan beton dengan komposisi batu bata merah sebagai pengganti agregat halus untuk mutu beton fc'21	Menganalisis pengaruh limbah batu bata yang dimanfaatkan sebagai pengganti Sebagian agregat halus pada proses pembuatan beton	Pengaruh Variasi Substitusi parsial semen dengan bubuk limbah bata ringan dan penggunaan <i>SikaCim Concrete Addictive</i> pada campuran beton dibandingkan beton normal terhadap sifat mekanik beton maupun sifat fisik beton	Untuk memperoleh kuat tekan maksimum pada flowing concrete dengan memanfaatkan abu sekam padi sebagai substitusi Sebagian semen dengan menggunakan superplasticizer 1,5%

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					
Peneliti	Pirdaus & Susanti (2019)	Permatasari (2019)	Sofia, Shafira & kusumah (2019)	Setianto (2022)	Rochmah, dkk (2022)
Metode Penelitian	Analisis perhitungan <i>mix desain</i> beton, pengujian kuat tekan beton dilakukan di Lab. PT. Waskita Beton Precast.	Analisis perhitungan <i>mix desain</i> beton, pengujian kuat tekan beton	Analisis perhitungan <i>mix desain</i> beton, pengujian kuat tekan beton, menghitung standar deviasi beton	Penelitian dilaksanakan dengan Pemanfaatan Limbah bata ringan jenis AAC (Autoclaved Aerated Concrete) dijadikan bubuk sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton dengan variasi 0%; 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; dan 12,5%.	Analisis perhitungan <i>mix desain</i> beton alir, pengujian kuat tekan beton
Paramater yang di uji	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan abu sekam padi sebagai substitusi semen	Hasil Pengujian kuat tekan beton dengan penggantian agregat halus dengan menggunakan limbah batu bata	mengetahui pengaruh limbah batu bata sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap mutu kuat tekan beton.	Hasil pengujian kuat tekan, modulus elastisitas, porositas beton, kuat tarik lentur, penyerapan air dengan penggunaan limbah bata ringan sebagai substitusi parsial semen dan <i>sikacim concrete additive</i>	Hasil pengujian kuat tekan beton dengan penggunaan variasi abu sekam padi dan superplasticizer sebesar 1,5%

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu					
Peneliti	Pirdaus & Susanti (2019)	Permatasari (2019)	Sofia, Shafira & kusumah (2019)	Setianto (2022)	Rochmah, dkk (2022)
Hasil Penelitian	Hasil yang didapatkan menunjukkan penurunan di setiap penambahan abu sekam padi. Terjadi penurunan seiring dengan bertambahnya abu sekam padi 3% sampai 15% sehingga semakin bertambahnya abu sekam pada campuran beton maka mutu semakin menurun	Pada penambahan bata merah sebesar 15% beton mengalami peningkatan sedangkan pada penambahan 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.	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 limbah batu bata yang dapat digunakan sebagai pengganti pasir yaitu 9 %	Dari hasil penelitian didapatkan kuat tekan maksimum terjadi pada campuran ASP 10% yaitu 26,53 MPa	menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton mutu sedang substitusi mengalami penurunan, seiring dengan peningkatan kadar limbah bata ringan. Nilai penyerapan air minimum diperoleh pada beton mutu sedang substitusi sebesar 1,830% pada variasi substitusi limbah bata ringan 2,5%, dan nilai porositas beton minimum diperoleh nilai sebesar 3,876% pada variasi variasi substitusi limbah bata ringan 2,5%

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton**

Menurut Tjokrodimuljo (2007), beton adalah campuran antara semen *Portland*, agregat halus dan agregat kasar, air dan terkadang ditambahkan dengan menggunakan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta non kimia dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu. Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen dan agregat), yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas, mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan lain sebagainya.

Menurut SNI 2847-2019, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*).

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain sebagai berikut:

1. Kelebihan
  - a. Memiliki harga relatif murah karena material penyusunnya mudah didapat.
  - b. Beton tahan terhadap panas dan karat sehingga hanya membutuhkan sedikit biaya perawatan.

- c. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi, apabila dikombinasikan dengan baja yang memiliki kuat lentur tinggi maka akan menjadi suatu kesatuan struktur yang tahan tekan maupun tarik.
- d. Pengerjaan mudah karena beton dapat dicetak dan dibentuk sesuai dengan keinginan.

## 2. Kekurangan

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

## 3.2 Material Penyusun Beton

Agregat halus, agregat kasar, semen, air dan bahan tambahan merupakan komponen beton. Beton dapat dicampur dengan berbagai bahan tambahan untuk memenuhi kebutuhan setiap struktur. Pada pelaksanaannya, beton mempunyai komponen dan tujuan tertentu. Dibawah ini adalah komponen-komponen atau bahan-bahan penyusun beton.

### 3.2.1 Agregat

Agregat adalah bahan butiran yang berasal dari alam atau buatan yang terdiri dari kerikil, batu pecah, pasir, atau mineral lainnya. Agregat yang digunakan dalam campuran beton sangat penting karena menyumbang sekitar 70% volume beton dan berdampak besar terhadap kualitas beton. Agregat dibagi menjadi dua jenis: agregat halus dan agregat kasar. Deskripsi masing-masing agregat sebagai berikut.

#### 1. Agregat Halus

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

- a. Kadar gumpalan tanah liat dan partikel mudah hancur maksimal 0,5%.
- b. Persentase berat maksimum untuk kadar lumpur atau ukuran partikel kurang dari 75 mikron (ukuran ayakan 200) adalah 3% untuk beton abrasi dan 5% untuk beton jenis lainnya.
- c. Tidak memiliki kandungan zat organik yang dapat merusak beton dari berbagai aspek.
- d. Agregat halus yang digunakan sebagai bahan pembuatan beton dalam kondisi basah dan lembab secara terus menerus serta terbebas dari bahan yang reaktif terhadap alkali.
- e. Memiliki sifat kekal, dengan pengujian larutan garam sulfat.
- f. Modulus halus butir di antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi pada tabel 3.1 dibawah ini.

**Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus**

Lubang ayakan (mm)	Persentase Butiran yang Lolos Ayakan			
	Daerah I (kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100

Lanjutan Tabel 3. 1 Gradasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persentase Butiran yang Lolos Ayakan			
	Daerah I (kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 03-1970-2008

## 2. Agregat kasar

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

- a. Agregat kasar terdiri dari partikel-partikel keras yang tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butiran pipih dapat digunakan jika proporsi butiran pipih tidak melebihi 20% dari berat total agregat. Bahkan agregat kasar pun tidak akan pecah atau hancur karena pengaruh cuaca.
- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%. jika kadar lumpur melebihi 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung bahan apapun yang dapat merusak beton.
- d. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali boleh dipakai bersama semen yang memiliki kadar alkali Natrium Oksida terjadinya pemuaihan yang dapat membahayakan karena reaksi dari alkali-agregat.

- e. Agregat kasar terdiri atas partikel-partikel dengan berbagai ukuran dan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
- 1) Sisa pada saringan 31,5 mm, harus mengandung agregat 0%.
  - 2) Sisa pada saringan 4 mm hendaknya kira-kira 90% sampai 98% dari berat agregat.
  - 3) Selisih sisa yang terakumulasi pada dua saringan berturut-turut maksimum 60% dan agregat minimum 10%.
- f. Ukuran partikel maksimum agregat kasar tidak boleh melebihi persyaratan sebagai berikut.
- 1) 1/5 dari jarak cetak minimum.
  - 2) 1/3 tebal pelat.
  - 3) 3/4 jarak minimum antar batang atau balok tulangan.

**Tabel 3. 2 Gradasi Agregat Kasar**

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

Sumber: SNI 03-1969-2008

### 3.2.2 Air

Air merupakan bahan penting dalam proses reaksi kimia pada semen yang membentuk pasta semen. Air juga diperlukan sebagai pelumas antara partikel agregat untuk memudahkan proses kerja dan pemadatan. Air merupakan elemen yang sangat penting dalam produksi beton. Air merupakan zat yang dapat bereaksi dengan semen, dan semen dapat menjadi pasta dan mengikat agregat. Air juga mempengaruhi kuat tekan beton, karena terlalu jumlah air dalam dapat menyebabkan penurunan kuat tekan



beton. Selain itu, kelebihan air juga dapat menyebabkan beton mengeluarkan cairan atau menumpahkan air atau semen ke permukaan beton yang dituangkan (Bleeding). Hal ini dapat mengurangi daya rekat antar lapisan beton. Namun terlalu sedikit air bisa membuat proses hidrasi tidak merata.

Air dalam campuran semen menyebabkan terjadinya proses hidrasi semen, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang dapat menyebabkan campuran menjadi keras dalam jangka waktu tertentu. Jumlah air yang dibutuhkan untuk proses hidrasi kurang lebih 20% dari berat semen, namun karena alasan ekonomis jumlah air biasanya ditambah sesuai jumlah yang dihitung. Menggunakan air segar dan murni akan membantu dalam proses hidrasi. Air yang digunakan untuk produksi dan pengawetan beton harus bebas dari minyak, asam, basa, garam, zat organik dan komponen lain yang dapat mempengaruhi mutu dan mutu beton.

Menurut (Tjokrodinuljo, 2007), air sebagai bahan bangunan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih,
2. Harus bebas dari kotoran, minyak, atau padatan tersuspensi lainnya yang terlihat secara visual dan padatan tersuspensi tersebut tidak boleh melebihi 2 gram per liter,
3. Tidak boleh mengandung lebih dari 15 gram/liter garam larut (asam, bahan organik, dan lain-lain) yang dapat merusak beton.
4. Kandungan klorida (Cl) harus kurang dari 0,5 gram/liter, khusus untuk beton pratekan, kandungan kloridanya harus kurang dari 0,05 gram/liter, dan
5. Mengandung senyawa sulfat (sebagai SO<sub>3</sub>) kurang dari 1 gram/liter.

### 3.2.3 Semen Portland

Semen *portland* merupakan bubuk halus yang digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dan agregat halus. Ketika bubuk halus dicampur dengan sejumlah air,

lama kelamaan akan menjadi keras dan dapat digunakan sebagai pengikat hidrolis. Jika semen dicampur dengan air maka akan terbentuk mortar biasa disebut dengan pasta semen. Agregat halus (pasir) yang bercampur dengan air maka akan menjadi campuran yang disebut dengan mortar. ketika agregat kasar (kerikil) ditambahkan, mortar terbentuk dan biasa disebut beton. Semen dan air termasuk dalam golongan aktif, sedangkan pasir dan kerikil termasuk dalam golongan pasif yang berperan sebagai bahan pengisi.

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

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

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

### **3.4 Bahan Tambah**

Berdasarkan SNI 7656-2012 bahan tambah yaitu bahan berupa bubukan atau cairan, yang dibubuhkan ke dalam campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifatnya. Menurut Mulyono (2004) menyatakan

bahan tambah digunakan sesuai dengan kondisi pada pekerjaan konstruksi di lapangan yang bisa digunakan dengan proporsi persentase yang sedikit serta dilaksanakan pengawasan yang ketat agar bahan diberikan secara proporsional jika berlebihan dapat mengakibatkan memburuk sifat dan kualitas beton. Mengubah sifat -sifat dari beton berfungsi untuk menjadikan lebih cocok dalam pekerjaan tertentu, atau mendapatkan biaya yang lebih murah.

Tjokrodimuljo (2007) menyatakan bahwa bahan tambah berfungsi untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

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

#### 3.4.1 Limbah Batu Bata

Limbah bata bata merah itu sendiri adalah hasil dari limbah konstruksi bangunan, limbah dari sisa-sisa bangunan yang sudah tidak dapat dipakai kembali. Dari limbah batu bata tersebut kemudian dihancurkan menggunakan mesin penghancur batu (*Stone Crusher*) menjadi butiran halus agar dapat digunakan dalam bahan tambah pembuatan beton. Untuk dapat menjadi agregat halus butiran halus yang digunakan harus kurang dari 4,8 mm.

#### 3.4.2 Abu Sekam Padi

Abu Sekam Padi (ASP) merupakan limbah yang diperoleh dari hasil pembakaran sekam padi. Abu Sekam Padi (ASP) merupakan material yang bersifat *pozzolanic* dalam arti kandungan material terbesarnya adalah silika dan baik untuk digunakan dalam campuran pozzolan kapur yaitu mengikat kapur bebas yang timbul pada waktu hidrasi semen. Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu 400° - 500° C akan menjadi silika amorphous dan pada suhu lebih besar dari 1000° C

akan menjadi silika kristalin. Silika amorphous yang dihasilkan dari abu sekam padi diduga sebagai sumber penting untuk menghasilkan silikon murni, karbid silikon, dan tepung nitrid silikon. Komposisi Abu Sekam Padi dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3. 3 Komposisi Kimia Abu Sekam Padi**

Komponen	Persentase (%)
SiO <sub>2</sub>	86,90 – 97,30
K <sub>2</sub> O	0,58 – 2,58
NA <sub>2</sub> O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00 – 0,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,20 – 2,84
SO <sub>3</sub>	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,42

Sumber: Rochmah (2022)

### 3.5 Perencanaan Campuran Beton

Untuk memperoleh campuran beton sesuai dengan kuat tekan yang direncanakan, maka diperlukan perencanaan campuran (*mix desain*) untuk mengetahui proporsi masing – masing material yang digunakan. Metode *mix desain* yang digunakan penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 karena pada penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui kekuatan beton normal. Berikut merupakan tahapan – tahapan *mix desain* yang dilakukan.

1. Menentukan kuat tekan beton yang direncanakan. Pada penelitian ini digunakan kuat tekan rencana sebesar 25 MPa.
2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (SD).

Untuk menentukan nilai deviasi standar dapat dilakukan dengan melihat tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3. 4 Faktor Pengali Deviasi Standar**

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Catatan: Jika jumlah benda uji yang digunakan kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 MPa.

3. Menentukan Nilai Tambah (M)

Nilai tambah dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$M = 1,64 \times Sr \quad (3.1)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

M = Nilai Tambah

1,64 = Tetapan statistic yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

Sr = Deviasi Standar Rencana

4. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (F'cr)

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

$$F'cr = F'c + M \quad (3.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

F'cr = Kuat tekan yang ditargetkan (MPa)

F'c = Kuat tekan beton rencana (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

5. Menetapkan Jenis Semen

Jenis semen dapat memengaruhi faktor air semen. Dalam penelitian ini digunakan semen tipe I dengan merek dagang Dynamix.

6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus

Berdasarkan SNI 03-2834-2000, agregat halus dibagi menjadi empat kategori berdasarkan gradasinya, yakni pasir halus, pasir agak halus, pasir agak kasar, dan pasir kasar. Agregat kasar dibagi menjadi dua kelompok: kerikil alam dan kerikil batu pecah.

7. Menentukan Faktor Air Semen (Fas)

Perbandingan antara air dan berat semen pada campuran beton disebut faktor air semen (fas). Semakin tinggi kekuatan beton yang direncanakan, semakin rendah nilai faktor air semen yang diperoleh. Untuk menentukan faktor air semen dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 3.5 dan Gambar 3.1 berikut.

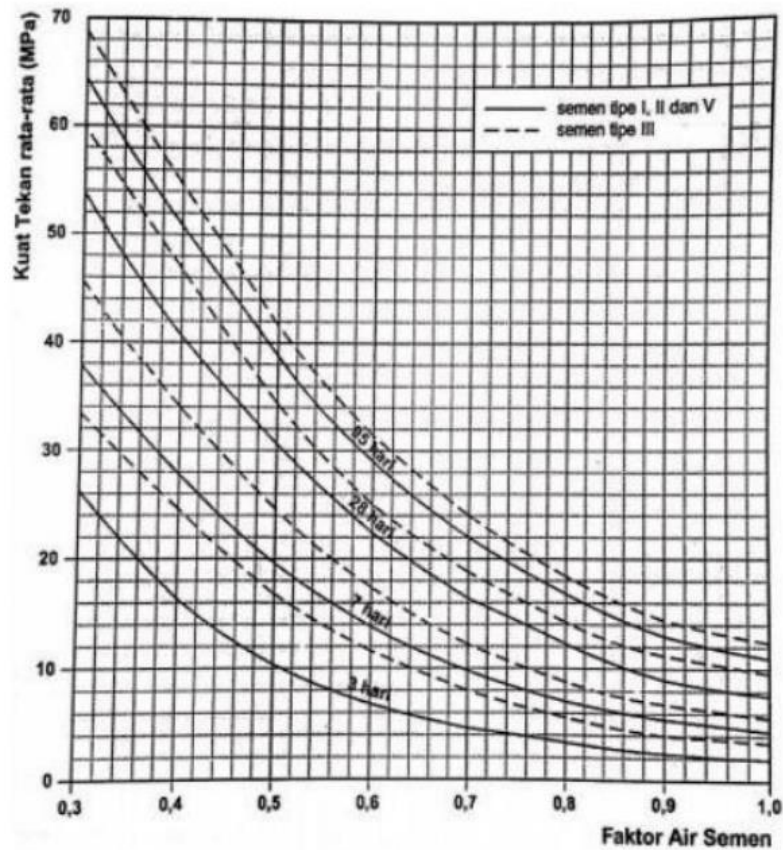
**Tabel 3. 5 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Fas = 0,5**

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silindir
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Berdasarkan Tabel 3.5 dapat digunakan untuk jenis semen, jenis agregat kasar, bentuk benda uji, dan umur rencana yang akan digunakan dalam produksi beton. Tujuannya untuk mengetahui nilai kuat tekan maksimum yang dicapai dengan nilai fas 0,5. Selanjutnya ditentukan kurvanya berdasarkan hubungan antara kuat tekan yang

diperoleh dari tabel di atas dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.1 dibawah ini.



**Gambar 3. 1 Hubungan Antara Kuat Tekan rata-rata dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder dengan Diameter 150 mm x Tinggi 300 mm)**

Sumber: SNI 03-2834-2000

8. Menentukan Nilai *Slump*

Nilai *slump* merupakan parameter untuk mengetahui tingkat kecelakaan beton yang nantinya akan berpengaruh pada kemudahan pengerjaan (*workability*). Penetapan nilai *slump* sesuai dengan pemakaian beton dapat dilihat pada Tabel 3.6 Berikut.

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

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

9. Menentukan nilai kadar air bebas

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

**Tabel 3. 7 Perkiraan Kadar Air Bebas Kg/m<sup>3</sup>**

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecah	150	180	203	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

$$W = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (3.3)$$

Dengan Keterangan sebagai berikut.

$W$  = Jumlah air yang dibutuhkan (Kg/m<sup>3</sup>)

$W_h$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (Kg/m<sup>3</sup>)

$W_k$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (Kg/m<sup>3</sup>)

10. Menentukan kebutuhan semen

Untuk mendapatkan jumlah kebutuhan semen, dapat dihitung menggunakan persamaan 3.4 berikut ini.



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

Dengan keterangan sebagai berikut.

$c$  = Jumlah semen ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

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

$fas$  = Faktor air semen ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

11. Menentukan kadar air semen minimum

Kadar semen minimum di tetapkan pada Tabel 3.8 berikut ini.

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

Lokasi	Jumlah semen Minimum per m3 beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan:		
a. Keadaan Keliling non -Korosif	275	0,6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,55
b. Terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	275	0,6
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering	325	0,55 Tabel 5
b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air Tawar		Tabel 6
b. Air Laut		

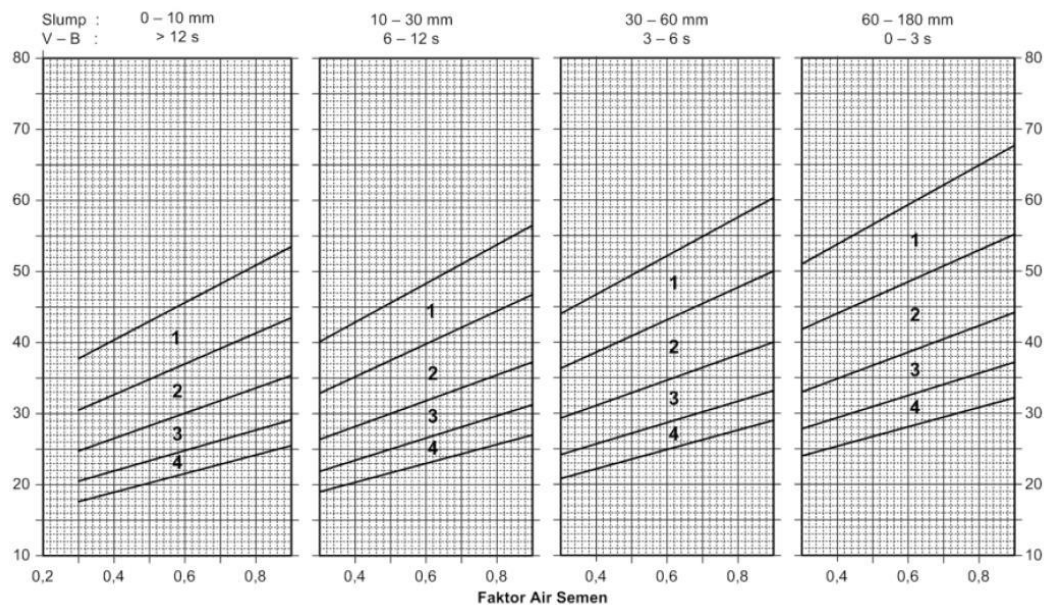
Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Menentukan besar butir agregat maksimum

Pada penentuan susunan butir agregat halus, diawali dengan melakukan pengujian analisis saringan untuk menentukan gradasi yang akan digunakan pada agregat halus.

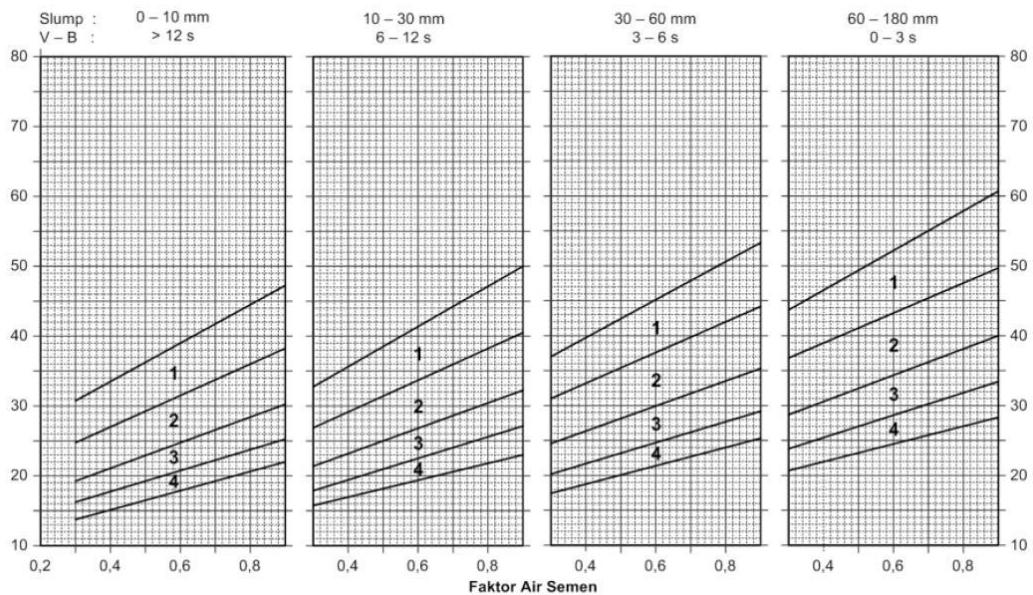
13. Menentukan berat jenis agregat halus dan agregat kasar

Untuk menentukan berat jenis agregat halus dan kasar, diawali dengan pengujian berat jenis untuk mendapatkan nilai jenis pada agregat dan yang digunakan adalah berat jenis SSD. Untuk menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar menggunakan grafik pada gambar 3.2 dan 3.3 berikut ini.



**Gambar 3. 2 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan untuk Ukuran Maksimum 20 mm**

Sumber: SNI 03-2834-2000



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

Sumber: SNI 03-2834-2000

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

- Pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 di atas, tentukan grafik mana yang akan digunakan tergantung pada ukuran agregat maksimum dan nilai slump yang direncanakan.
- Tarik garis vertikal ke atas hingga mencapai kurva di atas antara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
- Selanjutnya, Tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas atau batas bawah yang berada di daerah gradasi dan catat nilai yang didapatkan.
- Hitung rata-rata nilai dari kedua nilai yang didapatkan.

Nilai persentase agregat kasar =  $100\% - \text{persentase agregat halus}$

14. Berat jenis agregat yang diperoleh dihitung dari data hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung sesuai dengan menggunakan rumus 3.5 berikut.

$$BJ_{AG} = (\% AH \times BJ_{AH}) + (\% AK \times BJ_{AK}) \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$BJ_{AG}$  = Berat jenis agregat gabungan

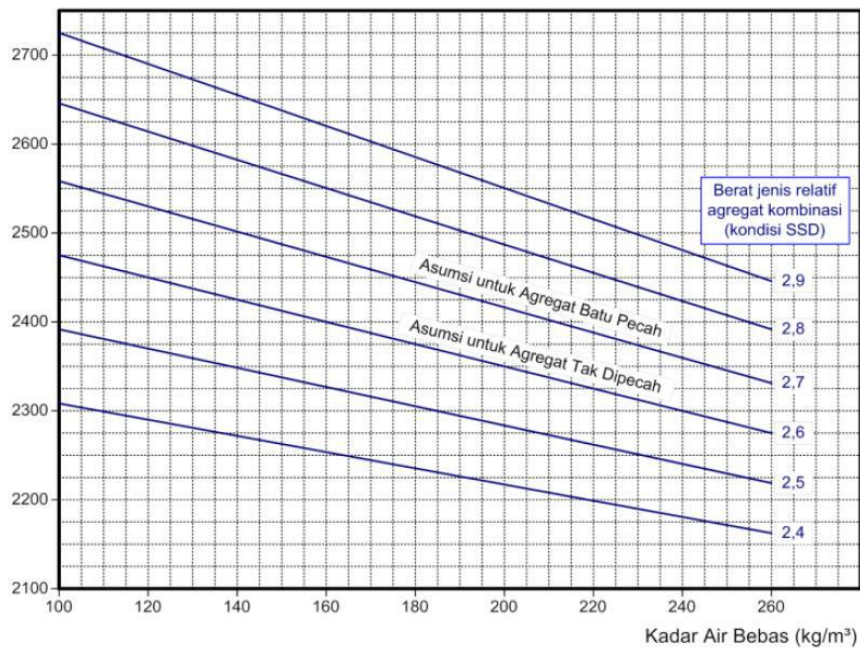
$BJ_{AH}$  = Berat jenis agregat halus

$BJ_{AK}$  = Berat jenis agregat kasar

% AH = Persentase agregat halus

% AK = Persentase agregat kasar

15. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik pada gambar 3.4 berikut ini.



**Gambar 3. 4 Grafik Perkiraan Berat Beton segar yang Telah Selesai Dipadatkan.**

Sumber: SNI 03-2834-2000

Langkah-langkah mencari nilai berat beton berdasarkan grafik di atas adalah sebagai berikut.

- a. Pada Gambar 3.4 di atas, tarik garis yang sesuai dengan nilai berat jenis agregat campuran yang sejajar dengan garis lurus yang terdapat pada grafik tersebut.
  - b. Tarik garis vertikal ke atas hingga memotong garis yang telah ditarik sebelumnya yang sesuai dengan nilai kadar air bebas. kemudian, garis Tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan dua garis di atas dan catat nilai yang dihasilkan.
16. Gabungan kandungan agregat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.6 dibawah ini.
- $$\text{Kadar agregat total} = \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air bebas} \quad (3.6)$$
17. Kadar agregat halus dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.7 dibawah ini.
- $$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ Agregat Halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.7)$$
18. Kandungan gregat kasar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8 berikiut ini.
19. Menghitung kadar limbah batu bata sebagai substitusi agregat halus dan mensubstitusi abu sekam padi sebagai substitusi semen berat total agregat beton.

### 3.6 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah perbandingan besarnya beban dimana sampel akan hancur ketika diberikan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. (Mulyono, 2004) menyatakan bahwa kuat tekan beton menentukan mutu struktur, Semakin tinggi kekuatan struktur yang ditentukan maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Berdasarkan PBI, (1971), kuat tekan standar dihitung pada saat beton mempunyai kuat tekan 100% setelah umur 28 hari. Kekuatan beton berdasarkan umur beton dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

**Tabel 3. 9 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton**

Umur Beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Kuat Tekan (%)	40	65	88	95	100	120	135

Sumber: PBI, 1971

Berdasarkan SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan 3.9 berikut.

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

Dengan keterangan sebagai berikut.

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

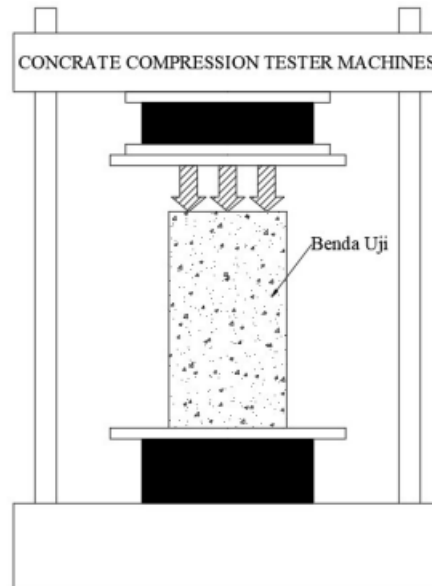
P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang yang menerima beban (mm<sup>2</sup>)

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh faktor selain perbandingan faktor air semen (fas) dan tingkat pemadatan. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

1. Jenis semen dan kualitasnya
2. Jenis dan bentuk permukaan agregat
3. Efisiensi peralatan
4. Faktor umum
5. Mutu agregat

Sketsa pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada gambar 3.5 sebagai berikut.



**Gambar 3. 5 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton**

### 3.7 Kuat Tarik Belah

Menurut SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah pada benda uji beton berbentuk silinder dilakukan dengan bertujuan untuk menentukan nilai kuat tarik/belah dari benda uji yang ditentukan dari hasil pembebanan, dengan benda uji diletakkan mendatar/sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

Pengujian kuat tarik/belah beton dengan meletakkan benda uji berupa silinder beton diameter 15 cm dan Panjang 30 cm, baik secara vertikal maupun horizontal pada alat uji. Kemudian diberi beban tekan secara merata arah tegak lurus dari atas ke seluruh panjang silinder.

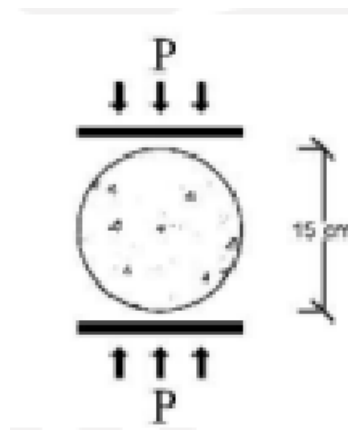
Menurut SNI 03-2491-2014 rumus yang digunakan dalam menganalisis kuat tarik/belah menggunakan persamaan 3.10 berikut ni.

$$T = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad (3.10)$$

Dengan:

- T = Kekuatan tarik belah (MPa),  
 P = Beban maksimum (N),  
 L = Panjang (mm)  
 D = Diameter silinder beton (mm),

Nilai kuat tekan dan kuat tarik/belah beton tidak berbanding lurus, dan setiap usaha untuk meningkatkan kualitas kekuatan tekan hanya akan sedikit peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9 - 15 % dari kuat tekannya.



**Gambar 3. 6 Sketsa Pengujian Kuat Tarik Beton**

### 3.9 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan hasil dari perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Modulus elastisitas beton dinyatakan dalam satuan MPa. Menurut ASTM C-469:1994, nilai modulus elastisitas beton dihitung menggunakan persamaan 3.11 berikut ini

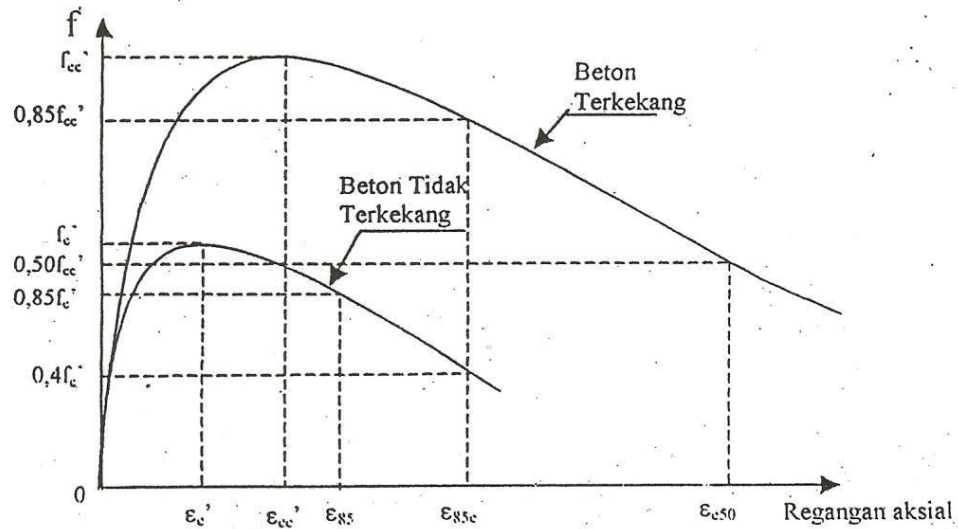
$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

- $E_c$  = Modulus elastisitas (MPa)  
 $S_2$  = Tegangan ketika 40% dari beban maksimum (MPa)

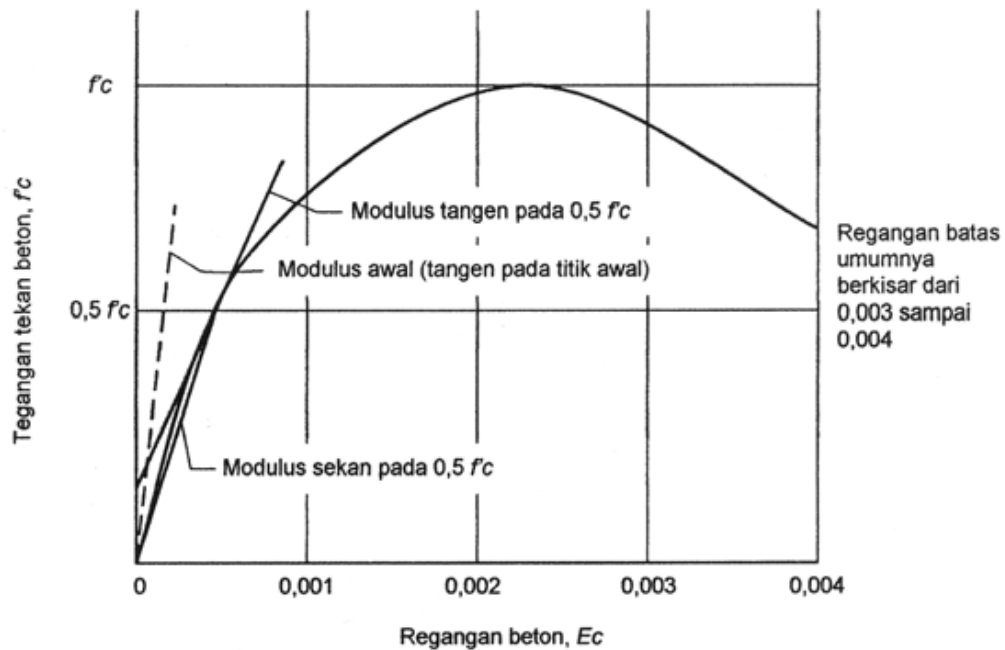


- $S_1$  = Tegangan ketika regangan 0,000050 (MPa)  
 $\varepsilon_2$  = Regangan akibat Tegangan  $S_2$   
 $\varepsilon_1$  = 0,000050



**Gambar 3. 7 Kuat Tekan Beton Berdasarkan Usia Beton**

Kurva tersebut merupakan garis lurus pada pembebanan awal, maka modulus elastisitas kurva bersinggungan dengan kurva tegangan-regangan dari titik pusat. Kemiringan garis singgung didefinisikan sebagai koefisien modulus awal. Jika dibuat tangen pada titik pusat dengan tegangan kira-kira  $0,4 \times f'_c$  maksimum, maka disebut modulus elastisitas sekan beton. Modulus sekan ini merupakan hasil dari modulus elastisitas yang ditinjau. Modulus tangen dan modulus sekan dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



**Gambar 3. 8 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton**

Menurut SNI-2847-2019, modulus elastisitas juga dapat dihitung dengan rumus pendekatan empiris yaitu menggunakan persamaan 3.12 dan 3.13 berikut ini.

1. Jika Diketahui berat Volume

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

Untuk  $W_c$  dengan rentang 1400-2560 kg/m<sup>3</sup>

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

$W$  = Berat volume beton normal (kg/m<sup>3</sup>)

$f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)

2. Jika tidak diketahui berat volumenya

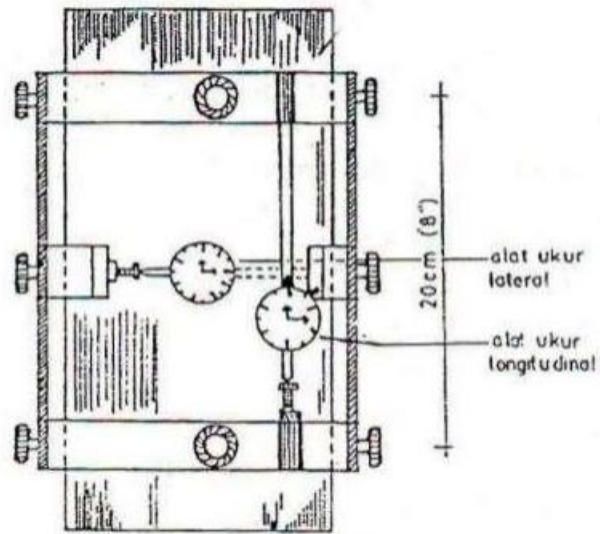
$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$E_c$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

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

Sketsa pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada gambar 3.9 sebagai berikut.



**Gambar 3. 9 Sketsa Pengujian Modulus Elastisitas**

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu suatu metode penelitian dengan maksud untuk melakukan identifikasi hubungan sebab akibat dari satu atau lebih variabel terkait dengan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu keadaan tertentu. Penelitian ini dilakukan meliputi 4 tahapan yaitu pengujian agregat, perencanaan *mix desain*, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini yaitu limbah batu bata dan abu sekam padi. Presentasi abu sekam yang digunakan untuk substitusi semen sebesar 10% sesuai dengan nilai optimum pada penelitian sebelumnya. Kadar limbah batu bata yaitu sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12% 15% dari berat pasir sebagai agregat halus. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

#### **4.2 Variabel Penelitian**

Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel Bebas, meliputi campuran limbah batu bata sebagai substitusi pasir dan abu sekam padi sebagai substitusi semen.'
2. Variabel terikat, meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas. Variabel tetap, meliputi bentuk benda uji, dimensi benda uji, dan kuat tekan beton rencana ( $f'c$ ).

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

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen Dynamix. Semen yang digunakan harus tetap terjaga kualitasnya dengan cara menyimpan pada tempat yang teduh dan kering.

2. Agregat

Agregat halus yang digunakan berasal dari progo, Yogyakarta dan agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng Yogyakarta

3. Air

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

4. Limbah Batu Bata

Limbah batu bata yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Limbah Proyek bangunan yogyakarta

5. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari proses pembakaran hasil penggilingan padi Yogyakarta

#### **4.4 Alat yang Digunakan**

Dalam Penelitian ini diperlukan beberapa alat dengan kondisi baik sebagai penunjang pembuatan benda uji. Alat yang diperlukan adalah sebagai berikut.

1. Timbangan

Pada penelitian ini timbangan yang digunakan untuk menimbang berat material yang nantinya akan digunakan dalam proses pembuatan benda uji. Berat material yang dibutuhkan didapat dari hasil perhitungan *mix design*.



**Gambar 4. 1 Timbangan**

2. Ayakan *Mesh*

Pada penelitian ini ayakan *mesh* atau set saringan agregat yang digunakan untuk memisahkan butir agregat sesuai dengan ukurannya. Alat ini digunakan sebagai pengujian analisa lolos saringan agregat kasar dan agregat halus.



**Gambar 4. 2 Ayakan Mesh**

3. Neraca *Ohaus*

Pada penelitian ini neraca *ohaus* digunakan dalam penimbangan berat material yang nantinya akan digunakan. Timbangan ini memiliki ketelitian lebih baik daripada timbangan biasa.



**Gambar 4. 3 Neraca Ohaus**

4. Piknometer

Pada merupakan alat yang digunakan dalam pengukuran massa jenis atau densitas fluida. Pada penelitian ini piknometer berperan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.



**Gambar 4. 4 Piknometer**

5. Oven

Pada penelitian ini oven digunakan untuk mengeringkan agregat (kasar dan halus). Oven nantinya digunakan pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat.



