

## **TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM  
PADI DAN ABU JERAMI GANDUM SEBAGAI  
SUBSTITUTOR SEBAGIAN SEMEN DALAM  
MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON  
(*ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING RICE HUSK  
ASH AND WHEAT STRAW ASH AS PARTIAL CEMENT  
SUBSTITUTES IN INCREASING THE COMPRESSIVE  
STRENGTH OF CONCRETE*)**

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



**Muhammad Haikal Akhdanul Abror**

**20511096**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2024**

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM  
PADI DAN ABU JERAMI GANDUM SEBAGAI  
SUBSTITUTOR SEBAGIAN SEMEN DALAM  
MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON  
(*ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING RICE HUSK  
ASH AND WHEAT STRAW ASH AS PARTIAL CEMENT  
SUBSTITUTES IN INCREASING THE COMPRESSIVE  
STRENGTH OF CONCRETE*)**

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



**Muhammad Haikal Akhdanul Abror  
20511096**

**Disetujui:**

**Pembimbing**



**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM**

**Tanggal: 28 Oktober 2024**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU SEKAM PADI DAN ABU JERAMI GANDUM SEBAGAI SUBSTITUTOR SEBAGIAN SEMEN DALAM MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON (ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING RICE HUSK ASH AND WHEAT STRAW ASH AS PARTIAL CEMENT SUBSTITUTES IN INCREASING THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE)

Disusun Oleh

Muhammad Haikal Akhdanul Abror  
20511096

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

Diuji pada tanggal 23 Oktober 2024

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing I:**

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM

NIK: 095110101

**Penguji I:**

Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.

NIK: 855110201

**Penguji II:**

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

NIK: 185111305

Tanggal: 28 Oktober 2024

Tanggal:

Tanggal:

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM

NIK: 095110101

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Oktober 2024

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Haikal Akhdanul Abror  
(20511096)

## **DEDIKASI**

### ***Alhamdulillahirrabblamin***

*“saya ucapkan atas dukungan dan Do’a dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.*

*Oleh karena itu dengan rasa syukur dan bahagia saya persembahkan dan terimakasih kepada:*

*Allah SWT*

*Karena hanya atas izin dan karunia-Nya maka skripsi ini dapat dibuat dan selesai tepat pada waktunya. Puji syukur yang tak terhingga pada Allah SWT yang telah meridhoi dan mengabulkan segala doa”*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah puji syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT atas petunjuk dan bimbingan-Nya tugas akhir yang berjudul *Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Dan Abu Jerami Gandum Sebagai Substitutor Sebagian Semen Dalam Meningkatkan Kuat Tekan Beton (Analysis Of The Effect Of Using Rice Husk Ash And Wheat Straw Ash As Partial Cement Substitutes In Increasing The Compressive Strength Of Concrete)* dapat terselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini saya tidak lepas dari bimbingan dan pengarahan dosen pembimbing serta beberapa pihak yang membantu dengan segala keikhlasan, untuk itu ucapan terima kasih disampaikan kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM, selaku ketua program studi dan dosen pembimbing.
2. Prof. Ir. Mochamad Teguh MSCE., Ph.D. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Jafar S.T., MURP., M.T. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Darussalam dan Suwarno selaku Laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membantu saya selama proses pengumpulan data pengujian.
5. Bapak Sublianur S.Ag. dan Ibu Nurainu S.Ag. selaku orang tua saya dan Muhammad Hafizh Abiyyu Fathin Fawwazi selaku kakak saya, yang selalu

memberikan dukungan dan do'a kepada saya selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhirnya dengan terselesainya Tugas Akhir ini penulis juga menyadari terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar lebih baik dilain waktu.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 17 Oktober 2024

Penulis,



Muhammad Haikal Akhdanul Abror  
20511096

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
DEDIKASI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xix
<i>ABSTRACT</i>	xx
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
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	7
2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan	10
2.4 Keaslian Penelitian	17
BAB III LANDASAN TEORI	18
3.1 Beton	18
3.2 Bahan Penyusun Beton	19

3.2.1 Semen Portland	19
3.2.2 Air	21
3.2.3 Agregat	21
3.2.4 Bahan Substitusi/Pengganti	24
3.3 Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ) dan Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> )	25
3.4 Perencanaan Campuran Beton	26
3.5 Kuat Tekan Beton	30
3.6 Modulus Elastisitas Beton	31
3.7 Umur Beton	33
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>35</b>
4.1 Umum	35
4.2 Variabel Penelitian	35
4.3 Bahan yang Digunakan	35
4.4 Alat yang Digunakan	37
4.5 Benda Uji	42
4.6 Pelaksanaan Penelitian	43
4.6.1 Persiapan Penelitian	43
4.6.2 Pengujian Agregat	43
4.6.3 Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	44
4.6.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	44
4.6.5 Pengujian Benda Uji	44
4.6.6 Pengolahan Data	45
4.6.7 Analisis Data	45
4.6.8 Pembahasan	45
4.6.9 Kesimpulan dan Saran	45
4.7 <i>Flowchart</i> Penelitian	45
4.8 Rencana Pelaksanaan Penelitian	47
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>49</b>
5.1 Hasil Pengujian <i>Properties</i> Agregat	49
5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	49

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	57
5.2 Perencanaan Campuran Beton ( <i>Mix Design</i> )	65
5.3 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	77
5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton	78
5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	83
5.5.1 Hubungan Kuat Tekan Beton Setiap Variasi Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Jerami Gandum (WSA)	88
5.5.2 Hubungan Kuat Tekan Beton terhadap Umur Beton dengan Variasi Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Jerami Gandum (WSA)	91
5.6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	95
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	106
6.1 Kesimpulan	106
6.2 Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	108
LAMPIRAN	111

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan	11
Tabel 3.1	Susunan Oksida Semen Portland	19
Tabel 3.2	Syarat Batas Gradasi Agregat Kasar	24
Tabel 3.3	Syarat Batas Gradasi Agregat Halus	24
Tabel 3.4	Zat Kimia Penyusun Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ) dan Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> )	26
Tabel 3.5	Jenis Beton Menurut Kuat Tekan	31
Tabel 3.6	Angka Konversi Umur Benda Uji <i>Bali State Polytechnic</i> 2018	33
Tabel 3.7	Angka Konversi Umur Benda Uji PBI 1971	34
Tabel 4.1	Rincian Benda Uji	42
Tabel 4.2	Rencana Pelaksanaan Penelitian	48
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	50
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1	53
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 2	53
Tabel 5.4	Gradasi Agregat Halus	54
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	56
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	56
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	57
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	59
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 1	61
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 2	61
Tabel 5.11	Gradasi Agregat Kasar	62
Tabel 5.12	Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	65
Tabel 5.13	Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	65
Tabel 5.14	Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30	66
Tabel 5.15	Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang dipakai di Indonesia	67

Tabel 5.16	Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m <sup>3</sup> ) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	69
Tabel 5.17	Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	69
Tabel 5.18	Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	74
Tabel 5.19	Kebutuhan Material untuk 1 Kali Mixing	76
Tabel 5.20	Hasil Nilai Slump Beton	77
Tabel 5.21	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton	79
Tabel 5.22	Persentase Perubahan Berat Volume pada Berbagai Umur Beton	83
Tabel 5.23	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	85
Tabel 5.24	Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA terhadap Beton Normal	90
Tabel 5.25	Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton dengan <i>Bali State Polytechnic</i> 2018 dan PBI 1971	91
Tabel 5.26	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Beton Variasi RHA + WSA 0% Umur 7 Hari Sampel 1	96
Tabel 5.27	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Beton Variasi RHA + WSA 0% Umur 28 Hari Sampel 1	97
Tabel 5.28	Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	102
Tabel 5.29	Persentase Perubahan Modulus Elastisitas Beton Terhadap Umur Beton pada Berbagai Variasi RHA + WSA	104

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	(a) Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ) dan (b) Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> )	26
Gambar 3.2	Kurva Tegangan-Regangan Beton	31
Gambar 3.3	Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton	32
Gambar 4.1	Semen Tipe I Tiga Roda	36
Gambar 4.2	Agregat Halus	36
Gambar 4.3	Agregat Kasar	36
Gambar 4.4	(a) Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ) dan (b) Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> )	37
Gambar 4.5	Set Saringan Agregat	38
Gambar 4.6	Timbangan	38
Gambar 4.7	Neraca <i>Ohaus</i>	38
Gambar 4.8	Piknometer	39
Gambar 4.9	Oven	39
Gambar 4.10	<i>Concrete Mixer</i>	40
Gambar 4.11	Sekop	40
Gambar 4.12	Kerucut Abrams	40
Gambar 4.13	Bekisting Beton	41
Gambar 4.14	Mesin Uji Tekan	41
Gambar 4.15	<i>Flowchart</i> Penelitian	46
Gambar 5.1	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	54
Gambar 5.2	Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	55
Gambar 5.3	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	63
Gambar 5.4	Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	63
Gambar 5.5	Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen ( <i>fas</i> ) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm	68
Gambar 5.6	Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	71

Gambar 5.7	Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	72
Gambar 5.8	Grafik Pengujian Nilai Slump pada Tiap Variasi	77
Gambar 5.9	Grafik Nilai Berat Volume Beton pada Umur 7 Hari	82
Gambar 5.10	Grafik Nilai Berat Volume Beton pada Umur 28 Hari	82
Gambar 5.11	Hubungan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA pada Umur Beton 7 Hari	89
Gambar 5.12	Hubungan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA pada Umur Beton 28 Hari	89
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 0%	92
Gambar 5.14	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 2%	92
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 4%	93
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 5%	93
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 6%	94
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 8%	94
Gambar 5.19	Grafik Modulus Elastisitas Beton Variasi RHA + WSA 0% Umur 7 Hari Sampel 1	100
Gambar 5.20	Grafik Modulus Elastisitas Beton Variasi RHA + WSA 0% Umur 7 Hari Sampel 1	100
Gambar 5.21	Hubungan Modulus Elastisitas Beton pada Berbagai Variasi RHA + WSA	104

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	112
Lampiran 2	Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	129
Lampiran 3	Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton	130
Lampiran 4	Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	133
Lampiran 5	Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	137
Lampiran 6	Gambar Bahan yang digunakan	243
Lampiran 7	Gambar Alat yang digunakan	245
Lampiran 8	Gambar Pengujian	249

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

% Ag. Halus	= Persentase Agregat Halus (%)
% Ag. Kasar	= Persentase Agregat Kasar (%)
°C	= Derajat Celcius
A	= Luas Penampang Benda Uji (mm <sup>2</sup> )
ACI	= <i>America Concrete Institute</i>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Alumina
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
BJ <sub>ag. halus</sub>	= Berat Jenis Agregat Halus
BJ <sub>ag. kasar</sub>	= Berat Jenis Agregat Kasar
BJ <sub>gab</sub>	= Berat Jenis Relatif/Gabungan Agregat
C <sub>2</sub> S	= Dikalsium Silikat
C <sub>3</sub> A	= Trikalsium Alumat
C <sub>3</sub> S	= Trikalsium Silikat
C <sub>4</sub> AF	= Tetrakalsium Aluminoforit
CaO	= Kapur
Ca(OH) <sub>2</sub>	= Kalsium Hidroksida
CDA	= <i>Cow Dung</i>
CO <sub>2</sub>	= Karbon Dioksida
E	= Modulus Elastisitas Beton (MPa)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	= Besi
JIS	= <i>Japan Industrial Standards</i>
K <sub>2</sub> O	= Kalium Oksida
L <sub>o</sub>	= Panjang Awal Kompresometer
LOI	= <i>Loss of Ignition</i>
M	= Nilai Tambah
MgO	= Magnesia
MPa	= Mega Pascal
N	= Newton

Na <sub>2</sub> O	= Natrium Oksida
P	= Beban Maksimum (N)
PBI	= Peraturan Beton Bertulang Indonesia
RHA	= <i>Rice Husk Ash</i>
RSA	= <i>Rice Straw Ash</i>
SII	= Standar Industri Indonesia
SiO <sub>2</sub>	= Silika
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SO <sub>3</sub>	= Sulfur
S <sub>r</sub>	= Deviasi Standar
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
W <sub>ag. gab</sub>	= Kadar Agregat Gabungan (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>ag. halus</sub>	= Kadar Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>ag. kasar</sub>	= Kadar Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>beton</sub>	= Berat Isi Beton (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>h</sub>	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>k</sub>	= Perkiraan Jumlah Air untuk Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )
W <sub>semen</sub>	= Kadar Semen (kg/m <sup>3</sup> )
WSA	= <i>Wheat Straw Ash</i>
c	= Jumlah Semen (kg/m <sup>3</sup> )
cm	= Centimeter
d	= Diameter Tabung Silinder (mm)
fas	= Faktor Air Semen
f <sub>c</sub>	= Kuat Tekan Beton (MPa)
f <sub>cr</sub>	= Kuat Tekan Beton Rerata yang Ditargetkan (MPa)
kg	= Kilogram
kN	= Kilonewton
m	= Meter
mm	= Milimeter
t	= Tinggi Tabung Silinder (mm)
μm	= Mikrometer

$w$	= Kadar Air Bebas ( $\text{kg/m}^3$ )
$\Delta L'$	= Pembacaan Dial ( $\mu\text{m}$ )
$\Delta L$	= Perubahan panjang beton (mm)
$\varepsilon$	= Regangan Beton
$\sigma$	= Tegangan Beton (MPa)

## ABSTRAK

Tingginya penggunaan semen sebagai salah satu bahan penyusun beton memiliki efek negatif bagi lingkungan, karena proses produksi semen menghasilkan emisi berupa pelepasan 0,8 ton karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) setiap per ton semennya ke atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Oleh karena itu diperlukan alternatif bahan substitusi lain seperti abu jerami gandum dan abu sekam padi. Penelitian menunjukkan bahwa abu jerami gandum dan abu sekam padi mempunyai kandungan beberapa zat yang juga terkandung dalam semen, seperti silika dan alumina yang cukup tinggi (86,94%; 67,34% dan 0,20%; 6,44%). Di samping itu ukuran abu jerami gandum yang kecil dapat menjadi pengisi yang baik pada rongga-rongga yang ada pada campuran beton. Sehingga hal ini dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Pada penelitian ini digunakan bahan substitusi berupa abu sekam padi dan abu jerami gandum sebanyak 2%, 4%, 5%, 6%, dan 8% dari berat semen. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan (SNI 2834, 2000) dengan kuat tekan rencana 30 MPa. Sedangkan pengujian dilakukan terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton pada umur 7 dan 28 hari sesuai (SNI 2847, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu jerami gandum dan abu sekam padi terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton, serta mengetahui komposisi campuran beton yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum pada umur 7 hari dan 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi dan abu jerami gandum dapat meningkatkan kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton. Hasil pengujian kuat tekan beton dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi dan abu jerami gandum pada umur 7 hari dengan kadar 2%, 4%, dan 5% mengalami peningkatan sebesar 2,161%, 2,623%, dan 5,315%, pada umur 28 hari dengan kadar 5% mengalami peningkatan sebesar 2,436%. Hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi dan abu jerami gandum pada campuran beton untuk perbedaan modulus elastisitas beton pengujian dan teoritis telah sesuai dengan yang disyaratkan pada (SNI 2847, 2019) adalah sebesar 20%. Peningkatan modulus elastisitas beton paling tinggi terjadi pada kadar 5% dengan peningkatan sebesar 7,924% dari modulus elastisitas beton umur uji 7 hari. Dengan demikian penggunaan abu sekam padi dan abu jerami gandum pada penelitian ini mampu meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan kadar maksimum 5%.

**Kata kunci:** Beton, Abu sekam padi, Abu jerami gandum, Kuat tekan, Modulus elastisitas

## **ABSTRACT**

*The high use of cement as one of the ingredients of concrete has a negative effect on the environment, because the cement production process produces emissions in the form of releasing 0.8 tons of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) per ton of cement into the atmosphere which causes the greenhouse effect. Therefore, alternative substitution materials such as wheat straw ash and rice husk ash are needed. Research shows that wheat straw ash and rice husk ash contain several substances that are also contained in cement, such as silica and alumina which are quite high (86.94%; 67.34% and 0.20%; 6.44%). In addition, the small size of wheat straw ash can be a good filler in the voids in the concrete mixture. So this can increase the compressive strength of concrete.*

*In this study, substitution materials in the form of rice husk ash and wheat straw ash were used as much as 2%, 4%, 5%, 6%, and 8% of the weight of cement. The calculation of concrete mix planning used (SNI 2834, 2000) with a compressive strength plan of 30 MPa. While testing was carried out on the compressive strength of concrete and modulus of elasticity of concrete at the age of 7 and 28 days according to (SNI 2847, 2019). This study aims to determine the effect of partial substitution of cement with wheat straw ash and rice husk ash on the compressive strength of concrete and modulus of elasticity of concrete, and to determine the composition of the concrete mixture that produces the maximum compressive strength of concrete at the age of 7 days and 28 days.*

*The results showed that partially substituting cement with rice husk ash and wheat straw ash can increase the compressive strength of concrete and the modulus of elasticity of concrete. The results of the concrete compressive strength test by substituting part of the cement with rice husk ash and wheat straw ash at the age of 7 days with 2%, 4%, and 5% levels increased by 2.161%, 2.623%, and 5.315%, at the age of 28 days with 5% levels increased by 2.436%. The results of testing the modulus of elasticity of concrete by substituting part of the cement with rice husk ash and wheat straw ash in the concrete mixture for the difference in the modulus of elasticity of the test and theoretical concrete are in accordance with the required (SNI 2847, 2019) is 20%. The highest increase in the modulus of elasticity of concrete occurred at the 5% level with an increase of 7.924% from the modulus of elasticity of 7-day test-age concrete. Thus, the use of rice husk ash and wheat straw ash in this study can increase the compressive strength and modulus of elasticity of concrete with a maximum level of 5%.*

**Keywords:** Concrete, Rice husk ash, Wheat straw ash, Compressive strength, Modulus of elasticity

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi konstruksi modern sampai saat ini masih sangat bergantung dengan pemanfaatan beton. Beton merupakan bahan buatan manusia yang terdiri dari campuran antara semen portland, agregat halus, agregat kasar, dan air. Meningkatnya pembangunan di era modern berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan bahan dasar pembuat beton (Bheel *et al.*, 2021). Penggunaan semen di Indonesia mengalami peningkatan melansir *CEIC Data (Indonesia Cement Consumption)* yang menyebutkan dalam rentang waktu Maret 2019-September 2020 (2.342.935 ton-3.128.985 ton) (CEIC Data, 2020). Data ini mengindikasikan bahwa semen masih menjadi pilihan utama dalam campuran beton.