**Gambar 4. 5 Oven**

6. Cetakan

Cetakan yang dipakai adalah cetakan yang berbentuk silinder dan balok, cetakan silinder digunakan untuk mencetak benda uji pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dengan dimensi 15 cm x 30 cm, sedangkan cetakan balok digunakan untuk mencetak benda uji pada pengujian kuat lentur dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 40 cm.



**Gambar 4. 6 Cetakan**

7. Bak Penampung

Pada penelitian ini ember berfungsi sebagai wadah material dan juga alat yang membantu memasukan material *concrete mixer*.





**Gambar 4. 7 Bak Penampung**

8. *Concrete Mixer*

Pada penelitian ini concrete mixer berguna sebagai alat pencampur agregat (kasar dan halus), semen, serbuk kapur, dan air dengan kadar masing masing sesuai dengan hasil perhitungan *mix design*.



**Gambar 4. 8 Concrete Mixer**

#### 9. Sekop

Pada penelitian ini sekop digunakan untuk masing masing menuang adonan (beton segar) ke dalam cetakan silinder maupun cetakan balok.



**Gambar 4. 9 Sekop**

#### 10. Kerucut Abrams.

Pada penelitian ini kerucut abrams digunakan untuk mengetahui nilai *slump* beton segar sebelum dilakukan penuangan ke dalam cetakan



**Gambar 4. 10 Kerucut Abrams**

### 11. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan pada saat pengujian kuat tekan beton yang nantinya akan diketahui nilai beban yang dapat diterima oleh benda uji sampai dengan benda uji mengalami keruntuhan hingga hancur (beban maksimal).



**Gambar 4. 11 Mesin uji tekan**

### 12. Dial Gauge

Digunakan Untuk Pembacaan Regangan Beton Pada Saat Pengujian Modulus Elastisitas.



**Gambar 4. 12 Dial Gauge**

### 13. Stone Crusher

Digunakan Untuk Pembacaan Regangan Beton Pada Saat Pengujian Modulus Elastisitas.



**Gambar 4. 13 Stone Crusher**

#### 4.5 Benda Uji

Sampel benda uji dibuat dengan cara Substitusi abu sekam padi sebesar 10% dan variasi substitusi agregat halus dengan batu bata pada pasir 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15%. Pengujian yang digunakan pada penelitian ini berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan jumlah pengujian sebanyak 5 buah tiap variasinya, begitu juga untuk uji modulus elastisitas. Pada pengujian uji tarik belah beton sesuai SNI 03-2491-2014, menggunakan sebanyak 5 buah benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk setiap variasinya.

Menurut SNI 2493 – 2011, jumlah benda uji biasanya 3 atau lebih tergantung pada kebiasaan dan sifat program pengujian. Perawatan terhadap benda uji dilakukan dengan cara merendam benda uji di dalam air dengan umur perawatan 28 hari. Setelah berumur 28 hari, benda uji dapat diuji kekuatannya Sesuai dengan benda uji dan pengujiannya. Berikut ini adalah rincian benda uji yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji**

Jenis Pengujian	Benda Uji	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 0% - LBB 0%	S1 – A	5
			S2 – A	
			S3 – A	
			S4 – A	
			S5 - A	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 10% - LBB 3%	S1 – B	5
			S2 – B	
			S3 – B	
			S4 – B	
			S5 - B	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 10% - LBB 6%	S1 – C	5
			S2 – C	
			S3 – C	
			S4 – C	
			S5 - C	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 10% - LBB 9%	S1 – D	5
			S2 – D	
			S3 – D	
			S4 – D	
			S5 - D	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 10% - LBB 12%	S1 – E	5
			S2 – E	
			S3 – E	
			S4 – E	
			S5 - E	
Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Silinder	ASP 10% - LBB 15%	S1 – F	5
			S2 – F	
			S3 – F	
			S4 – F	
			S5 - F	

Lanjutan Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Jenis Pengujian	Benda Uji	Kandungan Campuran	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 0% - LBB 0%	TB1 - A	5
			TB2 - A	
			TB3 - A	
			TB4 - A	
			TB5 - A	
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 10% - LBB 3%	TB1 - B	5
			TB2 - B	
			TB3 - B	
			TB4 - B	
			TB5 - B	
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 10% - LBB 6%	TB1 - C	5
			TB2 - C	
			TB3 - C	
			TB4 - C	
			TB5 - C	
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 10% - LBB 9%	TB1 - D	5
			TB2 - D	
			TB3 - D	
			TB4 - D	
			TB5 - D	
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 10% - LBB 12%	TB1 - E	5
			TB2 - E	
			TB3 - E	
			TB4 - E	
			TB5 - E	
Uji Kuat Tarik/Belah	Silinder	ASP 10% - LBB 15%	TB1 - F	5
			TB2 - F	
			TB3 - F	
			TB4 - F	
			TB5 - F	
Total Jumlah Benda Uji				60

Keterangan:

S1 – A = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1,  
Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

S2 – A = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2,  
Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

S3 – A = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3,  
Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

S4 – A = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4,  
Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

S5 – A = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5,  
Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

S1 – B = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 3%

S2 – B = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 3%

S3 – B = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 3%

S4 – B = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 3%

S5 – B = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 3%

S1 – C = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 6%

S2 – C = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 6%

S3 – C = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 6%

S4 – C = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 6%

S5 – C = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 6%

S1 – D = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 9%

S2 – D = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 9%

S3 – D = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 9%

S4 – D = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 9%

S5 – D = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 9%

S1 – E = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 12%

S2 – E = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 12%

S3 – E = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3,  
Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 12%



- S4 – E = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 12%
- S5 – E = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 12%
- S1 – F = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 15%
- S2 – F = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 15%
- S3 – F = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 15%
- S4 – F = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 15%
- S5 – F = Uji Kuat Tekan + Modulus Elastisitas, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10% - LBB 15%
- TB1 – A = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%
- TB2 – A = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%
- TB3 – A = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%
- TB4 – A = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%
- TB5 – A = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 0% - LBB 0%

- TB1 – B = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 3%
- TB2 – B = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 3%
- TB3 – B = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 3%
- TB4 – B = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 3%
- TB5 – B = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 3%
- TB1 – C = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 6%
- TB2 – C = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 6%
- TB3 – C = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 6%
- TB4 – C = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 6%
- TB5 – C = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 6%
- TB1 – D = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 9%
- TB2 – D = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 9%

- TB3 – D = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 9%
- TB4 – D = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 9%
- TB5 – D = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 9%
- TB1 – E = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 12%
- TB2 – E = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 12%
- TB3 – E = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 12%
- TB4 – E = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 12%
- TB5 – E = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 12%
- TB1 – F = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 1, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 15%
- TB2 – F = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 2, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 15%
- TB3 – F = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 3, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 15%
- TB4 – F = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 4, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 15%

TB5 – F = Uji Tarik Belah, Sampel Silinder 5, Kandungan Campuran ASP 10%  
- LBB 15%

#### **4.6 Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu sebagai berikut.

##### **4.6.1 Persiapan**

Tahapan Persiapan adalah tahapan awal sebelum pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari beberapa sumber seperti jurnal dan buku. Selain itu, penyiapan terhadap bahan dan alat juga dilakukan demi kelancaran selama penelitian berlangsung.

##### **4.6.2 Pemeriksaan Agregat**

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

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 03-1970-2008)
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada (SNI 03-1969-2008)
3. Pengujian analisa saringan agregat halus menggunakan SNI 03-1968-1990
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar menggunakan (SNI 03-1968-1990)
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan SNI 03-4804-1998
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus menggunakan (SNI 03-4804-1998)

7. Pengujian lolos saringan no.200 / kandungan lumpur mengacu pada SNI 4142-1996

#### 4.6.3 Perencanaan Campuran (*Mix Desain*)

suatu perhitungan secara teoritis dalam penentuan proporsi bahan-bahan penyusun beton yang dipergunakan untuk kebutuhan campuran beton merupakan pengertian dari perencanaan campuran beton (*Mix Design*), hal ini dilaksanakan untuk mendapatkan proporsi campuran yang memenuhi syarat mutu. Tahapan *mix desain* yang menjadi acuan standar yaitu berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana 25 MPa. Adapun Langkah-langkah perencanaan campuran beton diterangkan sebagai berikut.

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

**Tabel 4. 2 Mutu Pekerjaan**

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

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

#### 4.6.4 Pembuatan Benda Uji

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

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

#### 4.6.5 Pengujian *Slump*

Pengujian nilai *slump* diuji berdasarkan acuan SNI 1972-2008. Pengujian *slump* bertujuan untuk menentukan kekentalan/keleccakan beton segar agar mendapatkan nilai

*slump* yang baik dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu beton rencana. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Kerucut abrams dibasahi terlebih dahulu dan diletakkan diatas permukaan yang datar, kaku, tidak menyerap air, lembab. Cetakan ditahan dengan kokoh oleh operator dan di bagian injakan cetakan selama pengisian beton segar.
2. Kerucut abram diisi dalam tiga lapis, untuk setiap lapisnya sepertiga dari volume cetakan.
3. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang penusuk. penusukan dilakukan secara merata di permukaan lapisan dan lapisan bawah pada bagian miring kerucut abram penusukan dilakukan secara miring. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan.
4. Pengisian adukan beton segar lapisan bagian atas diisi secara berlebih kemudian ditusuk 25 kali. Adukan beton ditambahkan kalau pematatan menghasilkan beton segar turun di bawah ujung atas kerucut abram.
5. Permukaan beton segar diratakan di bagian atas kerucut dengan metode batang penusuk digelindingkan di atasnya.
6. Kerucut dilepaskan segera dari beton segar dengan mengangkat ke arah vertikal secara hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu  $5 \pm 2$  detik tanpa gerakan lateral dan torsional. Seluruh pekerjaan pengujian slump diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 ½ menit.
7. Setelah beton menunjukkan terjadi penurunan pada permukaan, tingginya diukur bandingkan tinggi kerucut dan catat hasil pengukurannya.

#### 4.6.6 Perawatan Benda Uji

Untuk perawatan benda uji sudah mencapai *setting time* atau mengeras maka beton dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan perawatan. Perawatan yang dilakukan menggunakan metode perendaman hingga berumur 28 hari. Metode yang dimaksud adalah sebagai berikut. Metode perendaman di dalam air dilakukan dengan cara merendam benda uji pada air yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sampai dengan umur rencana.

#### 4.6.7 Pengujian Sifat Mekanik Beton

##### 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 berupa silinder yang telah dikeluarkan dari perawatan beton.
- b. Lakukan pengukuran dimensi dan tinggi dari benda uji serta menimbang berat benda uji.
- c. Meletakkan benda uji ke dalam dudukan mesin tekan dan pastikan dial beban menunjukkan angka 0, ketika dial tidak menunjukkan angka 0 maka dilakukan pengaturan dial terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian.
- d. Mulai pengujian dengan memberikan pembebanan dengan kecepatan 0,15 MPa/detik sampai dengan 0,35 MPa/detik hingga benda uji hancur.
- e. Lakukan pencatatan beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji.

##### 2. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Tujuan dari pengujian modulus elastisitas adalah untuk mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada beton. Pengujian ini berdasarkan pada SNI 4169-1996 Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton, karena kedua pengujian ini saling berkaitan. Berikut langkah-langkah pengujian modulus elastisitas beton.

- a. Persiapan seluruh beton uji yang akan diuji dan peralatannya.
- b. Ukur berat, diameter, dan tinggi benda uji dengan timbangan dan kaliper.
- c. Pasang kompresometer ekstensiometer pada benda uji, kemudian pasang alat pengukur deformasi.
- d. Letakkan benda uji dalam mesin uji tekan, lalu jalankan mesin uji hidraulik akan menekan benda uji perlahan.



- e. Lakukan pembacaan dan catatan deformasi setiap peningkatan beban 10 kN.
- f. Pembacaan selesai Ketika benda uji runtuh atau hancur.
- g. Lakukan pembacaan beban maksimum.

### 3. Kuat tarik/belah beton

Pengujian kuat tarik beton mengacu pada SNI 03-2491-2002. Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengukur kuat tarik/belah beton terhadap beton. Pengujian dilakukan pada umur 28 hari setelah pengecoran. Langkah-langkah pengujian kuat tarik beton adalah sebagai berikut:

- a) Siapkan alat dan benda uji yaitu silinder
- b) Memberikan tanda benda uji dengan cara menarik garis tengah pada setiap sisi ujung pada benda uji dengan menggunakan alat bantu yang sesuai, pastikan kedua garis tersebut berada dalam bidang aksial yang sama,
- c) Tempatkan bantalan penahan beban diatas meja tekan bagian bawah dari mesin uji pada bagian tengah-tengahnya,
- d) Tempatkan benda uji pada bantalan sedemikian rupa sehingga pada garis tengah pada benda uji terlihat tegak lurus terhadap titik tengah bantalan penahan beban tersebut,
- e) Sesuaikan posisi pengujian hingga kondisi tercapai: proyeksi bidang yang ditandai dengan garis tengah pada setiap ujung benda uji tepat sejajar dengan titik tengah meja penekan bagian atas dari meja uji,
- f) Selanjutnya, menjalankan mesin uji dengan pemberian beban dilakukan secara konstan hingga benda uji terbelah dan selanjutnya beban maksimum dicatat.

#### 4.6.8 Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan perbandingan berdasarkan kategori variabel tertentu untuk memperoleh nilai yang terjadi seperti hubungan sebab akibat yang berkaitan

dengan uji kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur serta perbedaan antara variasi bahan tambah yang digunakan terhadap mutu beton normal.

#### 4.6.9 Pembahasan

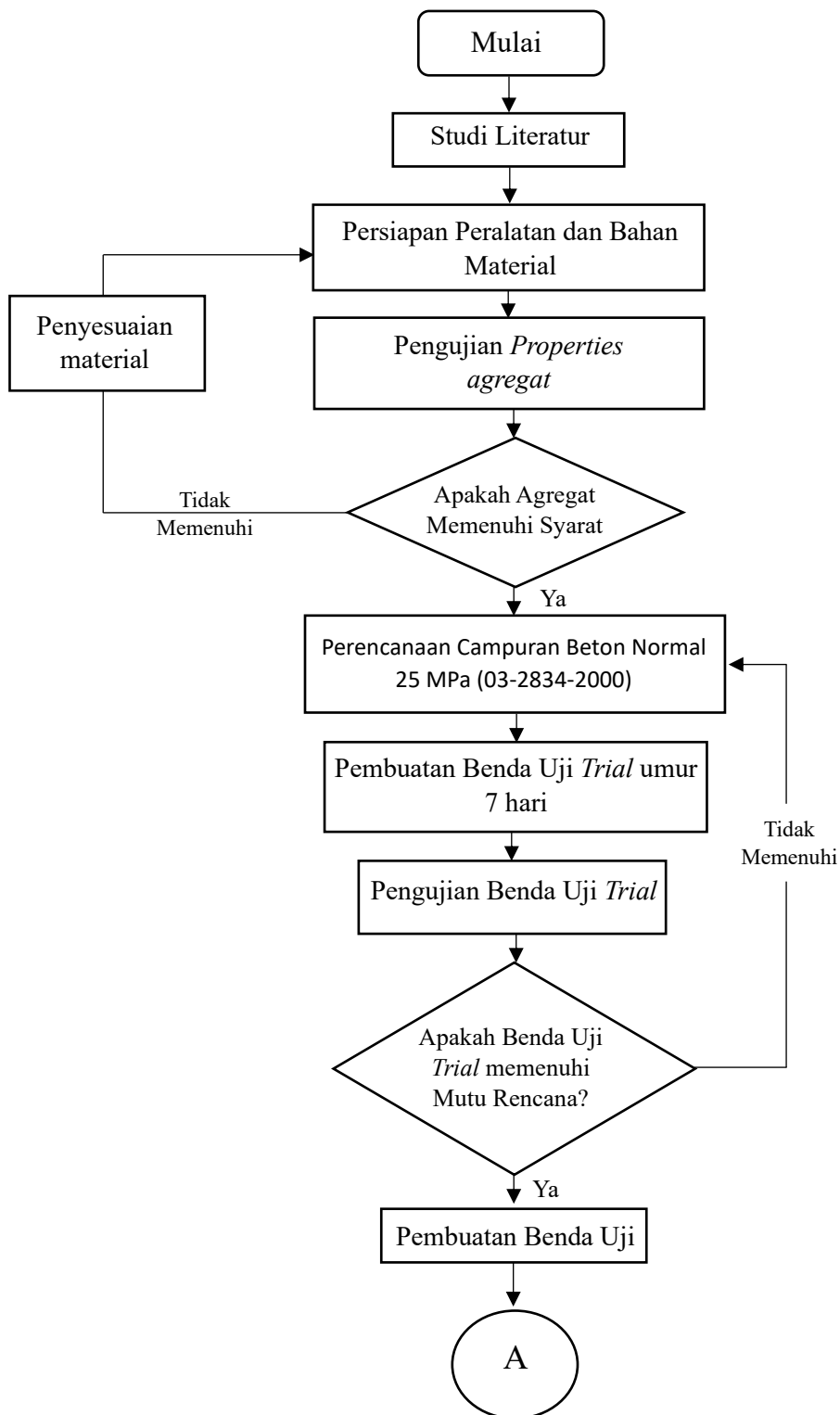
Pembahasan merupakan tahapan dimana penulis membahas hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan jawaban terhadap perbedaan yang ditemukan pada saat melakukan perbandingan hasil pengujian pada tahap analisis pengujian.

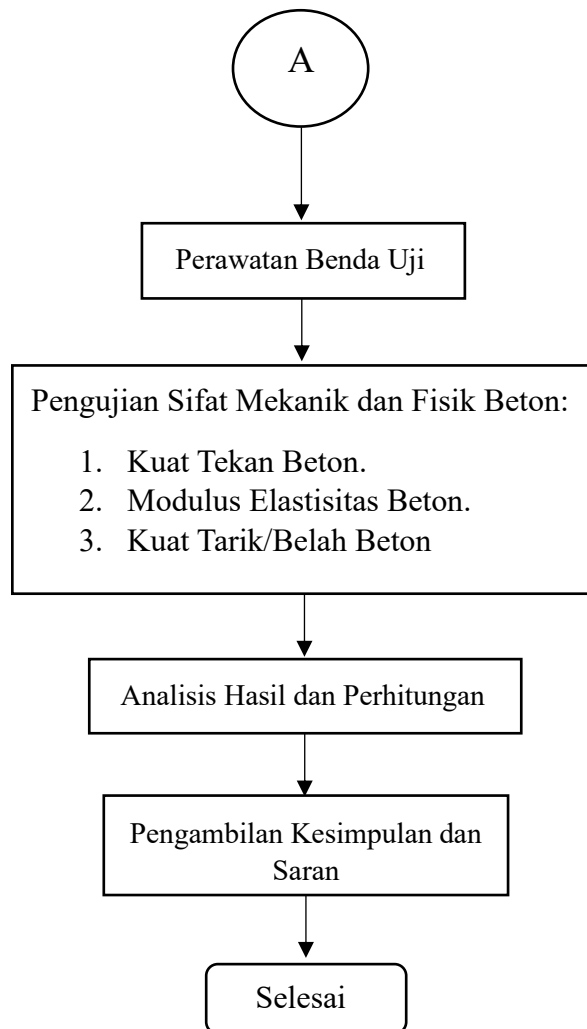
#### 4.6.10 Kesimpulan dan Saran

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

### 4.7 **Bagan Alir Tahapan Penelitian**

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





**Gambar 4. 14 Bagan Alir Tahapan Penelitian**

## **BAB V**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Tinjauan Umum**

Data penelitian harus dianalisis dan dibahas guna mencapai tujuan yang akan direncanakan dari hasil penelitian. Bab ini menjelaskan hasil penelitian yang dilakukan penulis di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), dimulai dengan pemeriksaan komponen penyusun beton, perencanaan campuran beton, pencampuran penyusun beton dan pengujian beton yang telah dibuat.

#### **5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton**

Pada pemeriksaan komposisi beton, peneliti memperoleh data material seperti berat jenis, penyerapan air, berat isi gembur dan berat isi padat agregat, bahan yang digunakan untuk mencampur beton dan pemeriksaan bagian baton mempunyai persyaratan yang harus dipenuhi.

##### **5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus**

Pasir Progo yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian agregat halus tersebut meliputi uji berat jenis agregat halus, uji penyerapan air, uji analisa saringan, uji berat volume padat dan berat volume gembur, dan pengujian lolos saringan no.200 (uji kadar lumpur pasir).

##### **1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus**

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

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\ &= \frac{482}{658 + 500 - 952} \end{aligned}$$

$$= 2,340$$

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

$$= \frac{500}{658+500-952}$$

$$= 2,427$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$$

$$= \frac{482}{658+482-952}$$

$$= 2,568$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{500 - Bk}{Bk \times 100\%}$$

$$= \frac{500 - 482}{482 \times 100\%}$$

$$= 3,373 \%$$

Perhitungan yang dilakukan pada sampel 1 sama seperti perhitungan sampel 1, sehingga didapatkan nilai rerata untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut

**Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	482	485	483,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	952	1005	978,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	658	691	674,5

**Lanjutan Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat Jenis Curah Bk / (BJ – Ba)	2,340	2,608	2,474
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,427	2,668	2,558
Berat Jenis Semu Bk / (Bk-Ba)	2,564	2,836	2,7
Penyerapan Air (500-Bk) / Bk x 100%	3,734%	3,092%	3,41

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan penulis diperoleh berat jenis jenuh kering permukaan rata-rata sebesar 2,558 gram/m<sup>3</sup> dan penyerapan air rata-rata sebesar 3,41%. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,5 – 2,7.

## 2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Adapun Hasil pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

### a. Persentase Berat Tertinggal

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

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{8}{2000} \times 100\% \\ &= 0,40\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{94}{2000} \times 100\% \\ &= 4,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{137}{2000} \times 100\% \\
 &= 6,85\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{368}{2000} \times 100\% \\
 &= 18,40\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{952}{2000} \times 100\% \\
 &= 47,60\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{396}{2000} \times 100\% \\
 &= 19,80\% \\
 \text{Pan} &= \frac{45}{2000} \times 100\% \\
 &= 2,250\%
 \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 0,40\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 0,40\% + 4,70\% = 5,10\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 5,10\% + 6,85\% = 11,95\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 11,95\% + 18,40\% = 30,35\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 30,35\% + 47,60\% = 77,95\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 77,95\% + 19,80\% = 97,75\% \\
 \text{Pan} &= 97,75\% + 2,250\% = 100\%
 \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned}
 \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 0,40\% = 99,60\% \\
 \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 5,10\% = 94,90\% \\
 \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 100\% - 11,95\% = 88,05\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 100\% - 30,35\% = 69,65\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= 100\% - 77,95\% = 22,05\% \\
 \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 100\% - 97,75\% = 2,25\% \\
 \text{Pan} &= 100\% - 100\% = 0\%
 \end{aligned}$$



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

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	8	0,40	0,40	99,60
2.40	94	4,70	5,10	94,90
1.20	137	6,85	11,95	88,05
0.60	368	18,40	30,35	69,65
0.30	952	47,60	77,95	22,05
0.15	396	19,80	97,75	2.25
Sisa	45	2,250	100,000	0
Jumlah	2000	100	223,500	376,500
MHB				2.235

**Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Pada Agregat Halus Sampel 2**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	5	0.25	0,25	99,75
2,40	75	3,75	4,00	96,00
1,20	125	6,25	10,25	89,75
0,60	463	23.15	33,40	66,60
0,30	925	46,25	79,65	20,35

**Lanjutan Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisis Saringan Pada Agregat Halus  
Sampel 2**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
0,15	376	18,80	98,45	1,55
Sisa	31	1,550	100,000	0
Jumlah	2000	100	226,000	374,000
MHB				2,260

Berdasarkan Tabel 5.2 dan 5.3 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 \text{MHB Sampel 1} &= \frac{223.500}{100} \\
 &= 2.235 \\
 \text{MHB Sampel 2} &= \frac{226.000}{100} \\
 &= 2.260 \\
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} \\
 &= 2,25
 \end{aligned}$$

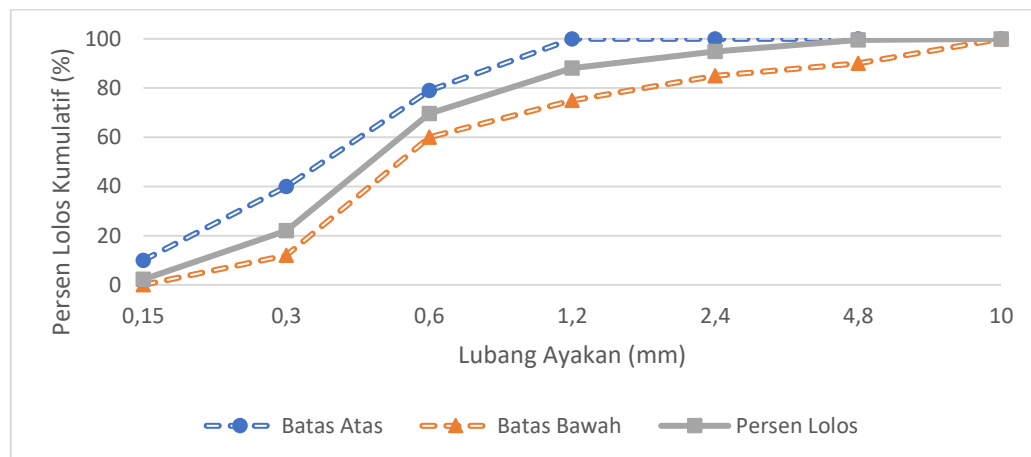
Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Pada dasarnya agregat halus memiliki modulus halus butir pada rentang 1,5-3,8 Menurut (Tjokrodinuljo, 2007). Pada pengujian ini didapatkan dari pengujian modulus halus butir tersebut didapatkan rata-rata 2,25 yang berarti agregat halus memenuhi syarat. Pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat halus. Daerah gradasi yang diperoleh dari pengujian modulus halus butir berada pada daerah

gradasi III yaitu gradasi dengan jenis pasir agak halus. Daerah agregat halus dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

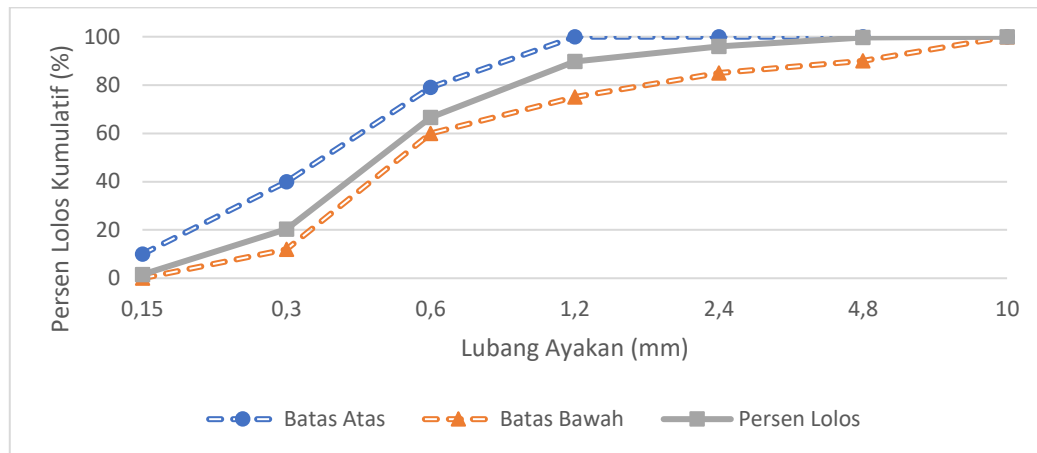
**Tabel 5. 4 Daerah Gradasi Agregat Halus**

Gradasi Pasir				
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

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



**Gambar 5. 1 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1**



**Gambar 5. 2 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2**

3. Hasil pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus.

Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat volume padat dan gembur sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19861 - 10391 \\
 &= 9470 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\
 &= 5283,7074 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{9470}{5283,7074} \\
 &= 1,7923 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Voume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18992 - 10391
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8601 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285.4628 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8601}{5285.4628} \\
 &= 1,6273 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

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

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10391	10493	10442
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19861	19230	19545,5
Berat Agregat (W3)	9470	8737	9103,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,1	30,1
Volume Tabung (V)	5283,7074	5283,7074	5283,707436
Berat Volume Padat	1,7923	1,6536	1,722

**Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10391	10493	10442
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18992	18530	18761
Berat Agregat (W3)	8601	8037	8319
Diameter Tabung (d)	14,9500	14,9500	14,95

### Lanjutan 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Pada Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,4628	5285,4628	5285,4628
Berat Volume Gembur	1,6273	1,5206	1,573

Berdasarkan Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 diatas, hasil analisis perhitungan berat volume gembur agregat halus sebesar 1,722 gram/cm<sup>3</sup> dan rata-rata berat nilai volume padat agregat halus adalah 1,5739 gram/cm<sup>3</sup>.

4. Hasil pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur pasir) pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 4142-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan lumpur} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\
 &= \frac{500 - 482}{500} \times 100\% \\
 &= 0,36\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	482	485	483,5
Berat yang Lolos Ayakan No.200	0,04	0,03	0,035

Berdasarkan pengujian lolos saringan No.200 diperoleh rata-rata kadar lumpur sebesar 0.035%. Menurut PUBI-1982 dari Panduan Praktikum Teknologi

Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia kandungan lumpur agregat halus tidak boleh melebihi 5%. Kadar lumpur yang tinggi dapat mengganggu daya rekat agregat halus terhadap pasta semen karena ikatan pasta antara semen dan agregat halus diisi oleh kandungan lumpur. Hal ini akan mempengaruhi syarat <5% sehingga agregat halus dapat digunakan untuk pencampuran beton.

### 5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Agregat kasar Clereng digunakan dalam penelitian ini. Penulis melakukan uji berat jenis, penyerapan air kasar, uji analisa saringan, dan uji berat volume padat dan berat volume gembur.

#### 1. Hasil uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode dari SNI 03-1969-2008. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{Bj - Ba} \\ &= \frac{4970}{5000 - 3074} \\ &= 2,580 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis (SSD)} &= \frac{Bj}{Bj - Ba} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3074} \\ &= 2,596 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{Bk}{Bk - Bt} \\ &= \frac{4970}{4970 - 3074} \\ &= 2,621 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air} &= \frac{Bj - Bk}{Bk \times 100\%} \\ &= \frac{5000 - 497}{497 \times 100\%} \end{aligned}$$

$$= 0,60 \%$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 1 untuk kemudian didapatkan nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut. Hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

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

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4970	4958	4964
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka (bj)	5000	5000	5000
Berat Kerikil dalam air, gram (Ba)	3074	3060	3067
Berat Jenis Curah Bk/(Bj-Ba)	2,580	2,556	2,568
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,596	2,577	2,587
Berat Jenis Semu Bk/(Bk-Ba)	2,621	2,612	2,617
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	0,60%	0,85%	0,725%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, diperoleh rata-rata berat jenis jenis permukaan kering muka rata-rata sebesar 2,568 gram/m<sup>3</sup> dan penyerapan air rata-rata sebesar 0,725%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa agregat kasar masuk dalam kategori agregat normal dan sudah memenuhi syarat, karena syarat berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) agregat kasar berada rentan 2,5-2,7 sesuai dengan penelitian yang dilakukan Tjokrodinuljo 2007,

## 2. Pengujian analisa saringan agregat kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar untuk mengetahui nilai modulus halus butir agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Sampel yang digunakan untuk pengujian ini adalah kerikil dengan berat 5000 gram.



Dari pengujian ini didapatkan berat tertinggal disetiap nomor saringan. Perhitungan analisa saringan agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

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

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{5000} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{43}{5000} \times 100\% \\ &= 0,86\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3643}{5000} \times 100\% \\ &= 72,86\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1259}{5000} \times 100\% \\ &= 25,18\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{9}{5000} \times 100\% \\ &= 0,18\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{6}{5000} \times 100\% \\ &= 0,12\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{40}{5000} \times 100\% \\ &= 0,8\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 20 mm} = 0\% + 0,86\% = 0,86\%$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = 0,86\% + 72,86\% = 73,72\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,80 mm} = 73,72\% + 25,18\% = 98,9\%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,40 mm} = 98,9\% + 0,18\% = 99,08\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 99,08\% + 0,12\% = 99,02\% \\ \text{Pan} &= 99,02\% + 0,8\% = 100\% \end{aligned}$$

## c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% = 100\% \\ \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,86\% = 99,14\% \\ \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 73,72\% = 26,28\% \\ \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 98,9\% = 1,10\% \\ \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 99,08\% = 0,92\% \\ \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 100\% - 99,2\% = 0,80\% \\ \text{Pan} &= 100\% - 100\% = 0\% \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya yang dilakukan pada sampel 2 sama seperti perhitungan sampel 1. Sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk pengujian analisa saringan agregat halus. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	43	0,86	0,86	99,14
10,00	3643	72,86	73,72	26,28
4,80	1259	25,18	98,9	1,10
2,40	9	0,18	99,08	0,92
1,20	6	0,12	99,2	0,80
0,60	0	0	99,2	0,80
0,30	0	0	99,2	0,80
0,15	0	0	99,2	0,80
Sisa	40	0,8	100	0
Jumlah	5000	100	669,36	230,64
MHB				6,6936

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	14	0,28	0,28	99,72
10,00	3529	70,58	70,86	29,14
4,80	1377	27,54	98,4	1,60
2,40	12	0,24	98,64	1,36
1,20	3	0,06	98,7	1,30
0,60	0	0	98,7	1,30
0,30	0	0	98,7	1,30
0,15	0	0	98,7	1,30
Sisa	65	1,3	100	0,00
Jumlah	5000	100	662,98	237,02
MHB				6,6298

$$\text{MHB} = \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 1} &= \frac{669,36}{100} \\ &= 6,693 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB Sampel 2} &= \frac{662,98}{100} \\ &= 6,629 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\ &= 6,661 \end{aligned}$$

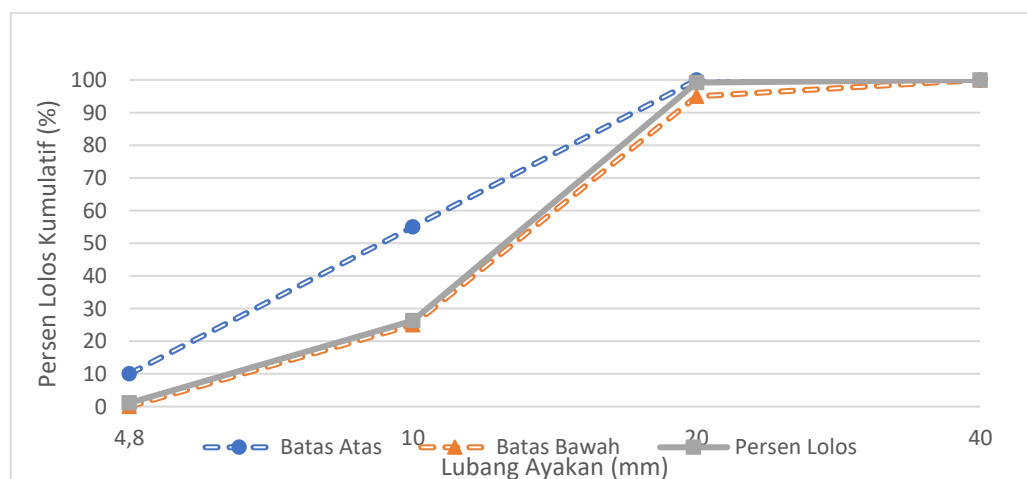
Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat kasar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Menurut (Tjokrodimuljo, 2007), agregat kasar pada dasarnya memiliki modulus halus butir yang berkisar antara 5-7. Pada pengujian ini didapatkan dari pengujian modulus halus butir tersebut didapatkan rata-rata 6,661 yang berarti agregat kasar memenuhi syarat. Pengujian ini

menunjukkan bahwa hasil dari pengujian modulus halus butir memenuhi persyaratan yang ditentukan. Hasil uji analisis saringan agregat kasar juga menunjukkan batas maksimum agregat kasar seperti terlihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

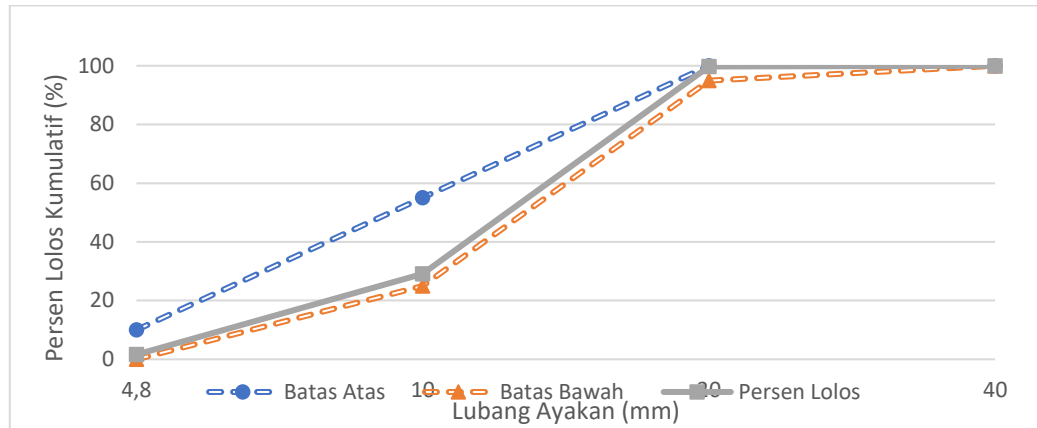
**Tabel 5. 11 Batas Gradasi Agregat Kasar**

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besaran Butiran Maksimum		
	40mm	20mm	10mm
40,00	95-100	100	-
20,00	37-70	95-100	100
10,00	10-40	30-60	50-85
4,80	0-5	0-10	0-10

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



**Gambar 5. 3 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1**



**Gambar 5. 4 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2**

3. Hasil pengujian berat volume padat dan berat volume gembur

Melakukan pengujian berat volume berat volume padat dan berat volume gembur agregat kasar dengan metode SNI 03-4804-1998. Perhitungan berat volume padat dan gembur pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 19254 - 11191 \\
 &= 8063 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285,4628 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{8063}{5285,4628} \\
 &= 1,5255 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18378 - 11191 \\
 &= 7187 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,11 \\
 &= 5285.4628 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Tabung} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7187}{5285.4628} \\
 &= 1,3598 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

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

**Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11191	10693	10942
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19254	18891	19072,2
Berat Agregat (W3), gram	8063	8198	14,95
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5285,4628	5285,4628	5285,463
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,5255	1,5510	1,5382

**Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	11191	10693	10942
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18378	17836	18107
Berat Agregat (W3), gram	7187	7143	7165
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95

**Lanjutan Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5285,4628	5285,4628	5285,46
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,3598	1,3514	1,35561

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 diatas didapatkan hasil analisis berat volume, rata-rata berat volume gembur agregat kasar sebesar 1,35561 gram/cm<sup>3</sup> dan rata-rata berat volume padat agregat kasar sebesar 1,5382 gram/cm<sup>3</sup>.

### 5.2.3 Hasil Pemeriksaan Limbah Batu Bata

Pemeriksaan limbah batu bata dilakukan pengujian karena sebagian dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus. Limbah batu bata dari limbah konstruksi bangunan digunakan dalam penelitian ini. Pada limbah batu bata dilakukan uji berat jenis dan penyerapan air yang sama seperti untuk agregat halus, uji analisa saringan, uji berat volume padat dan berat volume gembur, dan uji lolos saringan no. 200.

#### 1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air limbah batu bata

Pelaksanaan pengujian ini digunakan dengan metode yang sama dengan agregat halus yaitu SNI 03-1970-2008. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{Bk}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{477}{656 + 500 - 964} \\
 &= 2,484
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Jenis (SSD)} &= \frac{500}{B+500-Bt} \\
 &= \frac{500}{656+500-964} \\
 &= 2,604
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Semu} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\ &= \frac{477}{656 + 477 - 964} \\ &= 2,822 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air} &= \frac{500 - Bk}{Bk \times 100\%} \\ &= \frac{500 - 477}{477 \times 100\%} \\ &= 4,821\% \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2 untuk kemudian didapatkan nilai rata-rata dari kedua sampel tersebut. Hasil rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air limbah batu bata dapat dilihat pada Tabel 5.14

**Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Batu Bata**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	477	482	479,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	964	969	966,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	656	677	666,5
Berat Jenis Curah Bk / (BJ - Ba)	2,484	2,317	2,459
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,604	2,404	2,504
Berat Jenis Semu Bk / (Bk-Ba)	2,822	2,357	2,680
Penyerapan Air (500-Bk) / Bk x 100%	4,821%	3,734%	4,278%



Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, diperoleh rata-rata berat jenis permukaan kering rata-rata sebesar 2,504 gram/cm<sup>3</sup> dan rata-rata penyerapan air sebesar 4,278%. Jika dikombinasikan dengan persyaratan bahwa berat jenis standar agregat normal antara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo, 2007), maka berat jenis tersebut memenuhi persyaratan.