Tingginya penggunaan semen memiliki efek negatif bagi lingkungan, karena proses produksi semen menghasilkan emisi berupa pelepasan 0,8 ton karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) setiap per ton semennya ke atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca yang juga menjadi salah satu penyumbang utama pemanasan global (He *et al.*, 2020; NASA, 2020). Dampak lain dari penggunaan semen sebagai bahan campuran beton yaitu air limbah limpasan yang dapat menyebabkan pencemaran air sungai maupun air tanah.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi efek samping produksi semen salah satunya yaitu dengan penggunaan material pozzolan yang dilaporkan berperan penting ketika ditambahkan dengan semen portland (Goyal *et al.*, 2007). Hal ini didukung oleh studi terdahulu yang melaporkan kombinasi semen portland dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) pada umur 7 dan 28 hari memperoleh kuat tekan beton sebesar 26,80 MPa dan 29,60 MPa (Velayutham & Ashok Kumar, 2019). Sedangkan jika menggunakan kombinasi semen portland dengan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada umur 7 dan 28 hari memperoleh kuat tekan sebesar 24,45 MPa dan 35,10 MPa (Babar *et al.*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa

penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada kadar tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton.

Menurut (Goyal *et al.*, 2007) abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) pada campuran beton dimanfaatkan sebagai bahan tambah pozzolan. Pozzolan yang didefinisikan sebagai bahan bubuk yang bila ditambahkan ke dalam semen dan adanya air dapat menyebabkan reaksi secara kimiawi dengan  $\text{Ca(OH)}_2$  yang pada suhu biasa dapat membentuk senyawa dengan sifat semen. Hal inilah yang menyebabkan penambahan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) dapat meningkatkan kualitas atau sifat dari campuran beton tersebut.

Abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) dapat saling melengkapi, karena silika dan alumina pada abu sekam padi *rice husk ash* yang berfungsi sebagai bahan oksida dominan. Sedangkan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) memiliki ukuran partikel kecil yang memiliki efek pengisian yang baik pada campuran beton. Berdasarkan kelebihan kedua bahan tersebut pada penelitian ini dilakukan kombinasi abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) untuk menemukan kadar optimum yang dapat meningkatkan kuat tekan beton (Bheel *et al.*, 2021).

Oleh karena itu untuk mengurangi pelepasan emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) ke atmosfer yang dapat menyebabkan efek rumah kaca akibat penggunaan dari semen, dapat digunakan bahan substitusi sebagian lain seperti abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*). Hal ini disebabkan adanya kandungan silika dan alumina pada abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) yang sama seperti yang terkandung pada semen. Kemudian ukuran abu jerami gandum (*wheat straw ash*) yang kecil dapat menjadi pengisi yang baik pada rongga-rongga yang ada pada campuran beton. Sehingga hal ini dapat meningkatkan kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Pengujian kuat tekan beton yang dilakukan pada umur 7 hari bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan awal beton, yang berfungsi sebagai indikator bahwa beton telah sesuai dengan perencanaan campuran awal dan memberikan indikasi bahwa campuran beton dapat mencapai

kekuatan yang diharapkan pada umur 28 hari. Sedangkan, pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan maksimum beton, karena pada umur tersebut beton telah mencapai kekuatan maksimum atau mendekati kekuatan maksimumnya.

Di Indonesia penelitian mengenai penggunaan gabungan antara dua bahan ini belum pernah dilakukan. Hal inilah yang menjadi latar belakang penelitian ini agar dapat mengetahui komposisi campuran beton dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) terhadap kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari?
2. Berapakah komposisi campuran beton dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada umur 7 hari dan 28 hari yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum?
3. Bagaimana pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) terhadap modulus elastisitas beton pada umur 7 hari dan 28 hari?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) terhadap kuat tekan beton pada umur 7 hari dan 28 hari.
- 2 Mengetahui komposisi campuran beton dengan mensubstitusi sebagian semen abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada umur 7 hari dan 28 hari yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum.

- 3 Mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) terhadap modulus elastisitas beton pada umur 7 hari dan 28 hari.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat kepada akademisi dan praktisi. Adapun manfaat bagi keduanya adalah sebagai berikut:

1. Manfaat penelitian untuk akademisi
  - a. Sebagai bahan pembelajaran untuk menambah pemahaman dan pengetahuan mengenai teknologi bahan konstruksi.
  - b. Sebagai sumbangsih pikiran untuk kalangan akademis khususnya jurusan teknik sipil di bidang struktur.
  - c. Dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.
2. Manfaat penelitian untuk praktisi
  - a. Sebagai pertimbangan bahan tambah dalam *mix design* yang sesuai dengan standar peraturan yang berlaku.
  - b. Dapat menjadi referensi bagi para kontraktor dalam menggunakan material alam untuk membuat beton dengan mutu berkualitas.
  - c. Memberikan informasi mengenai kegunaan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebagai bahan substitusi dalam meningkatkan kuat tekan beton.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian digunakan untuk mempermudah penulis dalam menentukan ruang lingkup permasalahan yang dilakukan dalam penelitian. Adapun batasan penelitiannya sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton rencana ( $f'_c$ ) sebesar 30 MPa.
2. Metode *mix design* menggunakan (SNI 2834, 2000).
3. Bahan substitusi yang digunakan adalah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*).
4. Pengujian dilakukan dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada variasi 0%,

2%, 4%, 5%, 6%, dan 8% dengan pembagian proporsi 50:50 pada setiap variasinya.

5. Nilai *slump*  $10 \pm 2$  cm.
6. Semen yang digunakan adalah semen tipe I merk Tiga Roda.
7. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm.
8. Agregat kasar berasal dari Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta.
9. Agregat halus berasal dari Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.
10. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
11. Benda uji yang digunakan terdiri dari benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton.
12. Jumlah sampel 5 buah pada masing-masing variasi.
13. Pengujian beton dilakukan pada umur beton 7 dan 28 hari.
14. Macam-macam pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.
  - a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan (SNI 1970, 1990).
  - b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan (SNI 1969, 1990).
  - c. Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan (SNI 1968, 1990).
  - d. Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan (SNI 1968, 1990).
  - e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume pada agregat halus menggunakan (SNI 4804, 1998).
  - f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume pada agregat kasar menggunakan (SNI 4804, 1998).
  - g. Pengujian butiran lolos ayakan No. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) menggunakan (SNI 4142, 1996).
  - h. Pengujian *slump* beton menggunakan (SNI 1972, 2008).

- i. Pengujian kuat tekan beton normal maupun dengan variasi substitusi sebagian dilakukan sesuai dengan prosedur pengujian pada (SNI 1974, 2011).

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Bab I – Pendahuluan  
Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka  
Bab ini berisi mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang pernah dilakukan dan perbandingan dengan penelitian yang dilakukan.
3. Bab III – Landasan Teori  
Bab ini berisi mengenai teori-teori yang digunakan sebagai pendukung dalam penelitian ini.
4. Bab IV – Metodologi Penelitian  
Bab ini berisi mengenai observasi data, alat yang digunakan, serta metode dan tahapan yang dilakukan selama penelitian.
5. Bab V – Hasil dan Pembahasan  
Bab ini berisi mengenai hasil yang didapat selama penelitian.
6. Bab VI – Kesimpulan dan Saran  
Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan pembahasan dari hasil analisis data, serta saran-saran mengenai hasil penelitian.
7. Lampiran  
Lampiran berisi mengenai data-data yang digunakan selama penelitian dan juga gambar penunjang dalam penelitian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Umum**

Beton adalah campuran dari semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang dapat membentuk massa padat. Agregat yang halus yang digunakan biasanya berupa pasir alam atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Sedangkan, agregat kasar yang digunakan biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Bertambahnya umur beton akan membuat beton semakin keras dan mencapai kekuatan yang direncanakan pada usia 28 hari. Beton memiliki daya kuat tekan yang baik. Oleh karena itu, beton banyak dipakai untuk pemilihan jenis struktur terutama struktur bangunan (SNI 2847, 2019).

Hasil campuran beton yang telah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda, hal tersebut bergantung pada saat pembuatannya serta komposisi bahan yang digunakan. Perbandingan campuran, cara pencampuran, mengangkut, mencetak, memadatkan, dan sebagainya akan mempengaruhi sifat dari beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Tjokrodinuljo, 2007). Pada saat beton sudah keras diharapkan mampu memikul beban sehingga sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton dipengaruhi oleh banyaknya air.

#### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu mengenai analisis abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) ini sebelumnya sudah pernah dilakukan. Berikut ini merupakan penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian ini.

1. *Synergic Effect of Wheat Straw Ash and Rice-Husk Ash on Strength Properties of Mortar* (Goyal et al., 2007)

Pada penelitian ini kadar abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebagai bahan substitusi sebagian sebesar 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15%. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah balok dengan dimensi 40x40x160 mm dengan 3 buah sampel setiap kadar abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) yang digunakan. Metode *mix design* yang digunakan sesuai dengan *Japan Industrial Standards* (JIS 5201 R). Pengujian kuat tekan balok beton dilakukan pada umur 3, 7, 14, 28, 56, 91, dan 180 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggabungkan antara RHA dan WSA dapat meningkatkan kuat tekan balok beton. Nilai kuat tekan beton maksimum diperoleh pada beton dengan kadar abu sekam padi (*rice husk ash*) 7,5% dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) 7,5% dengan peningkatan kuat tekan terhadap beton normal sebesar 15,9%.

2. *Influence of Rice, Wheat Straw Ash & Rice Husk Ash on The Properties of Concrete Mixes* (El-Sayed et al., 2017)

Penelitian ini yang digunakan sebagai bahan substitusi sebagian adalah abu sekam padi (*rice husk ash*), abu jerami padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*). Pada penelitian ini tidak dilakukan kombinasi antar bahan substitusinya. Kadar yang digunakan 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% setiap bahan substitusinya. Kemudian benda uji yang dipakai untuk uji kuat tekan beton adalah kubus dengan dimensi 100x100x100 mm dan untuk uji kuat tarik beton adalah silinder dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Metode *mix design* yang digunakan sesuai dengan *American Concrete Institute* (ACI 211). Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui bahwa penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*), abu jerami padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton. Penambahan abu sekam padi (*rice husk ash*), abu jerami padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dapat meningkatkan kuat tekan beton, tetapi kuat tekan beton tertinggi diperoleh dengan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada kadar 15%.

3. *Mechanical Properties of Concrete Incorporating Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash as Ternary Cementitious Material* (Bheel et al., 2021)

Penelitian ini menggunakan kombinasi abu jerami padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebagai bahan penggantinya. Kadar yang digunakan 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Benda uji kubus dengan dimensi 100x100x100 mm untuk kuat tekan beton, benda uji silinder dengan dimensi 200x100 mm untuk kuat tarik beton dan benda uji balok dengan dimensi 500x100x100 mm untuk kuat lentur beton. Metode yang digunakan untuk *mix design* sudah sesuai dengan *American Standard Testing and Material* (ASTM). Umur beton untuk pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Pengujian ini menyatakan bahwa dengan mengganti sebagian semen dengan kombinasi abu jerami padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dapat mendapatkan kuat tekan beton maksimum pada kadar 10%.

4. *Investigating Optimum Conditions for Developing Pozzolanic Ashes from Organic Wastes as Cement Replacing Materials* (Zaffar et al., 2022)

Pada penelitian ini bahan substitusi sebagian yang digunakan adalah abu sekam padi (*rice straw ash*), abu jerami gandum (*wheat straw ash*), dan abu kotoran sapi (*cow dung*). Dari bahan tadi tidak ada yang dikombinasikan dan kadar yang digunakan sebesar 20%. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah kubus dengan ukuran 50 mm<sup>3</sup>. Ketiga bahan substitusi tadi dilakukan pemanasan pada suhu 300°C, 600°C, dan 800 °C dan untuk waktu yang digunakan adalah 2, 4, 6, dan 8 jam. Metode yang digunakan untuk *mix design* adalah *American Standard Testing and Material* (ASTM). Berdasarkan penelitian tersebut durasi pemanasan yang paling optimal untuk abu kotoran sapi (*cow dung*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) adalah 6 jam dengan suhu 600°C, sedangkan untuk abu sekam padi (*rice straw ash*) waktu terbaik dilakukan pemanasan selama 2 jam dengan suhu 600 °C juga. Kemudian untuk kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada bahan substitusi sebagian dengan pemanasan 600°C selama 6 jam pada abu kotoran sapi (*cow dung*). Akan tetapi,

penggunaan bahan substitusi ini tetap lebih rendah dibandingkan dengan campuran beton yang menggunakan 100% semen.

5. *Investigation of Mechanical Properties of Concrete by Partial Replacement of Cement with Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash* (Leon et al., 2023)

Penelitian ini menggunakan abu sekam padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebagai bahan substitusi sebagiannya. Kadar yang digunakan pada penelitian ini adalah 5%, 10%, 15%, dan 20%. Kemudian benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton adalah silinder dengan dimensi 100x200 mm. Metode yang digunakan untuk *mix design* sudah sesuai dengan *American Standard Testing and Material* (ASTM). Pengujian dilakukan pada beton umur 7 dan 28 hari. Berdasarkan pengujian tersebut kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada kadar abu sekam padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebesar 15%. Akan tetapi, penambahan abu sekam padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) ini masih lebih rendah kuat tekan beton yang diperoleh dari pada menggunakan 100% semen pada campuran betonnya.

### **2.3 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan**

Perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya yang sejenis dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		(Goyal <i>et al.</i> , 2007)	(El-Sayed <i>et al.</i> , 2017)	(Bheel <i>et al.</i> , 2021)	(Zaffar <i>et al.</i> , 2022)	(Leon <i>et al.</i> , 2023)	(Penulis, 2024)
1.	Judul	<i>Synergic Effect of Wheat Straw Ash and Rice-Husk Ash on Strength Properties of Mortar</i>	<i>Influence of Rice, Wheat Straw Ash &amp; Rice Husk Ash on The Properties of Concrete Mixes</i>	<i>Mechanical Properties of Concrete Incorporating Rice Husk Ash and Ternary Cementitious Material</i>	<i>Investigating Optimum Conditions for Developing Pozzolanic Ashes from Organic Wastes as Cement Replacing Materials</i>	<i>Investigation of Mechanical Properties of Concrete by Partial Replacement of Cement with Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash</i>	Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi dan Abu Jerami Gandum sebagai Substitutor Sebagian Semen dalam Meningkatkan Kuat Tekan Beton
2.	Tahun	2007	2017	2021	2022	2023	2024
3.	Tujuan Penelitian	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efek sinergis abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) terhadap sifat kekuatan beton yang disubstitusi abu.	1. Mempelajari pengaruh penggunaan tiga jenis abu yang berbeda sebagai bahan pengganti atau bahan pengisi semen terhadap sifat fisik dan mekanik campuran beton.	Mengetahui pengaruh dari abu sekam padi dan abu jerami gandum sebagai substitutor sebagian pada sifat segar ( <i>slump</i> ), fisik (penyerapan air dan densitas), dan properti yang mengeras (kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum untuk mengembangkan abu pozzolan dari limbah organik untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen	Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik beton substitusi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dengan jumlah abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) yang sama dengan semen dan dengan rasio air/semen	1. Mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (rice husk ash) dan abu jerami gandum (wheat straw ash) terhadap kuat tekan beton.

			<p>2. Mempelajari pengaruh persentase abu terhadap sifat fisik dan mekanik campuran beton.</p>	<p>lentur), dan penyusutan beton.</p>		<p>yang konstan sebesar 0,45.</p>	<p>2. Mengetahui komposisi campuran beton dengan mensubstitusi sebagian semen abu sekam padi (rice husk ash) dan abu jerami gandum (wheat straw ash) yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum.</p> <p>3. Mengetahui pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (rice husk ash) dan abu jerami gandum (wheat straw ash) terhadap modulus elastisitas beton.</p>
--	--	--	--	---------------------------------------	--	-----------------------------------	---

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		(Goyal <i>et al.</i> , 2007)	(El-Sayed <i>et al.</i> , 2017)	(Bheel <i>et al.</i> , 2021)	(Zaffar <i>et al.</i> , 2022)	(Leon <i>et al.</i> , 2023)	(Penulis, 2024)
4.	Bahan Campuran	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ) dan Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> )	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ), Abu Jerami Padi ( <i>Rice Straw Ash</i> ) dan Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> )	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ) dan Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> )	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ), Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> ), dan Abu Kotoran Sapi ( <i>Cow Dung</i> )	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ) dan Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> )	Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ) dan Abu Sekam Padi ( <i>Rice-Husk Ash</i> )
5.	Kadar Campuran	0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 15%	0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%	0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%	20%	5%, 10%, 15%, dan 20%	0%, 2%, 4%, 5%, 6%, dan 8%
6.	Dikombinasikan Bahan Substitusinya	Iya	Tidak	Iya	Tidak	Iya	Iya

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		(Goyal <i>et al.</i> , 2007)	(El-Sayed <i>et al.</i> , 2017)	(Bheel <i>et al.</i> , 2021)	(Zaffar <i>et al.</i> , 2022)	(Leon <i>et al.</i> , 2023)	(Penulis, 2024)
7.	Hasil Penelitian	<p>1. Campuran dengan kombinasi 7,5% WSA dan 7,5% RHA yang menggantikan OPC sebesar 15% dapat meningkatkan kuat tekan dan lentur beton.</p> <p>2. Hasil menunjukkan bahwa penggabungan antara RHA dan WSA terjadi karena optimalisasi reaksi pozzolan dan efek pengisi dan efektif dalam meningkatkan kuat beton, bahkan lebih tinggi dari pada hanya</p>	<p>1. Penggunaan RSA, WSA, dan RHA meningkatkan kuat tekan dan tarik beton.</p> <p>2. WSA menunjukkan nilai tekan dan Tarik tertinggi dari pada RSA dan RHA.</p> <p>3. Menambahkan abu sebanyak 15% dari berat semen menunjukkan yang paling tinggi kuat tekan dan tarik dari pada 5%, 10%, dan 20%.</p>	<p>1. Nilai <i>slump</i> untuk semua campuran berkurang dengan semen yang ditambahkan bahan, campuran terkontrol memiliki <i>slump</i> 62 mm dan <i>slump</i> terendah adalah 24 mm untuk 10% WSA dan 10% RHA.</p>	<p>1. Berdasarkan penelitian tersebut durasi pemanasan yang paling optimal untuk abu kotoran sapi (<i>cow dung</i>) dan abu jerami gandum (<i>wheat straw ash</i>) adalah 6 jam dengan suhu 600°C, sedangkan untuk abu sekam padi (<i>rice straw ash</i>) waktu terbaik dilakukan pemanasan selama 2 jam dengan suhu 600°C juga</p>	<p>1. Nilai berat satuan beton menurun seiring dengan meningkatnya persentase substitusi semen oleh RHA dan WSA sampai proporsi tertentu.</p> <p>2. Berdasarkan pengujian tersebut kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada kadar abu sekam padi (<i>rice straw ash</i>) dan</p>	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		(Goyal <i>et al.</i> , 2007)	(El-Sayed <i>et al.</i> , 2017)	(Bheel <i>et al.</i> , 2021)	(Zaffar <i>et al.</i> , 2022)	(Leon <i>et al.</i> , 2023)	(Penulis, 2024)
7.	Hasil Penelitian	<p>menggunakan RHA yang relatif lebih reaktif.</p> <p>3. Campuran dengan kombinasi 7,5% WSA dan 7,5% RHA yang menggantikan OPC sebesar 15% dapat meningkatkan kuat tekan dan lentur beton.</p> <p>4. Hasil menunjukkan bahwa penggabungan antara RHA dan WSA terjadi karena optimalisasi reaksi pozzolan dan efek pengisi dan efektif dalam meningkatkan kuat</p>	<p>Nilai maksimum kuat tekan dan tarik dengan menggunakan 15% WSA.</p> <p>3. Daya tahan beton meningkat secara signifikan dengan 15% dari berat semen dan hasil terbaik dalam hal kepadatan dan kekuatan diperoleh dari 15% WSA.</p>	<p>Demikian pula kepadatan dan penyerapan airnya.</p> <p>2. Berdasarkan penelitian ini beton modifikasi melebihi campuran kontrol. Campuran dengan bahan tambahan semen 10% menghasilkan kekuatan tertinggi. Namun kekuatannya sedikit</p>	<p>kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada bahan substitusi sebagian dengan pemanasan 600°C selama 6 jam pada abu kotoran sapi (<i>cow dung</i>).</p> <p>2. Peningkatan penurunan berat diamati dengan peningkatan suhu kalsinasi. Kandungan CDA, WSA, dan RHA yang diperoleh setelah kalsinasi pada</p>	<p>abu jerami gandum (<i>wheat straw ash</i>) sebesar 15%.</p> <p>3. Berdasarkan hasil uji kuat tarik belah dan kuat lentur dapat dikatakan penurunan kuat tarik tersebut jauh lebih rendah dibandingkan beton normal pada umur 7 dan 28 hari.</p> <p>4. Nilai daya serap air meningkat seiring dengan</p>	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dan yang Dilakukan

No.	Aspek	Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Dilakukan
		(Goyal <i>et al.</i> , 2007)	(El-Sayed <i>et al.</i> , 2017)	(Bheel <i>et al.</i> , 2021)	(Zaffar <i>et al.</i> , 2022)	(Leon <i>et al.</i> , 2023)	(Penulis, 2024)
7.	Hasil Penelitian	beton, bahkan lebih tinggi dari pada hanya menggunakan RHA yang relatif lebih reaktif.		menurun setelah melampaui kadar 10%. 3. Susut beton berkurang karena penggantian semen dengan RHA dan WSA. Secara keseluruhan campuran beton, yang memiliki kandungan 5% WSA dan 5% RHA menunjukkan kinerja terbaik pada keadaan segar dan mengeras	suhu optimum yang dievaluasi (600°C) dihitung masing-masing sebesar 28%, 15%, dan 25%.	Meningkatnya persentase penggantian RHA dan WSA dengan semen dan diperoleh bahwa beton yang mengandung RHA dan WSA lebih awet dibandingkan dengan beton normal	

## 2.4 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) sebagai bahan substitusi sebelumnya belum pernah dilakukan di Indonesia. Perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian yang dilakukan saat ini, yaitu penelitian saat ini menggunakan bahan substitusi sebagian abu sekam padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dengan kadar 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, dan 8% dengan mutu beton rencana 30 MPa, serta menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan beton dan uji modulus elastisitas beton pada umur 7 dan 28 hari. Pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Leon *et al.*, 2023) di negara Amerika dengan kadar bahan substitusi sebagian paling tinggi dari abu sekam padi (*rice straw ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) adalah sebesar 20%, benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi 100x200 mm, pengujian yang dilakukan adalah uji kuat tekan beton dengan umur beton 7 dan 28 hari. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Beton**

Beton merupakan material konstruksi yang sering digunakan di seluruh dunia. Hal ini disebabkan oleh bahan mentah yang mudah diperoleh, kemudahan dalam pengolahan dan penanganannya, serta kemampuannya berubah dari keadaan cair yang mampu mengisi cetakan, kemudian menjadi padat hingga dapat memikul beban struktural (Wangler *et al.*, 2019). Bahan mentah tersebut terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus dan air yang kemudian dicampur sedemikian rupa berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan yang akan menjadi material padat seperti batuan (Prayuda & Saleh, 2019).

Proses pembuatan beton konvensional membutuhkan waktu yang cukup lama dan membutuhkan bekisting untuk meletakkan beton segar dimana pembuatan beton dimulai dari pengecoran yang dilakukan dalam kurun waktu minimal satu hari, setelah itu dibiarkan selama 7 hari yang kemudian bekisting dapat dibongkar dan dilakukan tahap selanjutnya (Prayuda & Saleh, 2019).

Beton merupakan material konstruksi yang memiliki kuat tekan tinggi, akan tetapi beton memiliki kuat tarik yang rendah. Maka dari itu untuk mengimbangi kondisi kuat tekan yang tinggi tersebut, suatu struktur biasanya perlu ditambahkan baja tulangan yang kemudian disebut dengan beton bertulang. Penambahan baja tulangan ini diharapkan dapat menaikkan kuat tarik beton itu sendiri (Wangler *et al.*, 2019). Sedangkan untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan beton tinggi diperlukan agregat yang baik, mulai dari agregat kasar maupun agregat halus yang harus terbungkus seluruhnya oleh semen (Prayuda & Saleh, 2019). Oleh karena itu dengan berkembangnya teknologi dalam pembuatan beton, maka tidak dapat dipungkiri adanya penggunaan bahan bangunan yang sekiranya dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif dalam pembuatan campuran beton dengan tanpa mengabaikan peraturan yang berlaku.

### 3.2 Bahan Penyusun Beton

Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton terdiri dari semen portland, air, agregat kasar, dan agregat halus.

#### 3.2.1 Semen Portland

Semen portland merupakan bahan utama penyusun beton dalam dunia konstruksi. Semen portland merupakan semen hidrolis yang diperoleh dengan cara menghaluskan terak semen portland terutama yang mengandung kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan dicampur bersamaan dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih dari bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh juga ditambahkan dengan bahan tambah lainnya. Apabila semen ditambahkan air maka akan menjadi pasta semen. Kemudian jika ditambahkan lagi agregat halus akan menjadi mortar, yang terakhir apabila ditambahkan agregat kasar akan membentuk beton segar. Apabila beton segar tersebut dibiarkan selama beberapa hari akan menjadi beton keras (SNI 2049, 2004).

Komponen kimiawi semen portland pada umumnya terdiri dari CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang termasuk ke dalam oksida dominan. Sedangkan ada juga oksida yang jumlahnya hanya beberapa persen dari berat persen adalah MgO, SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O dan K<sub>2</sub>O yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut (Widojoko, 2010).

**Tabel 3.1 Susunan Oksida Semen Portland**

Oksida	Kadar (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	7-25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3-8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1-2
Potash (Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O)	0,5-1

Sumber: Widojoko, 2010

Keempat oksida utama diatas didalam semen berupa senyawa C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>AF. Semua senyawa tersebut tidak stabil secara termodinamis, sehingga akan bereaksi dengan air. Oleh karena itu, jika semen dibiarkan dalam kurun waktu tertentu akan mengeras karena senyawa tadi bereaksi dengan uap air yang ada di

udara. Berikut proses hidrasi dan kecepatan bereaksi dengan air yang terjadi pada semen portland (Widojoko, 2010).

1. Trikalsium Silikat ( $C_3S$ )

Senyawa ini akan mengeras beberapa jam dan melepaskan panas, kualitas dan kuantitas yang terbentuk dalam ikatan. Hal inilah yang menentukan kekuatan beton pada awal umurnya, terutama pada 14 hari pertama.

2. Dikalsium Silikat ( $C_2S$ )

Formasi senyawa ini berlangsung secara perlahan dengan pelepasan panas yang lambat, senyawa ini berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan beton dari umur 14 hari sampai 28 hari. Senyawa ini memiliki ketahanan agresi kimia yang relatif tinggi dan penyusutan yang relatif rendah.

3. Trikalsium Alumina ( $C_3A$ )

Senyawa ini mengalami hidrasi yang sangat cepat yang disertai dengan sejumlah besar panas, yang dapat menyebabkan pengerasan awal, akan tetapi senyawa ini kurang tahan terhadap agresi kimia, mudah mengalami perubahan volume sehingga dapat memicu retak-retak. Senyawa ini kurang diinginkan karena hanya memberikan sedikit sumbangan pada kekuatan mortar.

4. Tetrakalsium Aluminoforit ( $C_4AF$ )

Senyawa ini kurang penting karena tidak berpengaruh banyak terhadap kekuatan dan sifat semen.

Perubahan yang dilakukan dengan cara mengubah komposisi kimia utama yang ada di dalam semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen yang memiliki tujuan pemakaiannya masing-masing. Menurut (SNI 2049, 2004) ada 5 jenis semen yang memiliki tujuan pemakaiannya masing-masing, yaitu:

1. Jenis I yaitu semen portland yang penggunaannya umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis-jenis lainnya. Misalnya pembuatan trotoar dan pasangan bata.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang. Semen ini digunakan untuk bangunan tebal seperti pilar berukuran besar, dan bangunan drainase.

3. Jenis III yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi, sehingga dapat digunakan untuk perbaikan bangunan beton yang perlu segera digunakan.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah yang biasanya digunakan untuk bangunan beton seperti bendungan.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap bangunan-bangunan yang kena sulfat, seperti pada tanah atau air yang tinggi kadar alkalinnya.

### 3.2.2 Air

Air harus selalu ada dalam pembuatan campuran beton agar terjadi hidrasi semen, yaitu reaksi kimia yang terjadi antara air dan semen sehingga campuran beton akan menjadi keras dalam jangka waktu tertentu, selain itu sebagai pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan (*workability*). Proses hidrasi akan berjalan dengan baik jika menggunakan air tawar atau air murni. Air ini juga digunakan pada saat perawatan beton (*curing*) yaitu dengan cara menyiram beton setelah kering dimana air yang digunakan dapat juga sama dengan air untuk pengadukan namun tidak boleh menimbulkan noda atau endapan yang dapat merusak warna permukaan dari beton (Rokhman & Kusumastuti, 2016).

### 3.2.3 Agregat

Agregat merupakan bahan yang digunakan sebagai pengisi dalam campuran beton. Agregat dapat berasal dari alam antara lain berasal dari pecahan batu alam atau bahan batuan. Agregat sangat berpengaruh terhadap kekuatan dari beton, sehingga pemilihan dan kelayakan agregat termasuk bagian yang sangat penting dalam pembuatan beton. Agregat yang baik adalah agregat yang keras dan kuat, yang kekuatannya melebihi kekuatan semen ketika sudah mengeras. Oleh karena itu dalam pemilihan agregat dilakukan pengujian untuk mendapatkan beton yang layak dalam pembuatan beton (Hanafi *et al.*, 2023). Jumlah agregat yang digunakan dalam campuran beton sekitar 60%-75% dari volume total beton itu sendiri. Karena

persentase agregat yang cukup tinggi dalam campuran beton menyebabkan sifat-sifat agregat sangat berpengaruh terhadap hasil beton (Suhendra *et al.*, 2014).

Menurut (Suhendra *et al.*, 2014) ciri-ciri agregat yang dapat mempengaruhi mutu beton adalah sebagai berikut.

1. Bentuk butiran dan tekstur permukaan dari agregat yang digunakan ke dalam campuran beton.
2. Distribusi ukuran agregat (gradasi agregat).
3. Ketahanan agregat terhadap keausan (abrasi).
4. Kebersihan agregat dari zat-zat yang dapat merusak.
5. Kemampuan agregat terhadap menahan kuat tekan.
6. Absorpsi agregat terhadap faktor air semen.

Agregat sendiri mempunyai ukuran butiran yang berbeda-beda yang dapat membedakan jenis dari agregat tersebut. Agregat kasar biasanya mempunyai ukuran butiran yang lebih besar dari agregat halus. Acuan ukuran butiran agregat kasar dan agregat halus digunakan saringan no. 4 (4,8 mm). Agregat yang memiliki ukuran lebih besar dari 4,8 mm disebut sebagai agregat kasar dan agregat yang ukuran butirannya lebih kecil disebut sebagai agregat halus (Suhendra *et al.*, 2014).

#### 1. Agregat Kasar

Menurut (SNI 2834, 2000) agregat kasar adalah kerikil hasil dari perpecahan batuan alami dari batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm-40 mm. Menurut (SII 0052, 1980) syarat untuk agregat kasar adalah sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir 6,0 sampai 7,1.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 1%.
- c. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- d. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%.

- e. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai  $\text{Na}_2\text{O}$  lebih besar dari 0,6%.
- f. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%.

## 2. Agregat Halus

Menurut (SNI 2834, 2000) agregat halus adalah pasir alam yang berasal dari perpecahan secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu yang mempunyai ukuran butiran terbesar 5,0 mm. Menurut (SII 0052, 1980) syarat untuk agregat halus adalah sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir 1,5 sampai 3,8.
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5%.
- c. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat ( $\text{NaSO}_4$ ) 3% jika dibandingkan dengan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari pada warna standar.
- d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka, tidak lebih dari 2,20.
- e. Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika di pakai magnesium sulfat maksimum 15%).