## 2. Hasil pengujian analisa saringan limbah batu bata

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Dari Hasil pengujian analisa saringan limbah batu bata mendekati seperti agregat halus. Adapun perhitungan analisa saringan limbah batu bata sampel 1 adalah sebagai berikut.

### a. Persentase Berat Tertinggal

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

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{34}{2000} \times 100\% \\ &= 1,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{363}{2000} \times 100\% \\ &= 18,15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{338}{2000} \times 100\% \\ &= 16,90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{357}{2000} \times 100\% \\ &= 17,85\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{504}{2000} \times 100\% \\ &= 25,20\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{268}{2000} \times 100\% \end{aligned}$$

			= 13,40%
Pan			= $\frac{136}{2000} \times 100\%$
			= 6,80%
b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif			
Lubang ayakan 4,80 mm			= 1,70%
Lubang ayakan 2,40 mm	= 1,70% + 18,15%		= 19,85%
Lubang ayakan 1,20 mm	= 19,85% + 16,90%		= 36,75%
Lubang ayakan 0,60 mm	= 36,75% + 17,85%		= 54,60%
Lubang ayakan 0,30 mm	= 54,60% + 25,20%		= 79,80%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 79,80% + 13,40%		= 93,20%
Pan	= 93,20% + 6,80%		= 100%
c. Persentase Lolos Kumulatif			
Lubang ayakan 4,80 mm	= 100% - 1,70%		= 98,30%
Lubang ayakan 2,40 mm	= 100% - 19,85%		= 80,15%
Lubang ayakan 1,20 mm	= 100% - 36,75%		= 63,25%
Lubang ayakan 0,60 mm	= 100% - 54,60%		= 45,40%
Lubang ayakan 0,30 mm	= 100% - 79,80%		= 20,20%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 93,20%		= 6,80%
Pan	= 100% - 100%		= 0%

Perhitungan selanjutnya yang dilakukan pada sampel 2 sama seperti perhitungan sampel 1. Sehingga didapatkan nilai rata-rata untuk pengujian analisa saringan limbah batu bata. Hasil pengujian analisa saringan limbah batu bata dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

**Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Limbah Batu Bata Sampel 1**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	34	1,70	1,70	98,30
2,40	363	18,15	19,85	80,15
1,20	338	16,90	36,75	63,25
0,60	357	17,85	54,60	45,40
0,30	504	25,20	79,80	20,20
0,15	265	13,40	93,20	6,80
Sisa	136	6,800	100,000	0
Jumlah	2000	100	285,900	314,100
MHB				2,859

**Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Pada Limbah Batu Bata Sampel 2**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	28	1,40	1,40	98,60
2,40	386	19,30	20,70	79,30
1,20	322	16,10	36,80	63,20
0,60	298	14,90	51,70	48,30
0,30	516	25,80	77,50	22,50
0,15	323	16,15	93,65	6,35
Sisa	127	6,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	281,750	318,250
MHB				2,818

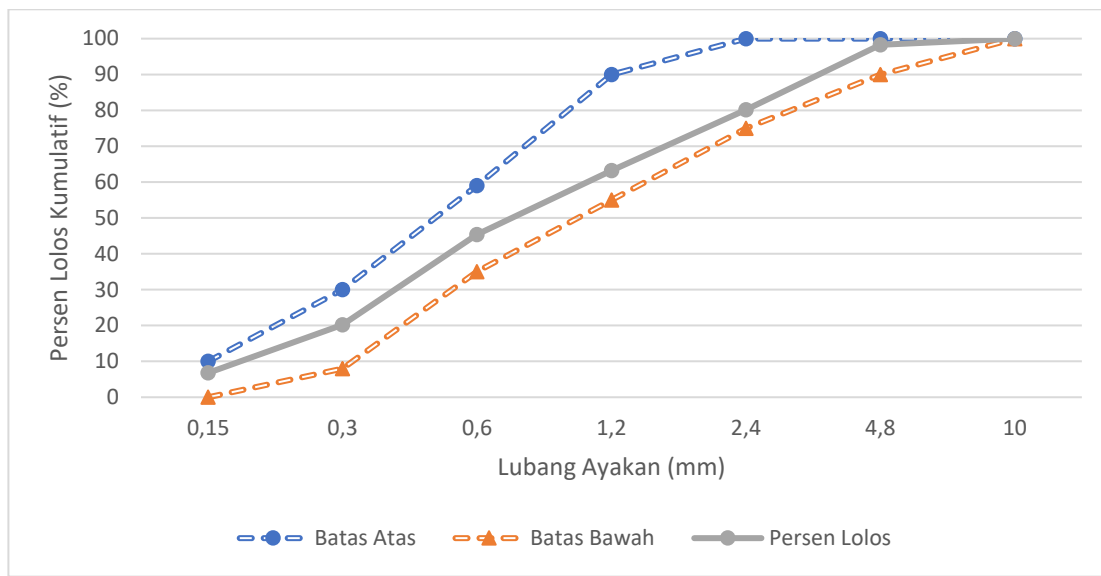
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggi kumulatif}}{100} \\
 \text{MHB Sampel 1} &= \frac{285,9}{100} \\
 &= 2,859 \\
 \text{MHB Sampel 2} &= \frac{281,750}{100} \\
 &= 2,818 \\
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= 2,83
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas modulus halus butir agregat halus telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan. Pada dasarnya agregat halus memiliki modulus halus butir pada rentan 1,5-3,8 Menurut (Tjokrodinuljo, 2007). Pada pengujian ini didapatkan dari pengujian modulus halus butir tersebut didapatkan rata-rata 2,83 yang berarti limbah batu bata memenuhi syarat. Pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada limbah batu bata untuk substitusi agregat halus. Daerah gradasi yang diperoleh dari pengujian modulus halus butir berada pada daerah gradasi II yaitu gradasi dengan jenis pasir agak kasar. Daerah agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut ini.

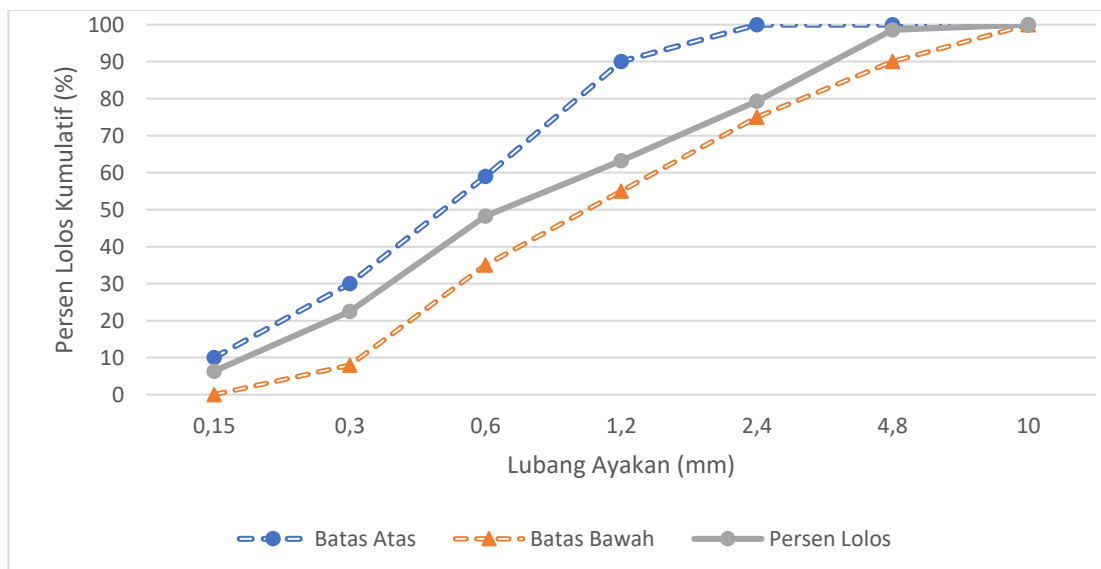
**Tabel 5. 17 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus**

Gradasi Pasir				
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

Berdasarkan Tabel 5.17 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi II dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara presentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan gambar 5.6



**Gambar 5. 5 Analisa Saringan Limbah Batu Bata Sampel 1**



**Gambar 5. 6 Analisa Saringan Limbah Batu Bata Sampel 2**

Berdasarkan Tabel 5.15 dan Tabel 16 limbah batu bata yang digunakan merupakan jenis pasir agak kasar dan memenuhi persyaratan gradasi II. Representasi grafik dari hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang dapat dilihat Gambar 5.5 dan Gambar 5.6. jika dilihat pada lubang saringan 4,8-1,2 mm, terlihat berat sisa limbah batu bata masih memiliki ukuran butir yang besar dibandingkan pasir. Karena, limbah batu bata mengandung butir ukuran besar sisa proses pembakaran pada saat pembuatan batu bata. Namun dengan lubang saringan 0,6 mm sisa pada limbah batu bata memiliki ukuran butir yang lebih kasar dibanding pasir, karena, ketika limbah batu bata dihaluskan menjadi agregat halus, sebagian butiran dari pecahan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pasir alami. Dari sini dapat disimpulkan bahwa limbah batu bata masih termasuk dalam gradasi II (Agak Kasar).

3. Hasil pengujian berat volume padat dan gembur limbah batu 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.

a. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 19668 - 10229 \\ &= 9039 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,1 \\ &= 5283,7074 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{9039}{5283,7074} \\ &= 1,707 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Gembur

$$1) \text{ Berat Agregat (W3)} = W2 - W1$$

$$\begin{aligned}
 &= 18474 - 1229 \\
 &= 7845 \text{ gram} \\
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,95^2 \times 30,05 \\
 &= 5274,9305 \text{ cm}^3 \\
 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7845}{5274,9305} \\
 &= 1,6273 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk perhitungan sampel 2 dapat dihitung dengan cara yang sama dengan sampel 1. Hasil perhitungan kedua sampel tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19

**Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Batu Bata Merah**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10229	10237	10233
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19668	19689	19678,5
Berat Agregat (W3), gram	9039	9052	9045,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,12	30,1
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5283,7074	5287,218	5285,463
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,710	1,712	1,711

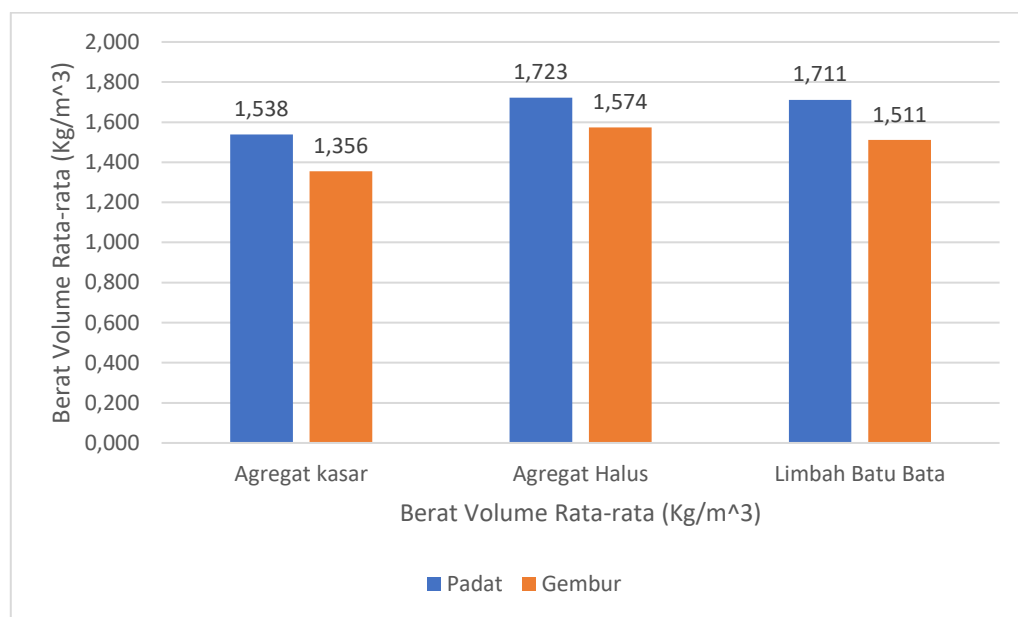
**Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Batu Bata Merah**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10229	120237	10233
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18474	18794	18634
Berat Agregat (W3), gram	7845	8105	7975

**Lanjutan Tabel 5.19 Hasil Pengujian Berat Volume gembur Batu Bata Merah**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,05	30,08	30,065
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5274,930	5280,196	5277,563
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,487	1,535	1,511

Berdasarkan Tabel 5.18 dan 5.19, hasil analisis perhitungan berat volume gembur menunjukkan rata-rata sebesar 1,511 gram/cm<sup>3</sup> dan rata-rata volume padat limbah batu bata sebesar 1,711 gram/cm<sup>3</sup>.

**Gambar 5. 7 Perbandingan Berat Volume Material**

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat dilihat grafik perbandingan berat volume diatas penyesuaian dengan kebutuhan berat volume dengan hasil berat volume limbah batu bata yang dihasilkan memenuhi persyaratan. Dengan membandingkan berat volume menunjukkan pada pengujian berat volume batu bata didapatkan nilainya lebih besar dibandingkan dengan berat volume pasir. Hal ini bisa dilihat pada



pengujian gradasi, limbah batu bata masih memiliki sisa batu yang berukuran cukup besar dari hasil proses pembakaran batu bata sehingga membuat nilai berat volume lebih besar jika dibandingkan berat volume pasir akan tetapi nilai tidak berbeda secara signifikan.

4. Hasil Pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur)

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Kandungan lumpur} &= \frac{W1-W2}{W1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 482}{500} \times 100\% \\ &= 3,60\% \end{aligned}$$

**Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven Setelah dicuci (W2), gram	473	475	474
Berat yang Lolos Ayakan No.200	5,40	5,00	5,20

Berdasarkan uji lolos saringan no.200, kandungan lumpur rata-rata sebesar 5,20%. Menurut Pedoman Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia PUBI-1982, kadar lumpur agregat halus tidak boleh melebihi 5%. Kadar lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi daya rekat agregat halus terhadap pasta semen, karena ikatan perekat antara semen dan agregat halus terisi oleh kandungan lumpur sehingga dapat merusak beton eksisting. Hal ini juga dapat mempengaruhi kekuatan beton. Pada pengujian limbah batu bata tidak memenuhi syarat <5% dikarenakan pada bagian saringan no.200 sebagian batu bata tidak mengandung lumpur

akan tetapi karakteristik pada batu bata memiliki bentuk yang cukup kasar dikarenakan batu bata pada saat pembuatan dilakukan pembakaran untuk menjadi batu bata agar menjadi padat.

### 5.3 Perencanaan Campuran Beton

Pada penelitian ini digunakan SNI 03-2834-2000 untuk perencanaan campuran beton. Tujuan perencanaan beton adalah untuk memperoleh perbandingan campuran yang sesuai dengan kuat tekan beton yang direncanakan. Pada rencana beton normal direncanakan memiliki nilai kuat tekan rencana 25 MPa yang perhitungannya sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ( $f'c$ ) = 25 MPa dan benda uji dilakukan pengujian pada umur rencana 28 hari.
2. Nilai deviasi standar 7 MPa diambil dari nilai tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
3. Semen yang digunakan semen Portland tipe I yaitu PCC merek semen Dynamix.
4. Agregat yang digunakan berupa agregat halus dari progo dan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm dari clereng, kulon progo.
5. Nilai tambah ( $M$ ) = 12 MPa, diambil dari rumus
 
$$M = 1,64 \times S$$

$$= 11,48 \text{ atau } 12 \text{ MPa.}$$
6. Kekuatan beton rata-rata yang ditargetkan dengan rumus sebagai berikut.
 
$$F'_{cr} = f'_{cr} + M$$

$$= 25 + 12$$

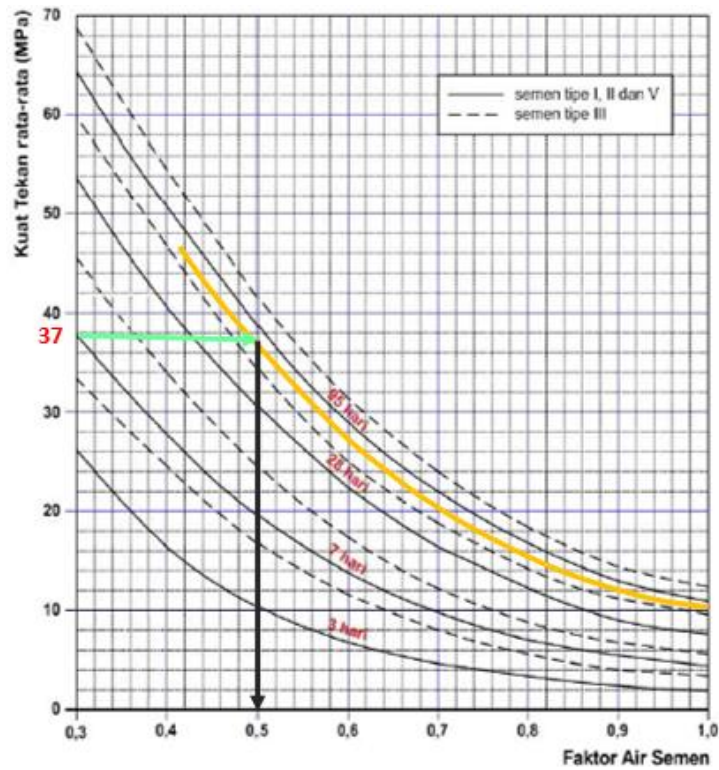
$$= 37 \text{ MPa}$$
7. Menentukan nilai faktor air semen ( $f_{as}$ ). Menggunakan Tabel 5.21 dan gambar 5.8 berikut.

**Tabel 5. 21 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan jenis semen serta agregat halus yang digunakan di Indonesia.**

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (Hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecah	21	28	38	44	Silindir
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

- a. Digunakan semen Portland tipe I, jenis agregat kasar adalah batu pecah, kuat tekan pada umur 28 hari dengan benda uji silinder. Sehingga berdasarkan tabel 5.21 didapatkan perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa.
- b. Menggukan gambar 5.8 berikut ini, tarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan 37 MPa dan tarik garis vertikal ke atas dengan acuan fas 0,5 sampai dengan didapatkan titik perpotongan antara 2 garis tersebut kemudian dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan tersebut.
- c. Setelah terdapat kurva acuan baru, maka tarik garis horizontal ke kanan dengan acuan kuat tekan rencana yaitu 37 MPa sampai memotong kurva acuan tersebut. Setelah menyentuh kurva tarik garis ke arah vertikal bawah hingga menyentuh sumbu x. sehingga didapatkan fas sebesar 0,5. Gambar 5.8, hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)



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

### Gambar 5. 8 Hubungan antara kuat tekan dan faktor air semen (FAS)

8. Bahan tambah yang digunakan limbah batu bata yang berasal dari sisa Pembangunan dengan penggunaan variasi substitusi agregat halus sebesar 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Dengan ukuran butiran halus kurang dari 4,80 mm.
9. Penggunaan abu sekam padi dari pembakaran sekam yang sudah menjadi halus dengan penggunaan substitusi semen sebesar 10% dari berat semen pada setiap variasinya.
10. Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump rencana sebesar 60-180 mm.
11. Menentukan kadar air yang diperlukan.

Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan tabel 5.22 sebagai berikut.

**Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m<sup>3</sup>) yang Dibutuhkan Untuk Beberaoa Tingkah Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton**

Slump (mm)		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat	-	-	-	-
10	Batu tak dipecah	150	180	203	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

- Digunakan ukuran butiran maksimum agregat hasil pengujian analisa saringan agregat kasar diperoleh sebesar 20mm dan digunakan jenis batuan dari agregat halus (batu tak dipecah) dan agregat kasar (batu pecah).
- Digunakan nilai *slump* 60-180 mm.
- Hasil kadar air bebas ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

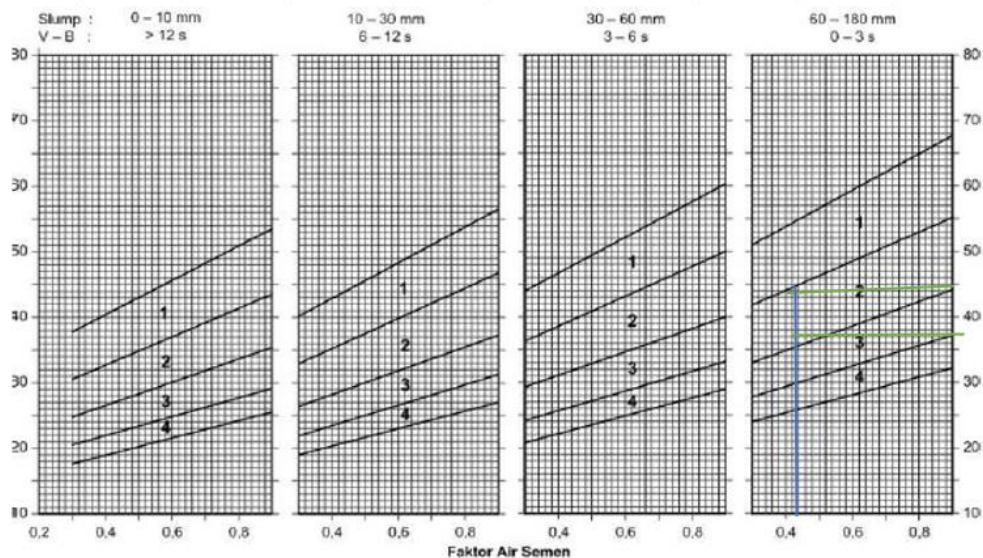
$$\begin{aligned}
 \text{Kadar air bebas} &= \frac{2}{3} W_b + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} 195 + \frac{1}{3} 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- Dari Tabel 3.4, kadar air semen minimum untuk beton yang direncanakan di luar ruangan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari adalah kadar semen minimum sebesar 325 kg per-m<sup>3</sup> dan nilai faktor air semen maksimum 0,5. Dalam hal ini, jumlah minimum semen diberikan rumus dari berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah semen minimum per m}^3 \text{ beton} &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 401,961 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- Menetapkan persentase ageregat halus dan agregat kasar.

- a. Digunakan ukuran maksimum agregat kasar 20 mm, slump yang direncanakan masuk ke dalam *range* 60-180, nilai fas sebesar 0,5.
- b. Kemudian ditarik garis vertikal dari fas 0,5 ke atas hingga menyentuh kurva atas dan bawah zona gradas IV. Setelah menyentuh kurva tarik garis yang menyentuh batas atas dan bawah dari kurva ke arah horizontal kanan. Sehingga, didapatkan nilai persentase batas atas dan batas bawah seperti pada gambar 5.9 sebagai berikut.
- c. Persentase agregat halus rata-rata 
$$= \frac{45,5+36,5}{2}$$
$$= 41\%$$
- d. Persentase agregat kasar 
$$= 100\% - 41\%$$
$$= 59\%$$



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

### Gambar 5. 9 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total

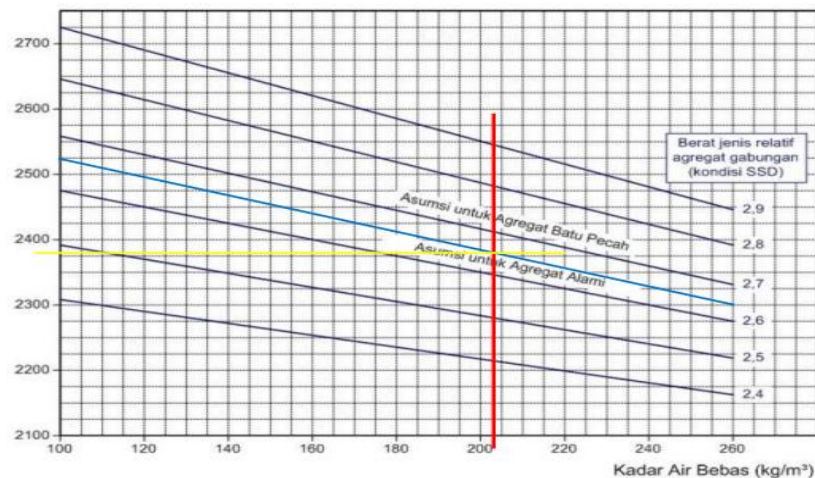
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

14. Perhitungan berat jenis agregat gabungan dihitung dengan menggunakan nilai yang diperoleh dari pemeriksaan bahan susun beton. Dengan Demikian, berat

jenis agregat halus ( $BH_{AH}$ ) adalah 2,55 dan berat jenis agregat kasar ( $BJ_{AK}$ ) adalah 2,58. Menghitung berat jenis gabungan berdasarkan rumus ini adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan (BJ}_{AG}) &= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \\ &= (41\% \times 2,55) + (59\% \times 2,58) \\ &= 2,568 \end{aligned}$$

15. Gambar 5.10 menunjukkan nilai berat jenis pada saat kadar air bebas yang digunakan adalah 205 dan berat jenis gabungan adalah 2,5. maka nilai berat isi beton diperoleh sebagai berikut.



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

### Gambar 5. 10 Grafik Perkiraan Berat Isi beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan gambar 5.10 diperoleh nilai berat isi beton basah untuk penelitian sebesar  $2369,07 \text{ kg/m}^3$

16. Kadar agregat gabungan berdasarkan persamaan 3 diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \\ &= 2369,07 - 401,961 - 205 \\ &= 1762,11 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Kadar agregat halus berdasarkan persamaan diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat halus} &= \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \\ &= \frac{41}{100} \times 1762,11 \\ &= 722,465 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

18. Kadar agregat kasar berdasarkan persamaan diperoleh sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\ &= 1762,11 - 722,465 \\ &= 1039,64 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

19. Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, sehingga didapatkan susunan campuran proporsi teoritis 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 401,961 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat Halus = 722,465 kg
- d. Agregat Kasar = 1039,64 kg

20. Pada penelitian ini perbandingan campuran dengan laju penyusutan ditetapkan sebesar 25%, sehingga secara teoritis perbandingan campuran beton dengan laju penyusutan per 1 m<sup>3</sup> beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 401,961 x 1,25  
= 502,451 kg
- b. Air = 205 x 1,25  
= 256,250 kg
- c. Agregat halus = 722,465 x 1,25  
= 903,081 kg
- d. Agregat kasar = 1039,64 x 1,25  
= 1299,556 kg

21. Hasil Perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.



**Tabel 5. 23 Hasil Perencanaan Campuran Beton 25 MPa (Mix Design)**

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (Silinder) ( $f_c$ )	25	MPa	
2	Deviasi standar (s)	7		
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Dynamix
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Progo
8	Faktor air semen bebas	0.51		Grafik 1 SNI
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	Mm	
11	Kadar Air Bebas	205.00	Kg	
12	Kadar Semen	401,961	Kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325	Kg	Tabel 4 SNI
15	Kadar Semen digunakan	401,961	Kg/m <sup>3</sup>	
16	Faktor Air Semen disesuaikan	-		
17	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		
18	Berat Jenis Agregat Halus	2,55		Uji Properties
19	Berat Jenis Agregat Kasar	2,58		Uji Properties
20	Persen Agregat Halus	41	%	
21	Berat Jenis relatif Agregat (gabungan) SSD	2,568		
22	Berat Isi Beton	2369,07	Kg/m <sup>3</sup>	Grafik 6 SNI
23	Kadar Agregat Gabungan	1762,11	Kg/m <sup>3</sup>	
24	Kadar agregat halus	722,465	Kg/m <sup>3</sup>	
25	Kadar Agregat Kasar	1039,64	Kg/m <sup>3</sup>	
26	Kadar Abu Sekam Padi Digunakan		Kg/m <sup>3</sup>	10% dari berat semen
27	Kadar Limbah Batu bata digunakan		Kg/m <sup>3</sup>	Variasi (0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat pasir

22. Proporsi campuran setiap variasi, pada penelitian ini digunakan benda uji silinder sebanyak 5 buah silinder.

$$\begin{aligned} \text{Volume 5 silinder (D = 0,15 m; t = 0,30 m)} &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0265 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Berat masing-masing bahan setiap kombinasi campuran (5 Silinder)

- a. Semen = Volume untuk setiap 1 m<sup>3</sup> x volume benda uji  
= 502,451 x 0,0265  
= 12,786 kg
- b. Air = Volume untuk setiap 1 m<sup>3</sup> x volume benda uji  
= 256,250 x 0,0265  
= 6,521 kg
- c. Agregat halus = Volume untuk setiap 1 m<sup>3</sup> x volume benda uji  
= 903,081 x 0,0265  
= 22,981 kg
- d. Agregat kasar = Volume untuk setiap 1 m<sup>3</sup> x volume benda uji  
= 1299,556 x 0,0265  
= 33,070 kg

23. Kebutuhan limbah batu bata untuk substitusi pada setiap mixing 5 silinder.

- a. Limbah batu bata 3% = 22,981 x 3% = 0,689 kg  
=  $\frac{0,689}{2,55} = \frac{x}{2,504} = 0,677$
- b. Limbah batu bata 6% = 22,981 x 6% = 1,379 kg  
=  $\frac{1,379}{2,55} = \frac{x}{2,504} = 1,354$
- c. Limbah batu bata 9% = 22,981 x 9% = 2,068 kg  
=  $\frac{2,068}{2,55} = \frac{x}{2,504} = 2,031$
- d. Limbah batu bata 12% = 22,981 x 12% = 2,758 kg

$$= \frac{2,758}{2,55} = \frac{x}{2,504} = 2,708$$

$$\begin{aligned} \text{e. Limbah batu bata 15\%} &= 22,981 \times 15\% = 3,447 \text{ kg} \\ &= \frac{3,447}{2,55} = \frac{x}{2,504} = 3,385 \end{aligned}$$

24. Kebutuhan abu sekam padi untuk setiap mixing 5 silinder.

$$\text{a. Abu sekam Padi 10\%} = 12,786 \times 10\% = 1,279 \text{ kg}$$

Keterangan:

2,55 = berat jenis agregat halus

2,504 = berat jenis limbah batu bata merah

Perhitungan yang sama dilakukan untuk cari variasi limbah abut bata dan abu sekam padi pada setiap variasinya. Adapun rekapitulasi proporsi campuran Tabel 5.24 sebagai berikut.

**Tabel 5. 24 Proporsi Campuran Untuk Beton Normal 25 MPa**

Variasi (%)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Limbah Batu Bata (kg)	Abu Sekam Padi (kg)
LBB 0% ASP 0%	22,981	33,070	12,786	6,521	0	0
LBB 3% ASP 10%	22,291	33,070	11,507	6,521	0,677	1.279
LBB 6% ASP 10%	21,602	33,070	11,507	6,521	1,354	1.279
LBB 9% ASP 10%	20,912	33,070	11,507	6,521	2,031	1.279
LBB 12% ASP 10%	20,223	33,070	11,507	6,521	2,708	1.279
LBB 15% ASP 10%	19,534	33,070	11,507	6,521	3,385	1.279

#### 5.4 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial* Beton Normal

Berdasarkan dari rencana *mix design* yang telah dibuat, Langkah selanjutnya yaitu melakukan pembuatan benda uji *trial* beton normal. Pembuatan benda uji *trial* beton normal bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari rencana *mix design* tersebut. Sampel benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah. Pengujian kuat tekan terhadap sampel benda uji *trial* beton normal dilakukan saat berumur 7 hari. Untuk menghitung nilai kuat tekan beton,

maka perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Perhitungan nilai kuat tekan beton *trial* adalah sebagai berikut.

1. Kuat Tekan Beton *trial* sampel 1

$$\begin{aligned} f'c_{\text{aktual}} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{294 \times 1000}{17100,588} \\ &= 16,35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'c_{\text{konversi}} &= f'c_{\text{aktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\ &= 16,35 \times \frac{1}{0,65} \\ &= 25,153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk sampel 2 dan sampel 3. Hasil uji kuat tekan beton *trial* dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5. 25 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial**

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban (kN)	Angka Konversi	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
1	150,6	301,6	1710058,857	294	0,65	25,15	25,27
2	150,9	303,3	1716878,626	286	0,65	24,74	
3	151,3	304	1725992,763	303	0,65	25,93	

Berdasarkan Tabel 5.25 diatas, didapatkan hasil kuat tekan rata-rata beton *trial* sebesar 25,27 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian beton *trial* telah memenuhi mutu rencana yaitu 25 MPa. Dengan hasil tersebut penelitian dapat dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

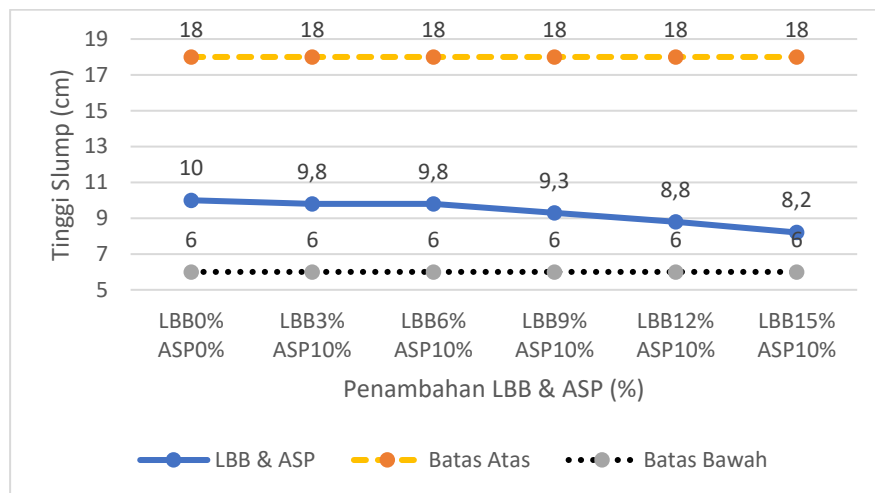
### 5.5 Pengujian Nilai Slump

Pengujian nilai slump dilakukan Ketika proses pengadukan campuran beton menggunakan mesin pengaduk sudah tercampur secara baik. Nilai slump yang

digunakan untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan gambar grafik 5.11 sebagai berikut.

**Tabel 5. 26 Hasil Pengujian Nilai Slump**

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180 mm)
	Limbah Batu Bata (%)	Abu Sekam Padi (%)		
LBB0% ASP0%	0%	0%	10	Memenuhi
LBB3% ASP10%	3%	10%	9,8	Memenuhi
LBB6% ASP10%	6%	10%	9,8	Memenuhi
LBB9% ASP10%	9%	10%	9,3	Memenuhi
LBB12% ASP10%	12%	10%	8,8	Memenuhi
LBB15% ASP10%	15%	10%	8,2	Memenuhi



**Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Nilai Slump Pada Tiap Variasi**

Berdasarkan gambar 5.11 diatas nilai slump secara keseluruhan memenuhi syarat perencanaan yaitu 60 – 180 cm. pada persentase limbah batu bata 0% tanpa campuran ASP didapatkan nilai sebesar 10 cm sedangkan pada persentase Limbah Batu Bata 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dengan campuran ASP 10% didapatkan nilai slump mengalami penurunan. Pada hasil diatas menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan limbah batu bata dan abu sekam padi pada variasi beton, maka akan

menurunkan nilai slumpnya. Hal tersebut dikarenakan limbah batu bata dan abu sekam padi dapat menyerap air yang cukup besar dan sangat berpengaruh pada tekstur slump yang semakin mengental sehingga mempengaruhi pada tingkat kemudahan pengerjaan (*Workability*) yang menurun, sehingga campuran betonnya akan sulit untuk dipadatkan dibandingkan dengan beton normal.

## 5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilaksanakan pada beton usia 28 hari setelah melewati proses perawatan yaitu direndam di dalam air lalu beton diangkat 1 hari sebelum pelaksanaan pengujian. Kuat tekan rencana ( $f'_{cr}$ ) sebesar 37 MPa. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada sampel silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan jumlah 5 sampel di setiap variasi, dengan total sampel pada pengujian kuat tekan beton sebanyak 30 buah sampel silinder beton. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton, Permukaan benda uji dilapisi dengan belerang dengan proses *capping* yang bertujuan menghaluskan dan meratakan permukaan sehingga beban yang dihasilkan dari *compression machine* terdistribusi secara merata. Pengujian ini dilakukan sampai benda uji tidak mampu lagi untuk menahan beban dari mesin uji sehingga beton mengalami keretakan atau bahkan hancur. Rekapitulasi perhitungan dan hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Gambar grafik 5.12 sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton dengan variasi LBB 0% & ASP 0% sampel 1

$$\begin{aligned}
 f'_{c} &= \frac{P \text{ (KN)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{(P \times 1000)}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{(453 \times 1000)}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,12^2} \\
 &= 25,23 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$f'_{c} = f'_{c_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}}$$

$$\begin{aligned} &= 25,23 \text{ MPa} \times \frac{1}{1} \\ &= 25,23 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan Langkah perhitungan yang sama, dapat dihitung juga kuat tekan beton untuk sampel pada kadar penambahan lainnya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.27 sebagai berikut.

**Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

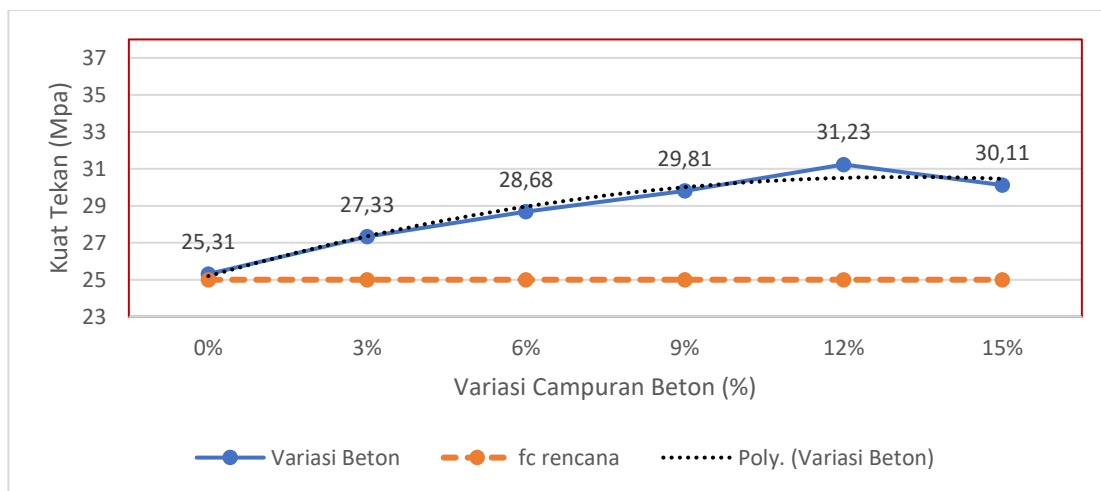
Umur Benda Uji	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
28 Hari	LBB 0% ASP 0%	S1-A	15,12	30,16	13,13	17237,119	453	25,23	25,31
		S2-A	15,06	30,33	13,223	17100,588	461	25,74	
		S3-A	15,13	30,4	13,113	17259,927	437	24,40	
		S4-A	15,07	30,17	13,386	17123,306	457	25,69	
		S5-A	15,05	30,22	13,238	17077,886	455	25,48	
	LBB 3% ASP 10%	S1-B	15,12	30,36	13,09	17237,119	460	25,62	27,33
		S2-B	15,04	30,15	13,29	17055,198	465	26,17	
		S3-B	15,07	30,24	13,24	17123,306	512	28,70	
		S4-B	15,11	30,18	13,19	17214,326	549	30,62	
		S5-B	15,18	30,15	12,96	17374,193	462	25,23	
	LBB 6% ASP 10%	S1-C	15,14	30,25	13,30	17282,750	523	29,05	28,68
		S2-C	15,1	30,32	13,23	17191,548	558	31,16	
		S3-C	15,03	30,29	13,15	17032,526	477	26,89	
		S4-C	15,15	30,35	13,00	17305,588	496	27,51	
		S5-C	15,1	30,24	13,11	17191,548	516	28,81	
	LBB 9% ASP 10%	S1-D	15,03	30,24	12,93	17032,52659	486	27,39	29,81
		S2-D	15,07	30,36	13,04	17123,30605	562	31,51	
		S3-D	15,14	30,32	12,98	17282,75067	533	29,61	
		S4-D	15,18	30,18	13,27	17374,19364	518	28,62	
		S5-D	15,12	30,26	13,08	17237,11967	573	31,91	



Lanjutan Tabel 5. 27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur Benda Uji	Kode Benda Uji		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)
28 Hari	LBB 12% ASP 10%	S1-E	15,17	30,32	13,136	17351,310	565	31,26	31,23
		S2-E	15,1	30,35	13,152	17191,548	581	32,44	
		S3-E	15,08	30,26	12,994	17146,038	568	31,80	
		S4-E	15,1	30,15	13,929	17191,548	518	28,93	
		S5-E	15,03	30,22	13,218	17032,526	563	31,73	
	LBB 15% ASP 10%	S1-F	15,15	30,25	12,850	17305,588	498	27,63	30,11
		S2-F	15,07	30,32	12,977	17123,306	523	29,32	
		S3-F	15,12	30,17	12,826	17237,119	573	31,91	
		S4-F	15,09	30,35	12,552	17168,786	558	31,20	
		S5-F	15,1	30,12	13,003	17191,548	546	30,49	

Berdasarkan hasil rekapitulasi dari tabel 5.27 di atas di dapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata dengan substitusi agregat halus dengan limbah batu bata sebanyak 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15% dengan substitusi semen dengan abu sekam padi sebanyak 10% secara berturut-turut adalah sebesar 25,31 MPa, 27,33 MPa, 28,68 MPa, 29,81 MPa, 31,23 MPa dan 30,11 MPa. Dari hasil kuat tekan rata-rata diatas dapat di gambarkan dengan grafik nilai kuat tekan beton rata-rata pada setiap kadar penambahan limbah batu bata yang dapat dilihat pada gambar 5.12 sebagai berikut.