## 3. Gradasi Agregat

Untuk mendapatkan campuran beton yang baik, salah satu syarat yang harus dipenuhi yaitu gradasi agregat. Dalam pembuatan beton yang paling banyak dipakai dalam pembuatan adalah agregat normal dengan gradasi yang harus memenuhi syarat standar. Gradasi agregat tidak berpengaruh langsung terhadap kekuatan beton, akan tetapi berpengaruh terhadap konsistensi, keseragaman, dan pencapaian kepadatan maksimum campuran beton yang dibuat (Suhendra *et al.*, 2014). Menurut (ASTM C-33, 2003) syarat batas gradasi agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.2 Syarat Batas Gradasi Agregat Kasar**

Lubang Saringan		% Butir Lolos Saringan		
mm	inch	37,5 mm	19,0 mm	12,5 mm
50,0	2	100	-	-
38,1	1 1/2	95-100	-	-
25,0	1	-	100	-
19,0	3/4	35-70	90-100	100
12,5	1/2	-	-	90-100
9,5	3/8	10-30	20-55	40-70
4,75	3/16	0-5	0-10	0-15
2,36	No. 8	-	0-5	0-5

Sumber: ASTM C-33, 2003

**Tabel 3.3 Syarat Batas Gradasi Agregat Halus**

Lubang Saringan		% Butir Lolos Saringan
mm	inch	
9,5	3/8"	100
4,75	3/16"	95-100
2,36	No. 8	80-100
1,18	No. 16	50-85
0,6	No. 30	25-60
0,3	No. 50	10-30
0,15	No. 100	2-10

Sumber: ASTM C-33, 2003

#### 3.2.4 Bahan Substitusi/Pengganti

Bahan substitusi/pengganti adalah bahan yang dapat digunakan sebagai pengganti pada saat pembuatan campuran beton, penggantian bahas dasar pada campuran beton dalam upaya meningkatkan kinerja kuat tekan beton.

Material pozzolan yang biasanya berupa material hasil buangan dari industri batu bara maupun bahan pertanian atau material pozzolan alam yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi/pengganti semen karena sifatnya yang menyerupai semen jika ditambahkan ke dalam campuran semen. Penggunaan bahan ini sebagai bahan substitusi/pengganti semen dalam campuran mengakibatkan peningkatan *workability* dan kinerja campuran baik pada campuran beton mutu tinggi maupun pada campuran semen dengan kekuatan rendah (Waani & Elisabeth, 2017).

Menurut (Mehta, 1981) Pozzolan alam dibagi menjadi atas 4 kategori berdasarkan kandungan kapur reaktifnya yaitu:

1. *Unaltered volcanic glass*
2. *Volcanic tuff*
3. *Calcined clay* atau *shale*
4. *Raw* atau *calcined opaline silica*

Disubstitusinya semen sebesar 10-20% oleh pozzolan buatan ataupun alam dapat mengakibatkan peningkatan pada *bending strength* dan *strain, bending toughness*, dan penyerapan air dari campuran beton (Sujivorakul *et al.*, 2011).

Dengan demikian bahan ini direkomendasikan sebagai substitusi semen yang ada dalam campuran beton. Adanya penambahan pozzolan dapat memperbaiki sifat mekanikal campuran dan mengurangi produksi emisi gas buang CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Jika seluruh penggunaan semen pada proyek konstruksi dapat dikurangi sebesar 25-30% dengan bahan pozzolan, maka akan terjadi pengurangan emisi gas buangan CO<sub>2</sub> sebesar 2% ke atmosfer (Waani & Elisabeth, 2017).

### **3.3 Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan Abu Jerami Gandum (*Wheat Straw Ash*)**

Abu sekam padi (*rice husk ash*) adalah produk sampingan dari pertanian yang dihasilkan dengan cara membakar sekam padi hingga berkurang 25%. Sekam padi ini kemudian digiling hingga menghasilkan abu halus yang kemudian dapat digunakan sebagai bahan campuran beton, karena abu sekam padi memiliki kandungan silika yang tinggi. Abu sekam padi ini memiliki silika yang tinggi karena tanaman padi menyerap silika dari tanah. Berdasarkan pengujian terdahulu abu sekam padi dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 15% (Velayutham & Ashok Kumar, 2019).

Adapun abu jerami gandum (*wheat straw ash*) merupakan lapisan paling luar dari biji-bijian atau biji gandum. Abu jerami gandum terbuat dari komponen yang tidak fleksibel termasuk lignin dan silika opalin untuk melindungi benih di musim pertumbuhan. Abu jerami gandum (*wheat straw ash*) adalah produk ramah lingkungan netral karbon yang mengandung lebih dari 70% silika, 10%-40%

karbon, dan beberapa komponen mineral. Berdasarkan pengujian terdahulu abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 5-10% (Babar *et al.*, 2022). Berdasarkan penjelasan tersebut berikut zat kimia penyusun abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4 Zat Kimia Penyusun Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan Abu Jerami Gandum (*Wheat Straw Ash*)**

Bahan	Zat Kimia Penyusun Abu Sekam Padi ( <i>Rice Husk Ash</i> ) Dan Abu Jerami Gandum ( <i>Wheat Straw Ash</i> ) (%)						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI
RHA	86,94	0,20	0,10	2,20	0,80	0,86	4,80
WSA	67,34	6,44	4,36	10,60	0,47	1,85	4,20

Sumber: Bheel *et al.*, 2021

Adapun tampilan abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 (a) Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan (b) Abu Jerami Gandum (*Wheat Straw Ash*)**

### 3.4 Perencanaan Campuran Beton

Metode perencanaan campuran (*mix design*) yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada (SNI 2834, 2000) tentang Tata Cara Pembuatan Rencana

Campuran Beton Normal. Adapun langkah-langkah perencanaannya sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ( $f'_c$ ) pada umur dan bentuk benda uji tertentu.
2. Menghitung deviasi standar berdasarkan mutu pekerjaan dan volume pembetonan yang dibuat.
3. Menghitung nilai tambah dengan persamaan 3.1 sebagai berikut.

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

Keterangan:

M = Nilai tambah

$S_r$  = Deviasi standar

4. Menghitung kuat tekan beton rerata yang ditargetkan dengan persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.2)$$

Keterangan:

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

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

M = Nilai tambah

5. Menentukan jenis semen.
6. Menentukan jenis agregat yang digunakan, baik agregat kasar maupun agregat halus.
7. Menentukan faktor air semen dengan tahapan sebagai berikut.
  - a. Menentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari menggunakan Tabel 2 berdasarkan jenis semen dan agregat yang digunakan.
  - b. Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh pada butir 7a di atas dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Grafik 1.
  - c. Menentukan faktor air semen yang diperlukan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh pada butir 4 dengan kurva lengkung baru pada butir 7b.

8. Menetapkan faktor air semen maksimum, kemudian diambil nilai faktor air semen terkecil antara perhitungan butir 7 dengan butir 8.
9. Menetapkan tinggi *slump*.
10. Menetapkan ukuran agregat maksimum dari hasil pengujian *properties* agregat.
11. Menentukan nilai kadar air bebas dengan menggunakan Tabel 3 dan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$w = \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \quad (3.3)$$

Keterangan:

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

$W_h$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus ( $\text{kg/m}^3$ )

$W_k$  = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar ( $\text{kg/m}^3$ )

12. Menentukan jumlah semen yang dibutuhkan dengan persamaan 3.4 sebagai berikut.

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

Keterangan:

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

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

$\text{fas}$  = Faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen minimum berdasarkan lokasi beton rencana seperti pada Tabel 4.
14. Menentukan jumlah semen yang digunakan, yaitu dengan mengambil jumlah semen paling banyak dari hasil perhitungan, jumlah semen maksimum (apabila ditetapkan) dan jumlah semen minimum.
15. Menghitung faktor air semen yang disesuaikan apabila terjadi perubahan jumlah semen dari hasil perhitungan pada butir 12 menjadi jumlah semen maksimum atau jumlah semen minimum.
16. Menentukan susunan butir (gradasi) agregat halus berdasarkan hasil pengujian Analisis saringan agregat.

17. Menentukan susunan agregat kasar (ukuran butir maksimum) berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat.
18. Menentukan persentase agregat halus (pasir) menggunakan Grafik 13 sampai dengan Grafik 15, bergantung pada ukuran butir maksimum agregat kasar, nilai *slump* rencana dan gradasi agregat halus.
19. Menghitung berat jenis relatif/gabungan agregat dengan persamaan 3.5 berikut.

$$BJ_{gab} = \% Ag. Halus \times BJ_{ag. halus} + \% Ag. Kasar \times BJ_{ag. kasar} \quad (3.5)$$

Keterangan:

$BJ_{gab}$  = Berat jenis relatif/gabungan agregat

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

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

$BJ_{ag. halus}$  = Berat jenis agregat halus

$BJ_{ag. kasar}$  = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi atau berat volume beton menggunakan Grafik 16 berdasarkan kadar air bebas dan berat jenis relatif/gabungan agregat.
21. Menghitung kadar agregat gabungan dengan persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$W_{ag. gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.6)$$

Keterangan:

$W_{ag. gab}$  = Kadar agregat gabungan ( $kg/m^3$ )

$W_{beton}$  = Berat isi beton ( $kg/m^3$ )

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

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

22. Menghitung kadar agregat halus dengan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$W_{ag. halus} = \% Ag. Halus \times W_{ag. gab} \quad (3.7)$$

Keterangan:

$W_{ag. halus}$  = Kadar agregat halus ( $kg/m^3$ )

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

$W_{ag. gab}$  = Kadar agregat gabungan ( $kg/m^3$ )

23. Menghitung kadar agregat kasar dengan persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$W_{ag. kasar} = W_{ag. gab} - W_{ag. halus} \quad (3.8)$$

Keterangan:

$W_{ag. kasar}$  = Kadar agregat kasar ( $kg/m^3$ )

$W_{ag. gab}$  = Kadar agregat gabungan ( $kg/m^3$ )

$W_{ag. halus}$  = Kadar agregat halus ( $kg/m^3$ )

24. Diperoleh proporsi campuran untuk setiap  $m^3$  beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Untuk memperoleh proporsi campuran uji, maka hasil dari perhitungan proporsi campuran untuk setiap  $m^3$  beton akan dikali dengan volume total benda uji.

### 3.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam menerima daya tekan per satuan luas, yang dapat menyebabkan benda uji tersebut hancur bila beton telah mencapai beban maksimumnya. Kuat tekan beton ditentukan oleh *mix design* dari semen, agregat halus, agregat kasar, air dan berbagai jenis campuran. Faktor utama yang menjadi penentu kuat tekan beban yaitu perbandingan air terhadap semen (Wariyatno & Haryanto, 2013).

Nilai kuat tekan beton diperoleh melalui uji standar yang menggunakan mesin uji dengan memberikan beban secara berkala dan juga kecepatan peningkatan beban atas benda uji setidaknya dua silinder dengan ukuran 150 mm x 300 mm atau tiga silinder berukuran 100 mm x 200 mm dengan sampel beton yang sama pada usia 28 hari atau pada saat beton telah mencapai usia pengujian yaitu saat beton mencapai  $f'_c$  dengan satuan MPa (Mega Pascal) (SNI 2847, 2019). Kuat tekan silinder beton dapat dihitung dengan persamaan berikut (Betaubun, 2018).

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

dengan:

$f'_c$  = Kuat Tekan Beton Normal (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang Benda Uji ( $mm^2$ )

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) besar kuat tekan beton dibagi beberapa jenis sebagaimana terdapat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Jenis Beton Menurut Kuat Tekan**

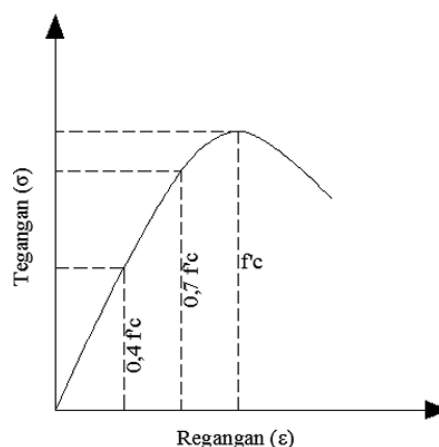
No.	Jenis Beton	Kuat Tekan
1.	Beton Sederhana	<10 MPa
2.	Beton Normal	15-30 MPa
3.	Beton prategang	30-40 MPa
4.	Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
5.	Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Sumber: Tjokrodinuljo, 2007

### 3.6 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton dikenal juga dengan *modulus young* yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Oleh karena itu, modulus elastisitas beton menunjukkan kecenderungan dari suatu material untuk berubah bentuk atau kembali lagi ke bentuk semula bila diberi beban pada saat dilakukan pengujian terhadap material tersebut. Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan dari suatu material, sehingga jika nilai modulus bahan semakin besar, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi atau semakin kaku (SNI 2826, 2008).

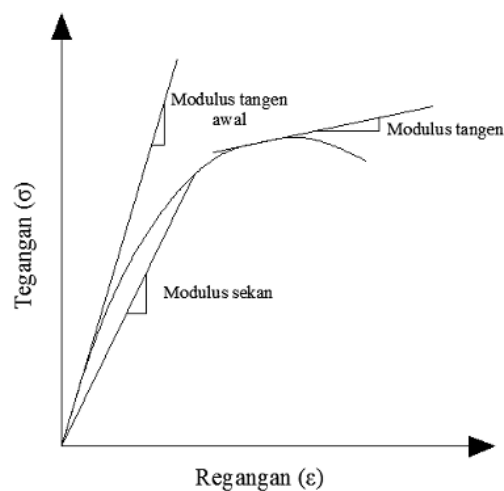
Menurut (Nawy, 1998) hubungan antara tegangan-regangan beton perlu diketahui untuk memperoleh persamaan-persamaan analisis dan desain serta prosedur-prosedur pada struktur beton. Hubungan tegangan-regangan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



**Gambar 3.2 Kurva Tegangan-Regangan Beton**

Sumber: Nawy, 1998

Kurva tegangan-regangan pada Gambar 3.2 merupakan kurva linier pada saat pembebanan awal, sehingga modulus elastisitas (*modulus young*) pada kurva tersebut yaitu garis singgung pada kurva tegangan-regangan dari titik pusat. Kemiringan garis singgung ini di definisikan sebagai modulus tangen awal, jika dibuat modulus tangen pada titik pusat dengan tegangan sekitar  $0,40 f'_c$  maksimum disebut sebagai modulus elastisitas sekan dari beton, pada modulus elastisitas sekan ini merupakan hasil dari modulus elastisitas yang ditinjau. Modulus tangen dan modulus sekan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3.3 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton**

Sumber: Nawy, 1998

Penjelasan untuk analisis modulus elastisitas dari kurva tegangan-regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini dari (ASTM C-469, 1994) sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (3.10)$$

dengan:

$E_c$  = Modulus Elastisitas (MPa)

$S_2$  = Tegangan Ketika 40% dari Beban Maksimum (MPa)

$S_1$  = Tegangan Ketika Regangan 0,00005 (MPa)

$\varepsilon_1$  = 0,00005

$\varepsilon_2$  = Regangan Akibat Tegangan  $S_2$

Menurut (SNI 2847, 2019), modulus elastisitas beton normal dengan  $W_c$  antara 1440 dan 2560 kg/m<sup>3</sup> dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E_c = Wc^{1,5} x 0,043 x \sqrt{f'c} \quad (3.11)$$

dan

$$E_c = 4700 x \sqrt{f'c} \quad (3.12)$$

dengan

$f'c$  = Kuat Tekan Beton Normal (MPa)

$Wc$  = Berat Isi Beton ( $kg/m^3$ )

### 3.7 Umur Beton

Menurut (Bali State Polytechnic *et al.*, 2018) pengujian sampel pengujian sering dilakukan pada umur 3, 7, 14, dan 28 dimana kuat tekan beton semakin besar dari kuat tekan beton yang direncanakan. Namun, seringkali pada sampel umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan beton yang lebih kecil dibandingkan kualitas yang direncanakan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan (Bali State Polytechnic *et al.*, 2018) dengan menggunakan 5 jenis semen berbeda yaitu: Tonasa, Holcim, Bosowa, Merah Putih, dan Tiga Roda, serta pengujian dilakukan pada saat beton umur 3, 7, 14, 21, 28, 56, dan 90 hari. Selanjutnya dari hasil pengujian tersebut diperoleh angka konversi sebagaimana tercantum pada Tabel 3.6 berikut.

**Tabel 3.6 Angka Konversi Umur Benda Uji Bali State Polytechnic 2018**

Umur Benda Uji	Merk Semen	Angka Konversi
Tonasa	3 hari	0,61
	7 hari	0,67
	14 hari	0,77
	21 hari	0,88
	28 hari	0,91
	56 hari	1,00
	90 hari	1,31
Holcim	3 hari	0,62
	7 hari	0,70
	14 hari	0,77
	21 hari	0,84
	28 hari	0,84
	56 hari	1,00
	90 hari	1,24

**Lanjutan Tabel 3.6 Angka Konversi Umur Benda Uji *Bali State Polytechnic*  
2018**

<b>Umur Benda Uji</b>	<b>Merk Semen</b>	<b>Angka Konversi</b>
Bosowa	3 hari	0,61
	7 hari	0,68
	14 hari	0,75
	21 hari	0,81
	28 hari	0,82
	56 hari	1,00
	90 hari	1,17
Merah Putih	3 hari	0,56
	7 hari	0,61
	14 hari	0,73
	21 hari	0,76
	28 hari	0,80
	56 hari	1,00
	90 hari	1,12
Tiga Roda	3 hari	0,62
	7 hari	0,66
	14 hari	0,74
	21 hari	0,78
	28 hari	0,82
	56 hari	1,00
	90 hari	1,20

Sumber: Bali State Polytechnic *et al.*, 2018

Sedangkan menurut (PBI, 1971) mutu beton pada berbagai beton yang berumur 28 hari dengan angka konversi yang tercantum pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.7 Angka Konversi Umur Benda Uji PBI 1971**

<b>Umur Beton (hari)</b>	<b>Semen Portland Biasa</b>
3	0,40
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1,00
90	1,20
365	1,35

Sumber: PBI, 1971

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan dan memodifikasi kadar bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) pada campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) terhadap kuat tekan beton.

#### **4.2 Variabel Penelitian**

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas, meliputi kadar bahan tambah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*), serta umur beton saat pengujian.
2. Variabel terikat, meliputi kuat tekan beton.
3. 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 pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen Portland

Semen portland pada penelitian yang dilakukan adalah semen tipe I Tiga Roda.



**Gambar 4.1 Semen Tipe I Tiga Roda**

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan dilakukan analisis saringan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregatnya.



**Gambar 4.2 Agregat Halus**

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal dari Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta.



**Gambar 4.3 Agregat Kasar**

#### 4. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan jernih dan tidak mengandung benda-benda lain yang dapat dilihat secara visual.

#### 5. Bahan Substitusi/Pengganti

Bahan substitusi/pengganti yang digunakan adalah abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*).



**Gambar 4.4 (a) Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan (b) Abu Jerami Gandum (*Wheat Straw Ash*)**

#### 4.4 Alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### 1. Set Saringan Agregat

Set saringan agregat digunakan untuk memisahkan agregat sesuai dengan ukuran butirannya, alat ini digunakan pada saat pengujian analisis saringan agregat halus dan agregat kasar.



**Gambar 4.5 Set Saringan Agregat**

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang berat dari material yang digunakan sesuai dengan hasil perhitungan pada *mix design*.



**Gambar 4.6 Timbangan**

3. Neraca *Ohaus*

Neraca *ohauss* digunakan untuk menimbang berat material yang digunakan dengan ketelitian yang lebih baik dari timbangan biasa.



**Gambar 4.7 Neraca *Ohaus***

#### 4. Piknometer

Piknometer digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.



**Gambar 4.8 Piknometer**

#### 5. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar. Oven digunakan pada pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat. Selain itu, oven juga digunakan untuk mengeringkan beton keras dalam pengujian absorpsi beton.



**Gambar 4.9 Oven**

#### 6. Concrete Mixer

*Concrete mixer* digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun beton, yaitu agregat, air, dan semen dengan kadar masing-masing sesuai dengan hasil perhitungan *mix design*.



**Gambar 4.10 Concrete Mixer**

7. Sekop

Sekop digunakan untuk menuangkan beton segar ke dalam cetakan.



**Gambar 4.11 Sekop**

8. Kerucut Abrams

Kerucut abrams digunakan pada pengujian *slump* beton segar.



**Gambar 4.12 Kerucut Abrams**

#### 9. Bekisting Beton

Bekisting atau cetakan beton digunakan sebagai wadah/tempat membentuk beton sesuai dengan dimensi benda uji yang diinginkan. Bekisting beton yang digunakan adalah bekisting silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



**Gambar 4.13 Bekisting Beton**

#### 10. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan digunakan pada pengujian kuat tekan beton. Alat ini digunakan untuk mengetahui nilai beban yang diterima benda uji sampai benda uji hancur (beban maksimum).



**Gambar 4.14 Mesin Uji Tekan**

#### 4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton yang diberi bahan substitusi sebagian berupa abu sekam padi (*rice husk ash*) dan abu jerami gandum (*wheat straw ash*) dengan variasi kadar bahan substitusi yang digunakan sebesar 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, dan 8%. Masing-masing varian diuji pada umur beton 7 dan 28 hari. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan beton. Menurut (SNI 2847, 2019) jumlah sampel silinder untuk uji tekan adalah minimal 5 buah benda uji. Adapun rincian benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Rincian Benda Uji**

Jenis Pengujian	Kadar RHA dan WSA (%)	Umur Benda Uji (Hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel	
Kuat Tekan Beton	0	7	C-0-7	5	
		28	C-0-28	5	
	2	7	C-2-7	5	
		28	C-2-28	5	
	4	7	C-4-7	5	
		28	C-4-28	5	
	5	7	C-5-7	5	
		28	C-5-28	5	
	6	7	C-6-7	5	
		28	C-6-28	5	
	8	7	C-8-7	5	
		28	C-8-28	5	
	Total Sampel				60

Keterangan:

- C-0-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 0%, umur beton 7 hari.  
 C-0-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 0%, umur beton 28 hari.  
 C-2-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 2%, umur beton 7 hari.  
 C-2-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 2%, umur beton 28 hari.  
 C-4-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 4%, umur beton 7 hari.  
 C-4-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 4%, umur beton 28 hari.  
 C-5-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 5%, umur beton 7 hari.

- C-5-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 5%, umur beton 28 hari.  
C-6-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 6%, umur beton 7 hari.  
C-6-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 6%, umur beton 28 hari.  
C-8-7 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 8%, umur beton 7 hari.  
C-8-28 = Uji kuat tekan, kadar RHA dan WSA 8%, umur beton 28 hari.

#### 4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, pengujian benda uji, olah data, analisis data, pembahasan dan kesimpulan.

##### 4.6.1 Persiapan Penelitian

Pada tahap persiapan ini kegiatan yang dilakukan meliputi studi literatur, penyiapan bahan/material dan penyiapan peralatan yang digunakan selama penelitian.

##### 4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat ini meliputi pengujian agregat halus dan juga agregat kasar yang dilakukan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari agregat yang digunakan pada campuran beton yang dibuat. Sifat dan karakteristik agregat yang didapat pada tahap pengujian digunakan sebagai acuan dalam perencanaan campuran beton (*mix design*). Berikut pengujian agregat yang dilakukan.

4. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan (SNI 1970, 1990).
5. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan (SNI 1969, 1990).
6. Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan (SNI 1968, 1990).
7. Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan (SNI 1968, 1990).
8. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat halus menggunakan (SNI 4804, 1998).
9. Pengujian berat volume padat dan gembur agregat kasar menggunakan (SNI 4804, 1998).

10. Pengujian lolos saringan No. 200 (uji kadar lumpur dalam pasir) menggunakan (SNI 4142, 1996).

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

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan hasil dari pengujian agregat sebelumnya. Perencanaan campuran (*mix design*) dilakukan berdasarkan (SNI 2834, 2000). Penjelasan secara detail dapat dilihat pada bab V pembahasan.

#### 4.6.4 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pada tahap ini komposisi bahan penyusun beton yang diperoleh dari tahapan perencanaan campuran beton dimasukkan ke dalam *concrete mixer*. Selanjutnya beton segar dilakukan uji *slump* dan dicor ke dalam bekisting beton. Setelah beton itu mengeras atau telah mencapai *setting time*, beton dilepas dari bekistingnya, kemudian diberi perawatan. Metode perawatan beton yang digunakan berupa perendaman benda uji yang telah mengeras ke dalam air sampai mencapai umur rencana.

#### 4.6.5 Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini benda uji yang telah mencapai umur rencananya akan dilakukan pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan (SNI 1974, 2011) pengujian kuat tekan beton dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Mengangkat benda uji dari tempat perendaman dan dibiarkan selama  $\pm 24$  jam.
2. Mengukur dimensi dan berat benda uji.
3. Meletakkan benda uji pada landasan tekan bawah dan memastikan penunjuk beban sudah menunjukkan angka nol.
4. Menjalankan mesin uji tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik.
5. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima benda uji.

#### 4.6.6 Pengolahan Data

Pada tahap ini data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian diolah berdasarkan *code* dan landasan teori yang digunakan untuk memperoleh parameter yang mempunyai makna.

#### 4.6.7 Analisis Data

Pada tahap ini parameter yang diperoleh dari hasil pengolahan data dibandingkan/dikomparasikan dengan kelompok variabel tertentu untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi.

#### 4.6.8 Pembahasan

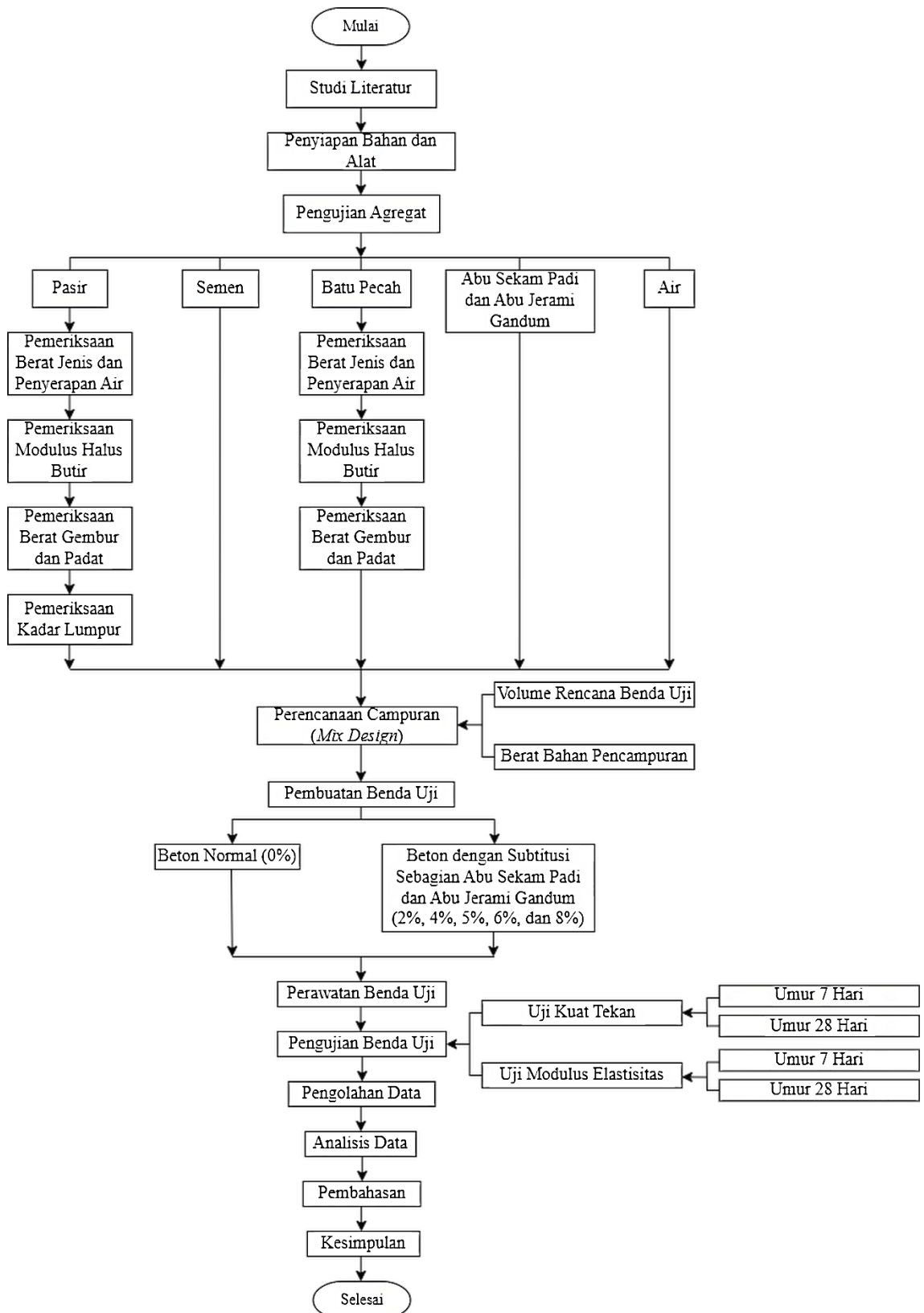
Tahap ini membahas analisis data untuk memberikan penjelasan dan jawaban dari perbedaan-perbedaan nilai yang ditemukan pada tahap analisis data.

#### 4.6.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini hasil yang diperoleh dari analisis data dan pembahasan dibuat kesimpulan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap ini juga dibuat saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya berdasarkan kesimpulan yang diperoleh.

### 4.7 *Flowchart* Penelitian

Adapun *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 4.15 sebagai berikut.



**Gambar 4.15** Flowchart Penelitian

#### **4.8 Rencana Pelaksanaan Penelitian**

Adapun rencana pelaksanaan penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Rencana Pelaksanaan Penelitian

NO	Uraian Pekerjaan	Hari Kerja	Bobot %	Jadwal Pelaksanaan Kegiatan																							
				Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4				Bulan ke-5				Bulan ke-6			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>I</b>	<b>Persiapan</b>																										
	Penyiapan Bahan	12	10	4	4	4																					
	Pengujian Bahan	8	7				4	4																			
<b>II</b>	<b>Pengumpulan Data</b>																										
	Pembuatan Sampel	46	39						12	12	12	10															
	Pengujian Sampel	10	9									5	5														
<b>III</b>	<b>Analisis Data dan Pembahasan</b>																										
	Tabulasi Hasil	5	4										2	3													
	Deskripsi Data	5	4												2	3											
	Analisis Data	10	9														4	4		2							
	Diskusi	4	3																4								
<b>IV</b>	<b>Penyusunan Laporan</b>																										
	Penyusunan Laporan	10	9																		3	3	2	1			
	Diskusi	4	3																				2	3			
	Upload	3	3																					1	2		
	<b>Total Hari</b>	117	100																								
<b>Jumlah Hari</b>		Mingguan		4	4	4	4	4	12	12	12	10	5	7	3	2	3	4	4	6	3	3	2	3	3	1	2
		Kumulatif		4	8	12	16	20	32	44	56	66	71	78	81	83	86	90	94	100	103	106	108	111	114	115	117

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pengujian *Properties* Agregat

Pengujian *properties* agregat dilakukan untuk memeriksa dan mengetahui sifat dan karakteristik dari agregat yang digunakan sebagai bahan penyusun beton. Agregat memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi sebelum melakukan *mix design*. Adapun pengujian *properties* agregat dibagi menjadi dua, yaitu pengujian agregat halus dan pengujian agregat kasar.

##### 5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisis saringan, pengujian berat volume, dan pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kadar lumpur). Adapun hasil dari pengujian agregat halus sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus menggunakan SNI 1970-1990 yang data pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 5.1. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 sebagai berikut.

##### a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{488}{(858+500-1156)} \\ &= 2,42\end{aligned}$$

##### b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(858+500-1156)} \\ &= 2,48\end{aligned}$$

## c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \\ &= \frac{488}{(858+488-1156)} \\ &= 2,57\end{aligned}$$

## d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-488)}{488} \times 100\% \\ &= 2,46\%\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga nilai berat jenis dan penyerapan air agregat halus untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	488	486	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	1156	1159	1157,5
Berat piknometer berisi air (B), gram	858	858	858
Berat jenis curah, (Bk/(B+500-Bt))	2,42	2,44	2,43
Berat jenis kering muka, (500/(B+500-Bt))	2,48	2,51	2,49
Berat jenis semu, (Bk/(B+Bk-Bt))	2,57	2,63	2,60
Penyerapan air, ((500-Bk)/(Bk × 100))	2,46%	2,88%	2,67%

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus di atas memperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,49.