**Gambar 5. 12 Grafik Nilai Kuat Tekan Beton Pada Tiap Variasi**

Berdasarkan pada Gambar 5.12 grafik menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan variasi limbah batu bata dan abu sekam padi dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton. Adapun contoh perhitungan dan rekapitulasi persentase kenaikan pada kuat tekan beton dengan penambahan variasi limbah batu bata dan abu sekam padi terhadap beton normal yang dapat dilihat pada Tabel 5.28 sebagai berikut.

1. Perhitungan persentase variasi beton dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{27,33 - 25,31}{25,31} \times 100\% \\
 &= 7,983 \%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 28 Persentase Selisih Kenaikan nilai Kuat Tekan Beton**

No	Variasi Beton	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kenaikan Kekuatan (%)
1	LBB 0% - ASP 0%	25,31	0%
2	LBB 3% - ASP 10%	27,33	7,983%
3	LBB 6% - ASP 10%	28,68	13,344%
4	LBB 9% - ASP 10%	29,81	17,782
5	LBB 12% - ASP 10%	31,23	23,411%
6	LBB 15% - ASP 10%	30,11	18,975%

Berdasarkan Tabel 5.28 dan Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya persentase limbah batu bata dan abu sekam padi dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton. Nilai kuat tekan beton rata-rata tertinggi pada variasi limbah batu bata 12% dan abu sekam padi 10% sebesar 31,23 MPa dengan persentase kenaikan 23,411% dari beton normal. Limbah batu bata dan abu sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan beton karena butiran halus dari limbah batu bata dapat mengisi rongga-rongga udara yang terdapat pada beton sehingga kondisi beton menjadi lebih padat. Adapun pada penambahan limbah batu bata 15% dan abu sekam padi 10% mengalami penurunan nilai kuat tekan, dikarenakan dengan adanya penambahan limbah batu bata dan abu sekam padi yang berlebihan dapat mengakibatkan campuran beton mengalami kekurangan air sehingga campuran beton menjadi kurang maksimal dan material campuran beton tidak dapat mengikat antara satu dengan yang lainnya, hal ini dapat menimbulkan lebih banyak rongga-rongga pada beton.



**Gambar 5. 13 Pengujian Kuat Tekan**



**Gambar 5. 14 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tekan**

### **5.7 Pengujian Modulus Elastisitas Beton**

Pengujian modulus elastisitas dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya perubahan antara Panjang (regangan) dengan arah longitudinal (aksial) silinder beton akibat pembebanan serta

besarnya (P) pada saat beton mulai retak. Hasil pengujian modulus elastisitas yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan setelah mencapai umur 28 hari. Benda uji yang dilakukan pengujian modulus elastisitas sebanyak 30 benda uji dengan tiap variasi sebanyak 5 benda uji. Adapun perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban mencapai 10 kN pada pengujian modulus elastisitas dengan Variasi Limbah batu bata 0% dan abu sekam padi 0% pada sambel 1 sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai  $\Delta L$

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{6}{2} \times 10^{-3} \\ &= 0,0015 \text{ MM}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Nilai Regangan ( $\varepsilon$ )

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0015}{200} \\ &= 0,001\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan ( $\sigma$ )

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{0,003}{17955} \\ &= 0,56\end{aligned}$$

Dengan Langkah perhitungan yang sama, dapat dihitung juga nilai tegangan dan regangan untuk setiap nilai penambahan beban 10 kN untuk sampel pada variasi penambahan lainnya. Hasil perhitungan tegangan dan regangan beton dengan variasi 0% dapat dilihat pada Tabel 5.29 sebagai berikut.

**Tabel 5. 29 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Limbah Batu Bata 0% dan abu sekam 0%**

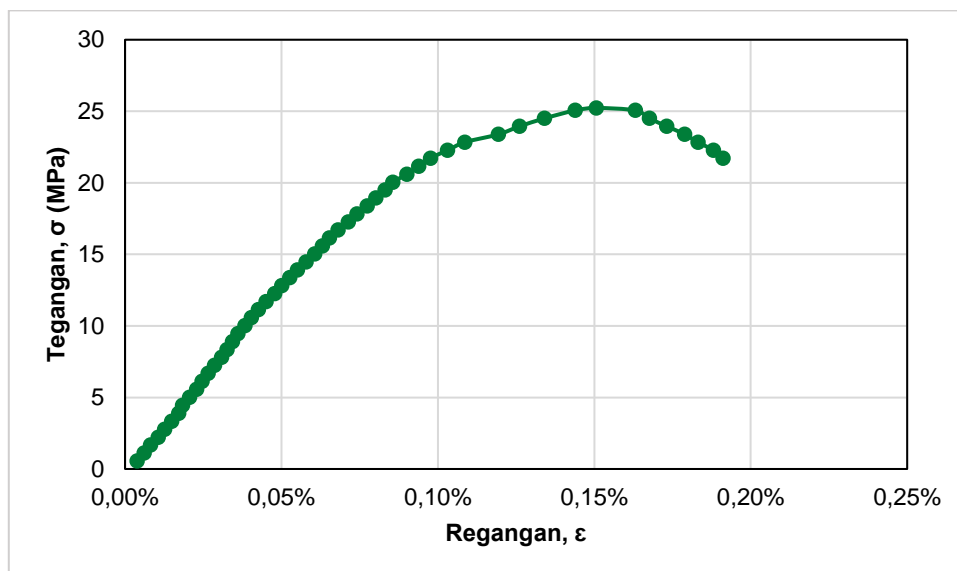
Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L' (\mu\text{m})$	$\Delta L (\text{mm})$	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	12	0,006	0,003%	1,11
30	30000	20	0,01	0,005%	1,67
40	40000	30	0,015	0,008%	2,23
50	50000	38	0,019	0,010%	2,78
60	60000	47	0,0235	0,012%	3,34
70	70000	56	0,028	0,014%	3,90
80	80000	61	0,0305	0,015%	4,46
90	90000	70	0,035	0,018%	5,01
100	100000	79	0,0395	0,020%	5,57
110	110000	86	0,043	0,022%	6,13
120	120000	94	0,047	0,024%	6,68
130	130000	102	0,051	0,026%	7,24
140	140000	111	0,0555	0,028%	7,80
150	150000	118	0,059	0,030%	8,35
160	160000	125	0,0625	0,031%	8,91
170	170000	132	0,066	0,033%	9,47
180	180000	141	0,0705	0,035%	10,02
<b>190</b>	<b>190000</b>	<b>149</b>	<b>0,0745</b>	<b>0,037%</b>	<b>10,58</b>
200	200000	158	0,079	0,040%	11,14
210	210000	168	0,084	0,042%	11,70
220	220000	179	0,0895	0,045%	12,25
230	230000	188	0,094	0,047%	12,81
240	240000	198	0,099	0,050%	13,37
250	250000	208	0,104	0,052%	13,92
260	260000	219	0,1095	0,055%	14,48
270	270000	230	0,115	0,058%	15,04
280	280000	240	0,12	0,060%	15,59
290	290000	249	0,1245	0,062%	16,15
300	300000	260	0,13	0,065%	16,71
310	310000	273	0,1365	0,068%	17,27
320	320000	284	0,142	0,071%	17,82
330	330000	297	0,1485	0,074%	18,38
340	340000	308	0,154	0,077%	18,94
350	350000	320	0,16	0,080%	19,49
360	360000	330	0,165	0,083%	20,05
370	370000	348	0,174	0,087%	20,61
380	380000	363	0,1815	0,091%	21,16

**Lanjutan 5.29 Hasil Perhitungan Tegangan dan Regangan Beton Variasi Limbah**

**Batu Bata 0% dan abu sekam 0%**

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
390	390000	378	0,189	0,095%	21,72
400	400000	400	0,2	0,100%	22,28
410	410000	422	0,211	0,106%	22,83
420	420000	465	0,2325	0,116%	23,39
430	430000	492	0,246	0,123%	23,95
440	440000	524	0,262	0,131%	24,51
450	450000	563	0,2815	0,141%	25,06
453	453000	590	0,295	0,148%	25,23
450	450000	640	0,32	0,160%	25,06
440	440000	658	0,329	0,165%	24,51
430	430000	680	0,34	0,170%	23,95
420	420000	703	0,3515	0,176%	23,39
410	410000	720	0,36	0,180%	22,83
400	400000	740	0,37	0,185%	22,28
390	390000	752	0,376	0,188%	21,72

Dari hasil perhitungan tegangan dan regangan beton pada Tabel 5.29 di atas juga dapat dijadikan grafik tegangan dan regangan beton. Nilai Modulus Elastisitas didapatkan dari kemiringan kurva regresi (*linear trendline*) pada daerah elastis. Adapun grafik modulus elastisitas variasi 0% sampel 1 dapat dilihat pada gambar 5.14 sebagai berikut.



**Gambar 5. 15 Grafik Modulus Elastisitas Variasi Limbah Batu Bata 0% dan Abu Sekam Padi 0% Sampel 1**

Berdasarkan Gambar 5.15 didapatkan daerah plastis dan daerah elastis. Pada penelitian ini bersamaan yang digunakan untuk menghitung nilai modulus elastisitas beton adalah permaan ASTM C-469. Adapun contoh perhitungannya antara lain sebagai berikut.

$$S_2 = 10,58 \text{ MPa}$$

$$S_1 = 9,57 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_1 = 0,0033$$

$$\varepsilon_2 = 0,004$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas (Ec)} &= \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\ &= \frac{10,58 - 9,57}{0,004 - 0,003} \\ &= 26208,83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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



$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas (Ec)} &= wc^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c} \\ &= 2425,8288^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{25,23} \\ &= 25805.42699\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas (Ec)} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \times \sqrt{25,23} \\ &= 23607.51243\end{aligned}$$

Adapun hasil rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton dengan rumus persamaan dari ASTM C-469 dan persamaan pendekatan empiris dari SNI 2847-2019 yang dapat dilihat pada tabel 5.30 sebagai berikut.



**Gambar 5. 16 Pengujian Modulus Elastisitas**

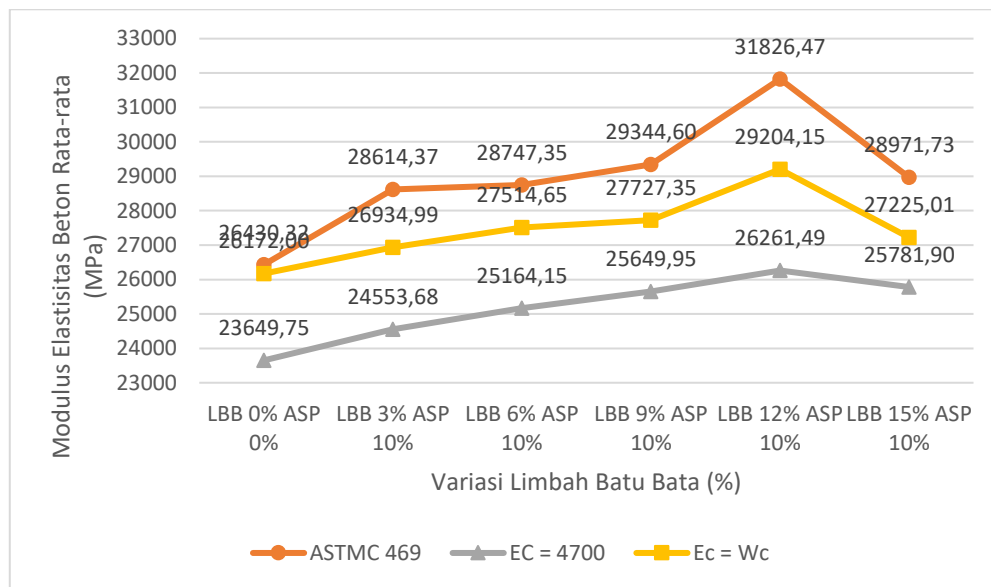
**Tabel 5. 30 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas**

Jenis Beton	Kode Benda Uji	Usia Beton	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	WC	Kuat Tekan (MPa)	ASTMC – 469 ( $E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$ )	Rerata	SNI 2847-2019 $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019 ( $E_c = wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$ )	Rerata
Beton Normal	S1-A	28 Hari	15,12	30,16	13,13	2425,8288	25,23	26208,82	25430,32	23607,51243	23649,75	25805,42699	26171,98
	S2-A		15,06	30,33	13,223	2448,7136	25,88	29940,49		23909,93569		26506,71975	
	S3-A		15,13	30,4	13,113	2400,3853	24,31	23596,43		23171,52983		24931,40494	
	S4-A		15,07	30,17	13,386	2488,7390	25,62	22425,58		23790,18203		27023,23801	
	S5-A		15,05	30,22	13,238	2463,6855	25,58	29980,29		23769,61326		26593,20023	
Beton LBB 3% + ASP 10%	S1-B		15,12	30,36	13,09	2402,5069	25,62	31825,01	28614,36	23789,2112	24553,67	25629,94062	26934,99
	S2-B		15,04	30,15	13,29	2482,2165	26,17	30020,17		24045,37516		27205,80862	
	S3-B		15,07	30,24	13,24	2454,9689	28,70	29900,77		25181,09697		28022,97499	
	S4-B		15,11	30,18	13,19	2437,7842	30,62	26768,40		26006,06389		28637,69758	
	S5-B		15,18	30,15	12,96	2377,0510	25,53	24557,49		23746,63809		25178,5369	
Beton LBB 6% + ASP 10%	S1-C		15,14	30,25	13,30	2444,0090	29,05	29624,91	28747,35	25332,49039	25164,15	28002,87951	27514,64
	S2-C		15,1	30,32	13,23	2437,1136	31,16	30458,94		26235,72496		28878,67892	
	S3-C		15,03	30,29	13,15	2448,3409	26,89	32207,28		24369,86516		27010,43345	
	S4-C		15,15	30,35	13,00	2378,0629	27,51	26627,24		24653,64413		26156,92787	
	S5-C		15,1	30,24	13,11	2422,6837	28,81	24818,40		25229,04554		27524,31396	
Beton LBB 9% + ASP 10%	S1-D	15,03	30,24	12,93	2410,8042	27,39	32207,28	29344,60	24598,6952	25649,95	26639,4698	27727,34	
	S2-D	15,07	30,36	13,04	2409,6073	31,51	30123,91		26382,00648		28549,45494		
	S3-D	15,14	30,32	12,98	2379,1624	29,61	27773,36		25573,52808		27151,72191		
	S4-D	15,18	30,18	13,27	2431,2894	28,62	27627,18		25144,67494		27578,56164		
	S5-F	15,12	30,26	13,08	2408,7891	31,91	28991,27		26550,85048		28717,53831		

**Lanjutan 5.30 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas**

Jenis Beton	Kode Benda Uji	Usia Beton	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	WC	Kuat Tekan (MPa)	ASTMC – 469 ( $E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$ )	Rerata	SNI 2847-2019 $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019 ( $E_c = w_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$ )	Rerata
Beton LBB 12% + ASP 10%	S1-E	28 Hari	15,17	30,32	13,136	2398,2427	31,26	35409,43	31826,47	26277,9547	26261,48	28235,91363	29204,14
	S2-E		15,1	30,35	13,152	2421,0823	32,44	29782,07		26770,9656		29177,55954	
	S3-E		15,08	30,26	12,994	2405,4792	31,80	37326,41		26504,8739		28608,74058	
	S4-E		15,1	30,15	13,929	2581,1252	28,93	27920,70		25277,8917		30326,69289	
	S5-E		15,03	30,22	13,218	2466,5145	31,73	28693,76		26475,7416		29671,82344	
Beton LBB 15% + ASP 10%	S1-F		15,15	30,25	12,850	2357,6690	27,63	36982,27	28971,72	24703,2990	25781,90	25873,17898	27225,01
	S2-F		15,07	30,32	12,977	2400,7611	29,32	29900,77		25450,1595		27389,52663	
	S3-F		15,12	30,17	12,826	2368,8780	31,91	22527,81		26550,8504		28006,77254	
	S4-F		15,09	30,35	12,552	2313,6950	31,20	26313,14		26253,1111		26730,71176	
	S5-F		15,15	30,25	13,003	2411,9319	30,49	29134,64		25952,0871		28124,86552	

Dari hasil rekapitulasi perhitungan modulus elastisitas beton pada Tabel 5.30 di atas juga dapat digambarkan menjadi grafik modulus elastisitas beton. Adapun grafik modulus elastisitas beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut



**Gambar 5. 17 Grafik Modulus Elastisitas Variasi Beton**

Adapun perhitungan dan persentase selisih nilai modulus elastisitas sesuai dengan metode persamaan yang digunakan yaitu ASTM C-469 dan SNI 2847-2019 pada beton yang memiliki variasi limbah batu bata dan abu sekam padi yang dapat dilihat pada Tabel 5.31.

1. Perhitungan persentase variasi beton dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{28614,36815 - 26430,32364}{26430,32364} \times 100\% \\
 &= 8,263\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 31 Persentase Selisih Pengujian Modulus Elastisitas**

NO	Variasi Beton	Persentase Selisih Nilai Modulus Elastisitas (%)		
		ASTMC – 469 ( $E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$ )	SNI 2847-2019 $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$	SNI 2847-2019 ( $E_c = wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$ )
1	LBB 0% - ASP 0%	0	0	0
2	LBB 3% - ASP 10%	8,263%	3,822%	2,915%
3	LBB 6% - ASP 10%	8,767%	6,403%	5,130%
4	LBB 9% - ASP 10%	11,026%	8,458%	5,943%
5	LBB 12% - ASP 10%	20,417%	11,043%	11,585%
6	LBB 15% - ASP 10%	9,615%	9,016%	4,023%

Berdasarkan hasil Tabel 5.31 dan Gambar grafik 5.17 diatas terlihat bahwa pengujian modulus elastisitas yang diperoleh dengan metode ASTM C-469 lebih besar dibandingkan uji modulus elastisitas yang diperoleh dengan metode SNI 2847-2019. Sebab, pengujian metode SNI 2847-2019 berbeda dengan metode ASTM C-469 yang menggunakan pendekatan empiris untuk menghitung nilai kuat tekan beton dan nilai modulus berat satuan. Metode ASTM untuk menentukan nilai modulus elastisitas ditentukan berdasarkan kondisi yang ditemui pada saat pengujian kuat tekan beton. Modulus elastisitas beton menunjukkan kemampuan material dalam menahan beban besar dengan tingkat regangan yang kecil. Pada pengujian ini yang dilakukan nilai modulus elastisitas beton berdasarkan ASTM C-469 tertinggi terdapat pada beton dengan variasi limbah batu bata 12% dan abu sekam padi 10%. Penambahan limbah batu bata dan abu sekam padi akan meningkatkan kepadatan beton dan meningkatkan nilai modulus elastisitas beton. Mengalami penurunan nilai modulus elastisitas pada beton disebabkan oleh campuran antara material yang kurang mengikat, sehingga beton lebih mudah meregang apabila diberi beban, seperti terjadi pada penambahan limbah batu bata 15% dan abu sekam padi 10% yang mengalami penurunan. Hal ini,

dikarenakan beton kekurangan air untuk proses hidrasi dan kemampuan mengikat pada agregat dapat berkurang maka regangan yang terjadi pada beton akan semakin besar, sehingga nilai modulus elastisitas mengalami penurunan

### 5.8 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Uji kuat tarik belah beton dilaksanakan pada saat benda uji telah berumur 28 hari setelah benda uji dibuat. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan 300 mm sebanyak 30 buah sampel pada setiap variasinya. Pengujian ini dilakukan dengan beton diletakkan secara horizontal di atas mesin dan diberi beban. Pengujian kuat tarik belah ini menggunakan metode SNI 03-2491-2002. Beban yang mampu ditahan benda uji berbentuk silinder adalah sebagai berikut, berdasarkan perhitungan kuat tarik belah beton dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.28 sebagai berikut.

1. Kuat Tarik belah beton variasi LBB 0% ASP 0% sampel 1

$$\begin{aligned}
 \text{TB1} &= \frac{2 \cdot P}{\pi L D} \\
 &= \frac{2 \cdot 205}{\pi \times 301,60 \times 147,5} \\
 &= 2,93 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan cara yang sama pada variasi berikutnya. Diperoleh rekapitulasi data hasil pengujian kuat tarik belah beton normal yang dapat dilihat pada tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

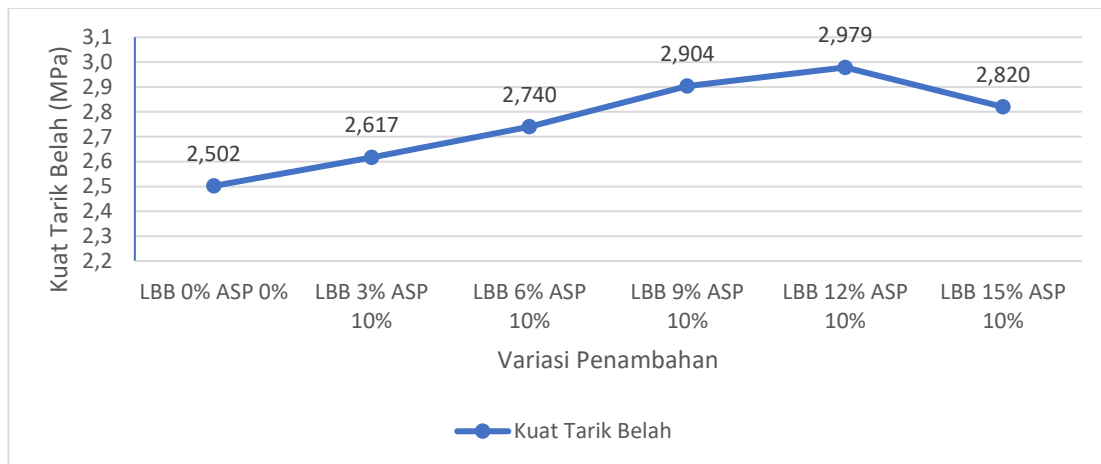
Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Selimut (mm <sup>2</sup> )	Berat Beton (N)	Beban Maks (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
LBB 0% ASP 10%	TB1	147,5	301,60	13,13	139756,8908	13,13	205	2,934
	TB2	150	303,3	13,22	142926,7578	13,22	165	2,309
	TB3	147,5	304	13,11	140869,0146	13,11	157	2,229
	TB4	149,5	301,7	13,386	141698,8663	13,386	163	2,301
	TB5	150	302,2	13,238	142408,395	13,238	195	2,739
LBB 3% ASP 10%	TB1	148,5	303,6	13,09	141637,4482	13,09	187	2,641
	TB2	149	301,5	13,29	141131,3376	13,29	163	2,310
	TB3	151	302,4	13,24	143452,6604	13,24	208	2,900
	TB4	148	301,8	13,19	140323,6341	13,19	193	2,751
	TB5	149,5	301,5	12,96	141604,9327	12,96	184	2,599
LBB 6% ASP 10%	TB1	148,5	302,5	13,30	141124,269	13,30	198	2,806
	TB2	151,5	303,2	13,23	144308,4302	13,23	183	2,536
	TB3	150,5	302,9	13,15	143214,0564	13,15	206	2,877
	TB4	148,5	303,5	13,00	141590,7955	13,00	176	2,486
	TB5	149	302,4	13,11	141552,6251	13,11	193	2,727

Lanjutan Tabel 5. 32 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Selimut (mm <sup>2</sup> )	Berat Beton (N)	Beban Maks (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
LBB 9% ASP 10%	TB1	149	302,4	12,93	139756,8908	12,93	192	2,713
	TB2	147,5	303,6	13,04	142926,7578	13,04	218	3,099
	TB3	153,5	303,2	12,98	140869,0146	12,98	212	2,900
	TB4	148,5	301,8	13,27	141698,8663	13,27	197	2,798
	TB5	151,5	302,6	13,08	142408,395	13,08	207	2,875
LBB 12% ASP 10%	TB1	150,35	303,2	13,136	141552,6251	13,136	213	2,975
	TB2	151,05	303,5	13,152	140683,6606	13,152	225	3,125
	TB3	150,55	302,6	12,994	146213,492	12,994	203	2,837
	TB4	150,95	301,5	13,929	140797,7004	13,929	208	2,910
	TB5	150,65	302,2	13,218	144022,8595	13,218	230	3,216
LBB 15% ASP 10%	TB1	151,6	302,5	12,850	143213,0197	12,850	207	2,874
	TB2	151	303,2	12,977	144022,1526	12,977	192	2,670
	TB3	151,6	301,7	12,826	143119,7458	12,826	206	2,867
	TB4	150,75	303,5	12,552	142978,3584	12,552	198	2,755
	TB5	151,35	301,2	13,003	143025,498	13,003	210	2,933



Berdasarkan Tabel 5.32 diatas, didapatkan nilai kuat tarik belah rata-rata pada beton normal berumur 28 hari variasi LBB0% - ASP0%, LBB3% - ASP10%, LBB6% - ASP10%, LBB9% - ASP10%, LBB12% - ASP 10%, LBB15% - ASP10% secara berturut-turut sebesar 2,502 MPa, 2,617 MPa, 2,740 MPa, 2,904 MPa, 2,979 MPa, 2,820 MPa. Grafik hasil pengujian kuat tarik belah beton dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



**Gambar 5. 18 Grafik Nilai Kuat Tarik Belah Pada Beton Tiap Variasi**

Berdasarkan pada Gambar 5.17 grafik menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan limbah batu bata dan abu sekam padi dapat meningkatkan nilai kuat tarik belah beton. Adapun persentase kenaikan pada kuat tarik belah beton dengan penambahan variasi limbah batu bata dan abu sekam padi terhadap beton normal yang dapat dilihat pada Tabel 5.33 sebagai berikut.

1. Perhitungan persentase variasi beton dengan tolak ukur beton normal

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata SB} - \text{rerata SA}}{\text{rerata SA}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,617 - 2,502}{2,502} \times 100\% \\
 &= 4,6\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 33 Persentase Selisih Kenaikan Kuat Tarik Belah Beton**

No	Variasi Beton	Kuat Tarik Belah (MPa)	Peningkatan / Penurunan (%)
1	LBB 0% - ASP 0%	2,502	0%
2	LBB 3% - ASP 10%	2,617	4,6%
3	LBB 6% - ASP 10%	2,740	9,5%
4	LBB 9% - ASP 10%	2,904	16,1%
5	LBB 12% - ASP 10%	2,979	19,0%
6	LBB 15% - ASP 10%	2,820	12,7%

Berdasarkan Tabel 5.33 dan Gambar 5.18 diperoleh nilai pengujian kuat tarik belah rata-rata tertinggi pada variasi LBB 12% - ASP 10% sebesar 2,79 MPa. Nilai persentase kenaikan tersebut meningkat sebesar 19,0% dari beton normal. sedangkan nilai kuat tarik terendah pada beton normal variasi LBB 0% - ASP 0% sebesar 2,502 MPa.

Selanjutnya dilakukan persentase perhitungan korelasi dengan membandingkan kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton yang dapat dilihat pada tabel 5.34 sebagai berikut.

1. Perhitungan persentase perbandingan antara kuat tarik belah dengan kuat tekan beton

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase} &= \frac{\text{rerata kuat tarik belah beton}}{\text{rerata kuat tekan beton}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,502}{25,310} \times 100\% \\
 &= 9,886\%
 \end{aligned}$$

**Tabel 5. 34 Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan Beton Normal**

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rerata (fct)	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Persen Kuat Tarik Belah dari Kuat Tekan (%)
1	LBB 0% ASP 0%	2,502	25,310	9,886
2	LBB 3% ASP 10%	2,617	27,330	9,575
3	LBB 6% ASP 10%	2,740	28,680	9,553
4	LBB 9% ASP 10%	2,904	29,810	9,741
5	LBB 12% ASP 10%	2,979	31,230	9,538
6	LBB 15% ASP 10%	2,820	30,110	9,365

Berdasarkan Tabel 5.34 dengan perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan beton dapat disimpulkan dengan Penggunaan limbah batu bata dan abu sekam padi sebagai bahan campuran beton normal berpengaruh terhadap meningkatnya kuat tarik belah beton. Menggabungkan dua bahan tambah tersebut dapat meningkatkan daya lekat antar partikel dan pengurangi kecenderungan retak pada variasi tertentu. Hal ini dikarenakan limbah batu bata dan abu sekam padi dapat meningkatkan kepadatan beton. Pada persentase 15% mengalami penurunan dikarenakan banyaknya agregat yang terlepas dari ikatan yang terbentuk dan pemadatan yang tidak optimal pada saat proses pembuatan beton, sehingga mengakibatkan letak retak agregat yang tidak merata bernilai negatif dari rata-rata nilai kuat tarik belah beton yang ditentukan saat pengujian yang dilakukan. Penggunaan limbah batu bata dan abu sekam padi sebagai bahan tambah dalam campuran beton normal berpengaruh terhadap meningkatnya kuat tarik belah beton. Kombinasi dua bahan tambah tersebut dapat meningkatkan daya lekat antar partikel semakin bertambah. Selain itu penambahan abu sekam padi dalam

campuran beton juga dapat membantu mengisi rongga-rongga dalam beton sehingga beton menjadi padat. Berikut ini adalah salah satu sampel pengujian kuat tarik belah yang dapat dilihat pada gambar 5.19 sebagai berikut.



**Gambar 5. 19 Contoh Benda Uji dari Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton**

### **5.9 Pembahasan Secara Keseluruhan**

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya, secara keseluruhan dapat dikatakan hasil tertinggi pada penelitian ini dicapai pada variasi limbah batu bata sebanyak 12% dan abu sekam padi sebanyak 10%. Substitusi agregat halus dengan limbah batu bata dapat meningkatkan kualitas mutu beton dari yang direncanakan pada variasi tertentu. Hal ini dikarenakan limbah batu bata memiliki butiran yang lebih padat dibandingkan pasir sehingga dapat mengisi rongga pada beton. Dengan terisinya rongga pada beton akan meningkatkan kepadatan beton tanpa menimbulkan rongga udara di dalam beton. Akan tetapi jika terlalu banyak menambahkan variasi limbah batu bata pada beton akan mengalami hidrasi yaitu kekurangan kandungan air didalam campuran beton.

Dari hasil penelitian sebelumnya didapatkan persentase tertinggi sebesar 9% limbah batu bata (Sofia, Shafira, & Kusumah, 2019). Abu sekam padi didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya dengan persentase tertinggi sebesar 10% (Rochmah, Sutriyono, Beatrix, & Pertiwi, 2022). Sehingga pada penelitian ini digunakan interval 0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dengan melakukan substitusi semen dengan abu sekam padi sebesar 10%. Melihat dari hasil penelitian ini, beton mengalami peningkatan kekuatan pada pengujian kuat tekan dengan variasi campuran limbah batu bata 12% abu sekam padi 10% dengan persentase kenaikan hingga 25% terhadap beton normal. Mutu yang diperoleh sebesar 31,23 MPa. Peningkatan kekuatan pada pengujian modulus elastisitas sebesar 20% dari beton normal. Sedangkan peningkatan kekuatan pada pengujian kuat tarik belah sebesar 19% dari beton normal. Mutu yang diperoleh sebesar 2,979 MPa.

Namun jika proporsi beton melebihi 12% maka kekuatannya akan menurun. Hal ini disebabkan tingginya daya serap air pada limbah batu bata dan abu sekam padi mengakibatkan kurangnya kandungan air pada beton. Penambahan limbah batu bata mengurangi kadar air pada beton, hal ini berhubungan dengan semakin tinggi persentase limbah batu bata semakin turun nilai slump. Hal ini sesuai dengan teori nilai FAS yang rendah menyebabkan proses pemadatan beton menjadi sulit karena kekurangan air pada beton (Tjokrodimuljo, 2007), sehingga terjadi reaksi kimia serta proses pengikatan dan pengawetan yang tidak maksimal. Dengan kata lain, proses penambahan dan pencampuran limbah batu bata mempercepat pemadatan beton segar dan menurunkan *workability* pada beton.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengaruh substitusi limbah batu bata merah sebagai agregat halus dan substitusi abu sekam padi sebagai substitusi semen terhadap kuat tekan beton, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton normal pada umur 28 hari dengan mutu rencana 25 MPa adalah sebagai berikut.
  - a. Berdasarkan penelitian ini, nilai kuat tekan optimum dengan variasi nilai kuat tekan beton rata-rata pada variasi limbah batu bata 12% dan abu sekam padi 10% sebesar 31,23 MPa. Dengan persentase kenaikan sebesar 23,411% dari beton normal.
  - b. Berdasarkan penelitian ini, nilai persentase modulus elastisitas optimum menggunakan persamaan ASTM C-469 sebesar 20,417% dari beton normal. Dengan variasi beton limbah batu bata 12% dan abu sekam padi 10%.
  - c. Berdasarkan penelitian ini, nilai kuat tarik belah beton optimum dengan variasi nilai kuat tarik belah beton rata-rata pada variasi limbah batu bata 12% dan abu sekam padi 10% sebesar 2,979 MPa. meningkat hingga 19% dari beton normal.
2. Nilai kuat tekan beton, modulus elastisitas dan kuat tarik belah beton didapatkan titik optimum beton normal berada pada variasi LBB 12% - ASP 10%.

## 6.2 Saran

Adapun saran yang bisa disampaikan oleh penulis yang berkaitan dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan untuk penelitian yang akan dilaksanakan selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan menggunakan bahan tambah jenis lainnya yang ramah lingkungan agar dapat meningkatkan *workability* adukan beton yang lebih baik, agar didapatkan kepadatan mutu beton yang maksimal serta hasil pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan tarik belah yang lebih baik serta hasil penelitian yang lebih akurat
2. Pada pembuatan beton harus tercampur rata dengan baik, pada saat proses penumbukan harus maksimal karena dapat mempengaruhi kondisi sampel atau benda uji menjadi keropos dan mempengaruhi hasil benda uji.
3. Dalam penelitian ini perlu diteliti lebih lanjut mengenai nilai kuat tekan dengan variasi umur beton pada setiap minggunya, untuk mengetahui ke efisiensi nilai kuat tekan beton pada umur beton hari ke berapa lebih ideal.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Standard Testing and Material. (1994). *ASTM C-469-1994 Modulus of Elasticity*.
- B. S. (1996). SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 MM). *BSN.go.id*.
- B. S. (2002). SNI 03-2491-2002 Metode pengujian kuat tarik belah beton. *BSN.go.id*.
- B. S. (2014). SNI 2491:2014 Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton. *bsn.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1969-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran beton Normal. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656-2012 Tata Cara Pemeliharaan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136-2012 Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT). *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. *BSN.go.id*.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1971). PBI-1971 Peraturan Beton Bertulang Indonesia. *pu.go.id*.
- Hanifah Yulian, N. C. (2023). Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil bunghatta.ac.id Volume 19 Nomor 2*.