## 2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian analisis saringan agregat halus menggunakan SNI 1968-1990 dengan berat sampel sebesar 2000 gram. Pada pengujian ini diperoleh data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Adapun perhitungan analisis saringan agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

## a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{0}{1998} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{1}{1998} \times 100\% \\ &= 0,05\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{155}{1998} \times 100\% \\ &= 7,76\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{366}{1998} \times 100\% \\ &= 18,32\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= \frac{665}{1998} \times 100\% \\ &= 33,28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,30 mm} &= \frac{532}{1998} \times 100\% \\ &= 26,63\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{217}{1998} \times 100\% \\ &= 10,86\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{62}{1998} \times 100\% \\ &= 3,10\% \end{aligned}$$

## b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= 0\% + 0,05\% \\ &= 0,05\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 0,05\% + 7,76\% \\ &= 7,81\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 7,81\% + 18,32\% \\ &= 26,13\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,60 mm} &= 26,13\% + 33,28\% \\ &= 59,41\% \end{aligned}$$

Lubang ayakan 0,30 mm	= 59,41% + 26,63%
	= 86,04%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 86,04% + 10,86%
	= 96,90%
Pan	= 96,90% + 3,10%
	= 100%

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 0%
	= 100%
Lubang ayakan 4,80 mm	= 100% - 0,05%
	= 99,95%
Lubang ayakan 2,40 mm	= 100% - 7,81%
	= 92,19%
Lubang ayakan 1,20 mm	= 100% - 26,13%
	= 73,87%
Lubang ayakan 0,60 mm	= 100% - 59,41%
	= 40,59%
Lubang ayakan 0,30 mm	= 100% - 86,04%
	= 13,96%
Lubang ayakan 0,15 mm	= 100% - 96,90%
	= 3,10%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga analisis saringan agregat halus untuk sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus Sampel 1**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10	0	0,00	0,00	100
4,8	1	0,05	0,05	99,95
2,4	155	7,76	7,81	92,19
1,2	366	18,32	26,13	73,87
0,6	665	33,28	59,41	40,59
0,3	532	26,63	86,04	13,96
0,15	217	10,86	96,90	3,10
Pan	62	3,10		
<b>Jumlah</b>	1998	100	276,33	

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

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10	0	0,00	0,00	100
4,8	1	0,05	0,05	99,95
2,4	160	8,02	8,07	91,93
1,2	361	18,09	26,15	73,85
0,6	647	32,41	58,57	41,43
0,3	535	26,80	85,37	14,63
0,15	223	11,17	96,54	3,46
Pan	69	3,46		
<b>Jumlah</b>	1996	100	274,75	

Selain itu, dari hasil pengujian analisis saringan dapat dihitung pula nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

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

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{276,33}{100} \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{274,75}{100} \\ &= 2,75 \end{aligned}$$

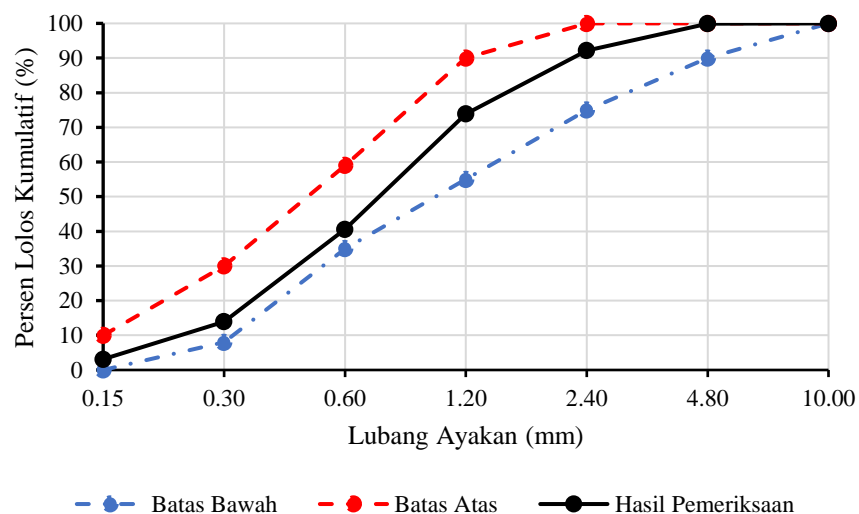
$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{2,76+2,75}{100} \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1,5 – 3,8. Sehingga hasil dari nilai modulus halus butir agregat halus pada pengujian ini telah memenuhi syarat. Selain itu, hasil juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.4. Kemudian dari tabel tersebut dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

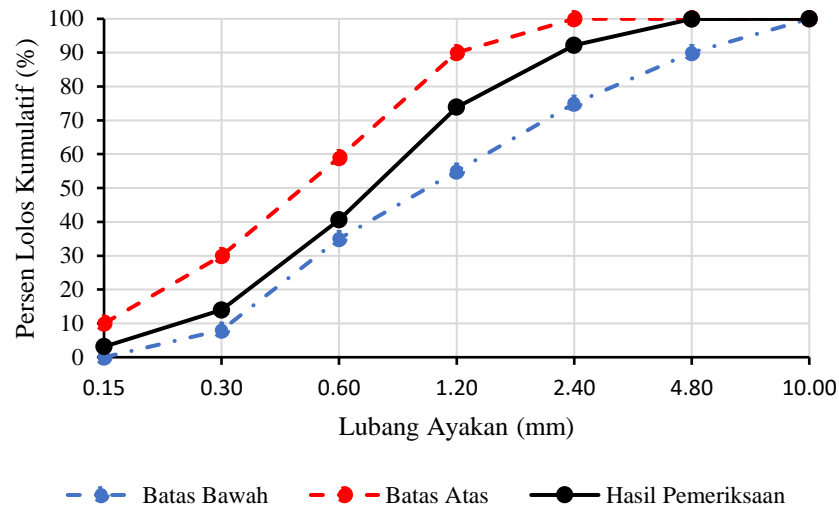
**Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
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
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 2834-2000



**Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1**



**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2**

Berdasarkan kurva gradasi agregat halus di atas, maka agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam daerah gradasi II (pasir agak kasar).

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus menggunakan SNI 4804-1998. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6. Berikut perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 17806 - 11043 \\ &= 6763 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \pi \times 14,80^2 \times 30 \\ &= 5161,01 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume gembur} &= \frac{W3}{V} \\ &= \frac{6763}{5161,01} \\ &= 1,31 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

## b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W2 - W1 \\
 &= 18925 - 11043 \\
 &= 7882 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 14,80^2 \times 30 \\
 &= 5161,01 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume Padat} &= \frac{W3}{V} \\
 &= \frac{7882}{5161,01} \\
 &= 1,53 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga berat volume gembur dan padat agregat halus untuk sampel 2. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,80	14,80	14,80
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11043	11043	11043
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17806	17769	17787,5
Berat agregat (W3), gram	6763	6726	6744,5
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5161,01	5161,01	5161,01
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,31	1,30	1,31

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,80	14,80	14,80
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11043	11043	11043
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18925	18921	18923
Berat agregat (W3), gram	7882	7878	7880
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5161,01	5161,01	5161,01
Berat volume padat (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,53	1,53	1,53

Sehingga dari pengujian di atas diperoleh berat volume gembur agregat halus rata-rata sebesar 1,31 gram/cm<sup>3</sup> dan berat volume padat agregat halus rata-rata sebesar 1,53 gram/cm<sup>3</sup>.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Pengujian Kadar Lumpur dalam Pasir)  
 Pengujian lolos saringan no. 200 atau pengujian kadar lumpur dalam pasir menggunakan SNI 4142-1996. Hasil data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7. Berikut perhitungan kadar lumpur dalam pasir untuk sampel 1.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 496}{500} \times 100\% \\ &= 0,80\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga kadar lumpur dalam pasir untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**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	496	498	497
Persentase yang lolos ayakan No.200 [(W1-W2/W1)]×100	0,80%	0,40%	0,60%

Hasil pengujian lolos saringan no. 200 diatas diperoleh persentase yang lolos ayakan no. 200 rata-rata sebesar 0,60%. Menurut (SNI 4142, 1996) kandungan lumpur pada agregat halus harus kurang dari 5%. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi kelekatan agregat halus dengan pasta semen karena ikatan pasta antara semen dan agregat halus akan diisi oleh kandungan lumpur.

#### 5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar terdiri dari pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisis saringan, pengujian berat volume. Adapun hasil dari pengujian agregat halus sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan SNI 1969-1990 yang data pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 5.8. Adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sampel 1 sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{4883}{(5000-3113)} \\ &= 2,59 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis jenuh kering muka} &= \frac{Bj}{(Bj-Ba)} \\ &= \frac{5000}{(5000-3113)} \\ &= 2,65 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(Bk-Ba)} \\ &= \frac{4883}{(4883-3113)} \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(Bj-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(5000-4883)}{4883} \times 100\% \\ &= 2,40\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga nilai berat jenis dan penyerapan air agregat kasar untuk sampel 2 dan nilai rata-ratanya. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat kerikil kering mutlak (Bk), gram	4883	4874	4878,5
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3113	3109	3111
Berat jenis curah, (Bk/(Bj-Ba))	2,59	2,58	2,58
Berat jenis kering muka, (Bj/(Bj-Ba))	2,65	2,64	2,65
Berat jenis semu, (Bk/(Bk-Ba))	2,76	2,76	2,76
Penyerapan air, ((Bj-Bk)/(Bk × 100))	2,40%	2,59%	2,49%

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar di atas diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,65.

## 2. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis saringan agregat kasar menggunakan SNI 1968-1990 dengan berat sampel sebesar 5000 gram. Pada pengujian ini diperoleh data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10. Adapun perhitungan analisis saringan agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

### a. Persentase Berat Tertinggal

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{4997} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{49}{4997} \times 100\% \\ &= 0,98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3671}{4997} \times 100\% \\ &= 73,46\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= \frac{1158}{4997} \times 100\% \\ &= 23,17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= \frac{21}{4997} \times 100\% \\ &= 0,42\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= \frac{12}{4997} \times 100\% \\ &= 0,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{86}{4997} \times 100\% \\ &= 1,72\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 0,98\% \\ &= 0,98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 0,98\% + 73,46\% \\ &= 74,44\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= 74,44\% + 23,17\% \\ &= 97,62\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 97,62\% + 0,42\% \\ &= 98,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,20 mm} &= 98,04\% + 0,24\% \\ &= 98,28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= 98,28\% + 1,72\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

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

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 0,98\% \\ &= 99,02\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 74,44\% \\ &= 25,56\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,80 mm} &= 100\% - 97,62\% \\ &= 2,38\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,40 mm} &= 100\% - 98,04\% \\ &= 1,96\% \end{aligned}$$

$$\text{Lubang ayakan 1,20 mm} = 100\% - 98,28\%$$

$$= 1,72\%$$

$$\text{Pan} = 100\% - 100\%$$

$$= 0\%$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga analisis saringan agregat kasar untuk sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisis saringan agregat kasar sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 1**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100
20	49	0,98	0,98	99,02
10	3671	73,46	74,44	25,56
4,8	1158	23,17	97,62	2,38
2,4	21	0,42	98,04	1,96
1,2	12	0,24	98,28	1,72
0,6	0	0,24	98,28	1,72
0,3	0	0,24	98,28	1,72
0,15	0	0,24	98,28	1,72
Pan	86	1,72		
<b>Jumlah</b>	4997	100	664,20	

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar Sampel 2**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100
20	99	1,80	1,80	98,20
10	3581	71,66	73,46	26,54
4,8	1212	24,25	97,72	2,28
2,4	18	0,36	98,08	1,92
1,2	8	0,16	98,24	1,76
0,6	0	0,16	98,24	1,76
0,3	0	0,16	98,24	1,76
0,15	0	0,16	98,24	1,76
Pan	89	1,78		
<b>Jumlah</b>	4998	100	664,02	

Selain itu, dari hasil pengujian analisis saringan dapat dihitung pula nilai modulus halus butir sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

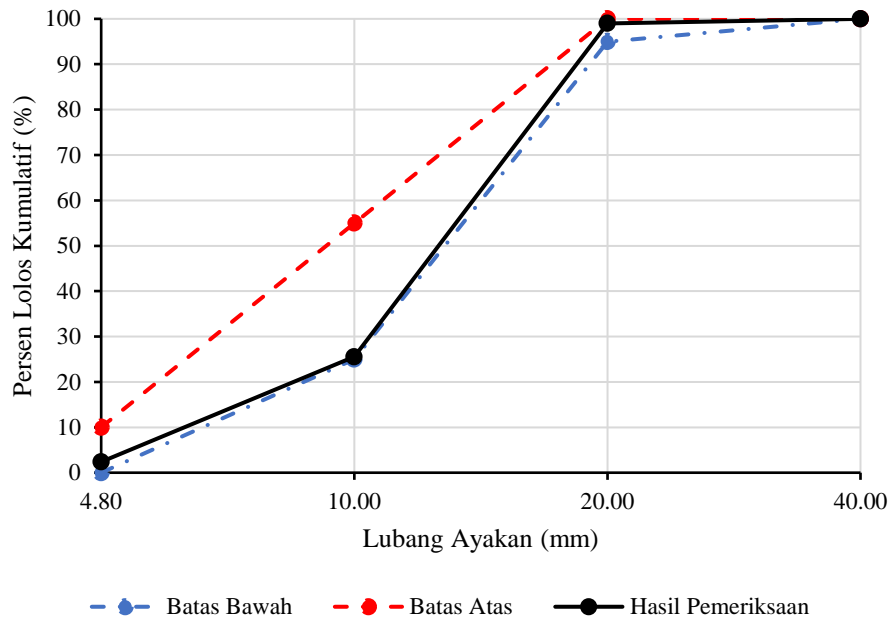
$$\begin{aligned} \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Persentase Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\ \text{MHB sampel 1} &= \frac{664,20}{100} \\ &= 6,64 \\ \text{MHB sampel 2} &= \frac{664,20}{100} \\ &= 6,64 \\ \text{MHB rata-rata} &= \frac{6,64+6,64}{100} \\ &= 6,64 \end{aligned}$$

Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir agregat kasar berkisar antara 5 – 8. Sehingga hasil dari nilai modulus halus butir agregat kasar pada pengujian ini telah memenuhi syarat. Selain itu, hasil juga dapat digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.11. Kemudian dari tabel tersebut dibuat kurva gradasi agregat kasar yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut.

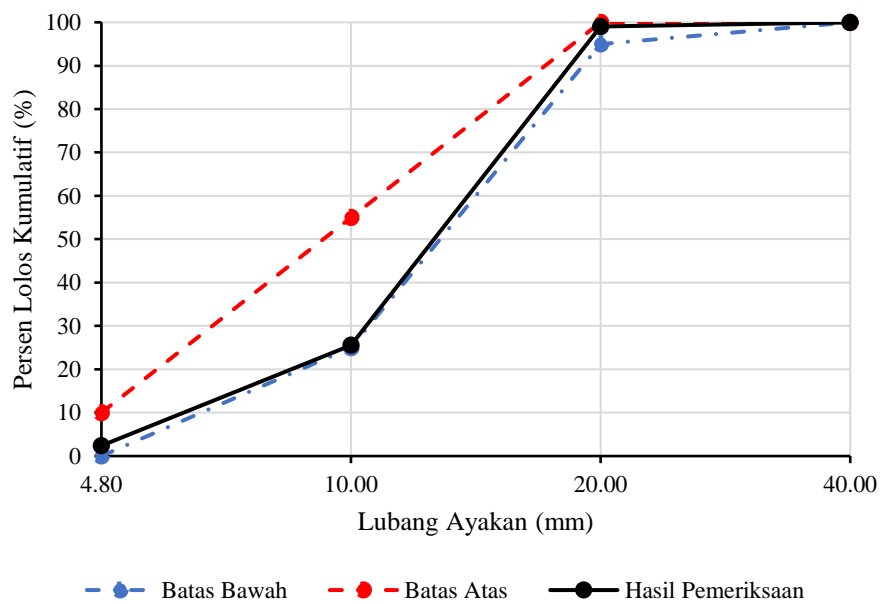
**Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar**

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 2834-2000



**Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1**



**Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2**

Berdasarkan kurva gradasi agregat kasar di atas, maka agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran maksimum 20 mm.

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

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar menggunakan SNI 4804-1998. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. Berikut perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1.

#### a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 18109 - 11047 \\
 &= 7062 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 14,90^2 \times 30 \\
 &= 5230,99 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume gembur} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{7062}{5230,99} \\
 &= 1,35 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

#### b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\
 &= 19084 - 11047 \\
 &= 8037 \text{ gram} \\
 \text{Volume tabung (V)} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 14,90^2 \times 30 \\
 &= 5230,99 \text{ cm}^3 \\
 \text{Berat volume Padat} &= \frac{W_3}{V} \\
 &= \frac{8037}{5230,99} \\
 &= 1,54 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang sama dapat dihitung juga berat volume gembur dan padat agregat kasar untuk sampel 2. Sehingga diperoleh

rekapitulasi hasil perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 berikut.

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,90	14,90	14,90
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11047	11047	11047
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18109	18174	18141,5
Berat agregat (W3), gram	7062	6767	6914,5
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5230,99	5230,99	5230,99
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,35	1,29	1,32

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar**

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Diameter silinder (d), cm	14,90	14,90	14,90
Tinggi silinder (t), cm	30	30	30
Berat tabung (W1), gram	11047	11047	11047
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19084	19096	19090
Berat agregat (W3), gram	8037	8049	8043
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5230,99	5230,99	5230,99
Berat volume padat (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,54	1,54	1,54

Sehingga dari pengujian di atas diperoleh berat volume gembur agregat kasar rata-rata sebesar 1,32 gram/cm<sup>3</sup> dan berat volume padat agregat kasar rata-rata sebesar 1,54 gram/cm<sup>3</sup>.

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

Perencanaan campuran beton (*mix design*) ini berdasarkan SNI 2834-2000. Adapun perhitungan rencana campuran beton (*mix design*) sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana ( $f'_c$ ) sebesar 30 MPa dengan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen portland tipe I merk Tiga Roda jenis PCC.

3. Berat jenis agregat halus sebesar 2,49 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,65. Hasil tersebut diperoleh dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar.
4. Ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm yang diperoleh dari hasil pengujian analisis saringan agregat kasar.
5. Susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II yang diperoleh dari hasil pengujian analisis saringan agregat halus.
6. Karena sampel pengujian sebanyak 5 buah, maka berdasarkan Tabel 5.14 berikut digunakan nilai margin (M) sebesar 12 MPa.

**Tabel 5.14 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30**

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 2834-2000

\*) bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan  $f'_{cr}$  harus diambil tidak kurang dari ( $f'_c + 12$  MPa).

7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + M \\ &= 30 + 12 \end{aligned}$$

$$f'_{cr} = 42 \text{ MPa}$$

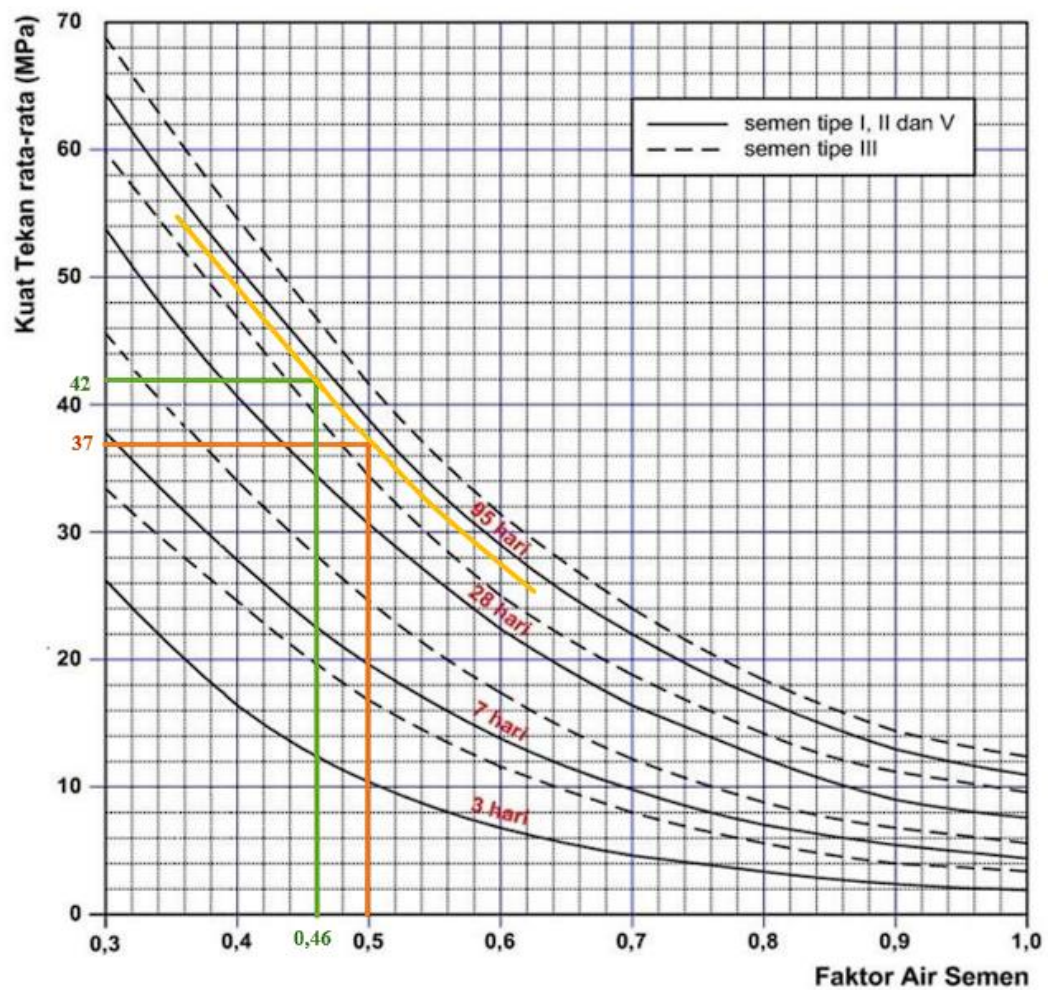
8. Menentukan nilai faktor air semen (fas) berdasarkan Tabel 5.15 dan Gambar 5.5 berikut.

**Tabel 5.15 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan fas 0,5 dan Jenis Semen serta Agregat yang dipakai di Indonesia**

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

Sumber: SNI 2834-2000

- Pada penelitian ini digunakan semen portland tipe I, jenis agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Berdasarkan Tabel 5.15 diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa.
- Berdasarkan Gambar 5.5 berikut, tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas sebesar 0,5 dan tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37 MPa, sehingga diperoleh titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
- Tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ( $f'_{cr}$ ) sebesar 42 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
- Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,46.



**Gambar 5.5 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm**

Sumber: SNI 2834-2000

9. Menentukan kadar air yang dibutuhkan.

Kadar air yang ada pada campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.16 berikut.

- Ukuran butir maksimum agregat dari hasil pengujian analisis saringan agregat kasar sebelumnya yang diperoleh sebesar 20 mm.
- Jenis batuan terdiri dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
- Slump* yang direncanakan sebesar  $10 \pm 2$  cm, sehingga masuk pada *range slump* 60 – 180 mm.

**Tabel 5.16 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m<sup>3</sup>) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton**

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

Sumber: SNI 2834-2000

d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

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

10. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum.

Jumlah semen minimum dan fas maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.17 berikut.

**Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus**

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif		
disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60

**Lanjutan Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus**

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum Per-m <sup>3</sup> beton (kg)	Nilai fas Maksimum
Beton masuk ke dalam tanah	325	0,55
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

Sumber: SNI 2834-2000

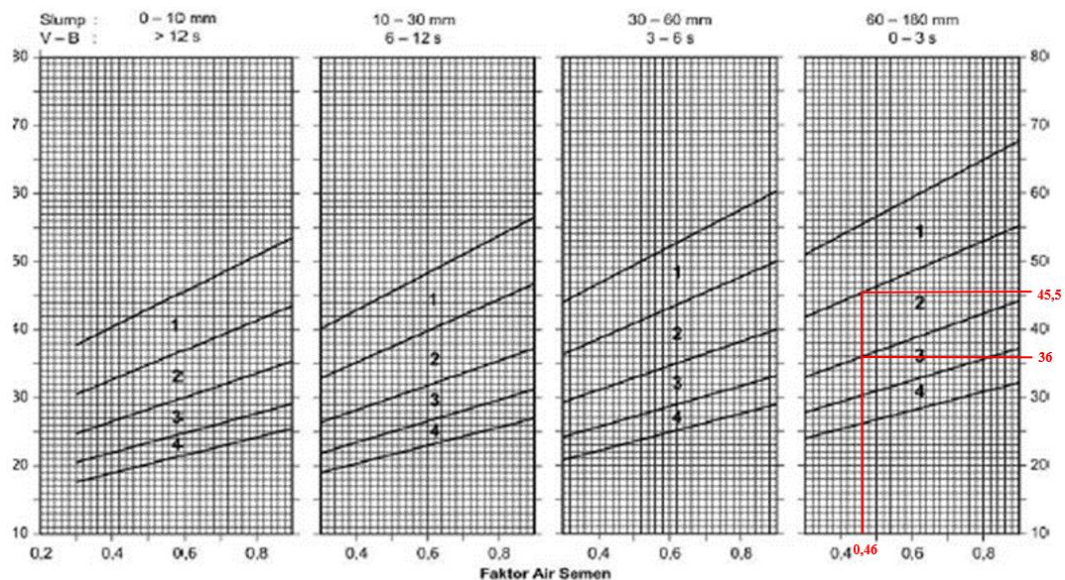
Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton di dalam ruang bangunan dengan keadaan keliling non korosif, sehingga diperoleh jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m<sup>3</sup> dan fas maksimum sebesar 0,60.

11. Menentukan kadar semen yang digunakan.
  - a. Berdasarkan nilai fas dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,5 dan fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60. Diambil nilai fas terkecil, yaitu fas dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,5.
  - b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar air}}{fas} \\
 &= \frac{205}{0,46} \\
 &= 445,65 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- c. Berdasarkan kadar semen hasil hitungan sebesar 445,65 kg/m<sup>3</sup> dan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/m<sup>3</sup>, sehingga kadar semen yang digunakan sebesar 445,65 kg/m<sup>3</sup>.
12. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar.  
Persentase agregat halus ditentukan berdasarkan Gambar 5.6 berikut.

- a. Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, *slump* yang direncanakan masuk dalam *range* 60-180 mm, nilai fas sebesar 0,46 dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi II.
- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai fas 0,46 sampai memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- c. Berdasarkan dua titik perpotongan pada butir b, tarik garis horizontal ke kanan, sehingga diperoleh persentase batas atas agregat halus sebesar 45,5% dan persentase batas bawah agregat halus sebesar 36%.



**Gambar 5.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm**

Sumber: SNI 2834-2000

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat halus} &= \frac{45,5\% + 36\%}{2} \\ &= 40,75\%\end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{Persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41,50\% \\ &= 59,25\%\end{aligned}$$

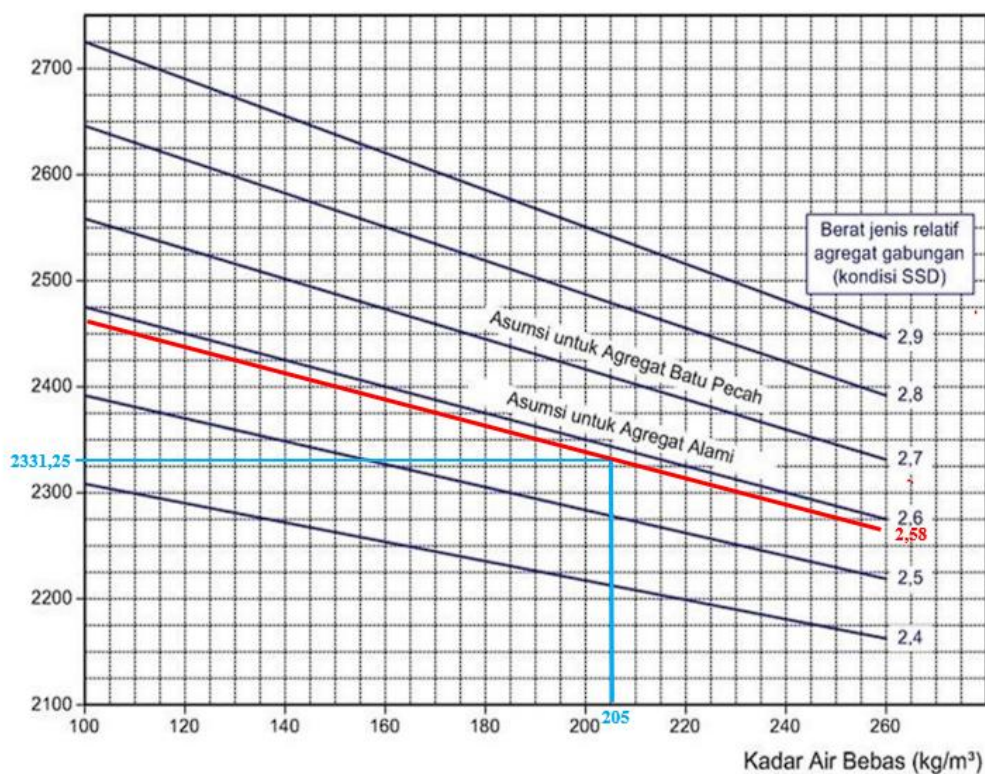
13. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD).  
Berat jenis relatif agregat gabungan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis gabungan} &= (\text{Persen Agregat Halus} \times \text{Berat Jenis Agregat Halus}) \\
 &+ (\text{Persen Agregat Kasar} \times \text{Berat Jenis Agregat Kasar}) \\
 &= (40,75\% \times 2,49) + (59,25\% \times 2,65) \\
 &= 2,58
 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat isi beton.

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.7 berikut.

- Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,58.
- Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air sebesar 205 kg sampai memotong kurva baru pada butir a.
- Dari titik perpotongan pada butir b, tarik garis horizontal ke kiri, sehingga diperoleh nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2331,25 kg/m<sup>3</sup>.



**Gambar 5.7** Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

Sumber: SNI 2834-2000

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton.

Kadar agregat dalam campuran beton dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat} &= \text{Berat isi beton} - \text{Kadar semen} - \text{Kadar air} \\
 &= 2331,25 - 445,65 - 205 \\
 &= 1680,60 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton.

Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat halus} &= \text{Persen agregat halus} \times \text{Kadar agregat} \\
 &= 40,75\% \times 1680,60 \\
 &= 684,84 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat kasar} &= \text{Persen agregat kasar} \times \text{Kadar agregat} \\
 &= 59,25\% \times 1680,60 \\
 &= 995,75 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Proporsi campuran per 1 m<sup>3</sup> beton.

Dari hasil perencanaan campuran diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 m<sup>3</sup> beton sebagai berikut.

- a. Semen = 445,65 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 684,84 kg
- d. Agregat kasar = 995,75 kg

18. Proporsi campuran per 1 m<sup>3</sup> beton dengan angka penyusutan.

Dalam penelitian ini diambil angka penyusutan sebesar 15%, sehingga diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 m<sup>3</sup> beton dengan angka penyusutan sebagai berikut.

- a. Semen = 512,50 kg
- b. Air = 235,75 kg
- c. Agregat halus = 787,57 kg
- d. Agregat kasar = 1145,12 kg

19. Hasil perencanaan campuran beton.

Berikut rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton (*mix design*) dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton**

<b>Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)</b>			
<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai tambah/margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,46	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Fas digunakan	0,46	
9	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m <sup>3</sup>
12	Kadar semen	445,65	kg/m <sup>3</sup>
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m <sup>3</sup>
14	Kadar semen minimum	275	kg/m <sup>3</sup>
15	Kadar semen digunakan	445,65	kg/m <sup>3</sup>
16	Fas disesuaikan	0,46	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,65	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,49	
19	Persen agregat halus	40,75	%
20	Persen agregat kasar	59,25	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi beton	2331,25	kg/m <sup>3</sup>
23	Kadar agregat gabungan	1680,60	kg/m <sup>3</sup>
24	Kadar agregat halus	684,84	kg/m <sup>3</sup>
25	Kadar agregat kasar	995,75	kg/m <sup>3</sup>
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,50	kg/m <sup>3</sup>
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	787,57	kg/m <sup>3</sup>
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1145,12	kg/m <sup>3</sup>
29	Kadar air dengan angka penyusutan	235,75	kg/m <sup>3</sup>

## 20. Volume benda uji.

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini masing-masing varian terdiri dari 10 silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji setiap *mixing*. Pada penelitian ini pembuatan benda uji masing-masing varian dilakukan dua kali *mixing*. *Mixing* pertama dan kedua terdiri dari 5 silinder. Sehingga diperoleh volume benda uji untuk setiap *mixing* sebagai berikut.

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

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

21. Proporsi campuran untuk setiap kali *mixing*.a. Proporsi campuran untuk *mixing* pertama.

1) Semen	= 0,0265 x 512,50	= 13,585 kg
2) Air	= 0,0265 x 235,75	= 6,249 kg
3) Agregat halus	= 0,0265 x 787,57	= 20,876 kg
4) Agregat kasar	= 0,0265 x 1145,12	= 30,354 kg

b. Proporsi campuran untuk *mixing* kedua.

1) Semen	= 0,0265 x 512,50	= 13,585 kg
2) Air	= 0,0265 x 235,75	= 6,249 kg
3) Agregat halus	= 0,0265 x 787,57	= 20,876 kg
4) Agregat kasar	= 0,0265 x 1145,12	= 30,354 kg

22. Kebutuhan bahan substitusi sebagian untuk satu kali *mixing*.

## a. Abu sekam padi (RHA) + abu jerami gandum (WSA) 2%

$$\begin{aligned}&= \text{Semen} \times \text{total kadar substitusi sebagian} \\ &= 13,585 \times 2\% \\ &= 0,272 \text{ kg}\end{aligned}$$

- b. Abu sekam padi (RHA) + abu jerami gandum (WSA) 4%  
 = Semen x total kadar substitusi sebagian  
 =  $13,585 \times 4\%$   
 = 0,543 kg
- c. Abu sekam padi (RHA) + abu jerami gandum (WSA) 5%  
 = Semen x total kadar substitusi sebagian  
 =  $13,585 \times 5\%$   
 = 0,679 kg
- d. Abu sekam padi (RHA) + abu jerami gandum (WSA) 6%  
 = Semen x total kadar substitusi sebagian  
 =  $13,585 \times 6\%$   
 = 0,815 kg
- e. Abu sekam padi (RHA) + abu jerami gandum (WSA) 8%  
 = Semen x total kadar substitusi sebagian  
 =  $13,585 \times 8\%$   
 = 1,087 kg

Berdasarkan perhitungan diatas diperoleh kebutuhan material untuk 1 kali *mixing* dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