- Kementrian PUPR. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,75 mm). *BinaMarga.pu.go.id*.
- Material., A. S. (1994). ASTM C-469-1994 Modulus.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offist.
- Permatasari, S. (2019). Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton FC'21 Menggunakan Agregat kasar PT. AMR dan Agregat Halus Desa Sanggup Kota Baru. *ummetro*.
- Pirdaus, & Susanti, R. (2019). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Tekno (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering) Vol. 16, No : 1, April 2019*.
- Rochmah, N., Sutriyono, B., Beatrix, M., & Pertiwi, D. (2022). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Substitusi Semen Pada Kuat Tekan Flowing Concrete. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi Vol. 10, No.1, April 2022, 019-024*.
- Satria Umar Dani, S. H. (2023). Optimasi Campuran Beton Dengan Menggunakan Abu Sekam Padi . *Statika Jurnal Teknik Sipil ugn.ac.id*.
- Setianto, R. A. (2022). Pengaruh Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Parsial Semen dan Penambahan Sikacim Concrete Additive Dalam Camouran Beton Normal Mutu Sedang. *Dspace.uui*.
- Sofia, D. A., Shafira, P. A., & Kusumah, H. (2019). Pengaruh Limbah Batu Bata Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Mutu Kuat Tekan Beton. *Jurnal.polban.ac.id*.
- Tjokrodimuljo. (2007). *Teknologi Beton* . Yogyakarta: Biro Penerbit.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 Laporan sementara Hasil Pengujian Agregat Halus**

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN**

**AIR AGREGAT HALUS**

(SNI 03-1970-2008)

<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	482	485	483,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	952	1005	978,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	658	691	674,5
Berat Jenis Curah Bk / (BJ – Ba)	2,340	2,608	2,474
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,427	2,688	2,558
Berat Jenis Semu Bk / (Bk-Ba)	2,564	2,836	2,7
Penyerapan Air $(500-Bk) / Bk \times 100\%$	3,734%	3,092%	3,41

Diperiksa Oleh,

Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN**  
**AGREGAT HALUS**  
(SNI 03-1968-1990)

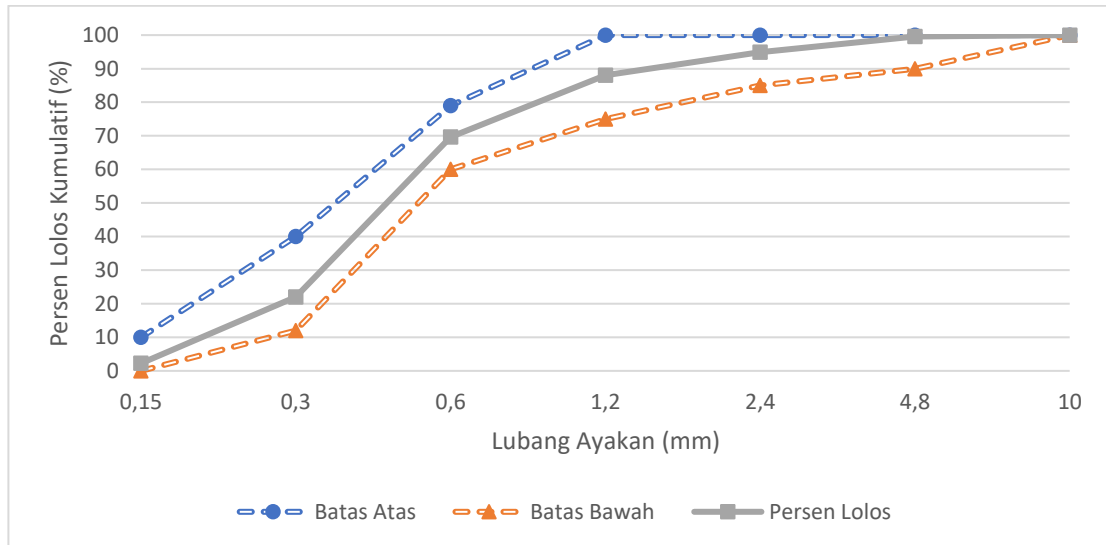
<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	8	0,40	0,40	99,60
2.40	94	4,70	5,10	94,90
1.20	137	6,85	11,95	88,05
0.60	368	18,40	30,35	69,65
0.30	952	47,60	77,95	22,05
0.15	396	19,80	97,75	2,25
Sisa	45	2,250	100,000	0
Jumlah	2000	100	223,500	376,500
MHB				2,235

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ &= \frac{223,500}{100} \\ &= 2,235 \end{aligned}$$

<b>Hasil Analisa Saringan:</b>	
<b>Pasir Masuk Daerah</b>	III
<b>Jenis Pasir</b>	Agak Halus

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS**



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN**  
**AGREGAT HALUS**  
(SNI 03-1968-1990)

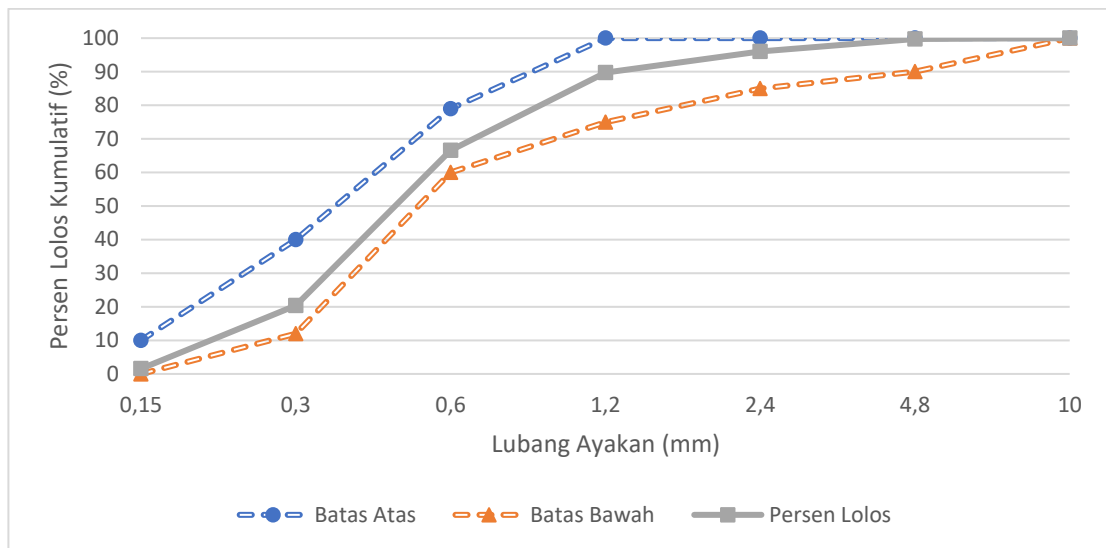
<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	5	0,25	0,25	99,75
2,40	75	3,75	4,00	96,00
1,20	125	6,25	10,25	89,675
0,60	463	23,15	33,40	66,60
0,30	925	46,25	79,65	20,35
0,15	376	18,80	98,45	1,55
Sisa	31	1,550	100,000	0
Jumlah	2000	100	226,000	374,00
MHB				2,260

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{226,000}{100} \\ &= 2,260 \end{aligned}$$

<b>Hasil Analisis Saringan:</b>	
<b>Pasir masuk daerah</b>	III
<b>Jenis Pasir</b>	Agak Halus

### GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

## PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10391	10493	10442
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18992	18530	18761
Berat Agregat (W3)	8601	8037	8319
Diameter Tabung (d)	14,9500	14,9500	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V)	5285,4628	5285,4628	5285,46282
Berat Volume Gembur	1,6273	1,5206	1,5739

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8601}{5285,46} \\
 &= 1,573 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalarn, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)



**PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS**

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1)	10391	10493	10442
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19861	19230	19545,5
Berat Agregat (W3)	9470	8737	9103,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,1	30,1
Volume Tabung (V)	5283,7074	5283,7074	5283,7074
Berat Volume Padat	1,7923	1,6536	1,722

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{9103,5}{5283,71} \\
 &= 1,722 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN LOLOS SARINGAN No.200 /**  
**UJI KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR**  
(SNI 03-4142-1996)

<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	482	485	483,5
Berat yang Lolos Ayakan No.200	0,04	0,03	0,035

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pengujian Agregat Kasar**

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR  
AGREGAT KASAR  
(SNI 03-1969-2008)**

<b>Asal Pasir</b>	Clereng
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4970	4958	4964
Berat Kerikil Jenuh Kering Muka (bj)	5000	5000	5000
Berat Kerikil dalam air, gram (Ba)	3074	3060	3067
Berat Jenis Curah Bk/(Bj-Ba)	2,580	2,556	2,568
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,596	2,577	2,587
Berat Jenis Semu Bk/(Bk-Ba)	2,621	2,612	2,617
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	0,60%	0,85%	0,725%

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

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

<b>Asal Pasir</b>	Clereng
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	1

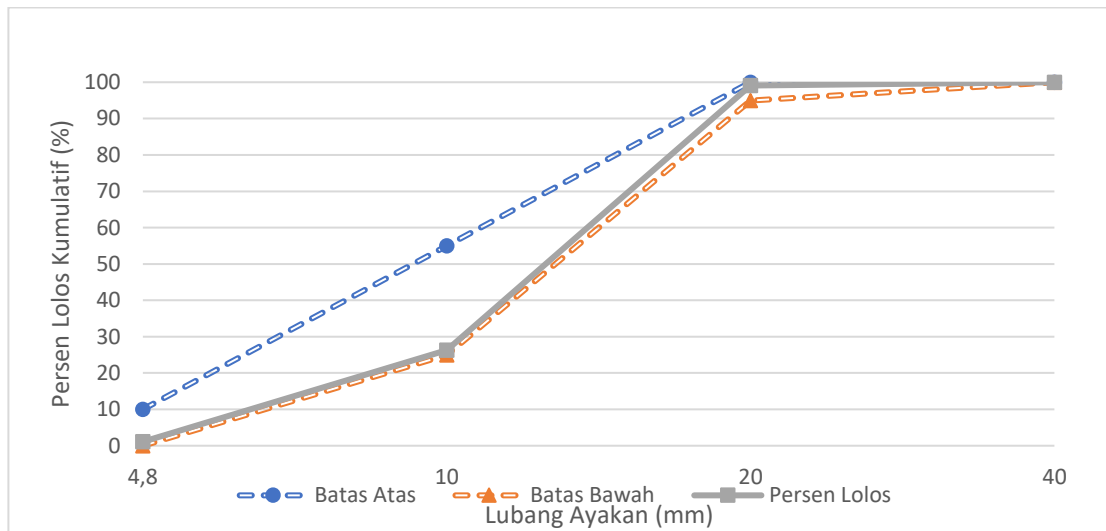
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	43	0,86	0,86	99,14
10,00	3643	72,86	73,72	26,28
4,80	1259	25,18	98,9	1,10
2,40	9	0,18	99,08	0,92
1,20	6	0,12	99,2	0,80
0,60	0	0	99,2	0,80
0,30	0	0	99,2	0,80
0,15	0	0	99,2	0,80
Sisa	40	0,8	100	0
Jumlah	5000	100	669,36	230,64
MHB				6,693

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{669,36}{100}$$

$$= 6,693$$

<b>Hasil Analisis Saringan:</b>	
<b>Asal Kerikil</b>	Clereng
<b>Ukuran Kerikil</b>	20 mm
<b>Sampel</b>	1

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR  
UKURAN 20 MM**



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

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

<b>Asal Pasir</b>	Clereng
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	2

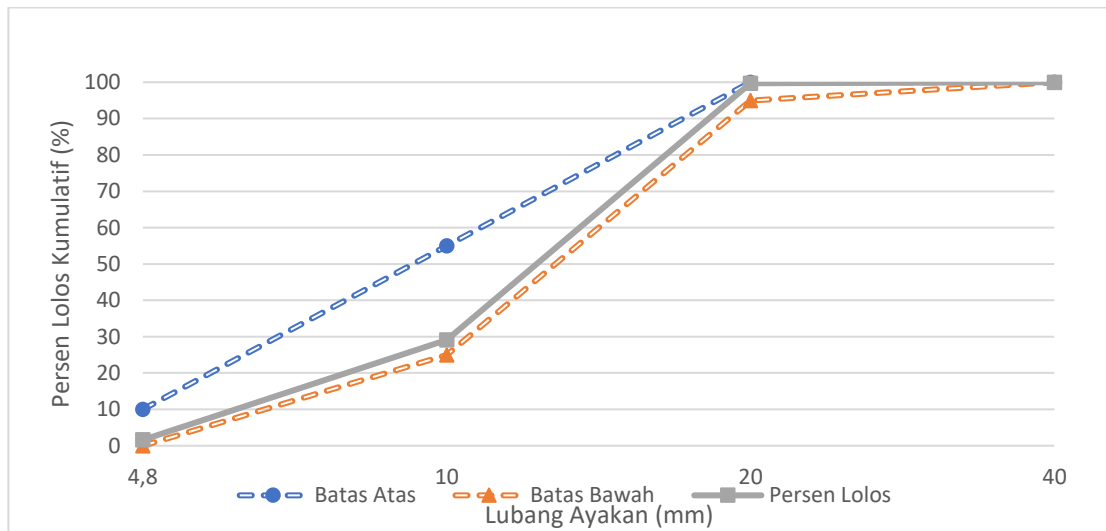
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	14	0,28	0,28	99,72
10,00	3529	70,58	70,86	29,14
4,80	1377	27,54	98,4	1,60
2,40	12	0,24	98,64	1,36
1,20	3	0,06	98,7	1,30
0,60	0	0	98,7	1,30
0,30	0	0	98,7	1,30
0,15	0	0	98,7	1,30
Sisa	65	1,3	100	0,00
Jumlah	5000	100	662,98	237,02
MHB				6,629

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{662,9}{100}$$

$$= 6,629$$

<b>Hasil Analisis Saringan:</b>	
<b>Asal Kerikil</b>	Clereng
<b>Ukuran Kerikil</b>	20 mm
<b>Sampel</b>	2

**GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR  
UKURAN 20 MM**



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR**

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Kerikil</b>	Clereng
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10391	10493	10442
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18992	18530	18761
Berat Agregat (W3), gram	8601	8037	8319
Diameter Tabung (d)	14,9500	14,9500	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	30,11
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5285,4628	5285,4628	5285,46282
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,6273	1,5206	1,573

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8319}{5285,462} \\
 &= 1,573 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)



**PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR**

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Pasir</b>	Progo
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10229	10237	10233
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19668	19689	19678,5
Berat Agregat (W3), gram	9039	9052	9045,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,12	30,11
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5283,7074	5287,2182	5285,46282
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,7107	1,7121	1,7113

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{9045,5}{5285,462} \\
 &= 1,711 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**Lampiran 3 Laporan sementara Hasil Pengujian Agregat Halus**

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN**

**AIR LIMBAH BATU BATA**

(SNI 03-1970-2008)

<b>Asal Pasir</b>	Limbah Batu Bata
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata – rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	477	482	479.5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	964	969	966,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	656	677	666,5
Berat Jenis Curah Bk / (BJ – Ba)	2,484	2,317	2,401
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj / (Bj-Ba)	2,604	2,404	2,504
Berat Jenis Semu Bk / (Bk-Ba)	2,822	2,537	2,680
Penyerapan Air (500-Bk) / Bk x 100%	4,8218%	3,7344%	4,278

Diperiksa Oleh,

Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN**  
**LIMBAH BATU BATA**  
(SNI 03-1968-1990)

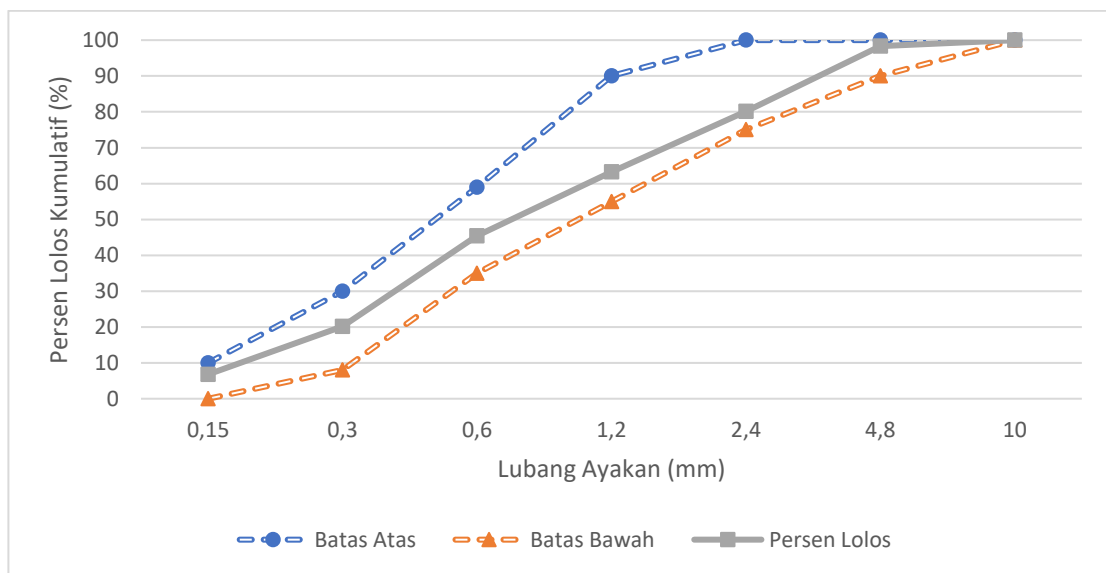
<b>Asal Pasir</b>	Limbah Batu Bata
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	34	1,70	1,70	98,30
2,40	363	18,15	19,85	80,15
1,20	338	16,90	36,75	63,25
0,60	357	17,85	54,60	45,40
0,30	504	25,20	79,80	20,20
0,15	268	13,40	93,20	6,80
Sisa	136	6.800	100,000	0
Jumlah	2000	100	285.900	314,100
MHB				2,859

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{\Sigma \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ &= \frac{285.900}{100} \\ &= 2,859 \end{aligned}$$

<b>Hasil Analisa Saringan:</b>	
<b>Pasir Masuk Daerah</b>	II
<b>Jenis Pasir</b>	Agak Kasar

**GAMBAR ANALISA SARINGAN  
LIMBAH BATU BATA**



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN  
LIMBAH BATU BATA**

(SNI 03-1968-1990)

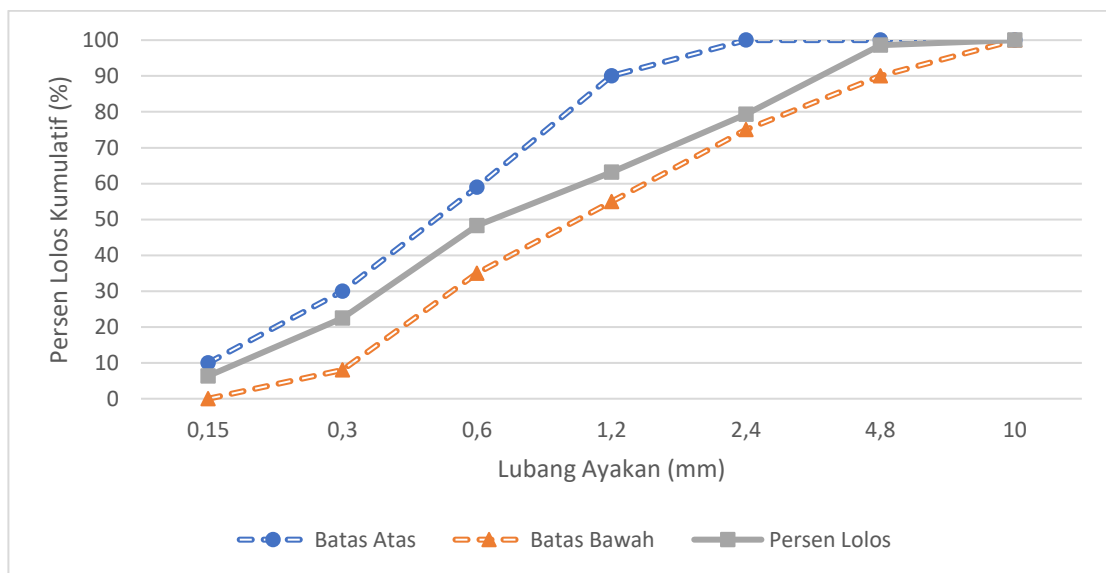
<b>Asal Pasir</b>	Limbah Batu Bata
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir
<b>Sampel</b>	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gr)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	28	1,40	1,40	98,60
2,40	386	19,30	20,70	79,30
1,20	322	16,10	36,80	63,20
0,60	298	14,90	51,70	48,30
0,30	516	25,80	77,50	22,50
0,15	323	16,15	93,65	6,35
Sisa	127	6,350	100,000	0
Jumlah	2000	100	281,750	318,250
MHB				2,818

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{281,750}{100} \\ &= 2,818 \end{aligned}$$

<b>Hasil Analisis Saringan:</b>	
<b>Pasir masuk daerah</b>	II
<b>Jenis Pasir</b>	Agak Kasar

**GAMBAR ANALISA SARINGAN  
LIMBAH BATU BATA**



Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME GEMBUR LIMBAH BATU BATA**

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Pasir</b>	Limbah Batu Bata
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10229	120237	10233
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	18474	18794	18634
Berat Agregat (W3), gram	7845	8105	7975
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,05	30,08	30,065
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5274,930	5280,196	5277,563
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,487	1,535	1,511

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7975}{5277,563} \\
 &= 1,511 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalarn, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)

**PENGUJIAN BERAT VOLUME PADAT LIMBAH BATU BATA**

(SNI 03-4804-1998)

<b>Asal Pasir</b>	Limbah Batu Bata
<b>Keperluan</b>	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10229	10237	10233
Berat Tabung + Agregat SSD (W2), gram	19668	19689	19678,5
Berat Agregat (W3), gram	9039	9052	9045,5
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	14,95
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,12	30,1
Volume Tabung (V), cm <sup>3</sup>	5283,7074	5287,218	5285,463
Berat Volume Padat, gram/cm <sup>3</sup>	1,710	1,712	1,711

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat Volume}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{9045,5}{5285,463} \\
 &= 1,711 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Diperiksa Oleh,  
Laboran

(Darusalam, A.Md.)

Dikerjakan oleh,

(Bima Hendra N)



**Lampiran 4 Data Hasil Campuran Beton dengan Limbah Batu Bata dan Abu Sekam Padi Setiap Variasi**

Hasil Campuran beton dengan persentase Limbah Batu Bata dan Abu Sekam Padi  
Silinder  
Kebutuhan Per 5 benda uji (0,0265 m<sup>3</sup>)

Variasi (%)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Limbah Batu Bata (kg)	Abu Sekam Padi (kg)
LBB 0% ASP 0%	22,981	33,070	12,786	6,521	0	0
LBB 3% ASP 10%	22,291	33,070	11,507	6,521	0,677	1,279
LBB 6% ASP 10%	21,602	33,070	11,507	6,521	1,354	1,279
LBB 9% ASP 10%	20,912	33,070	11,507	6,521	2,031	1,279
LBB 12% ASP 10%	20,223	33,070	11,507	6,521	2,708	1,279
LBB 15% ASP 10%	19,534	33,070	11,507	6,521	3,385	1,279
Total	127,543	198,418	70,322	5,812	10,155	6,393

**Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa**

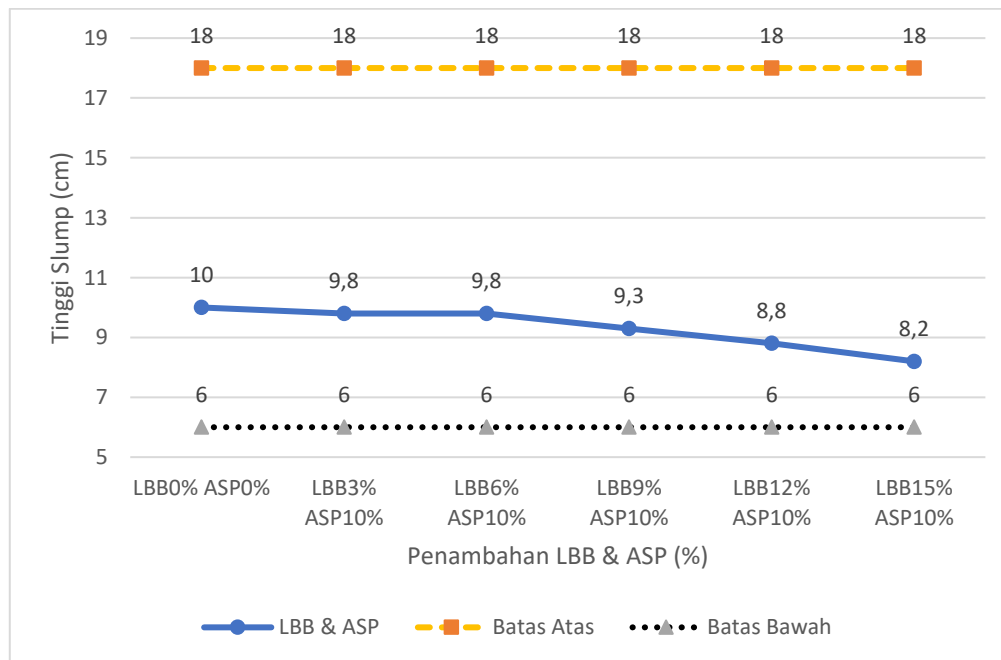
<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan (Silinder/Kubus) ( $f_c$ )	25	MPa	
2	Deviasi Standar (s)	7		
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	37	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Dynamix
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Progo
8	Faktor air semen bebas	0.51		Grafik 1 SNI
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	Mm	
11	Kadar Air Bebas	205,00	Kg	
12	Kadar Semen	401,961	Kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	325	Kg	Tabel 4 SNI
15	Kadar Semen digunakan	401,961	Kg/m <sup>3</sup>	
16	Faktor Air Semen disesuaikan	-		
17	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		
18	Berat Jenis Agregat Halus	2,55		Uji Properties
19	Berat Jenis Agregat Kasar	2,58		Uji Properties
20	Persen Agregat Halus	41	%	
21	Berat Jenis relatif Agregat (gabungan) SSD	2,568		
22	Berat Isi Beton	2369,07	Kg/m <sup>3</sup>	Grafik 6 SNI
23	Kadar Agregat Gabungan	1762,11	Kg/m <sup>3</sup>	
24	Kadar agregat halus	722,465	Kg/m <sup>3</sup>	
25	Kadar Agregat Kasar	1039,64	Kg/m <sup>3</sup>	
26	Kadar Abu Sekam Padi Digunakan		Kg/m <sup>3</sup>	10% dari berat semen
27	Kadar Limbah Batu bata digunakan		Kg/m <sup>3</sup>	Variasi (0%, 3%, 6%, 9%, 12% dan 15% dari berat pasir

## Lampuran 6 Data Hasil pengujian Beton

### Tabel Pengujian Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi Slump (cm)	Keterangan Syarat Nilai Slump (60-180 mm)
	Limbah Batu Bata (%)	Abu Sekam Padi (%)		
LBB0% ASP0%	0%	0%	10	Memenuhi
LBB3% ASP10%	3%	10%	9,8	Memenuhi
LBB6% ASP10%	6%	10%	9,8	Memenuhi
LBB9% ASP10%	9%	10%	9,3	Memenuhi
LBB12% ASP10%	12%	10%	8,8	Memenuhi
LBB15% ASP10%	15%	10%	8,2	Memenuhi

### Gambar Grafik Nilai Slump



**Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton Normal**

Umur Benda Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan Beton (MPa)	Kuat Tekan Beton Rata-rata (MPa)	
28 Hari	LBB 0% ASP 0%	S1-A	15,12	30,16	13,13	17237,119	453	25,23	25,31
		S2-A	15,06	30,33	13,223	17100,588	461	25,74	
		S3-A	15,13	30,4	13,113	17259,927	437	24,40	
		S4-A	15,07	30,17	13,386	17123,306	457	25,69	
		S5-A	15,05	30,22	13,238	17077,886	455	25,48	
	LBB 3% ASP 10%	S1-B	15,12	30,36	13,09	17237,119	460	25,62	27,33
		S2-B	15,04	30,15	13,29	17055,198	465	26,17	
		S3-B	15,07	30,24	13,24	17123,306	512	28,70	
		S4-B	15,11	30,18	13,19	17214,326	549	30,62	
		S5-B	15,18	30,15	12,96	17374,193	462	25,53	
	LBB 6% ASP 10%	S1-C	15,14	30,25	13,30	17282,750	523	29,05	28,68
		S2-C	15,1	30,32	13,23	17191,548	558	31,16	
		S3-C	15,03	30,29	13,15	17032,526	477	26,89	
		S4-C	15,15	30,35	13,00	17305,588	496	27,51	
		S5-C	15,1	30,24	13,11	17191,548	516	28,81	
	LBB 9% ASP 10%	S1-D	15,03	30,24	12,93	17032.52659	486	27,39	29,81
		S2-D	15,07	30,36	13,04	17123.30605	562	31,51	
		S3-D	15,14	30,32	12,98	17282.75067	533	29,61	
		S4-D	15,18	30,18	13,27	17374.19364	518	28,62	
		S5-D	15,12	30,26	13,08	17237.11967	573	31,91	
LBB 12% ASP 10%	S1-E	15,17	30,32	13,136	17351,310	565	31,26	31,23	
	S2-E	15,1	30,35	13,152	17191,548	581	32,44		
	S3-E	15,08	30,26	12,994	17146,038	568	31,80		
	S4-E	15,1	30,15	13,929	17191,548	518	28,93		
	S5-E	15,03	30,22	13,218	17032,526	563	31,73		
LBB 15% ASP 10%	S1-F	15,15	30,25	12,850	17305,588	498	27,63	30,11	
	S2-F	15,07	30,32	12,977	17123,306	523	29,32		
	S3-F	15,12	30,17	12,826	17237,119	573	31,91		
	S4-F	15,09	30,35	12,552	17168,786	558	31,20		
	S5-F	15,1	30,12	13,003	17191,548	546	30,49		

## Lampiran 8 Pengujian Modulus Elastisitas

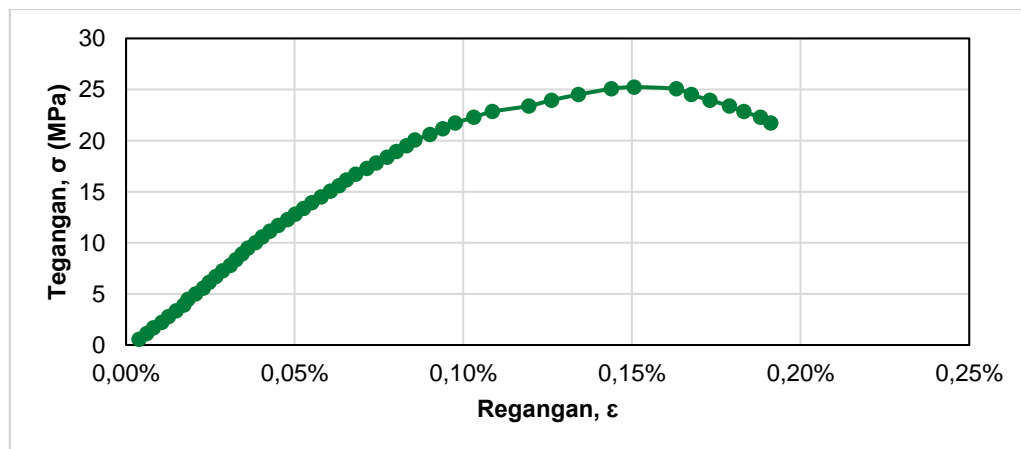
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,23	MPa
Diameter	15,12	Cm
Tinggi	30,16	Cm
Luas	179,5533299	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	453	kN
Output		
ASTM C-469	26208,8281	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23607,51243	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	25805,42699	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	12	0,006	0,003%	1,11
30	30000	20	0,01	0,005%	1,67
40	40000	30	0,015	0,008%	2,23
50	50000	38	0,019	0,010%	2,78
60	60000	47	0,0235	0,012%	3,34
70	70000	56	0,028	0,014%	3,90
80	80000	61	0,0305	0,015%	4,46
90	90000	70	0,035	0,018%	5,01
100	100000	79	0,0395	0,020%	5,57
110	110000	86	0,043	0,022%	6,13
120	120000	94	0,047	0,024%	6,68
130	130000	102	0,051	0,026%	7,24
140	140000	111	0,0555	0,028%	7,80
150	150000	118	0,059	0,030%	8,35
160	160000	125	0,0625	0,031%	8,91
170	170000	132	0,066	0,033%	9,47
180	180000	141	0,0705	0,035%	10,02
190	190000	149	0,0745	0,037%	10,58
200	200000	158	0,079	0,040%	11,14
210	210000	168	0,084	0,042%	11,70
220	220000	179	0,0895	0,045%	12,25
230	230000	188	0,094	0,047%	12,81
240	240000	198	0,099	0,050%	13,37
250	250000	208	0,104	0,052%	13,92
260	260000	219	0,1095	0,055%	14,48
270	270000	230	0,115	0,058%	15,04
280	280000	240	0,12	0,060%	15,59
290	290000	249	0,1245	0,062%	16,15

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
300	300000	260	0,13	0,065%	16,71
310	310000	273	0,1365	0,068%	17,27
320	320000	284	0,142	0,071%	17,82
330	330000	297	0,1485	0,074%	18,38
340	340000	308	0,154	0,077%	18,94
350	350000	320	0,16	0,080%	19,49
360	360000	330	0,165	0,083%	20,05
370	370000	348	0,174	0,087%	20,61
380	380000	363	0,1815	0,091%	21,16
390	390000	378	0,189	0,095%	21,72
400	400000	400	0,2	0,100%	22,28
410	410000	422	0,211	0,106%	22,83
420	420000	465	0,2325	0,116%	23,39
430	430000	492	0,246	0,123%	23,95
440	440000	524	0,262	0,131%	24,51
450	450000	563	0,2815	0,141%	25,06
453	453000	590	0,295	0,148%	25,23
450	450000	640	0,32	0,160%	25,06
440	440000	658	0,329	0,165%	24,51
430	430000	680	0,34	0,170%	23,95
420	420000	703	0,3515	0,176%	23,39
410	410000	720	0,36	0,180%	22,83
400	400000	740	0,37	0,185%	22,28
390	390000	752	0,376	0,188%	21,72

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 1



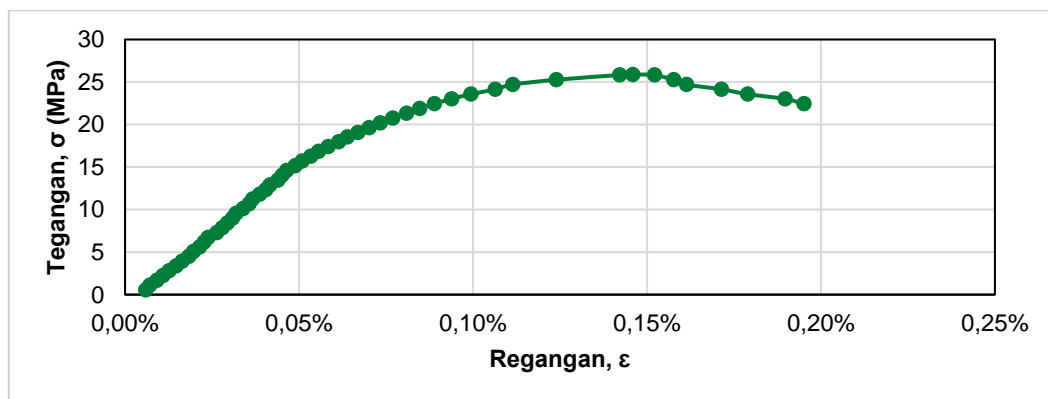
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,88	MPa
Diameter	15,06	Cm
Tinggi	30,33	Cm
Luas	178,1311309	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	461	kN
Output		
ASTM C-469	29940,49	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23909,93569	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	26506,71975	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	8	0,004	0,002%	0,56
20	20000	13	0,0065	0,003%	1,12
30	30000	21	0,0105	0,005%	1,68
40	40000	28	0,014	0,007%	2,25
50	50000	35	0,0175	0,009%	2,81
60	60000	43	0,0215	0,011%	3,37
70	70000	50	0,025	0,013%	3,93
80	80000	58	0,029	0,015%	4,49
90	90000	63	0,0315	0,016%	5,05
100	100000	70	0,035	0,018%	5,61
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,18
120	120000	80	0,04	0,020%	6,74
130	130000	90	0,045	0,023%	7,30
140	140000	96	0,048	0,024%	7,86
150	150000	102	0,051	0,026%	8,42
160	160000	108	0,054	0,027%	8,98
170	170000	112	0,056	0,028%	9,54
180	180000	120	0,06	0,030%	10,10
190	190000	127	0,0635	0,032%	10,67
200	200000	131	0,0655	0,033%	11,23
210	210000	139	0,0695	0,035%	11,79
220	220000	146	0,073	0,037%	12,35
230	230000	151	0,0755	0,038%	12,91
240	240000	160	0,08	0,040%	13,47
250	250000	165	0,0825	0,041%	14,03
260	260000	170	0,085	0,043%	14,60
270	270000	180	0,09	0,045%	15,16
280	280000	188	0,094	0,047%	15,72
290	290000	198	0,099	0,050%	16,28
300	300000	207	0,1035	0,052%	16,84
310	310000	218	0,109	0,055%	17,40

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,96
330	330000	240	0,12	0,060%	18,53
340	340000	252	0,126	0,063%	19,09
350	350000	265	0,1325	0,066%	19,65
360	360000	278	0,139	0,070%	20,21
370	370000	292	0,146	0,073%	20,77
380	380000	308	0,154	0,077%	21,33
390	390000	323	0,1615	0,081%	21,89
400	400000	340	0,17	0,085%	22,46
410	410000	360	0,18	0,090%	23,02
420	420000	382	0,191	0,096%	23,58
430	430000	410	0,205	0,103%	24,14
440	440000	430	0,215	0,108%	24,70
450	450000	480	0,24	0,120%	25,26
460	460000	553	0,2765	0,138%	25,82
461	461000	568	0,284	0,142%	25,88
460	460000	593	0,2965	0,148%	25,82
450	450000	615	0,3075	0,154%	25,26
440	440000	630	0,315	0,158%	24,70
430	430000	670	0,335	0,168%	24,14
420	420000	700	0,35	0,175%	23,58
410	410000	743	0,3715	0,186%	23,02
400	400000	765	0,3825	0,191%	22,45536746

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 2**





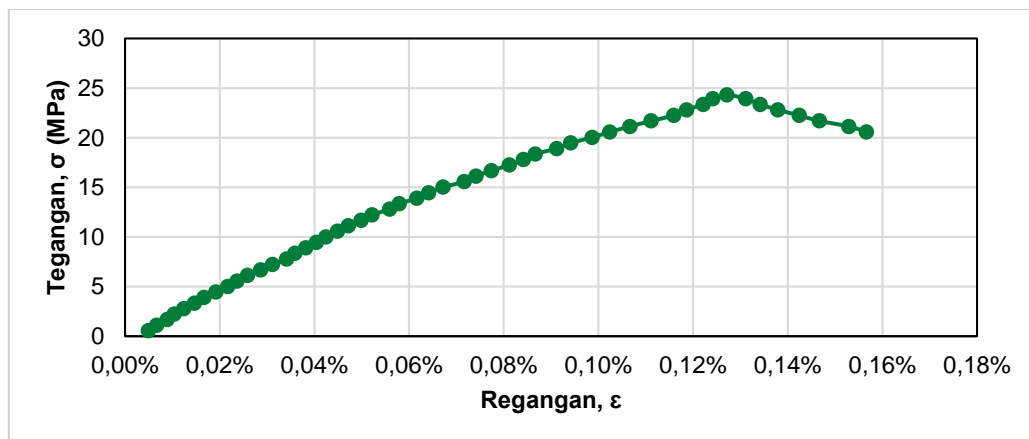
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	24,31	MPa
Diameter	15,03	Cm
Tinggi	30,4	Cm
Luas	179,7909128	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	437	kN
Output		
ASTM C-469	23596,43	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23171,52983	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	24931,40494	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	10	0,005	0,003%	1,11
30	30000	19	0,0095	0,005%	1,67
40	40000	25	0,0125	0,006%	2,22
50	50000	33	0,0165	0,008%	2,78
60	60000	42	0,021	0,011%	3,34
70	70000	50	0,025	0,013%	3,89
80	80000	60	0,03	0,015%	4,45
90	90000	70	0,035	0,018%	5,01
100	100000	78	0,039	0,020%	5,56
110	110000	87	0,0435	0,022%	6,12
120	120000	98	0,049	0,025%	6,67
130	130000	108	0,054	0,027%	7,23
140	140000	120	0,06	0,030%	7,79
150	150000	127	0,0635	0,032%	8,34
160	160000	136	0,068	0,034%	8,90
170	170000	145	0,0725	0,036%	9,46
180	180000	153	0,0765	0,038%	10,01
190	190000	163	0,0815	0,041%	10,57
200	200000	172	0,086	0,043%	11,12
210	210000	183	0,0915	0,046%	11,68
220	220000	192	0,096	0,048%	12,24
230	230000	207	0,1035	0,052%	12,79
240	240000	215	0,1075	0,054%	13,35
250	250000	230	0,115	0,058%	13,91
260	260000	240	0,12	0,060%	14,46
270	270000	252	0,126	0,063%	15,02
280	280000	270	0,135	0,068%	15,57
290	290000	280	0,14	0,070%	16,13
300	300000	293	0,1465	0,073%	16,69
310	310000	308	0,154	0,077%	17,24

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	320	0,16	0,080%	17,80
330	330000	330	0,165	0,083%	18,35
340	340000	348	0,174	0,087%	18,91
350	350000	360	0,18	0,090%	19,47
360	360000	378	0,189	0,095%	20,02
370	370000	393	0,1965	0,098%	20,58
380	380000	410	0,205	0,103%	21,14
390	390000	428	0,214	0,107%	21,69
400	400000	447	0,2235	0,112%	22,25
410	410000	458	0,229	0,115%	22,80
420	420000	472	0,236	0,118%	23,36
430	430000	480	0,24	0,120%	23,92
437	437000	492	0,246	0,123%	24,31
430	430000	508	0,254	0,127%	23,92
420	420000	520	0,26	0,130%	23,36
410	410000	535	0,2675	0,134%	22,80
400	400000	553	0,2765	0,138%	22,25
390	390000	570	0,285	0,143%	21,69
380	380000	595	0,2975	0,149%	21,14
370	370000	610	0,305	0,153%	20,58

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 3**



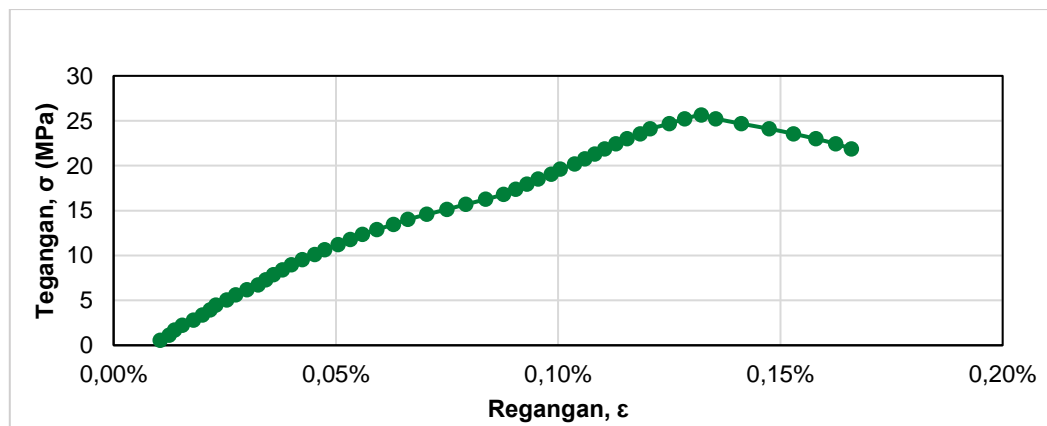
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,62	MPa
Diameter	15,07	Cm
Tinggi	30,17	Cm
Luas	178,3677714	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	457	kN
Output		
ASTM C-469	22425,58	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23790,18203	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27023,23801	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	13	0,0065	0,003%	1,68
40	40000	20	0,01	0,005%	2,24
50	50000	30	0,015	0,008%	2,80
60	60000	38	0,019	0,010%	3,36
70	70000	45	0,0225	0,011%	3,92
80	80000	50	0,025	0,013%	4,49
90	90000	60	0,03	0,015%	5,05
100	100000	68	0,034	0,017%	5,61
110	110000	78	0,039	0,020%	6,17
120	120000	88	0,044	0,022%	6,73
130	130000	95	0,0475	0,024%	7,29
140	140000	102	0,051	0,026%	7,85
150	150000	110	0,055	0,028%	8,41
160	160000	118	0,059	0,030%	8,97
170	170000	128	0,064	0,032%	9,53
180	180000	139	0,0695	0,035%	10,09
190	190000	148	0,074	0,037%	10,65
200	200000	160	0,08	0,040%	11,21
210	210000	171	0,0855	0,043%	11,77
220	220000	182	0,091	0,046%	12,33
230	230000	195	0,0975	0,049%	12,89
240	240000	210	0,105	0,053%	13,46
250	250000	223	0,1115	0,056%	14,02
260	260000	240	0,12	0,060%	14,58
270	270000	258	0,129	0,065%	15,14
280	280000	275	0,1375	0,069%	15,70
290	290000	293	0,1465	0,073%	16,26
300	300000	309	0,1545	0,077%	16,82
310	310000	320	0,16	0,080%	17,38

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
300	300000	309	0,1545	0,077%	16,82
310	310000	320	0,16	0,080%	17,38
320	320000	330	0,165	0,083%	17,94
330	330000	340	0,17	0,085%	18,50
340	340000	352	0,176	0,088%	19,06
350	350000	360	0,18	0,090%	19,62
360	360000	373	0,1865	0,093%	20,18
370	370000	382	0,191	0,096%	20,74
380	380000	391	0,1955	0,098%	21,30
390	390000	400	0,2	0,100%	21,86
400	400000	410	0,205	0,103%	22,43
410	410000	420	0,21	0,105%	22,99
420	420000	432	0,216	0,108%	23,55
430	430000	441	0,2205	0,110%	24,11
440	440000	458	0,229	0,115%	24,67
450	450000	472	0,236	0,118%	25,23
457	457000	487	0,2435	0,122%	25,62
450	450000	500	0,25	0,125%	25,23
440	440000	523	0,2615	0,131%	24,67
430	430000	548	0,274	0,137%	24,11
420	420000	570	0,285	0,143%	23,55
410	410000	590	0,295	0,148%	22,99
400	400000	608	0,304	0,152%	22,43
390	390000	622	0,311	0,156%	21,86

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 4**



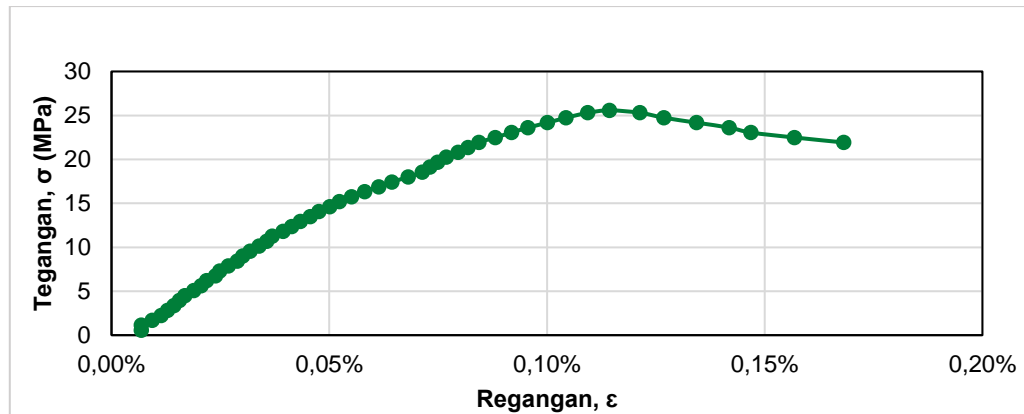
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,62	MPa
Diameter	15,05	Cm
Tinggi	30,22	Cm
Luas	177,8946475	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	455	kN
Output		
ASTM C-469	29980,29	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23769,61326	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	26593,20023	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	0	0	0,000%	1,12
30	30000	10	0,005	0,003%	1,69
40	40000	18	0,009	0,005%	2,25
50	50000	24	0,012	0,006%	2,81
60	60000	30	0,015	0,008%	3,37
70	70000	35	0,0175	0,009%	3,93
80	80000	40	0,02	0,010%	4,50
90	90000	48	0,024	0,012%	5,06
100	100000	55	0,0275	0,014%	5,62
110	110000	60	0,03	0,015%	6,18
120	120000	68	0,034	0,017%	6,75
130	130000	72	0,036	0,018%	7,31
140	140000	80	0,04	0,020%	7,87
150	150000	88	0,044	0,022%	8,43
160	160000	93	0,0465	0,023%	8,99
170	170000	100	0,05	0,025%	9,56
180	180000	108	0,054	0,027%	10,12
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,68
200	200000	120	0,06	0,030%	11,24
210	210000	130	0,065	0,033%	11,80
220	220000	138	0,069	0,035%	12,37
230	230000	146	0,073	0,037%	12,93
240	240000	155	0,0775	0,039%	13,49
250	250000	163	0,0815	0,041%	14,05
260	260000	173	0,0865	0,043%	14,62
270	270000	182	0,091	0,046%	15,18
280	280000	193	0,0965	0,048%	15,74
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,30
300	300000	218	0,109	0,055%	16,86
310	310000	230	0,115	0,058%	17,43

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	245	0,1225	0,061%	17,99
330	330000	258	0,129	0,065%	18,55
340	340000	265	0,1325	0,066%	19,11
350	350000	272	0,136	0,068%	19,67
360	360000	280	0,14	0,070%	20,24
370	370000	291	0,1455	0,073%	20,80
380	380000	300	0,15	0,075%	21,36
390	390000	310	0,155	0,078%	21,92
400	400000	325	0,1625	0,081%	22,49
410	410000	340	0,17	0,085%	23,05
420	420000	355	0,1775	0,089%	23,61
430	430000	373	0,1865	0,093%	24,17
440	440000	390	0,195	0,098%	24,73
450	450000	410	0,205	0,103%	25,30
455	455000	430	0,215	0,108%	25,58
450	450000	458	0,229	0,115%	25,30
440	440000	480	0,24	0,120%	24,73
430	430000	510	0,255	0,128%	24,17
420	420000	540	0,27	0,135%	23,61
410	410000	560	0,28	0,140%	23,05
400	400000	600	0,3	0,150%	22,49
390	390000	645	0,3225	0,161%	21,92

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 0% - ASP 0% Sampel 5**



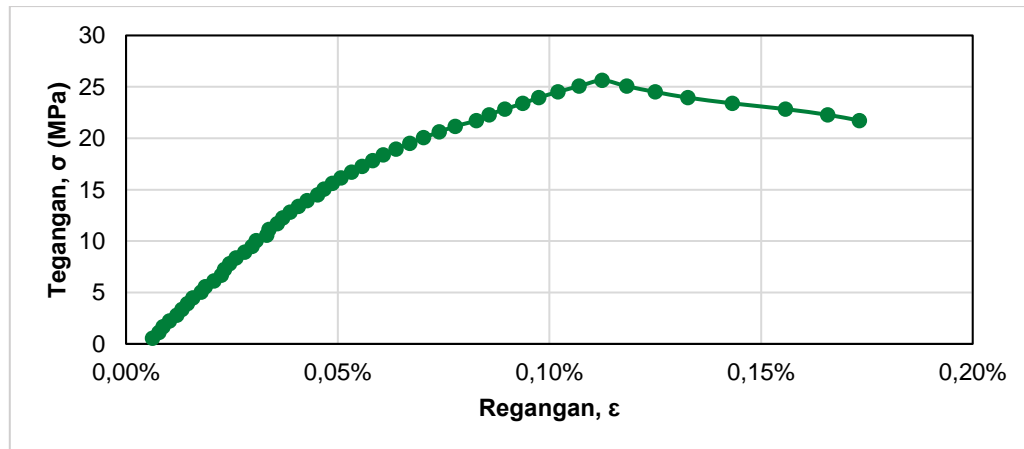
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,62	MPa
Diameter	15,12	Cm
Tinggi	30,36	Cm
Luas	179,5533299	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	460	kN
Output		
ASTM C-469	31825,01	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23789,2112	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	25629,94062	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,11
30	30000	12	0,006	0,003%	1,67
40	40000	18	0,009	0,005%	2,23
50	50000	25	0,0125	0,006%	2,78
60	60000	30	0,015	0,008%	3,34
70	70000	35	0,0175	0,009%	3,90
80	80000	40	0,02	0,010%	4,46
90	90000	48	0,024	0,012%	5,01
100	100000	52	0,026	0,013%	5,57
110	110000	60	0,03	0,015%	6,13
120	120000	67	0,0335	0,017%	6,68
130	130000	70	0,035	0,018%	7,24
140	140000	75	0,0375	0,019%	7,80
150	150000	81	0,0405	0,020%	8,35
160	160000	89	0,0445	0,022%	8,91
170	170000	96	0,048	0,024%	9,47
180	180000	100	0,05	0,025%	10,02
190	190000	110	0,055	0,028%	10,58
200	200000	112	0,056	0,028%	11,14
210	210000	120	0,06	0,030%	11,70
220	220000	125	0,0625	0,031%	12,25
230	230000	132	0,066	0,033%	12,81
240	240000	140	0,07	0,035%	13,37
250	250000	148	0,074	0,037%	13,92
260	260000	158	0,079	0,040%	14,48
270	270000	164	0,082	0,041%	15,04
280	280000	172	0,086	0,043%	15,59
290	290000	180	0,09	0,045%	16,15
300	300000	190	0,095	0,048%	16,71
310	310000	200	0,1	0,050%	17,27

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	210	0,105	0,053%	17,82
330	330000	220	0,11	0,055%	18,38
340	340000	232	0,116	0,058%	18,94
350	350000	245	0,1225	0,061%	19,49
360	360000	258	0,129	0,065%	20,05
370	370000	273	0,1365	0,068%	20,61
380	380000	288	0,144	0,072%	21,16
390	390000	308	0,154	0,077%	21,72
400	400000	320	0,16	0,080%	22,28
410	410000	335	0,1675	0,084%	22,83
420	420000	352	0,176	0,088%	23,39
430	430000	367	0,1835	0,092%	23,95
440	440000	385	0,1925	0,096%	24,51
450	450000	405	0,2025	0,101%	25,06
460	460000	427	0,2135	0,107%	25,62
450	450000	450	0,225	0,113%	25,06
440	440000	477	0,2385	0,119%	24,51
430	430000	508	0,254	0,127%	23,95
420	420000	550	0,275	0,138%	23,39
410	410000	600	0,3	0,150%	22,83
400	400000	640	0,32	0,160%	22,28
390	390000	670	0,335	0,168%	21,72

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 1**





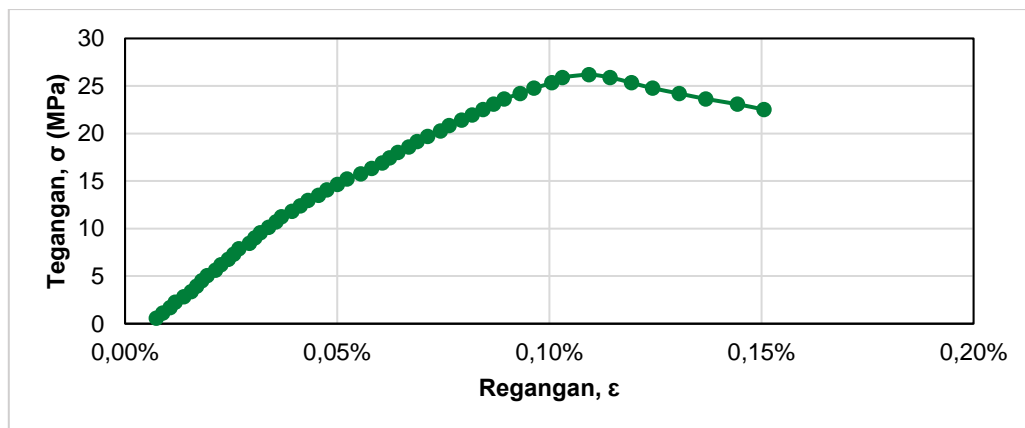
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,17	MPa
Diameter	15,04	Cm
Tinggi	30,15	Cm
Luas	177,6583212	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	465	kN
Output		
ASTM C-469	30020,17	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	24045,37516	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27205,80862	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,13
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,69
40	40000	20	0,01	0,005%	2,25
50	50000	28	0,014	0,007%	2,81
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,38
70	70000	40	0,02	0,010%	3,94
80	80000	45	0,0225	0,011%	4,50
90	90000	50	0,025	0,013%	5,07
100	100000	58	0,029	0,015%	5,63
110	110000	63	0,0315	0,016%	6,19
120	120000	70	0,035	0,018%	6,75
130	130000	75	0,0375	0,019%	7,32
140	140000	80	0,04	0,020%	7,88
150	150000	90	0,045	0,023%	8,44
160	160000	95	0,0475	0,024%	9,01
170	170000	100	0,05	0,025%	9,57
180	180000	108	0,054	0,027%	10,13
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,69
200	200000	120	0,06	0,030%	11,26
210	210000	130	0,065	0,033%	11,82
220	220000	138	0,069	0,035%	12,38
230	230000	145	0,0725	0,036%	12,95
240	240000	155	0,0775	0,039%	13,51
250	250000	163	0,0815	0,041%	14,07
260	260000	173	0,0865	0,043%	14,63
270	270000	182	0,091	0,046%	15,20
280	280000	195	0,0975	0,049%	15,76
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,32
300	300000	215	0,1075	0,054%	16,89
310	310000	222	0,111	0,056%	17,45

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	18,01
330	330000	240	0,12	0,060%	18,57
340	340000	248	0,124	0,062%	19,14
350	350000	258	0,129	0,065%	19,70
360	360000	270	0,135	0,068%	20,26
370	370000	278	0,139	0,070%	20,83
380	380000	290	0,145	0,073%	21,39
390	390000	300	0,15	0,075%	21,95
400	400000	310	0,155	0,078%	22,52
410	410000	320	0,16	0,080%	23,08
420	420000	330	0,165	0,083%	23,64
430	430000	345	0,1725	0,086%	24,20
440	440000	358	0,179	0,090%	24,77
450	450000	375	0,1875	0,094%	25,33
460	460000	385	0,1925	0,096%	25,89
465	465000	410	0,205	0,103%	26,17
460	460000	430	0,215	0,108%	25,89
450	450000	450	0,225	0,113%	25,33
440	440000	470	0,235	0,118%	24,77
430	430000	495	0,2475	0,124%	24,20
420	420000	520	0,26	0,130%	23,64
410	410000	550	0,275	0,138%	23,08
400	400000	575	0,2875	0,144%	22,52

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 2**



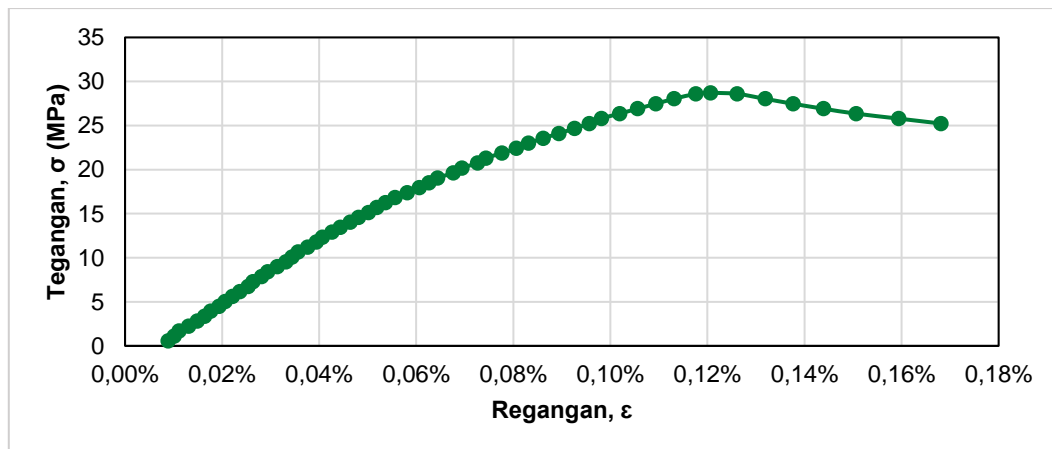
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,70	MPa
Diameter	15,07	Cm
Tinggi	30,24	Cm
Luas	178,3677714	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	512	kN
Output		
ASTM C-469	29900,77	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25181,09697	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28022,97499	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	12	0,006	0,003%	1,68
40	40000	20	0,01	0,005%	2,24
50	50000	27	0,0135	0,007%	2,80
60	60000	33	0,0165	0,008%	3,36
70	70000	38	0,019	0,010%	3,92
80	80000	45	0,0225	0,011%	4,49
90	90000	50	0,025	0,013%	5,05
100	100000	56	0,028	0,014%	5,61
110	110000	62	0,031	0,016%	6,17
120	120000	69	0,0345	0,017%	6,73
130	130000	73	0,0365	0,018%	7,29
140	140000	80	0,04	0,020%	7,85
150	150000	85	0,0425	0,021%	8,41
160	160000	93	0,0465	0,023%	8,97
170	170000	100	0,05	0,025%	9,53
180	180000	105	0,0525	0,026%	10,09
190	190000	110	0,055	0,028%	10,65
200	200000	118	0,059	0,030%	11,21
210	210000	125	0,0625	0,031%	11,77
220	220000	130	0,065	0,033%	12,33
230	230000	138	0,069	0,035%	12,89
240	240000	145	0,0725	0,036%	13,46
250	250000	153	0,0765	0,038%	14,02
260	260000	160	0,08	0,040%	14,58
270	270000	168	0,084	0,042%	15,14
280	280000	175	0,0875	0,044%	15,70
290	290000	182	0,091	0,046%	16,26
300	300000	190	0,095	0,048%	16,82
310	310000	200	0,1	0,050%	17,38

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	210	0,105	0,053%	17,94
330	330000	218	0,109	0,055%	18,50
340	340000	225	0,1125	0,056%	19,06
350	350000	238	0,119	0,060%	19,62
360	360000	245	0,1225	0,061%	20,18
370	370000	258	0,129	0,065%	20,74
380	380000	265	0,1325	0,066%	21,30
390	390000	278	0,139	0,070%	21,86
400	400000	290	0,145	0,073%	22,43
410	410000	300	0,15	0,075%	22,99
420	420000	312	0,156	0,078%	23,55
430	430000	325	0,1625	0,081%	24,11
440	440000	338	0,169	0,085%	24,67
450	450000	350	0,175	0,088%	25,23
460	460000	360	0,18	0,090%	25,79
470	470000	375	0,1875	0,094%	26,35
480	480000	390	0,195	0,098%	26,91
490	490000	405	0,2025	0,101%	27,47
500	500000	420	0,21	0,105%	28,03
510	510000	438	0,219	0,110%	28,59
512	512000	450	0,225	0,113%	28,70
510	510000	472	0,236	0,118%	28,59
500	500000	495	0,2475	0,124%	28,03
490	490000	518	0,259	0,130%	27,47
480	480000	543	0,2715	0,136%	26,91
470	470000	570	0,285	0,143%	26,35
460	460000	605	0,3025	0,151%	25,79
450	450000	640	0,32	0,160%	25,23

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 3



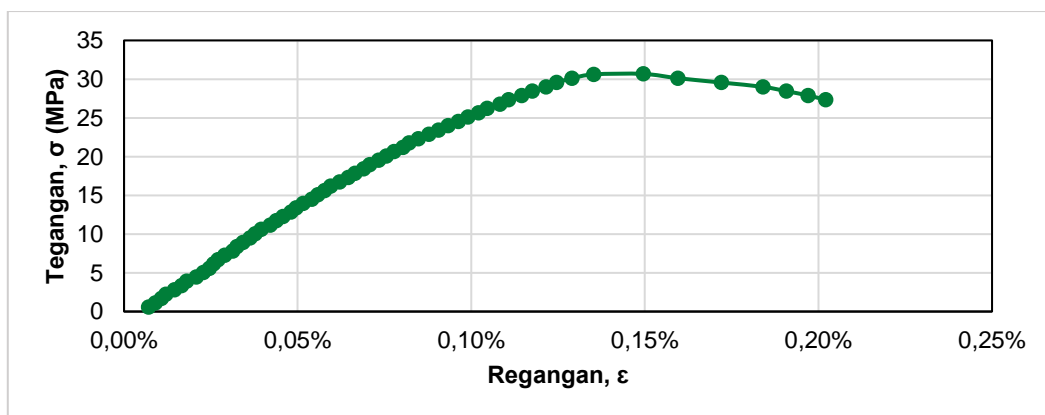
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,62	MPa
Diameter	15,11	Cm
Tinggi	30,18	Cm
Luas	179,315904	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	549	kN
Output		
ASTM C-469	26768,40	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26006,06389	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28637,69758	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,67
40	40000	20	0,01	0,005%	2,23
50	50000	30	0,015	0,008%	2,79
60	60000	38	0,019	0,010%	3,35
70	70000	44	0,022	0,011%	3,90
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,46
90	90000	63	0,0315	0,016%	5,02
100	100000	70	0,035	0,018%	5,58
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,13
120	120000	80	0,04	0,020%	6,69
130	130000	88	0,044	0,022%	7,25
140	140000	97	0,0485	0,024%	7,81
150	150000	102	0,051	0,026%	8,37
160	160000	109	0,0545	0,027%	8,92
170	170000	117	0,0585	0,029%	9,48
180	180000	123	0,0615	0,031%	10,04
190	190000	130	0,065	0,033%	10,60
200	200000	140	0,07	0,035%	11,15
210	210000	147	0,0735	0,037%	11,71
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,27
230	230000	164	0,082	0,041%	12,83
240	240000	170	0,085	0,043%	13,38
250	250000	178	0,089	0,045%	13,94
260	260000	188	0,094	0,047%	14,50
270	270000	195	0,0975	0,049%	15,06
280	280000	203	0,1015	0,051%	15,61
290	290000	210	0,105	0,053%	16,17
300	300000	220	0,11	0,055%	16,73
310	310000	230	0,115	0,058%	17,29

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	238	0,119	0,060%	17,85
330	330000	248	0,124	0,062%	18,40
340	340000	255	0,1275	0,064%	18,96
350	350000	265	0,1325	0,066%	19,52
360	360000	274	0,137	0,069%	20,08
370	370000	283	0,1415	0,071%	20,63
380	380000	293	0,1465	0,073%	21,19
390	390000	300	0,15	0,075%	21,75
400	400000	311	0,1555	0,078%	22,31
410	410000	323	0,1615	0,081%	22,86
420	420000	334	0,167	0,084%	23,42
430	430000	345	0,1725	0,086%	23,98
440	440000	357	0,1785	0,089%	24,54
450	450000	368	0,184	0,092%	25,10
460	460000	380	0,19	0,095%	25,65
470	470000	390	0,195	0,098%	26,21
480	480000	405	0,2025	0,101%	26,77
490	490000	415	0,2075	0,104%	27,33
500	500000	430	0,215	0,108%	27,88
510	510000	442	0,221	0,111%	28,44
520	520000	458	0,229	0,115%	29,00
530	530000	470	0,235	0,118%	29,56
540	540000	488	0,244	0,122%	30,11
549	549000	513	0,2565	0,128%	30,62
550	550000	570	0,285	0,143%	30,67
540	540000	610	0,305	0,153%	30,11
530	530000	660	0,33	0,165%	29,56
520	520000	708	0,354	0,177%	29,00
510	510000	735	0,3675	0,184%	28,44
500	500000	760	0,38	0,190%	27,88
490	490000	780	0,39	0,195%	27,33

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 4



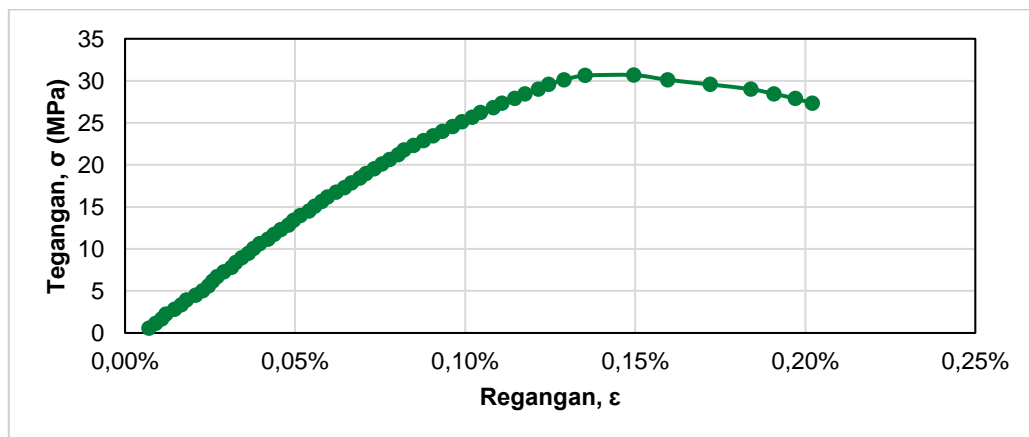
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	25,53	MPa
Diameter	15,11	Cm
Tinggi	30,15	Cm
Luas	180,9811837	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	mm
Beban Maks (Pu)	462	kN
Output		
ASTM C-469	24557,49	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	23746,63809	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	25178,5369	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,55
20	20000	12	0,006	0,003%	1,11
30	30000	20	0,01	0,005%	1,66
40	40000	25	0,0125	0,006%	2,21
50	50000	32	0,016	0,008%	2,76
60	60000	40	0,02	0,010%	3,32
70	70000	48	0,024	0,012%	3,87
80	80000	53	0,0265	0,013%	4,42
90	90000	60	0,03	0,015%	4,97
100	100000	68	0,034	0,017%	5,53
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,08
120	120000	83	0,0415	0,021%	6,63
130	130000	90	0,045	0,023%	7,18
140	140000	100	0,05	0,025%	7,74
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,29
160	160000	113	0,0565	0,028%	8,84
170	170000	120	0,06	0,030%	9,39
180	180000	130	0,065	0,033%	9,95
190	190000	138	0,069	0,035%	10,50
200	200000	148	0,074	0,037%	11,05
210	210000	155	0,0775	0,039%	11,60
220	220000	164	0,082	0,041%	12,16
230	230000	172	0,086	0,043%	12,71
240	240000	183	0,0915	0,046%	13,26
250	250000	192	0,096	0,048%	13,81
260	260000	205	0,1025	0,051%	14,37
270	270000	218	0,109	0,055%	14,92
280	280000	230	0,115	0,058%	15,47
290	290000	242	0,121	0,061%	16,02
300	300000	255	0,1275	0,064%	16,58
310	310000	270	0,135	0,068%	17,13

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	283	0,1415	0,071%	17,68
330	330000	295	0,1475	0,074%	18,23
340	340000	318	0,159	0,080%	18,79
350	350000	335	0,1675	0,084%	19,34
360	360000	348	0,174	0,087%	19,89
370	370000	365	0,1825	0,091%	20,44
380	380000	375	0,1875	0,094%	21,00
390	390000	390	0,195	0,098%	21,55
400	400000	415	0,2075	0,104%	22,10
410	410000	425	0,2125	0,106%	22,65
420	420000	440	0,22	0,110%	23,21
430	430000	458	0,229	0,115%	23,76
440	440000	480	0,24	0,120%	24,31
450	450000	500	0,25	0,125%	24,86
460	460000	515	0,2575	0,129%	25,42
462	462000	532	0,266	0,133%	25,53
460	460000	549	0,2745	0,137%	25,42
450	450000	566	0,283	0,142%	24,86
440	440000	585	0,2925	0,146%	24,31
430	430000	601	0,3005	0,150%	23,76
420	420000	627	0,3135	0,157%	23,21
410	410000	649	0,3245	0,162%	22,65
400	400000	670	0,335	0,168%	22,10

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 3% - ASP 10% Sampel 5**





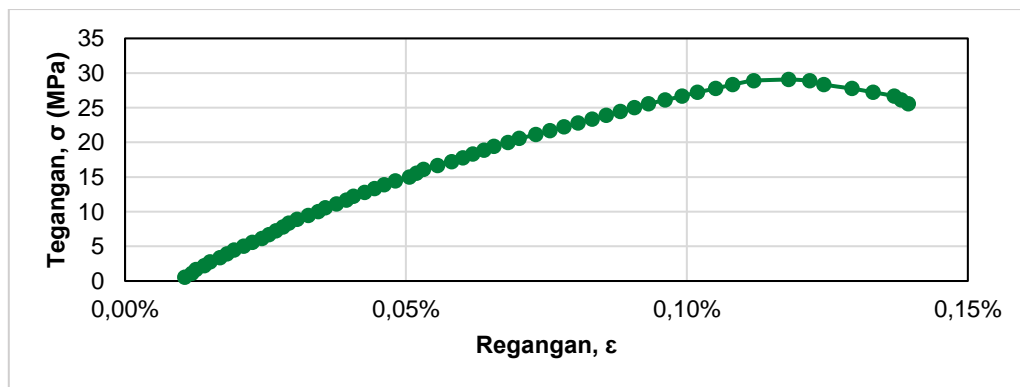
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	29,05	MPa
Diameter	15,14	Cm
Tinggi	30,25	Cm
Luas	180,0286529	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	523	kN
Output		
ASTM C-469	29624,91	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25332,49039	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28002,87951	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,11
30	30000	8	0,004	0,002%	1,67
40	40000	14	0,007	0,004%	2,22
50	50000	18	0,009	0,005%	2,78
60	60000	25	0,0125	0,006%	3,33
70	70000	30	0,015	0,008%	3,89
80	80000	35	0,0175	0,009%	4,44
90	90000	42	0,021	0,011%	5,00
100	100000	48	0,024	0,012%	5,55
110	110000	55	0,0275	0,014%	6,11
120	120000	60	0,03	0,015%	6,67
130	130000	65	0,0325	0,016%	7,22
140	140000	70	0,035	0,018%	7,78
150	150000	74	0,037	0,019%	8,33
160	160000	80	0,04	0,020%	8,89
170	170000	88	0,044	0,022%	9,44
180	180000	95	0,0475	0,024%	10,00
190	190000	100	0,05	0,025%	10,55
200	200000	108	0,054	0,027%	11,11
210	210000	115	0,0575	0,029%	11,66
220	220000	120	0,06	0,030%	12,22
230	230000	128	0,064	0,032%	12,78
240	240000	135	0,0675	0,034%	13,33
250	250000	142	0,071	0,036%	13,89
260	260000	150	0,075	0,038%	14,44
270	270000	160	0,08	0,040%	15,00
280	280000	165	0,0825	0,041%	15,55
290	290000	170	0,085	0,043%	16,11
300	300000	180	0,09	0,045%	16,66
310	310000	190	0,095	0,048%	17,22

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	198	0,099	0,050%	17,77
330	330000	205	0,1025	0,051%	18,33
340	340000	213	0,1065	0,053%	18,89
350	350000	220	0,11	0,055%	19,44
360	360000	230	0,115	0,058%	20,00
370	370000	238	0,119	0,060%	20,55
380	380000	250	0,125	0,063%	21,11
390	390000	260	0,13	0,065%	21,66
400	400000	270	0,135	0,068%	22,22
410	410000	280	0,14	0,070%	22,77
420	420000	290	0,145	0,073%	23,33
430	430000	300	0,15	0,075%	23,89
440	440000	310	0,155	0,078%	24,44
450	450000	320	0,16	0,080%	25,00
460	460000	330	0,165	0,083%	25,55
470	470000	342	0,171	0,086%	26,11
480	480000	354	0,177	0,089%	26,66
490	490000	365	0,1825	0,091%	27,22
500	500000	378	0,189	0,095%	27,77
510	510000	390	0,195	0,098%	28,33
520	520000	405	0,2025	0,101%	28,88
523	523000	430	0,215	0,108%	29,05
520	520000	445	0,2225	0,111%	28,88
510	510000	455	0,2275	0,114%	28,33
500	500000	475	0,2375	0,119%	27,77
490	490000	490	0,245	0,123%	27,22
480	480000	505	0,2525	0,126%	26,66
470	470000	510	0,255	0,128%	26,11
460	460000	515	0,2575	0,129%	25,55

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 1



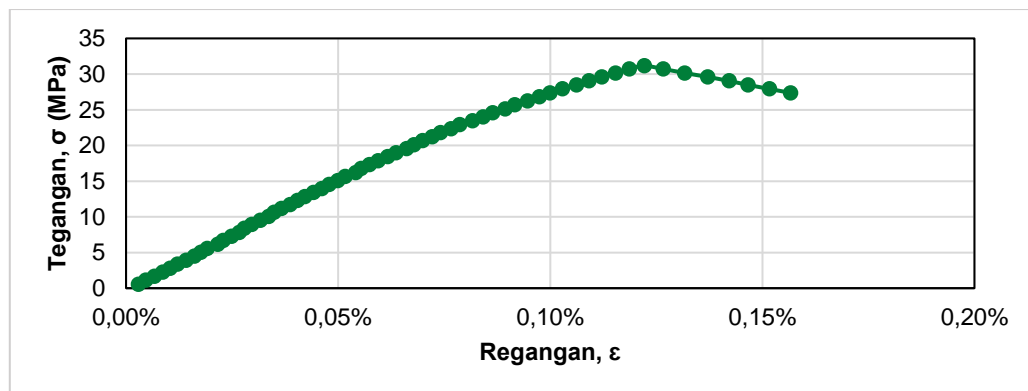
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,16	MPa
Diameter	15,1	Cm
Tinggi	30,32	Cm
Luas	179,0786352	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	558	kN
Output		
ASTM C-469	30458,94	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26235,72496	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28878,67892	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,56
20	20000	12	0,006	0,003%	1,12
30	30000	20	0,01	0,005%	1,68
40	40000	28	0,014	0,007%	2,23
50	50000	35	0,0175	0,009%	2,79
60	60000	42	0,021	0,011%	3,35
70	70000	50	0,025	0,013%	3,91
80	80000	58	0,029	0,015%	4,47
90	90000	64	0,032	0,016%	5,03
100	100000	70	0,035	0,018%	5,58
110	110000	80	0,04	0,020%	6,14
120	120000	85	0,0425	0,021%	6,70
130	130000	93	0,0465	0,023%	7,26
140	140000	100	0,05	0,025%	7,82
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,38
160	160000	112	0,056	0,028%	8,93
170	170000	120	0,06	0,030%	9,49
180	180000	128	0,064	0,032%	10,05
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,61
200	200000	140	0,07	0,035%	11,17
210	210000	148	0,074	0,037%	11,73
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,29
230	230000	162	0,081	0,041%	12,84
240	240000	170	0,085	0,043%	13,40
250	250000	178	0,089	0,045%	13,96
260	260000	185	0,0925	0,046%	14,52
270	270000	193	0,0965	0,048%	15,08
280	280000	200	0,1	0,050%	15,64
290	290000	210	0,105	0,053%	16,19
300	300000	215	0,1075	0,054%	16,75
310	310000	223	0,1115	0,056%	17,31

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	231	0,1155	0,058%	17,87
330	330000	240	0,12	0,060%	18,43
340	340000	248	0,124	0,062%	18,99
350	350000	258	0,129	0,065%	19,54
360	360000	265	0,1325	0,066%	20,10
370	370000	273	0,1365	0,068%	20,66
380	380000	282	0,141	0,071%	21,22
390	390000	290	0,145	0,073%	21,78
400	400000	300	0,15	0,075%	22,34
410	410000	308	0,154	0,077%	22,89
420	420000	320	0,16	0,080%	23,45
430	430000	330	0,165	0,083%	24,01
440	440000	339	0,1695	0,085%	24,57
450	450000	351	0,1755	0,088%	25,13
460	460000	360	0,18	0,090%	25,69
470	470000	372	0,186	0,093%	26,25
480	480000	383	0,1915	0,096%	26,80
490	490000	393	0,1965	0,098%	27,36
500	500000	405	0,2025	0,101%	27,92
510	510000	418	0,209	0,105%	28,48
520	520000	430	0,215	0,108%	29,04
530	530000	442	0,221	0,111%	29,60
540	540000	455	0,2275	0,114%	30,15
550	550000	468	0,234	0,117%	30,71
558	558000	482	0,241	0,121%	31,16
550	550000	500	0,25	0,125%	30,71
540	540000	520	0,26	0,130%	30,15
530	530000	542	0,271	0,136%	29,60
520	520000	562	0,281	0,141%	29,04
510	510000	580	0,29	0,145%	28,48
500	500000	600	0,3	0,150%	27,92
490	490000	620	0,31	0,155%	27,36

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 2



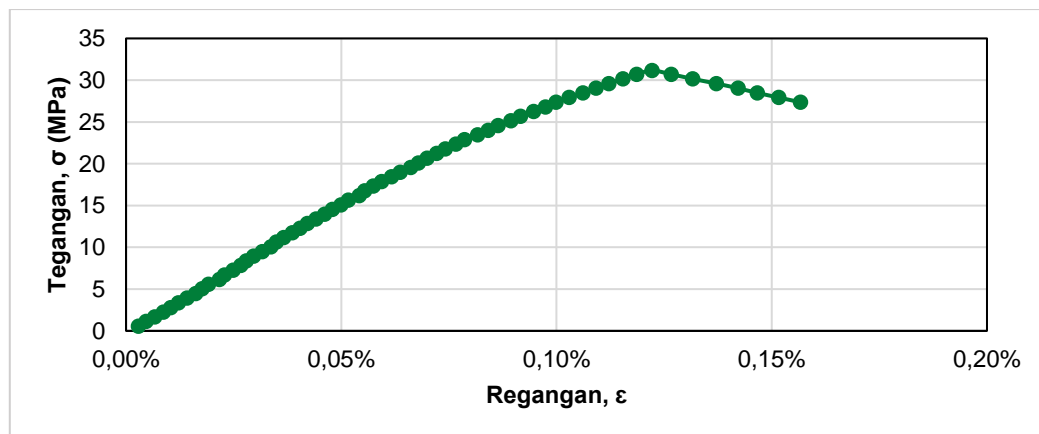
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	26,89	MPa
Diameter	15,03	Cm
Tinggi	30,29	Cm
Luas	177,422152	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	477	kN
Output		
ASTM C-469	32207,28	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	24369,86516	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27010,43345	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	8	0,004	0,002%	0,56
20	20000	13	0,0065	0,003%	1,13
30	30000	20	0,01	0,005%	1,69
40	40000	28	0,014	0,007%	2,25
50	50000	38	0,019	0,010%	2,82
60	60000	45	0,0225	0,011%	3,38
70	70000	50	0,025	0,013%	3,95
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,51
90	90000	65	0,0325	0,016%	5,07
100	100000	70	0,035	0,018%	5,64
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,20
120	120000	83	0,0415	0,021%	6,76
130	130000	90	0,045	0,023%	7,33
140	140000	97	0,0485	0,024%	7,89
150	150000	103	0,0515	0,026%	8,45
160	160000	108	0,054	0,027%	9,02
170	170000	115	0,0575	0,029%	9,58
180	180000	120	0,06	0,030%	10,15
190	190000	125	0,0625	0,031%	10,71
200	200000	132	0,066	0,033%	11,27
210	210000	140	0,07	0,035%	11,84
220	220000	145	0,0725	0,036%	12,40
230	230000	152	0,076	0,038%	12,96
240	240000	160	0,08	0,040%	13,53
250	250000	165	0,0825	0,041%	14,09
260	260000	172	0,086	0,043%	14,65
270	270000	180	0,09	0,045%	15,22
280	280000	190	0,095	0,048%	15,78
290	290000	200	0,1	0,050%	16,35
300	300000	208	0,104	0,052%	16,91
310	310000	219	0,1095	0,055%	17,47

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$		Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N	( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)		
320	320000	230	0,115	0,058%	18,04
330	330000	240	0,12	0,060%	18,60
340	340000	252	0,126	0,063%	19,16
350	350000	265	0,1325	0,066%	19,73
360	360000	278	0,139	0,070%	20,29
370	370000	293	0,1465	0,073%	20,85
380	380000	308	0,154	0,077%	21,42
390	390000	323	0,1615	0,081%	21,98
400	400000	340	0,17	0,085%	22,55
410	410000	360	0,18	0,090%	23,11
420	420000	382	0,191	0,096%	23,67
430	430000	410	0,205	0,103%	24,24
440	440000	440	0,22	0,110%	24,80
450	450000	480	0,24	0,120%	25,36
460	460000	550	0,275	0,138%	25,93
470	470000	590	0,295	0,148%	26,49
477	477000	640	0,32	0,160%	26,89
470	470000	680	0,34	0,170%	26,49
460	460000	705	0,3525	0,176%	25,93
450	450000	720	0,36	0,180%	25,36
440	440000	735	0,3675	0,184%	24,80
430	430000	755	0,3775	0,189%	24,24
420	420000	778	0,389	0,195%	23,67
410	410000	800	0,4	0,200%	23,11

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 3**



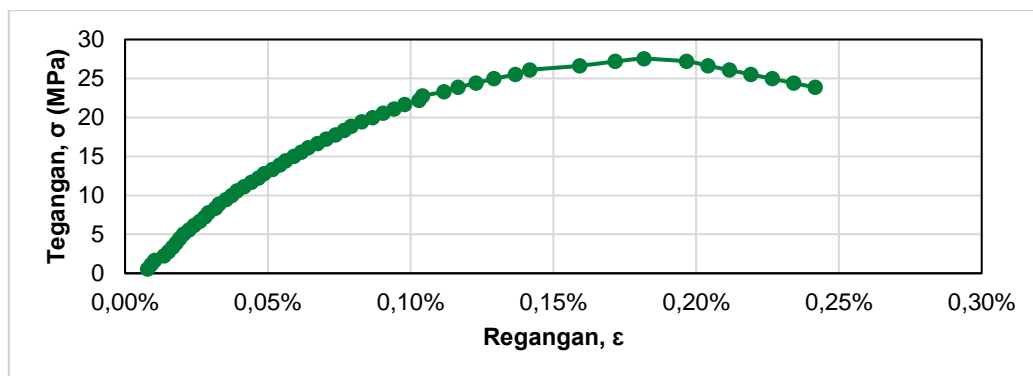
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	27,51	MPa
Diameter	15,15	Cm
Tinggi	30,35	Cm
Luas	180,26655	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	496	kN
Output		
ASTM C-469	26627,24	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	24653,64413	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	26156,92787	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	5	0,0025	0,001%	0,55
20	20000	10	0,005	0,003%	1,11
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,66
40	40000	28	0,014	0,007%	2,22
50	50000	34	0,017	0,009%	2,77
60	60000	40	0,02	0,010%	3,33
70	70000	45	0,0225	0,011%	3,88
80	80000	50	0,025	0,013%	4,44
90	90000	55	0,0275	0,014%	4,99
100	100000	63	0,0315	0,016%	5,55
110	110000	70	0,035	0,018%	6,10
120	120000	78	0,039	0,020%	6,66
130	130000	85	0,0425	0,021%	7,21
140	140000	90	0,045	0,023%	7,77
150	150000	100	0,05	0,025%	8,32
160	160000	105	0,0525	0,026%	8,88
170	170000	115	0,0575	0,029%	9,43
180	180000	123	0,0615	0,031%	9,99
190	190000	130	0,065	0,033%	10,54
200	200000	140	0,07	0,035%	11,09
210	210000	150	0,075	0,038%	11,65
220	220000	160	0,08	0,040%	12,20
230	230000	168	0,084	0,042%	12,76
240	240000	180	0,09	0,045%	13,31
250	250000	190	0,095	0,048%	13,87
260	260000	198	0,099	0,050%	14,42
270	270000	210	0,105	0,053%	14,98
280	280000	220	0,11	0,055%	15,53
290	290000	230	0,115	0,058%	16,09
300	300000	243	0,1215	0,061%	16,64
310	310000	255	0,1275	0,064%	17,20

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	268	0,134	0,067%	17,75
330	330000	280	0,14	0,070%	18,31
340	340000	290	0,145	0,073%	18,86
350	350000	305	0,1525	0,076%	19,42
360	360000	320	0,16	0,080%	19,97
370	370000	335	0,1675	0,084%	20,53
380	380000	350	0,175	0,088%	21,08
390	390000	365	0,1825	0,091%	21,63
400	400000	385	0,1925	0,096%	22,19
410	410000	390	0,195	0,098%	22,74
420	420000	420	0,21	0,105%	23,30
430	430000	440	0,22	0,110%	23,85
440	440000	465	0,2325	0,116%	24,41
450	450000	490	0,245	0,123%	24,96
460	460000	520	0,26	0,130%	25,52
470	470000	540	0,27	0,135%	26,07
480	480000	610	0,305	0,153%	26,63
490	490000	660	0,33	0,165%	27,18
496	496000	700	0,35	0,175%	27,51
490	490000	760	0,38	0,190%	27,18
480	480000	790	0,395	0,198%	26,63
470	470000	820	0,41	0,205%	26,07
460	460000	850	0,425	0,213%	25,52
450	450000	880	0,44	0,220%	24,96
440	440000	910	0,455	0,228%	24,41
430	430000	940	0,47	0,235%	23,85

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 4





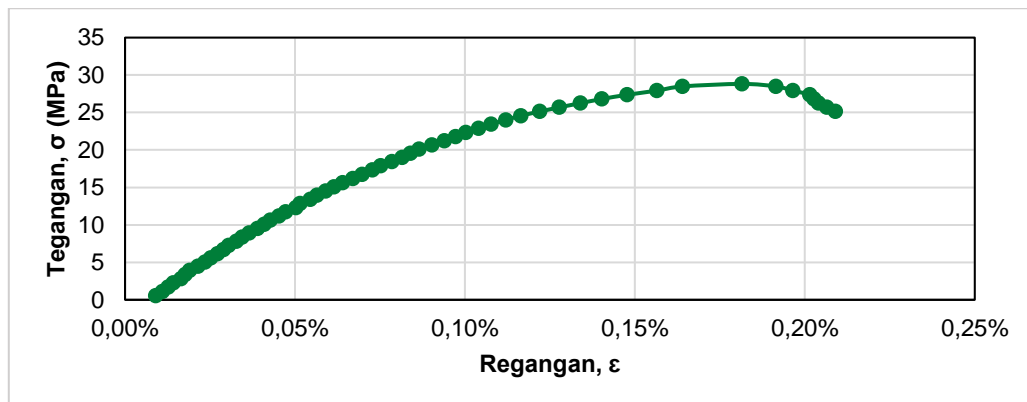
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,81	MPa
Diameter	15,1	Cm
Tinggi	30,24	Cm
Luas	179,0786352	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	516	kN
Output		
ASTM C-469	24818,40	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25229,04554	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27524,31396	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,68
40	40000	21	0,0105	0,005%	2,23
50	50000	30	0,015	0,008%	2,79
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,35
70	70000	40	0,02	0,010%	3,91
80	80000	50	0,025	0,013%	4,47
90	90000	58	0,029	0,015%	5,03
100	100000	65	0,0325	0,016%	5,58
110	110000	73	0,0365	0,018%	6,14
120	120000	80	0,04	0,020%	6,70
130	130000	86	0,043	0,022%	7,26
140	140000	95	0,0475	0,024%	7,82
150	150000	102	0,051	0,026%	8,38
160	160000	110	0,055	0,028%	8,93
170	170000	120	0,06	0,030%	9,49
180	180000	128	0,064	0,032%	10,05
190	190000	135	0,0675	0,034%	10,61
200	200000	145	0,0725	0,036%	11,17
210	210000	153	0,0765	0,038%	11,73
220	220000	165	0,0825	0,041%	12,29
230	230000	170	0,085	0,043%	12,84
240	240000	182	0,091	0,046%	13,40
250	250000	190	0,095	0,048%	13,96
260	260000	200	0,1	0,050%	14,52
270	270000	210	0,105	0,053%	15,08
280	280000	220	0,11	0,055%	15,64
290	290000	232	0,116	0,058%	16,19
300	300000	243	0,1215	0,061%	16,75
310	310000	255	0,1275	0,064%	17,31

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	265	0,1325	0,066%	17,87
330	330000	278	0,139	0,070%	18,43
340	340000	290	0,145	0,073%	18,99
350	350000	300	0,15	0,075%	19,54
360	360000	310	0,155	0,078%	20,10
370	370000	325	0,1625	0,081%	20,66
380	380000	340	0,17	0,085%	21,22
390	390000	353	0,1765	0,088%	21,78
400	400000	365	0,1825	0,091%	22,34
410	410000	380	0,19	0,095%	22,89
420	420000	395	0,1975	0,099%	23,45
430	430000	412	0,206	0,103%	24,01
440	440000	430	0,215	0,108%	24,57
450	450000	452	0,226	0,113%	25,13
460	460000	475	0,2375	0,119%	25,69
470	470000	500	0,25	0,125%	26,25
480	480000	525	0,2625	0,131%	26,80
490	490000	555	0,2775	0,139%	27,36
500	500000	590	0,295	0,148%	27,92
510	510000	620	0,31	0,155%	28,48
516	516000	690	0,345	0,173%	28,81
510	510000	730	0,365	0,183%	28,48
500	500000	750	0,375	0,188%	27,92
490	490000	770	0,385	0,193%	27,36
480	480000	775	0,3875	0,194%	26,80
470	470000	780	0,39	0,195%	26,25
460	460000	790	0,395	0,198%	25,69
450	450000	800	0,4	0,200%	25,13

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 6% - ASP 10% Sampel 5



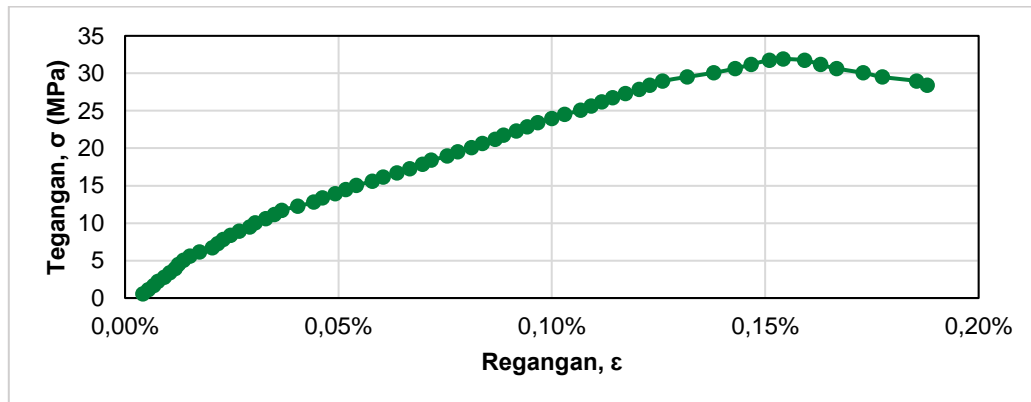
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	27,39	MPa
Diameter	15,03	Cm
Tinggi	30,24	Cm
Luas	177,422152	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	486	kN
Output		
ASTM C-469	32207,28	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	24598,6952	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	26639,4698	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,11
30	30000	10	0,005	0,003%	1,67
40	40000	14	0,007	0,004%	2,23
50	50000	20	0,01	0,005%	2,78
60	60000	25	0,0125	0,006%	3,34
70	70000	30	0,015	0,008%	3,90
80	80000	33	0,0165	0,008%	4,46
90	90000	38	0,019	0,010%	5,01
100	100000	44	0,022	0,011%	5,57
110	110000	53	0,0265	0,013%	6,13
120	120000	65	0,0325	0,016%	6,68
130	130000	70	0,035	0,018%	7,24
140	140000	75	0,0375	0,019%	7,80
150	150000	82	0,041	0,021%	8,35
160	160000	90	0,045	0,023%	8,91
170	170000	100	0,05	0,025%	9,47
180	180000	105	0,0525	0,026%	10,02
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,58
200	200000	123	0,0615	0,031%	11,14
210	210000	130	0,065	0,033%	11,70
220	220000	145	0,0725	0,036%	12,25
230	230000	160	0,08	0,040%	12,81
240	240000	168	0,084	0,042%	13,37
250	250000	180	0,09	0,045%	13,92
260	260000	190	0,095	0,048%	14,48
270	270000	200	0,1	0,050%	15,04
280	280000	215	0,1075	0,054%	15,59
290	290000	225	0,1125	0,056%	16,15
300	300000	238	0,119	0,060%	16,71
310	310000	250	0,125	0,063%	17,27

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	262	0,131	0,066%	17,82
330	330000	270	0,135	0,068%	18,38
340	340000	285	0,1425	0,071%	18,94
350	350000	295	0,1475	0,074%	19,49
360	360000	308	0,154	0,077%	20,05
370	370000	318	0,159	0,080%	20,61
380	380000	330	0,165	0,083%	21,16
390	390000	338	0,169	0,085%	21,72
400	400000	350	0,175	0,088%	22,28
410	410000	360	0,18	0,090%	22,83
420	420000	370	0,185	0,093%	23,39
430	430000	383	0,1915	0,096%	23,95
440	440000	395	0,1975	0,099%	24,51
450	450000	410	0,205	0,103%	25,06
460	460000	420	0,21	0,105%	25,62
470	470000	430	0,215	0,108%	26,18
480	480000	440	0,22	0,110%	26,73
490	490000	452	0,226	0,113%	27,29
500	500000	465	0,2325	0,116%	27,85
510	510000	475	0,2375	0,119%	28,40
520	520000	487	0,2435	0,122%	28,96
530	530000	510	0,255	0,128%	29,52
540	540000	535	0,2675	0,134%	30,07
550	550000	555	0,2775	0,139%	30,63
560	560000	570	0,285	0,143%	31,19
570	570000	587	0,2935	0,147%	31,75
<b>573</b>	<b>573000</b>	<b>600</b>	<b>0,3</b>	<b>0,150%</b>	<b>31,91</b>
570	570000	620	0,31	0,155%	31,75
573	573000	600	0,3	0,150%	31,91
570	570000	620	0,31	0,155%	31,75
560	560000	635	0,3175	0,159%	31,19
550	550000	650	0,325	0,163%	30,63
540	540000	675	0,3375	0,169%	30,07
530	530000	693	0,3465	0,173%	29,52
520	520000	725	0,3625	0,181%	28,96
510	510000	735	0,3675	0,184%	28,40

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 1**



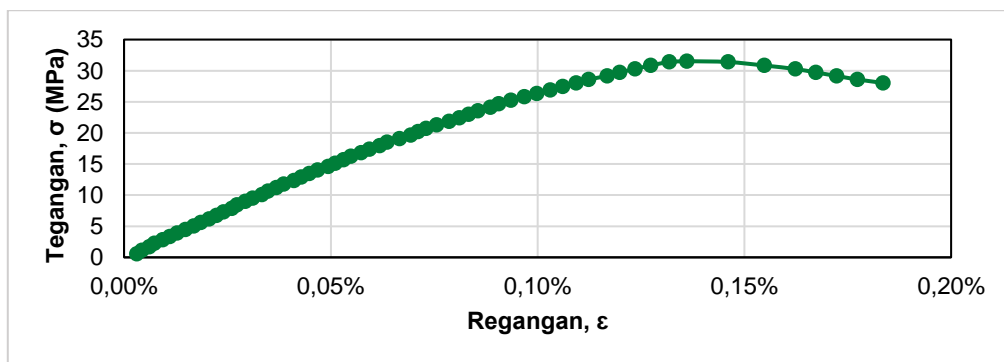
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,51	MPa
Diameter	15,07	Cm
Tinggi	30,36	Cm
Luas	178,3677714	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	562	kN
Output		
ASTM C-469	30123,91	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26382,00648	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28549,45494	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,68
40	40000	20	0,01	0,005%	2,24
50	50000	28	0,014	0,007%	2,80
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,36
70	70000	42	0,021	0,011%	3,92
80	80000	50	0,025	0,013%	4,49
90	90000	58	0,029	0,015%	5,05
100	100000	65	0,0325	0,016%	5,61
110	110000	73	0,0365	0,018%	6,17
120	120000	80	0,04	0,020%	6,73
130	130000	87	0,0435	0,022%	7,29
140	140000	95	0,0475	0,024%	7,85
150	150000	100	0,05	0,025%	8,41
160	160000	108	0,054	0,027%	8,97
170	170000	115	0,0575	0,029%	9,53
180	180000	124	0,062	0,031%	10,09
190	190000	130	0,065	0,033%	10,65
200	200000	138	0,069	0,035%	11,21
210	210000	145	0,0725	0,036%	11,77
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,33
230	230000	162	0,081	0,041%	12,89
240	240000	170	0,085	0,043%	13,46
250	250000	178	0,089	0,045%	14,02
260	260000	188	0,094	0,047%	14,58
270	270000	195	0,0975	0,049%	15,14
280	280000	203	0,1015	0,051%	15,70
290	290000	210	0,105	0,053%	16,26
300	300000	220	0,11	0,055%	16,82
310	310000	228	0,114	0,057%	17,38

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	238	0,119	0,060%	17,94
330	330000	245	0,1225	0,061%	18,50
340	340000	257	0,1285	0,064%	19,06
350	350000	268	0,134	0,067%	19,62
360	360000	275	0,1375	0,069%	20,18
370	370000	283	0,1415	0,071%	20,74
380	380000	293	0,1465	0,073%	21,30
390	390000	305	0,1525	0,076%	21,86
400	400000	315	0,1575	0,079%	22,43
410	410000	324	0,162	0,081%	22,99
420	420000	333	0,1665	0,083%	23,55
430	430000	345	0,1725	0,086%	24,11
440	440000	353	0,1765	0,088%	24,67
450	450000	365	0,1825	0,091%	25,23
460	460000	378	0,189	0,095%	25,79
470	470000	390	0,195	0,098%	26,35
480	480000	403	0,2015	0,101%	26,91
490	490000	415	0,2075	0,104%	27,47
500	500000	428	0,214	0,107%	28,03
510	510000	440	0,22	0,110%	28,59
520	520000	458	0,229	0,115%	29,15
530	530000	470	0,235	0,118%	29,71
540	540000	485	0,2425	0,121%	30,27
550	550000	500	0,25	0,125%	30,84
560	560000	518	0,259	0,130%	31,40
562	562000	535	0,2675	0,134%	31,51
560	560000	575	0,2875	0,144%	31,40
550	550000	610	0,305	0,153%	30,84
540	540000	640	0,32	0,160%	30,27
530	530000	660	0,33	0,165%	29,71
520	520000	680	0,34	0,170%	29,15
510	510000	700	0,35	0,175%	28,59
500	500000	725	0,3625	0,181%	28,03

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 2



### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 3

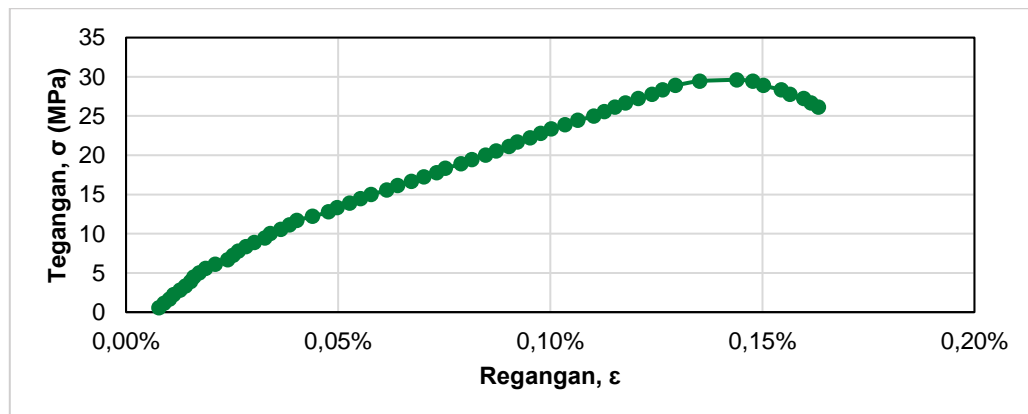
Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	29,61	MPa
Diameter	15,14	Cm
Tinggi	30,32	Cm
Luas	180,0286529	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	533	kN
Output		
ASTM C-469	30123,91	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26382,00648	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28549,45494	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,11
30	30000	10	0,005	0,003%	1,67
40	40000	14	0,007	0,004%	2,22
50	50000	20	0,01	0,005%	2,78
60	60000	25	0,0125	0,006%	3,33
70	70000	30	0,015	0,008%	3,89
80	80000	33	0,0165	0,008%	4,44
90	90000	38	0,019	0,010%	5,00
100	100000	44	0,022	0,011%	5,55
110	110000	53	0,0265	0,013%	6,11
120	120000	65	0,0325	0,016%	6,67
130	130000	70	0,035	0,018%	7,22
140	140000	75	0,0375	0,019%	7,78
150	150000	82	0,041	0,021%	8,33
160	160000	90	0,045	0,023%	8,89
170	170000	100	0,05	0,025%	9,44
180	180000	105	0,0525	0,026%	10,00
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,55
200	200000	123	0,0615	0,031%	11,11
210	210000	130	0,065	0,033%	11,66
220	220000	145	0,0725	0,036%	12,22
230	230000	160	0,08	0,040%	12,78
240	240000	168	0,084	0,042%	13,33
250	250000	180	0,09	0,045%	13,89
260	260000	190	0,095	0,048%	14,44
270	270000	200	0,1	0,050%	15,00
280	280000	215	0,1075	0,054%	15,55
290	290000	225	0,1125	0,056%	16,11
300	300000	238	0,119	0,060%	16,66
310	310000	250	0,125	0,063%	17,22



Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	262	0,131	0,066%	17,77
330	330000	270	0,135	0,068%	18,33
340	340000	285	0,1425	0,071%	18,89
350	350000	295	0,1475	0,074%	19,44
360	360000	308	0,154	0,077%	20,00
370	370000	318	0,159	0,080%	20,55
380	380000	330	0,165	0,083%	21,11
390	390000	338	0,169	0,085%	21,66
400	400000	350	0,175	0,088%	22,22
410	410000	360	0,18	0,090%	22,77
420	420000	370	0,185	0,093%	23,33
430	430000	383	0,1915	0,096%	23,89
440	440000	395	0,1975	0,099%	24,44
450	450000	410	0,205	0,103%	25,00
460	460000	420	0,21	0,105%	25,55
470	470000	430	0,215	0,108%	26,11
480	480000	440	0,22	0,110%	26,66
490	490000	452	0,226	0,113%	27,22
500	500000	465	0,2325	0,116%	27,77
510	510000	475	0,2375	0,119%	28,33
520	520000	487	0,2435	0,122%	28,88
530	530000	510	0,255	0,128%	29,44
533	533000	545	0,2725	0,136%	29,61
530	530000	560	0,28	0,140%	29,44
520	520000	570	0,285	0,143%	28,88
510	510000	587	0,2935	0,147%	28,33
500	500000	595	0,2975	0,149%	27,77
490	490000	608	0,304	0,152%	27,22
480	480000	615	0,3075	0,154%	26,66
470	470000	622	0,311	0,156%	26,11

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 3



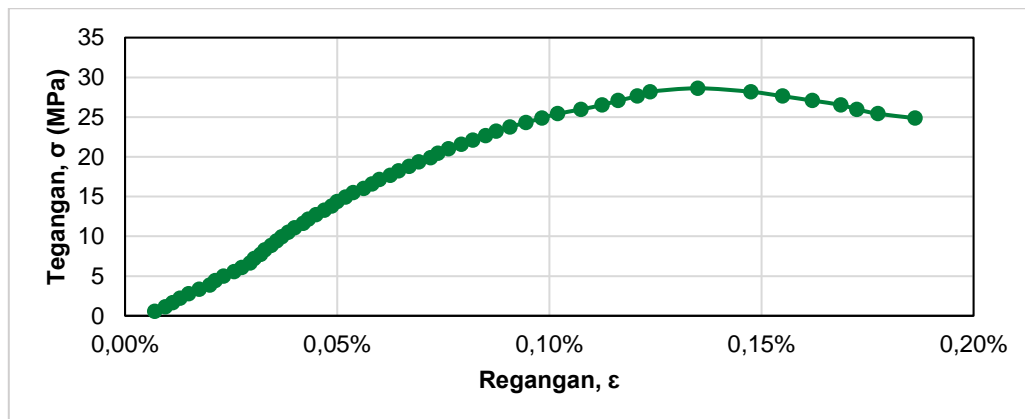
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,62	MPa
Diameter	15,18	Cm
Tinggi	30,18	Cm
Luas	180,9811837	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	518	kN
Output		
ASTM C-469	27627,18	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25144,67494	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27578,56164	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	8	0,004	0,002%	0,55
20	20000	18	0,009	0,005%	1,11
30	30000	25	0,0125	0,006%	1,66
40	40000	32	0,016	0,008%	2,21
50	50000	40	0,02	0,010%	2,76
60	60000	50	0,025	0,013%	3,32
70	70000	60	0,03	0,015%	3,87
80	80000	65	0,0325	0,016%	4,42
90	90000	73	0,0365	0,018%	4,97
100	100000	83	0,0415	0,021%	5,53
110	110000	90	0,045	0,023%	6,08
120	120000	98	0,049	0,025%	6,63
130	130000	102	0,051	0,026%	7,18
140	140000	108	0,054	0,027%	7,74
150	150000	112	0,056	0,028%	8,29
160	160000	118	0,059	0,030%	8,84
170	170000	123	0,0615	0,031%	9,39
180	180000	128	0,064	0,032%	9,95
190	190000	134	0,067	0,034%	10,50
200	200000	140	0,07	0,035%	11,05
210	210000	148	0,074	0,037%	11,60
220	220000	153	0,0765	0,038%	12,16
230	230000	160	0,08	0,040%	12,71
240	240000	168	0,084	0,042%	13,26
250	250000	175	0,0875	0,044%	13,81
260	260000	180	0,09	0,045%	14,37
270	270000	188	0,094	0,047%	14,92
280	280000	195	0,0975	0,049%	15,47
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,02
300	300000	213	0,1065	0,053%	16,58
310	310000	220	0,11	0,055%	17,13

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,68
330	330000	238	0,119	0,060%	18,23
340	340000	248	0,124	0,062%	18,79
350	350000	257	0,1285	0,064%	19,34
360	360000	268	0,134	0,067%	19,89
370	370000	275	0,1375	0,069%	20,44
380	380000	285	0,1425	0,071%	21,00
390	390000	297	0,1485	0,074%	21,55
400	400000	308	0,154	0,077%	22,10
410	410000	320	0,16	0,080%	22,65
420	420000	330	0,165	0,083%	23,21
430	430000	343	0,1715	0,086%	23,76
440	440000	358	0,179	0,090%	24,31
450	450000	373	0,1865	0,093%	24,86
460	460000	388	0,194	0,097%	25,42
470	470000	410	0,205	0,103%	25,97
480	480000	430	0,215	0,108%	26,52
490	490000	445	0,2225	0,111%	27,07
500	500000	463	0,2315	0,116%	27,63
510	510000	475	0,2375	0,119%	28,18
<b>518</b>	<b>518000</b>	<b>520</b>	<b>0,26</b>	<b>0,130%</b>	<b>28,62</b>
510	510000	570	0,285	0,143%	28,18
500	500000	600	0,3	0,150%	27,63
490	490000	628	0,314	0,157%	27,07
480	480000	655	0,3275	0,164%	26,52
470	470000	670	0,335	0,168%	25,97
460	460000	690	0,345	0,173%	25,42
450	450000	725	0,3625	0,181%	24,86

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 4**



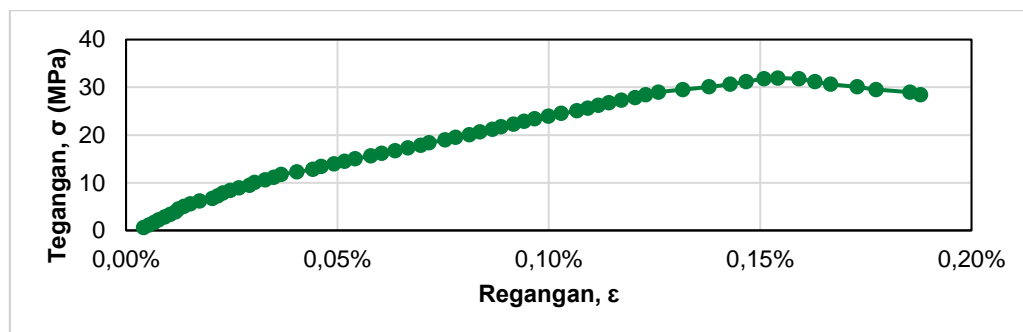
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,91	MPa
Diameter	15,12	Cm
Tinggi	30,26	Cm
Luas	179,5533299	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	573	kN
Output		
ASTM C-469	28991,27	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26550,85048	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28717,53831	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,11
30	30000	10	0,005	0,003%	1,67
40	40000	14	0,007	0,004%	2,23
50	50000	20	0,01	0,005%	2,78
60	60000	25	0,0125	0,006%	3,34
70	70000	30	0,015	0,008%	3,90
80	80000	33	0,0165	0,008%	4,46
90	90000	38	0,019	0,010%	5,01
100	100000	44	0,022	0,011%	5,57
110	110000	53	0,0265	0,013%	6,13
120	120000	65	0,0325	0,016%	6,68
130	130000	70	0,035	0,018%	7,24
140	140000	75	0,0375	0,019%	7,80
150	150000	82	0,041	0,021%	8,35
160	160000	90	0,045	0,023%	8,91
170	170000	100	0,05	0,025%	9,47
180	180000	105	0,0525	0,026%	10,02
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,58
200	200000	123	0,0615	0,031%	11,14
210	210000	130	0,065	0,033%	11,70
220	220000	145	0,0725	0,036%	12,25
230	230000	160	0,08	0,040%	12,81
240	240000	168	0,084	0,042%	13,37
250	250000	180	0,09	0,045%	13,92
260	260000	190	0,095	0,048%	14,48
270	270000	200	0,1	0,050%	15,04
280	280000	215	0,1075	0,054%	15,59
290	290000	225	0,1125	0,056%	16,15
300	300000	238	0,119	0,060%	16,71
310	310000	250	0,125	0,063%	17,27

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	262	0,131	0,066%	17,82
330	330000	270	0,135	0,068%	18,38
340	340000	285	0,1425	0,071%	18,94
350	350000	295	0,1475	0,074%	19,49
360	360000	308	0,154	0,077%	20,05
370	370000	318	0,159	0,080%	20,61
380	380000	330	0,165	0,083%	21,16
390	390000	338	0,169	0,085%	21,72
400	400000	350	0,175	0,088%	22,28
410	410000	360	0,18	0,090%	22,83
420	420000	370	0,185	0,093%	23,39
430	430000	383	0,1915	0,096%	23,95
440	440000	395	0,1975	0,099%	24,51
450	450000	410	0,205	0,103%	25,06
460	460000	420	0,21	0,105%	25,62
470	470000	430	0,215	0,108%	26,18
480	480000	440	0,22	0,110%	26,73
490	490000	452	0,226	0,113%	27,29
500	500000	465	0,2325	0,116%	27,85
510	510000	475	0,2375	0,119%	28,40
520	520000	487	0,2435	0,122%	28,96
530	530000	510	0,255	0,128%	29,52
540	540000	535	0,2675	0,134%	30,07
550	550000	555	0,2775	0,139%	30,63
560	560000	570	0,285	0,143%	31,19
570	570000	587	0,2935	0,147%	31,75
573	573000	600	0,3	0,150%	31,91
570	570000	620	0,31	0,155%	31,75
560	560000	635	0,3175	0,159%	31,19
550	550000	650	0,325	0,163%	30,63
540	540000	675	0,3375	0,169%	30,07
530	530000	693	0,3465	0,173%	29,52
520	520000	725	0,3625	0,181%	28,96
510	510000	735	0,3675	0,184%	28,40

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 9% - ASP 10% Sampel 5



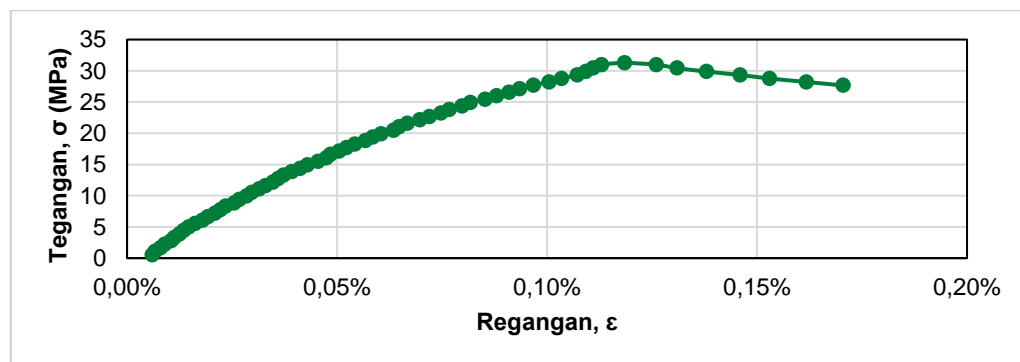
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,26	MPa
Diameter	15,17	Cm
Tinggi	30,32	Cm
Luas	180,7428154	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	565	kN
Output		
ASTM C-469	35409,43	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26277,95475	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28235,91363	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,55
20	20000	3	0,0015	0,001%	1,11
30	30000	8	0,004	0,002%	1,66
40	40000	12	0,006	0,003%	2,21
50	50000	18	0,009	0,005%	2,77
60	60000	21	0,0105	0,005%	3,32
70	70000	26	0,013	0,007%	3,87
80	80000	30	0,015	0,008%	4,43
90	90000	35	0,0175	0,009%	4,98
100	100000	41	0,0205	0,010%	5,53
110	110000	48	0,024	0,012%	6,09
120	120000	53	0,0265	0,013%	6,64
130	130000	60	0,03	0,015%	7,19
140	140000	65	0,0325	0,016%	7,75
150	150000	70	0,035	0,018%	8,30
160	160000	78	0,039	0,020%	8,85
170	170000	83	0,0415	0,021%	9,41
180	180000	90	0,045	0,023%	9,96
190	190000	95	0,0475	0,024%	10,51
200	200000	102	0,051	0,026%	11,07
210	210000	108	0,054	0,027%	11,62
220	220000	115	0,0575	0,029%	12,17
230	230000	120	0,06	0,030%	12,73
240	240000	125	0,0625	0,031%	13,28
250	250000	133	0,0665	0,033%	13,83
260	260000	141	0,0705	0,035%	14,39
270	270000	148	0,074	0,037%	14,94
280	280000	158	0,079	0,040%	15,49
290	290000	166	0,083	0,042%	16,04
300	300000	170	0,085	0,043%	16,60
310	310000	178	0,089	0,045%	17,15

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	185	0,0925	0,046%	17,70
330	330000	193	0,0965	0,048%	18,26
340	340000	203	0,1015	0,051%	18,81
350	350000	210	0,105	0,053%	19,36
360	360000	218	0,109	0,055%	19,92
370	370000	230	0,115	0,058%	20,47
380	380000	235	0,1175	0,059%	21,02
390	390000	243	0,1215	0,061%	21,58
400	400000	255	0,1275	0,064%	22,13
410	410000	264	0,132	0,066%	22,68
420	420000	275	0,1375	0,069%	23,24
430	430000	283	0,1415	0,071%	23,79
440	440000	295	0,1475	0,074%	24,34
450	450000	303	0,1515	0,076%	24,90
460	460000	317	0,1585	0,079%	25,45
470	470000	328	0,164	0,082%	26,00
480	480000	340	0,17	0,085%	26,56
490	490000	350	0,175	0,088%	27,11
500	500000	363	0,1815	0,091%	27,66
510	510000	378	0,189	0,095%	28,22
520	520000	390	0,195	0,098%	28,77
530	530000	405	0,2025	0,101%	29,32
540	540000	413	0,2065	0,103%	29,88
550	550000	420	0,21	0,105%	30,43
560	560000	428	0,214	0,107%	30,98
565	565000	450	0,225	0,113%	31,26
560	560000	480	0,24	0,120%	30,98
550	550000	500	0,25	0,125%	30,43
540	540000	528	0,264	0,132%	29,88
530	530000	560	0,28	0,140%	29,32
520	520000	588	0,294	0,147%	28,77
510	510000	623	0,3115	0,156%	28,22
500	500000	658	0,329	0,165%	27,66

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 1



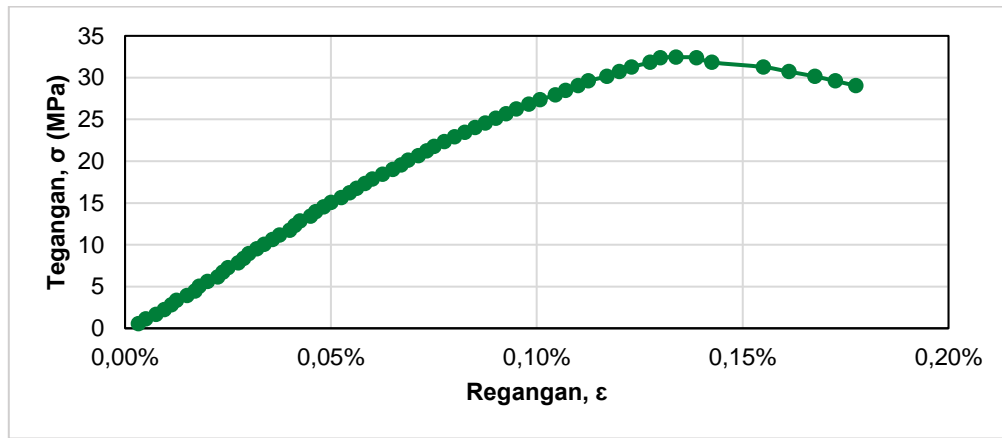
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	32,44	MPa
Diameter	15,1	Cm
Tinggi	30,35	Cm
Luas	179,0786352	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	581	kN
Output		
ASTM C-469	29782,07	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26770,96561	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	29177,55954	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	10	0,005	0,003%	1,12
30	30000	20	0,01	0,005%	1,68
40	40000	28	0,014	0,007%	2,23
50	50000	35	0,0175	0,009%	2,79
60	60000	40	0,02	0,010%	3,35
70	70000	50	0,025	0,013%	3,91
80	80000	58	0,029	0,015%	4,47
90	90000	62	0,031	0,016%	5,03
100	100000	70	0,035	0,018%	5,58
110	110000	80	0,04	0,020%	6,14
120	120000	85	0,0425	0,021%	6,70
130	130000	90	0,045	0,023%	7,26
140	140000	100	0,05	0,025%	7,82
150	150000	105	0,0525	0,026%	8,38
160	160000	110	0,055	0,028%	8,93
170	170000	118	0,059	0,030%	9,49
180	180000	125	0,0625	0,031%	10,05
190	190000	133	0,0665	0,033%	10,61
200	200000	140	0,07	0,035%	11,17
210	210000	150	0,075	0,038%	11,73
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,29
230	230000	160	0,08	0,040%	12,84
240	240000	170	0,085	0,043%	13,40
250	250000	175	0,0875	0,044%	13,96
260	260000	183	0,0915	0,046%	14,52
270	270000	190	0,095	0,048%	15,08
280	280000	200	0,1	0,050%	15,64
290	290000	208	0,104	0,052%	16,19
300	300000	215	0,1075	0,054%	16,75
310	310000	223	0,1115	0,056%	17,31



Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,87
330	330000	240	0,12	0,060%	18,43
340	340000	250	0,125	0,063%	18,99
350	350000	258	0,129	0,065%	19,54
360	360000	265	0,1325	0,066%	20,10
370	370000	275	0,1375	0,069%	20,66
380	380000	283	0,1415	0,071%	21,22
390	390000	290	0,145	0,073%	21,78
400	400000	300	0,15	0,075%	22,34
410	410000	310	0,155	0,078%	22,89
420	420000	320	0,16	0,080%	23,45
430	430000	330	0,165	0,083%	24,01
440	440000	340	0,17	0,085%	24,57
450	450000	350	0,175	0,088%	25,13
460	460000	360	0,18	0,090%	25,69
470	470000	370	0,185	0,093%	26,25
480	480000	382	0,191	0,096%	26,80
490	490000	393	0,1965	0,098%	27,36
500	500000	408	0,204	0,102%	27,92
510	510000	418	0,209	0,105%	28,48
520	520000	430	0,215	0,108%	29,04
530	530000	440	0,22	0,110%	29,60
540	540000	458	0,229	0,115%	30,15
550	550000	470	0,235	0,118%	30,71
560	560000	482	0,241	0,121%	31,27
570	570000	500	0,25	0,125%	31,83
580	580000	510	0,255	0,128%	32,39
<b>581</b>	<b>581000</b>	<b>525</b>	<b>0,2625</b>	<b>0,131%</b>	<b>32,44</b>
580	580000	545	0,2725	0,136%	32,39
570	570000	560	0,28	0,140%	31,83
560	560000	610	0,305	0,153%	31,27
550	550000	635	0,3175	0,159%	30,71
540	540000	660	0,33	0,165%	30,15
530	530000	680	0,34	0,170%	29,60
520	520000	700	0,35	0,175%	29,04

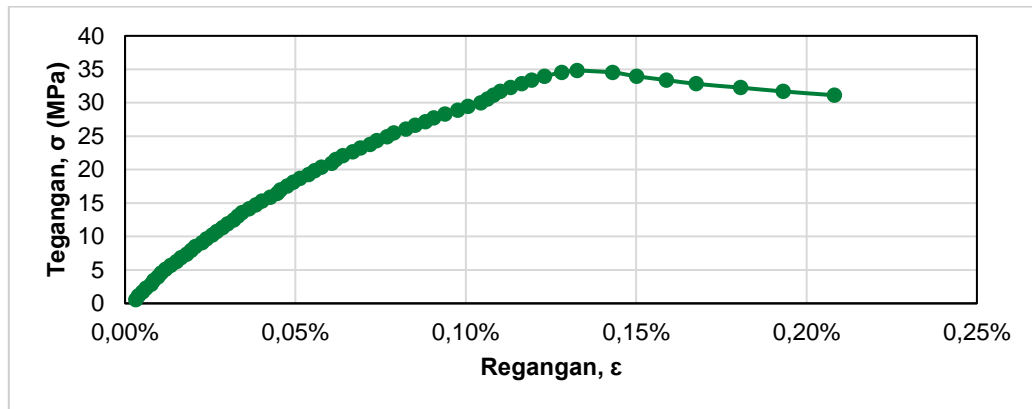
**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 2**

### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,80	MPa
Diameter	15,08	Cm
Tinggi	30,26	Cm
Luas	178,6045689	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	568	kN
Output		
ASTM C-469	37326,41	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26504,87397	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28608,74058	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	3	0,0015	0,001%	1,12
30	30000	8	0,004	0,002%	1,68
40	40000	12	0,006	0,003%	2,24
50	50000	18	0,009	0,005%	2,80
60	60000	21	0,0105	0,005%	3,36
70	70000	26	0,013	0,007%	3,92
80	80000	30	0,015	0,008%	4,48
90	90000	35	0,0175	0,009%	5,04
100	100000	41	0,0205	0,010%	5,60
110	110000	48	0,024	0,012%	6,16
120	120000	53	0,0265	0,013%	6,72
130	130000	60	0,03	0,015%	7,28
140	140000	65	0,0325	0,016%	7,84
150	150000	70	0,035	0,018%	8,40
160	160000	78	0,039	0,020%	8,96
170	170000	83	0,0415	0,021%	9,52
180	180000	90	0,045	0,023%	10,08
190	190000	95	0,0475	0,024%	10,64
200	200000	102	0,051	0,026%	11,20
210	210000	108	0,054	0,027%	11,76
220	220000	115	0,0575	0,029%	12,32
230	230000	120	0,06	0,030%	12,88
240	240000	125	0,0625	0,031%	13,44
250	250000	133	0,0665	0,033%	14,00
260	260000	141	0,0705	0,035%	14,56
270	270000	148	0,074	0,037%	15,12
280	280000	158	0,079	0,040%	15,68
290	290000	166	0,083	0,042%	16,24

300	300000	170	0,085	0,043%	16,80
310	310000	178	0,089	0,045%	17,36
Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	185	0,0925	0,046%	17,92
330	330000	193	0,0965	0,048%	18,48
340	340000	203	0,1015	0,051%	19,04
350	350000	210	0,105	0,053%	19,60
360	360000	218	0,109	0,055%	20,16
370	370000	230	0,115	0,058%	20,72
380	380000	235	0,1175	0,059%	21,28
390	390000	243	0,1215	0,061%	21,84
400	400000	255	0,1275	0,064%	22,40
410	410000	264	0,132	0,066%	22,96
420	420000	275	0,1375	0,069%	23,52
430	430000	283	0,1415	0,071%	24,08
440	440000	295	0,1475	0,074%	24,64
450	450000	303	0,1515	0,076%	25,20
460	460000	317	0,1585	0,079%	25,76
470	470000	328	0,164	0,082%	26,32
480	480000	340	0,17	0,085%	26,88
490	490000	350	0,175	0,088%	27,43
500	500000	363	0,1815	0,091%	27,99
510	510000	378	0,189	0,095%	28,55
520	520000	390	0,195	0,098%	29,11
530	530000	405	0,2025	0,101%	29,67
540	540000	413	0,2065	0,103%	30,23
550	550000	420	0,21	0,105%	30,79
560	560000	428	0,214	0,107%	31,35
568	568000	440	0,22	0,110%	31,80
560	560000	453	0,2265	0,113%	31,35
550	550000	465	0,2325	0,116%	30,79
540	540000	480	0,24	0,120%	30,23
530	530000	500	0,25	0,125%	29,67
520	520000	518	0,259	0,130%	29,11
510	510000	560	0,28	0,140%	28,55
500	500000	588	0,294	0,147%	27,99

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 3**

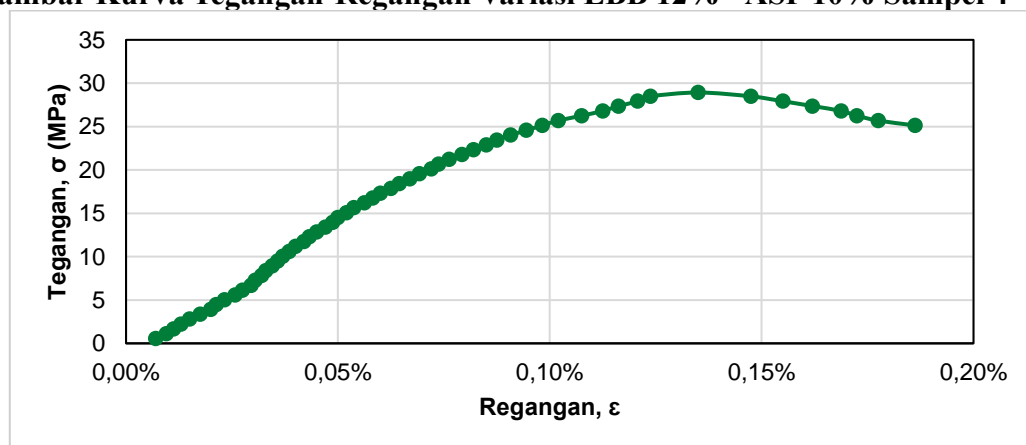
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	28,93	MPa
Diameter	15,1	Cm
Tinggi	30,15	Cm
Luas	179,0786352	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	518	kN
Output		
ASTM C-469	27920,70	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25277,89176	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	30326,69289	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	8	0,004	0,002%	0,56
20	20000	18	0,009	0,005%	1,12
30	30000	25	0,0125	0,006%	1,68
40	40000	32	0,016	0,008%	2,23
50	50000	40	0,02	0,010%	2,79
60	60000	50	0,025	0,013%	3,35
70	70000	60	0,03	0,015%	3,91
80	80000	65	0,0325	0,016%	4,47
90	90000	73	0,0365	0,018%	5,03
100	100000	83	0,0415	0,021%	5,58
110	110000	90	0,045	0,023%	6,14
120	120000	98	0,049	0,025%	6,70
130	130000	102	0,051	0,026%	7,26
140	140000	108	0,054	0,027%	7,82
150	150000	112	0,056	0,028%	8,38
160	160000	118	0,059	0,030%	8,93
170	170000	123	0,0615	0,031%	9,49
180	180000	128	0,064	0,032%	10,05
190	190000	134	0,067	0,034%	10,61
200	200000	140	0,07	0,035%	11,17
210	210000	148	0,074	0,037%	11,73
220	220000	153	0,0765	0,038%	12,29
230	230000	160	0,08	0,040%	12,84
240	240000	168	0,084	0,042%	13,40
250	250000	175	0,0875	0,044%	13,96
260	260000	180	0,09	0,045%	14,52
270	270000	188	0,094	0,047%	15,08
280	280000	195	0,0975	0,049%	15,64
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,19
300	300000	213	0,1065	0,053%	16,75
310	310000	220	0,11	0,055%	17,31

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,87
330	330000	238	0,119	0,060%	18,43
340	340000	248	0,124	0,062%	18,99
350	350000	257	0,1285	0,064%	19,54
360	360000	268	0,134	0,067%	20,10
370	370000	275	0,1375	0,069%	20,66
380	380000	285	0,1425	0,071%	21,22
390	390000	297	0,1485	0,074%	21,78
400	400000	308	0,154	0,077%	22,34
410	410000	320	0,16	0,080%	22,89
420	420000	330	0,165	0,083%	23,45
430	430000	343	0,1715	0,086%	24,01
440	440000	358	0,179	0,090%	24,57
450	450000	373	0,1865	0,093%	25,13
460	460000	388	0,194	0,097%	25,69
470	470000	410	0,205	0,103%	26,25
480	480000	430	0,215	0,108%	26,80
490	490000	445	0,2225	0,111%	27,36
500	500000	463	0,2315	0,116%	27,92
510	510000	475	0,2375	0,119%	28,48
518	518000	520	0,26	0,130%	28,93
510	510000	570	0,285	0,143%	28,48
500	500000	600	0,3	0,150%	27,92
490	490000	628	0,314	0,157%	27,36
480	480000	655	0,3275	0,164%	26,80
470	470000	670	0,335	0,168%	26,25
460	460000	690	0,345	0,173%	25,69
450	450000	725	0,3625	0,181%	25,13

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 4



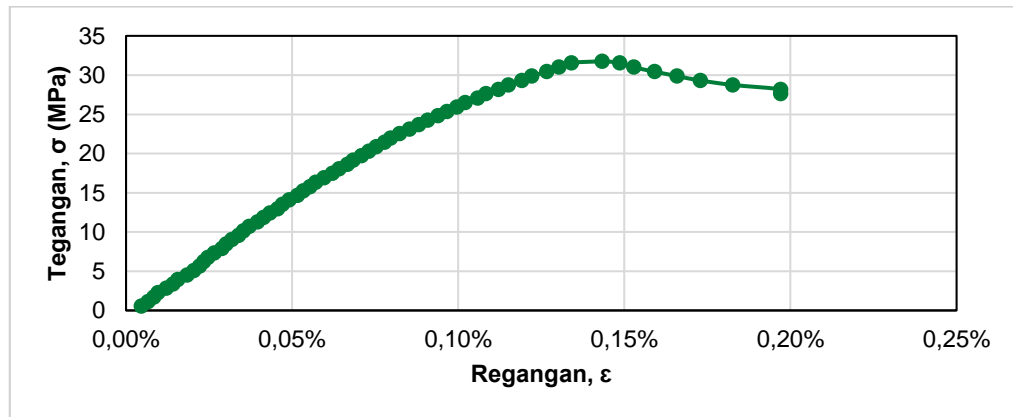
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,73	MPa
Diameter	15,03	Cm
Tinggi	30,22	Cm
Luas	177,422152	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	563	kN
Output		
ASTM C-469	28693,76	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26475,74162	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	29671,82344	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,13
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,69
40	40000	20	0,01	0,005%	2,25
50	50000	30	0,015	0,008%	2,82
60	60000	38	0,019	0,010%	3,38
70	70000	44	0,022	0,011%	3,95
80	80000	55	0,0275	0,014%	4,51
90	90000	63	0,0315	0,016%	5,07
100	100000	70	0,035	0,018%	5,64
110	110000	75	0,0375	0,019%	6,20
120	120000	80	0,04	0,020%	6,76
130	130000	88	0,044	0,022%	7,33
140	140000	97	0,0485	0,024%	7,89
150	150000	102	0,051	0,026%	8,45
160	160000	109	0,0545	0,027%	9,02
170	170000	117	0,0585	0,029%	9,58
180	180000	123	0,0615	0,031%	10,15
190	190000	130	0,065	0,033%	10,71
200	200000	140	0,07	0,035%	11,27
210	210000	147	0,0735	0,037%	11,84
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,40
230	230000	164	0,082	0,041%	12,96
240	240000	170	0,085	0,043%	13,53
250	250000	178	0,089	0,045%	14,09
260	260000	188	0,094	0,047%	14,65
270	270000	195	0,0975	0,049%	15,22
280	280000	203	0,1015	0,051%	15,78
290	290000	210	0,105	0,053%	16,35
300	300000	220	0,11	0,055%	16,91
310	310000	230	0,115	0,058%	17,47



Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	238	0,119	0,060%	18,04
330	330000	248	0,124	0,062%	18,60
340	340000	255	0,1275	0,064%	19,16
350	350000	265	0,1325	0,066%	19,73
360	360000	274	0,137	0,069%	20,29
370	370000	283	0,1415	0,071%	20,85
380	380000	293	0,1465	0,073%	21,42
390	390000	300	0,15	0,075%	21,98
400	400000	311	0,1555	0,078%	22,55
410	410000	323	0,1615	0,081%	23,11
420	420000	334	0,167	0,084%	23,67
430	430000	345	0,1725	0,086%	24,24
440	440000	357	0,1785	0,089%	24,80
450	450000	368	0,184	0,092%	25,36
460	460000	380	0,19	0,095%	25,93
470	470000	390	0,195	0,098%	26,49
480	480000	405	0,2025	0,101%	27,05
490	490000	415	0,2075	0,104%	27,62
500	500000	430	0,215	0,108%	28,18
510	510000	442	0,221	0,111%	28,75
520	520000	458	0,229	0,115%	29,31
530	530000	470	0,235	0,118%	29,87
540	540000	488	0,244	0,122%	30,44
550	550000	503	0,2515	0,126%	31,00
560	560000	518	0,259	0,130%	31,56
<b>563</b>	<b>563000</b>	<b>555</b>	<b>0,2775</b>	<b>0,139%</b>	<b>31,73</b>
560	560000	576	0,288	0,144%	31,56
550	550000	593	0,2965	0,148%	31,00
540	540000	618	0,309	0,155%	30,44
530	530000	645	0,3225	0,161%	29,87
520	520000	673	0,3365	0,168%	29,31
510	510000	712	0,356	0,178%	28,75
500	500000	770	0,385	0,193%	28,18
490	490000	770	0,385	0,193%	27,62

**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 12% - ASP 10% Sampel 5**

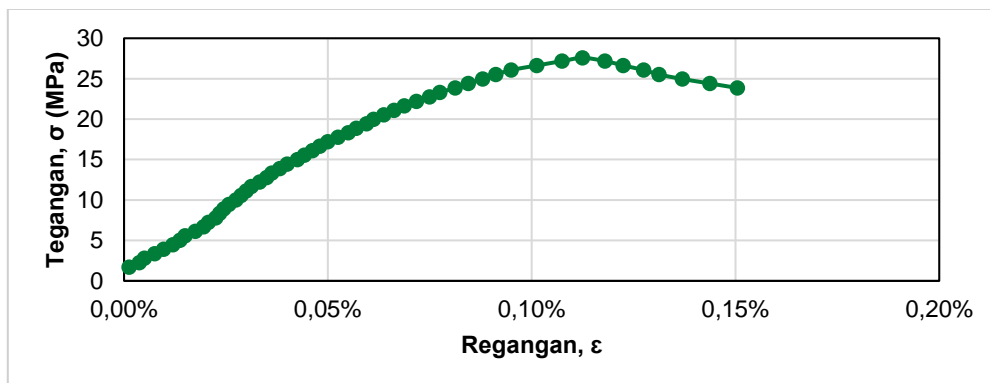
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 1

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	27,63	MPa
Diameter	15,15	Cm
Tinggi	30,25	Cm
Luas	180,26655	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	498	kN
Output		
ASTM C-469	36982,27	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	24703,29905	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	25873,17898	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa)
kN	N				
10	10000	8	0,004	0,002%	0,55
20	20000	18	0,009	0,005%	1,11
30	30000	25	0,0125	0,006%	1,66
40	40000	35	0,0175	0,009%	2,22
50	50000	40	0,02	0,010%	2,77
60	60000	50	0,025	0,013%	3,33
70	70000	59	0,0295	0,015%	3,88
80	80000	68	0,034	0,017%	4,44
90	90000	75	0,0375	0,019%	4,99
100	100000	80	0,04	0,020%	5,55
110	110000	90	0,045	0,023%	6,10
120	120000	98	0,049	0,025%	6,66
130	130000	103	0,0515	0,026%	7,21
140	140000	110	0,055	0,028%	7,77
150	150000	114	0,057	0,029%	8,32
160	160000	118	0,059	0,030%	8,88
170	170000	123	0,0615	0,031%	9,43
180	180000	130	0,065	0,033%	9,99
190	190000	135	0,0675	0,034%	10,54
200	200000	140	0,07	0,035%	11,09
210	210000	145	0,0725	0,036%	11,65
220	220000	153	0,0765	0,038%	12,20
230	230000	160	0,08	0,040%	12,76
240	240000	165	0,0825	0,041%	13,31
250	250000	173	0,0865	0,043%	13,87
260	260000	180	0,09	0,045%	14,42
270	270000	190	0,095	0,048%	14,98
280	280000	197	0,0985	0,049%	15,53
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,09
300	300000	212	0,106	0,053%	16,64
310	310000	220	0,11	0,055%	17,20

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,75
330	330000	240	0,12	0,060%	18,31
340	340000	248	0,124	0,062%	18,86
350	350000	258	0,129	0,065%	19,42
360	360000	265	0,1325	0,066%	19,97
370	370000	275	0,1375	0,069%	20,53
380	380000	285	0,1425	0,071%	21,08
390	390000	295	0,1475	0,074%	21,63
400	400000	307	0,1535	0,077%	22,19
410	410000	320	0,16	0,080%	22,74
420	420000	330	0,165	0,083%	23,30
430	430000	345	0,1725	0,086%	23,85
440	440000	358	0,179	0,090%	24,41
450	450000	372	0,186	0,093%	24,96
460	460000	385	0,1925	0,096%	25,52
470	470000	400	0,2	0,100%	26,07
480	480000	425	0,2125	0,106%	26,63
490	490000	450	0,225	0,113%	27,18
497	497000	470	0,235	0,118%	27,57
490	490000	492	0,246	0,123%	27,18
480	480000	510	0,255	0,128%	26,63
470	470000	530	0,265	0,133%	26,07
460	460000	545	0,2725	0,136%	25,52
450	450000	568	0,284	0,142%	24,96
440	440000	595	0,2975	0,149%	24,41
430	430000	622	0,311	0,156%	23,85

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 1



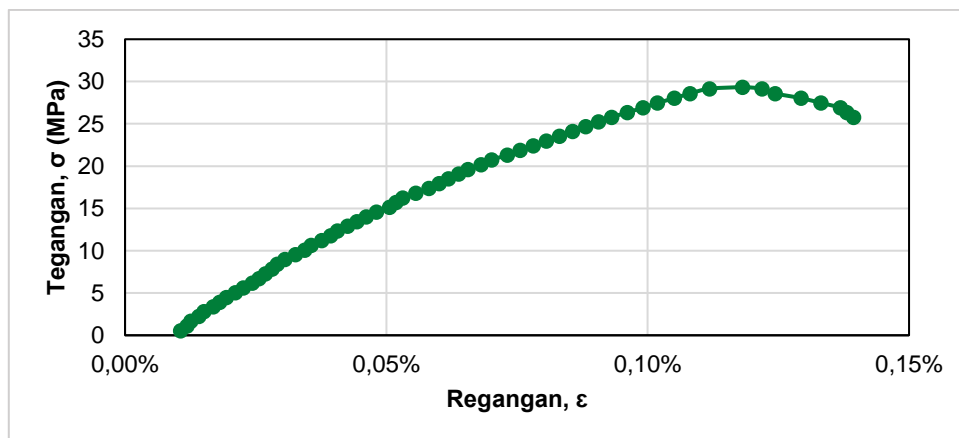
## Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 2

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	29,32	MPa
Diameter	15,07	Cm
Tinggi	30,32	Cm
Luas	178,3677714	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	523	kN
Output		
ASTM C-469	29900,77	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25450,15955	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	27389,52663	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	5	0,0025	0,001%	1,12
30	30000	8	0,004	0,002%	1,68
40	40000	14	0,007	0,004%	2,24
50	50000	18	0,009	0,005%	2,80
60	60000	25	0,0125	0,006%	3,36
70	70000	30	0,015	0,008%	3,92
80	80000	35	0,0175	0,009%	4,49
90	90000	42	0,021	0,011%	5,05
100	100000	48	0,024	0,012%	5,61
110	110000	55	0,0275	0,014%	6,17
120	120000	60	0,03	0,015%	6,73
130	130000	65	0,0325	0,016%	7,29
140	140000	70	0,035	0,018%	7,85
150	150000	74	0,037	0,019%	8,41
160	160000	80	0,04	0,020%	8,97
170	170000	88	0,044	0,022%	9,53
180	180000	95	0,0475	0,024%	10,09
190	190000	100	0,05	0,025%	10,65
200	200000	108	0,054	0,027%	11,21
210	210000	115	0,0575	0,029%	11,77
220	220000	120	0,06	0,030%	12,33
230	230000	128	0,064	0,032%	12,89
240	240000	135	0,0675	0,034%	13,46
250	250000	142	0,071	0,036%	14,02
260	260000	150	0,075	0,038%	14,58
270	270000	160	0,08	0,040%	15,14
280	280000	165	0,0825	0,041%	15,70
290	290000	170	0,085	0,043%	16,26
300	300000	180	0,09	0,045%	16,82
310	310000	190	0,095	0,048%	17,38

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	198	0,099	0,050%	17,94
330	330000	205	0,1025	0,051%	18,50
340	340000	213	0,1065	0,053%	19,06
350	350000	220	0,11	0,055%	19,62
360	360000	230	0,115	0,058%	20,18
370	370000	238	0,119	0,060%	20,74
380	380000	250	0,125	0,063%	21,30
390	390000	260	0,13	0,065%	21,86
400	400000	270	0,135	0,068%	22,43
410	410000	280	0,14	0,070%	22,99
420	420000	290	0,145	0,073%	23,55
430	430000	300	0,15	0,075%	24,11
440	440000	310	0,155	0,078%	24,67
450	450000	320	0,16	0,080%	25,23
460	460000	330	0,165	0,083%	25,79
470	470000	342	0,171	0,086%	26,35
480	480000	354	0,177	0,089%	26,91
490	490000	365	0,1825	0,091%	27,47
500	500000	378	0,189	0,095%	28,03
510	510000	390	0,195	0,098%	28,59
520	520000	405	0,2025	0,101%	29,15
523	523000	430	0,215	0,108%	29,32
520	520000	445	0,2225	0,111%	29,15
510	510000	455	0,2275	0,114%	28,59
500	500000	475	0,2375	0,119%	28,03
490	490000	490	0,245	0,123%	27,47
480	480000	505	0,2525	0,126%	26,91
470	470000	510	0,255	0,128%	26,35
460	460000	515	0,2575	0,129%	25,79

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 2



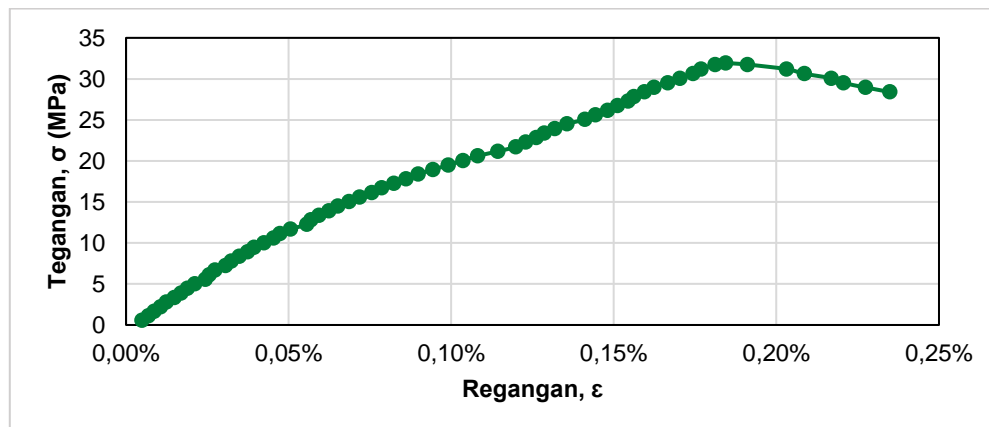
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 3

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,91	MPa
Diameter	15,12	Cm
Tinggi	30,17	Cm
Luas	179,5533299	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	573	kN
Output		
ASTM C-469	22527,81	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26550,85048	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28006,77254	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	0	0	0,000%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,11
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,67
40	40000	23	0,0115	0,006%	2,23
50	50000	30	0,015	0,008%	2,78
60	60000	40	0,02	0,010%	3,34
70	70000	48	0,024	0,012%	3,90
80	80000	56	0,028	0,014%	4,46
90	90000	65	0,0325	0,016%	5,01
100	100000	78	0,039	0,020%	5,57
110	110000	83	0,0415	0,021%	6,13
120	120000	90	0,045	0,023%	6,68
130	130000	103	0,0515	0,026%	7,24
140	140000	110	0,055	0,028%	7,80
150	150000	120	0,06	0,030%	8,35
160	160000	130	0,065	0,033%	8,91
170	170000	138	0,069	0,035%	9,47
180	180000	150	0,075	0,038%	10,02
190	190000	162	0,081	0,041%	10,58
200	200000	170	0,085	0,043%	11,14
210	210000	183	0,0915	0,046%	11,70
220	220000	203	0,1015	0,051%	12,25
230	230000	208	0,104	0,052%	12,81
240	240000	218	0,109	0,055%	13,37
250	250000	230	0,115	0,058%	13,92
260	260000	241	0,1205	0,060%	14,48
270	270000	255	0,1275	0,064%	15,04
280	280000	268	0,134	0,067%	15,59
290	290000	283	0,1415	0,071%	16,15

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
300	300000	295	0,1475	0,074%	16,71
310	310000	310	0,155	0,078%	17,27
320	320000	325	0,1625	0,081%	17,82
330	330000	340	0,17	0,085%	18,38
340	340000	358	0,179	0,090%	18,94
350	350000	377	0,1885	0,094%	19,49
360	360000	395	0,1975	0,099%	20,05
370	370000	413	0,2065	0,103%	20,61
380	380000	438	0,219	0,110%	21,16
390	390000	460	0,23	0,115%	21,72
400	400000	472	0,236	0,118%	22,28
410	410000	485	0,2425	0,121%	22,83
420	420000	495	0,2475	0,124%	23,39
430	430000	508	0,254	0,127%	23,95
440	440000	523	0,2615	0,131%	24,51
450	450000	545	0,2725	0,136%	25,06
460	460000	558	0,279	0,140%	25,62
470	470000	573	0,2865	0,143%	26,18
480	480000	585	0,2925	0,146%	26,73
490	490000	598	0,299	0,150%	27,29
500	500000	605	0,3025	0,151%	27,85
510	510000	618	0,309	0,155%	28,40
520	520000	630	0,315	0,158%	28,96
530	530000	647	0,3235	0,162%	29,52
540	540000	662	0,331	0,166%	30,07
550	550000	678	0,339	0,170%	30,63
560	560000	688	0,344	0,172%	31,19
570	570000	705	0,3525	0,176%	31,75
<b>573</b>	<b>573000</b>	<b>718</b>	<b>0,359</b>	<b>0,180%</b>	<b>31,91</b>
570	570000	745	0,3725	0,186%	31,75
560	560000	793	0,3965	0,198%	31,19
550	550000	815	0,4075	0,204%	30,63
540	540000	848	0,424	0,212%	30,07
530	530000	863	0,4315	0,216%	29,52
520	520000	890	0,445	0,223%	28,96
510	510000	920	0,46	0,230%	28,40



**Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 3**

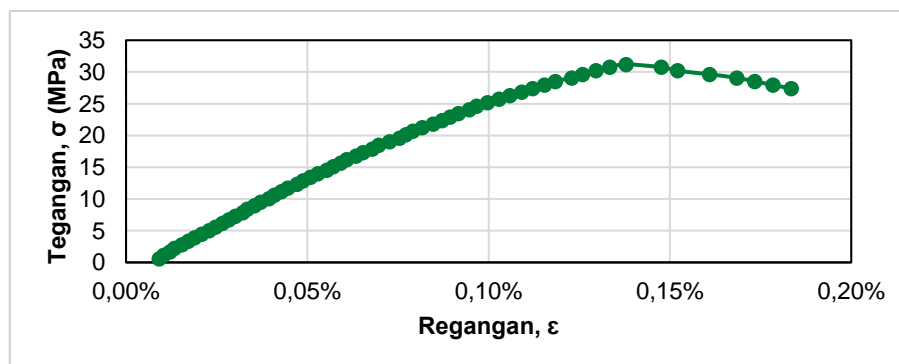
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 4

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	31,20	MPa
Diameter	15,09	Cm
Tinggi	30,35	Cm
Luas	178,8415235	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	558	kN
Output		
ASTM C-469	26313,14	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	26253,11113	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	26730,71176	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	3	0,0015	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,68
40	40000	20	0,01	0,005%	2,24
50	50000	28	0,014	0,007%	2,80
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,35
70	70000	42	0,021	0,011%	3,91
80	80000	50	0,025	0,013%	4,47
90	90000	58	0,029	0,015%	5,03
100	100000	65	0,0325	0,016%	5,59
110	110000	73	0,0365	0,018%	6,15
120	120000	80	0,04	0,020%	6,71
130	130000	87	0,0435	0,022%	7,27
140	140000	95	0,0475	0,024%	7,83
150	150000	100	0,05	0,025%	8,39
160	160000	108	0,054	0,027%	8,95
170	170000	115	0,0575	0,029%	9,51
180	180000	124	0,062	0,031%	10,06
190	190000	130	0,065	0,033%	10,62
200	200000	138	0,069	0,035%	11,18
210	210000	145	0,0725	0,036%	11,74
220	220000	155	0,0775	0,039%	12,30
230	230000	162	0,081	0,041%	12,86
240	240000	170	0,085	0,043%	13,42
250	250000	178	0,089	0,045%	13,98
260	260000	188	0,094	0,047%	14,54
270	270000	195	0,0975	0,049%	15,10
280	280000	203	0,1015	0,051%	15,66
290	290000	210	0,105	0,053%	16,22
300	300000	220	0,11	0,055%	16,77
310	310000	228	0,114	0,057%	17,33

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	238	0,119	0,060%	17,89
330	330000	245	0,1225	0,061%	18,45
340	340000	257	0,1285	0,064%	19,01
350	350000	268	0,134	0,067%	19,57
360	360000	275	0,1375	0,069%	20,13
370	370000	283	0,1415	0,071%	20,69
380	380000	293	0,1465	0,073%	21,25
390	390000	305	0,1525	0,076%	21,81
400	400000	315	0,1575	0,079%	22,37
410	410000	324	0,162	0,081%	22,93
420	420000	333	0,1665	0,083%	23,48
430	430000	345	0,1725	0,086%	24,04
440	440000	353	0,1765	0,088%	24,60
450	450000	365	0,1825	0,091%	25,16
460	460000	378	0,189	0,095%	25,72
470	470000	390	0,195	0,098%	26,28
480	480000	403	0,2015	0,101%	26,84
490	490000	415	0,2075	0,104%	27,40
500	500000	428	0,214	0,107%	27,96
510	510000	440	0,22	0,110%	28,52
520	520000	458	0,229	0,115%	29,08
530	530000	470	0,235	0,118%	29,64
540	540000	485	0,2425	0,121%	30,19
550	550000	500	0,25	0,125%	30,75
558	558000	518	0,259	0,130%	31,20
550	550000	557	0,2785	0,139%	30,75
540	540000	575	0,2875	0,144%	30,19
530	530000	610	0,305	0,153%	29,64
520	520000	640	0,32	0,160%	29,08
510	510000	660	0,33	0,165%	28,52
500	500000	680	0,34	0,170%	27,96
490	490000	700	0,35	0,175%	27,40

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 4



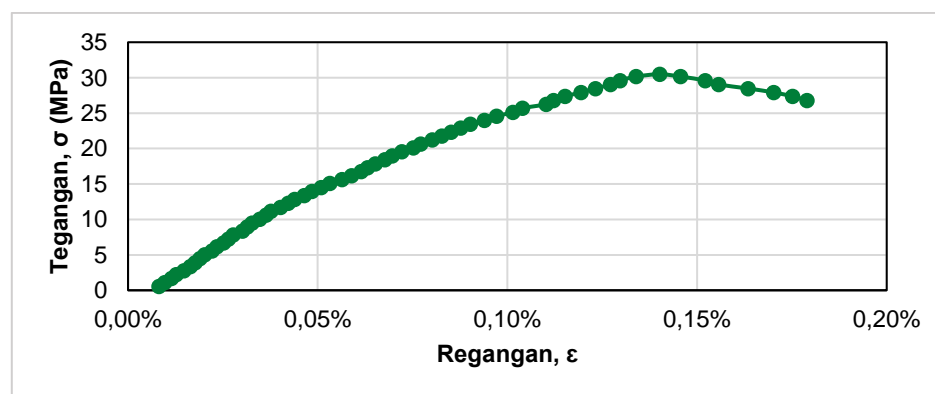
### Hasil Uji Modulus Elastisitas Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 5

Data Sampel		
Mutu beton rencana	25	MPa
Umur Uji	28	Hari
Mutu Uji	30,49	MPa
Diameter	15,1	Cm
Tinggi	30,12	Cm
Luas	179,0786352	mm <sup>2</sup>
Panjang awal ekstensiometer (Lo)	200	Mm
Beban Maks (Pu)	546	kN
Output		
ASTM C-469	29134,64	MPa
SNI 2847-2019 (4700 x f'c)	25952,08717	MPa
SNI 2847-2019 (Wc <sup>1,5</sup> x 0,043 x f'c)	28124,86552	MPa

Beban (P)		Pembacaan Dial, ΔL' (μm)	ΔL (mm)	Regangan (ε)	Tegangan (σ) (MPa)
kN	N				
10	10000	2	0,001	0,001%	0,56
20	20000	8	0,004	0,002%	1,12
30	30000	15	0,0075	0,004%	1,68
40	40000	20	0,01	0,005%	2,23
50	50000	28	0,014	0,007%	2,79
60	60000	35	0,0175	0,009%	3,35
70	70000	40	0,02	0,010%	3,91
80	80000	45	0,0225	0,011%	4,47
90	90000	50	0,025	0,013%	5,03
100	100000	58	0,029	0,015%	5,58
110	110000	63	0,0315	0,016%	6,14
120	120000	70	0,035	0,018%	6,70
130	130000	75	0,0375	0,019%	7,26
140	140000	80	0,04	0,020%	7,82
150	150000	90	0,045	0,023%	8,38
160	160000	95	0,0475	0,024%	8,93
170	170000	100	0,05	0,025%	9,49
180	180000	108	0,054	0,027%	10,05
190	190000	115	0,0575	0,029%	10,61
200	200000	120	0,06	0,030%	11,17
210	210000	130	0,065	0,033%	11,73
220	220000	138	0,069	0,035%	12,29
230	230000	145	0,0725	0,036%	12,84
240	240000	155	0,0775	0,039%	13,40
250	250000	163	0,0815	0,041%	13,96
260	260000	173	0,0865	0,043%	14,52
270	270000	182	0,091	0,046%	15,08
280	280000	195	0,0975	0,049%	15,64
290	290000	205	0,1025	0,051%	16,19
300	300000	215	0,1075	0,054%	16,75
310	310000	222	0,111	0,056%	17,31

Beban (P)		Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan ( $\epsilon$ )	Tegangan ( $\sigma$ ) (MPa) kN
kN	N				
320	320000	230	0,115	0,058%	17,87
330	330000	240	0,12	0,060%	18,43
340	340000	248	0,124	0,062%	18,99
350	350000	258	0,129	0,065%	19,54
360	360000	270	0,135	0,068%	20,10
370	370000	278	0,139	0,070%	20,66
380	380000	290	0,145	0,073%	21,22
390	390000	300	0,15	0,075%	21,78
400	400000	310	0,155	0,078%	22,34
410	410000	320	0,16	0,080%	22,89
420	420000	330	0,165	0,083%	23,45
430	430000	345	0,1725	0,086%	24,01
440	440000	358	0,179	0,090%	24,57
450	450000	375	0,1875	0,094%	25,13
460	460000	385	0,1925	0,096%	25,69
470	470000	410	0,205	0,103%	26,25
480	480000	418	0,209	0,105%	26,80
490	490000	430	0,215	0,108%	27,36
500	500000	447	0,2235	0,112%	27,92
510	510000	462	0,231	0,116%	28,48
520	520000	478	0,239	0,120%	29,04
530	530000	488	0,244	0,122%	29,60
540	540000	505	0,2525	0,126%	30,15
546	546000	530	0,265	0,133%	30,49
540	540000	552	0,276	0,138%	30,15
530	530000	578	0,289	0,145%	29,60
520	520000	592	0,296	0,148%	29,04
510	510000	623	0,3115	0,156%	28,48
500	500000	650	0,325	0,163%	27,92
490	490000	670	0,335	0,168%	27,36
480	480000	685	0,3425	0,171%	26,80

Gambar Kurva Tegangan-Regangan Variasi LBB 15% - ASP 10% Sampel 5









### Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Modulus Elastisitas

Jenis Beton	Kode Benda Uji	Usia Beton	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	WC	Kuat Tekan (MPa)	ASTMC – 469 ( $E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$ )	Rerata	SNI 2847-2019 $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$	Rerata	SNI 2847-2019 ( $E_c = wc^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'c}$ )	Rerata
Beton Normal	S1-A	28 Hari	15.12	30.16	13,13	2425.8288	25.23	26208.82	25430,32	23607.51243	23649,75	25805.42699	26171,98
	S2-A		15.06	30.33	13,223	2448.7136	25.88	29940.49		23909.93569		26506.71975	
	S3-A		15.13	30.4	13,113	2400.3853	24.31	23596.43		23171.52983		24931.40494	
	S4-A		15.07	30.17	13,386	2488.7390	25.62	22425.58		23790.18203		27023.23801	
	S5-A		15.05	30.22	13,238	2463.6855	25.58	29980.29		23769.61326		26593.20023	
LBB 3% + ASP 10%	S1-B		15.12	30.36	13,09	2402.5069	25.62	31825.01	28614,36	23789.2112	24553,67	25629.94062	26934,99
	S2-B		15.04	30.15	13,29	2482.2165	26.17	30020.17		24045.37516		27205.80862	
	S3-B		15.07	30.24	13,24	2454.9689	28.70	29900.77		25181.09697		28022.97499	
	S4-B		15.11	30.18	13,19	2437.7842	30.62	26768.40		26006.06389		28637.69758	
	S5-B		15.18	30.15	12,96	2377.0510	25.53	24557.49		23746.63809		25178.5369	
LBB 6% + ASP 10%	S1-C		15.14	30.25	13,30	2444.0090	29.05	29624.91	28747,35	25332.49039	25164,15	28002.87951	27514,64
	S2-C		15.1	30.32	13,23	2437.1136	31.16	30458.94		26235.72496		28878.67892	
	S3-C		15.03	30.29	13,15	2448.3409	26.89	32207.28		24369.86516		27010.43345	
	S4-C		15.15	30.35	13,00	2378.0629	27.51	26627.24		24653.64413		26156.92787	
	S5-C		15.1	30.24	13,11	2422.6837	28.81	24818.40		25229.04554		27524.31396	
LBB 9% + ASP 10%	S1-D		15.03	30.24	12,93	2410.8042	27.39	32207.28	29344,60	24598.6952	25649,95	26639.4698	27727,34
	S2-D		15.07	30.36	13,04	2409.6073	31.51	30123.91		26382.00648		28549.45494	
	S3-D		15.14	30.32	12,98	2379.1624	29.61	27773.36		25573.52808		27151.72191	
	S4-D		15.18	30.18	13,27	2431.2894	28.62	27627.18		25144.67494		27578.56164	
	S5-F		15.12	30.26	13,08	2408.7891	31.91	28991.27		26550.85048		28717.53831	
LBB 12% + ASP 10%	S1-E	15.17	30.32	13,136	2398.2427	31.26	35409.43	31826,47	26277.9547	26261,48	28235.91363	29204,14	
	S2-E	15.1	30.35	13,152	2421.0823	32.44	29782.07		26770.9656		29177.55954		
	S3-E	15.08	30.26	12,994	2405.4792	31.80	37326.41		26504.8739		28608.74058		
	S4-E	15.1	30.15	13,929	2581.1252	28.93	27920.70		25277.8917		30326.69289		
	S5-E	15.03	30.22	13,218	2466.5145	31.73	28693.76		26475.7416		29671.82344		
LBB 15% + ASP 10%	S1-F	15.15	30.25	12,850	2357.6690	27.63	36982.27	28971,72	24703.2990	25781,90	25873.17898	27225,01	
	S2-F	15.07	30.32	12,977	2400.7611	29.32	29900.77		25450.1595		27389.52663		
	S3-F	15.12	30.17	12,826	2368.8780	31.91	22527.81		26550.8504		28006.77254		
	S4-F	15.09	30.35	12,552	2313.6950	31.20	26313.14		26253.1111		26730.71176		
	S5-F	15.15	30.25	13,003	2411.9319	30.49	29134.64		25952.0871		28124.86552		







### Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Normal

Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (Kg)	Luas Selimut (mm <sup>2</sup> )	Berat Beton (N)	Beban Maks (N)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah Rerata (MPa)
LBB 0% ASP 10%	TB1	147.5	301.60	13,13	139756.8908	13.13	205	2,502
	TB2	150	303.3	13,22	142926.7578	13.22	165	
	TB3	147.5	304	13,11	140869.0146	13.11	157	
	TB4	149.5	301.7	13,386	141698.8663	13.386	163	
	TB5	150	302.2	13,238	142408.395	13.238	195	
LBB 3% ASP 10%	TB1	148.5	303.6	13,09	141637.4482	13.09	187	2,617
	TB2	149	301.5	13,29	141131.3376	13.29	163	
	TB3	151	302.4	13,24	143452.6604	13.24	208	
	TB4	148	301.8	13,19	140323.6341	13.19	193	
	TB5	149.5	301.5	12,96	141604.9327	12.96	184	
LBB 6% ASP 10%	TB1	148.5	302.5	13,30	141124.269	13.30	198	2,740
	TB2	151.5	303.2	13,23	144308.4302	13.23	183	
	TB3	150.5	302.9	13,15	143214.0564	13.15	206	
	TB4	148.5	303.5	13,00	141590.7955	13.00	176	
	TB5	149	302.4	13,11	141552.6251	13.11	193	
LBB 9% ASP 10%	TB1	149	302.4	12,93	139756.8908	12.93	192	2,904
	TB2	147.5	303.6	13,04	142926.7578	13.04	218	
	TB3	153.5	303.2	12,98	140869.0146	12.98	212	
	TB4	148.5	301.8	13,27	141698.8663	13.27	197	
	TB5	151.5	302.6	13,08	142408.395	13.08	207	
LBB 12% ASP 10%	TB1	150.35	303.2	13,136	141552.6251	13.136	213	2,979
	TB2	151.05	303.5	13,152	140683.6606	13.152	225	
	TB3	150.55	302.6	12,994	146213.492	12.994	203	
	TB4	150.95	301.5	13,929	140797.7004	13.929	208	
	TB5	150.65	302.2	13,218	144022.8595	13.218	230	
LBB 15% ASP 10%	TB1	151.6	302.5	12,850	143213.0197	12.850	207	2,820
	TB2	151	303.2	12,977	144022.1526	12.977	192	
	TB3	151.6	301.7	12,826	143119.7458	12.826	206	
	TB4	150.75	303.5	12,552	142978.3584	12.552	198	
	TB5	151.35	301.2	13,003	143025.498	13.003	210	

### Lampiran 8 Dokumentasi Pengujian

Hasil Sampel Variasi LBB 0% ASP 0%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	
Hasil Sampel Variasi LBB 3% ASP 10%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	
Hasil Sampel Variasi LBB 6% ASP 10%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	



Hasil Sampel Variasi LBB 9% ASP 10%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	
Hasil Sampel Variasi LBB 3% ASP 10%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	
Hasil Sampel Variasi LBB 6% ASP 10%	
Kuat Tekan + Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
	



**Lampiran 9 Time Schedule Tugas Akhir**

NO	kegiatan	Bulan																			
		Agustus				September				Oktober				November				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
2	Persiapan Bahan dan alat									■	■	■	■								
3	Pemeriksaan Agregat											■	■								
4	Perencanaan Campuran Beton Normal 25 MPa											■	■	■	■						
5	Pembuatan Benda Uji <i>Trial</i> umur 7 hari													■	■						
6	Pengujian benda uji <i>Trial</i>													■	■						
7	Pembuatan dan Perawatan Benda uji													■	■	■	■				
8	Pengujian benda uji <i>Trial</i>																	■	■		
9	Pengolahan Data																		■	■	
10	Analisis Data																		■	■	■
11	Penyusunan Laporan																	■	■	■	■