**Tabel 5.19 Kebutuhan Material untuk 1 Kali *Mixing***

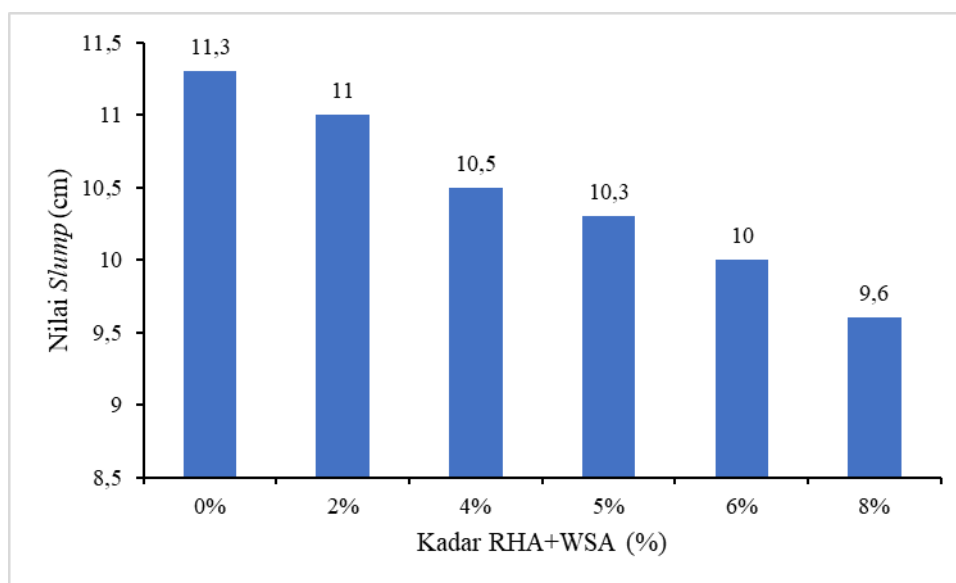
Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji	Volume (m <sup>3</sup> )	Material					
			Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Air (Kg)	RHA atau WSA (Kg)	RHA + WSA (Kg)
C-0-7	5	0,0265	13,585	20,876	30,354	6,249	0	0
C-0-28	5	0,0265	13,585	20,876	30,354	6,249	0	0
C-2-7	5	0,0265	13,313	20,876	30,354	6,249	0,136	0,272
C-2-28	5	0,0265	13,313	20,876	30,354	6,249	0,136	0,272
C-4-7	5	0,0265	13,042	20,876	30,354	6,249	0,272	0,543
C-4-28	5	0,0265	13,042	20,876	30,354	6,249	0,272	0,543
C-5-7	5	0,0265	12,906	20,876	30,354	6,249	0,340	0,679
C-5-28	5	0,0265	12,906	20,876	30,354	6,249	0,340	0,679
C-6-7	5	0,0265	12,770	20,876	30,354	6,249	0,408	0,815
C-6-28	5	0,0265	12,770	20,876	30,354	6,249	0,408	0,815
C-8-7	5	0,0265	12,498	20,876	30,354	6,249	0,543	1,087
C-8-28	5	0,0265	12,498	20,876	30,354	6,249	0,543	1,087

### 5.3 Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* pada beton segar dilakukan untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) dari beton segar tersebut. Semakin tinggi nilai *slump*, maka beton akan semakin mudah untuk dikerjakan (*workability* meningkat), akan tetapi jika semakin rendah nilai *slump*, maka beton akan semakin susah untuk dikerjakan (*workability* menurun). Beton yang baik adalah beton yang mudah dikerjakan (*workability* baik), tidak terjadi pemisahan antara agregat dengan campuran (*segregasi*), dan pemisahan air dari campuran (*bleeding*). Hasil pengujian *slump* dan hubungannya dengan variasi kadar abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Gambar 5.8 berikut.

**Tabel 5.20 Hasil Nilai *Slump* Beton**

Variasi Kadar RHA + WSA	<i>Slump</i> (cm)
0%	11,3
2%	11
4%	10,5
5%	10,3
6%	10
8%	9,6



**Gambar 5.8 Grafik Pengujian Nilai *Slump* pada Tiap Variasi**

Berdasarkan Gambar 5.8 nilai *slump* terbesar terjadi pada adukan varian 0%, yaitu sebesar 11,3 cm. Sedangkan nilai *slump* terkecil terjadi pada adukan varian 8%, yaitu sebesar 9,6 cm. Secara keseluruhan nilai *slump* telah memenuhi syarat perencanaan yaitu  $10 \pm 2$  cm. Hal ini dapat dilihat bahwa mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) dapat menurunkan nilai *slump* yang dihasilkan. Mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) menunjukkan bahwa air diserap oleh abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA). Peningkatan persentase dari penggunaan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) inilah yang menyebabkan nilai *slump* menurun, hal ini disebabkan oleh ukuran atau partikel dari abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) lebih halus dibandingkan dengan semen, sehingga abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) lebih mudah menyerap air. Penurunan dari nilai *slump* mempengaruhi tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*), karena dengan turunnya nilai *slump* berarti kelecakan dari beton tersebut berkurang, sehingga beton segar semakin kental dan sulit untuk dikerjakan.

#### **5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton**

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton bergantung dari komposisi material dan proses pemadatan beton segar. Pemeriksaan berat volume beton dilakukan terhadap benda uji yang didiamkan setelah proses perawatan beton. Pemeriksaan ini dilakukan dengan cara menimbang beton dan menghitung volume beton berdasarkan dari pengukuran dimensinya. Berikut rekapitulasi hasil pemeriksaan berat volume beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.21, Gambar 5.9, dan Gambar 5.10.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

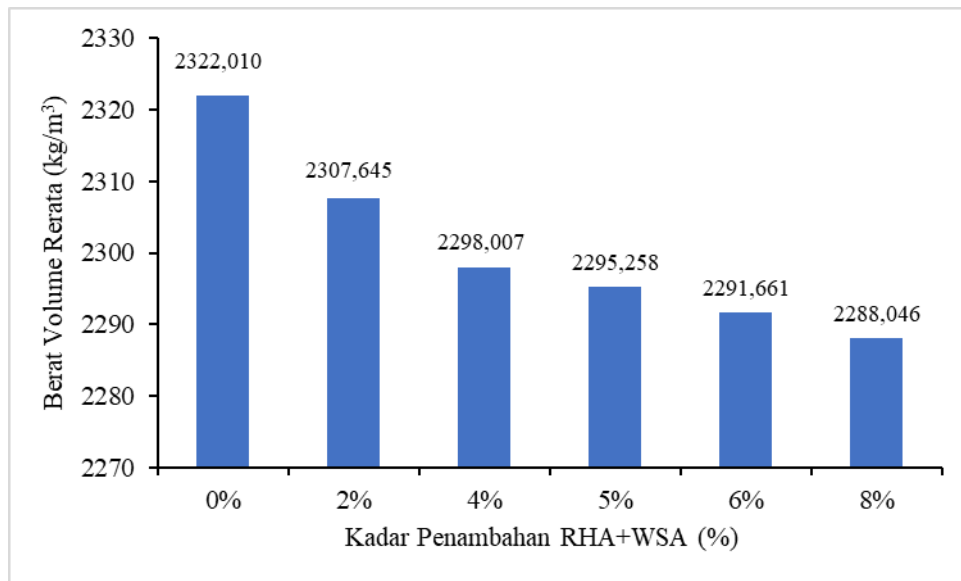
Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
0%	7 Hari	1	152,1	303,0	0,005505	12,842	2332,608	2322,010
		2	152,5	302,7	0,005529	12,694	2295,919	
		3	150,2	302,5	0,005360	12,754	2379,531	
		4	150,5	300,5	0,005346	12,535	2344,860	
		5	151,2	299,5	0,005378	12,138	2257,131	
	28 Hari	1	150,9	302,5	0,005410	12,419	2295,582	2336,044
		2	151,6	300,5	0,005424	12,513	2306,900	
		3	151,0	301,0	0,005390	12,671	2350,718	
		4	149,8	300,0	0,005287	12,679	2398,006	
		5	151,2	302,5	0,005431	12,65	2329,012	
2%	7 Hari	1	150,5	302,0	0,005372	12,597	2344,754	2307,645
		2	151,0	303,0	0,005426	12,560	2314,745	
		3	150,0	300,5	0,005310	12,399	2334,908	
		4	151,1	302,6	0,005426	12,496	2302,943	
		5	153,7	301,8	0,005600	12,548	2240,875	
	28 Hari	1	151,2	303,0	0,005440	12,658	2326,639	2330,251
		2	152,7	303,0	0,005549	12,578	2266,736	
		3	151,0	301,2	0,005394	12,412	2301,140	
		4	149,5	302,5	0,005310	12,585	2370,039	
		5	150,4	300,2	0,005333	12,729	2386,701	

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

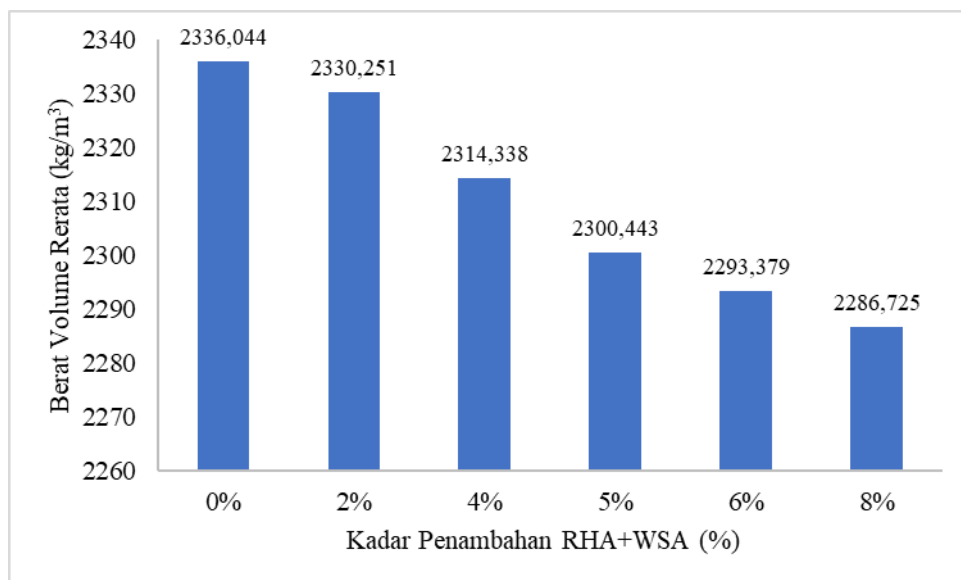
Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
4%	7 Hari	1	152,0	300,8	0,005458	12,420	2275,447	2298,007
		2	150,0	301,1	0,005321	12,359	2322,738	
		3	150,8	301,2	0,005380	12,305	2287,358	
		4	151,6	300,2	0,005419	12,306	2271,004	
		5	149,8	300,1	0,005289	12,342	2333,491	
	28 Hari	1	149,8	300,0	0,005287	12,579	2379,093	2314,338
		2	149,5	301,0	0,005284	12,304	2328,668	
		3	151,5	300,2	0,005412	12,386	2288,786	
		4	151,0	303,8	0,005440	12,432	2285,122	
		5	151,5	302,0	0,005444	12,467	2290,023	
5%	7 Hari	1	150,0	299,8	0,005298	12,157	2294,681	2295,258
		2	150,2	299,5	0,005307	12,272	2312,537	
		3	151,2	300,0	0,005387	12,372	2296,811	
		4	150,1	302,2	0,005347	12,421	2322,795	
		5	152,0	303,0	0,005498	12,368	2249,468	
	28 Hari	1	152,2	299,1	0,005442	12,465	2290,639	2300,443
		2	151,8	301,8	0,005462	12,471	2283,225	
		3	150,2	300,0	0,005316	12,318	2317,337	
		4	150,0	300,0	0,005301	12,389	2336,913	
		5	151,8	300,8	0,005444	12,380	2274,099	

Lanjutan Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
6%	7 Hari	1	150,5	302,1	0,005374	12,486	2323,324	2291,661
		2	151,0	300,8	0,005387	12,259	2275,797	
		3	151,0	301,0	0,005390	12,483	2315,841	
		4	151,8	301,2	0,005451	12,358	2267,043	
		5	150,7	302,4	0,005394	12,278	2276,300	
	28 Hari	1	152,0	302,0	0,005480	12,337	2251,260	2293,379
		2	151,8	300,5	0,005438	12,337	2268,463	
		3	150,0	296,5	0,005240	12,176	2323,847	
		4	149,2	300,2	0,005249	12,304	2344,273	
		5	151,2	301,8	0,005419	12,350	2279,052	
8%	7 Hari	1	151,2	300,7	0,005399	12,339	2285,352	2288,046
		2	151,5	302,0	0,005444	12,388	2275,512	
		3	150,5	299,2	0,005323	12,344	2319,164	
		4	153,0	301,3	0,005540	12,372	2233,408	
		5	149,8	300,5	0,005296	12,323	2326,797	
	28 Hari	1	151,0	300,2	0,005376	12,299	2287,786	2286,725
		2	150,5	303,0	0,005390	12,278	2277,834	
		3	150,2	302,0	0,005351	12,209	2281,620	
		4	150,0	299,7	0,005296	12,215	2306,398	
		5	150,0	302,7	0,005349	12,196	2279,988	



**Gambar 5.9 Grafik Nilai Berat Volume Beton pada Umur 7 Hari**



**Gambar 5.10 Grafik Nilai Berat Volume Beton pada Umur 28 Hari**

**Tabel 5.22 Persentase Perubahan Berat Volume pada Berbagai Umur Beton**

Variasi Kadar RHA + WSA	Persentase Perubahan Berat Volume pada Umur Beton Tertentu (%)	
	7 Hari	28 Hari
2%	-0,622	-0,249
4%	-1,044	-0,938
5%	-1,166	-1,548
6%	-1,324	-1,860
8%	-1,484	-2,157

Pada Gambar 5.9, Gambar 5.10, dan Tabel 5.22 diatas dapat dilihat bahwa ada dua variabel yang mempengaruhi, yaitu berat volume beton dengan kadar abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) yang digunakan.

1. Pada umur beton 7 hari diperoleh persentase perubahan berat volume yang menggunakan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) terhadap berat volume beton normal relatif kecil.
2. Pada umur beton 28 hari diperoleh persentase perubahan berat volume yang menggunakan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) terhadap berat volume beton normal relatif kecil.

Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) tidak mempengaruhi nilai berat volume beton. Hal ini disebabkan nilai persentase perubahan berat volume beton yang relatif kecil. Menurut (Leon *et al.*, 2023) menyatakan bahwa penyerapan air meningkat seiring dengan meningkatnya persentase abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pengganti semen. Oleh karena itu pada tahap *mixing* terjadi pengurangan air pada campuran beton dengan penambahan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA).

## 5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan beton ketika benda uji silinder umur 7 hari dan 28 hari. Pengujian dilakukan dengan *compression machine*. Sampel silinder untuk uji tekan berjumlah 60 sampel dengan masing-masing variasi abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) 10 sampel. Sebelum pengujian benda uji silinder harus melalui proses pemberian *capping* pada bagian

atas permukaan beton dengan tujuan meratakan lapisan permukaan atas sampel agar saat pemberian beban menggunakan *compression machine* dapat terdistribusi merata pada permukaan beton. Pemberian beban dilakukan secara konstan hingga beton mengalami keretakan (*crack*), artinya benda uji tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan oleh mesin uji. Pada perhitungan nilai kuat tekan beton untuk sampel uji umur 7 hari dan 28 hari perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton varian RHA+WSA 0% umur 7 hari sampel 1

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{375,8 \times 10^3}{18169,723} \\ &= 20,683 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton varian RHA+WSA 0% umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{597,4 \times 10^3}{17884,152} \\ &= 33,404 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung kuat tekan beton untuk sampel-sampel varian lainnya, sehingga diperoleh rekapitulasi dan grafik hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.23, Gambar 5.11, dan Gambar 5.12 berikut.

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton**

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
0%	7 Hari	1	152,1	18169,723	375,8	20,683	22,675
		2	152,5	18265,416	362,8	19,863	
		3	150,2	17718,614	475,1	26,814	
		4	150,5	17789,465	463,9	26,077	
		5	151,2	17955,333	358	19,938	
	28 Hari	1	150,9	17884,152	597,4	33,404	32,112
		2	151,6	18050,460	565	31,301	
		3	151	17907,864	539,8	30,143	
		4	149,8	17624,366	572,2	32,466	
		5	151,2	17955,333	596,9	33,244	
2%	7 Hari	1	150,5	17789,465	479,3	26,943	23,165
		2	151	17907,864	450,4	25,151	
		3	150	17671,459	364,6	20,632	
		4	151,1	17931,590	384,9	21,465	
		5	153,7	18554,003	401,4	21,634	
	28 Hari	1	151,2	17955,333	542,5	30,214	31,475
		2	152,7	18313,357	549,7	30,016	
		3	151	17907,864	540,9	30,205	
		4	149,5	17553,845	583,5	33,241	
		5	150,4	17765,832	598,7	33,700	

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
4%	7 Hari	1	152	18145,839	192	10,581	23,270
		2	150	17671,459	462,5	26,172	
		3	150,8	17860,457	466	26,091	
		4	151,6	18050,460	488,2	27,046	
		5	149,8	17624,366	466,3	26,458	
	28 Hari	1	149,8	17624,366	583	33,079	31,801
		2	149,5	17553,845	600,8	34,226	
		3	151,5	18026,655	549,4	30,477	
		4	151	17907,864	542,3	30,283	
		5	151,5	18026,655	557,7	30,938	
5%	7 Hari	1	150	17671,459	404	22,862	23,880
		2	150,2	17718,614	451,5	25,482	
		3	151,2	17955,333	430	23,948	
		4	150,1	17695,028	381,5	21,560	
		5	152	18145,839	463,6	25,549	
	28 Hari	1	152,2	18193,623	605,7	33,292	32,894
		2	151,8	18098,118	551	30,445	
		3	150,2	17718,614	582,1	32,852	
		4	150	17671,459	601,1	34,015	
		5	151,8	18098,118	612,9	33,865	

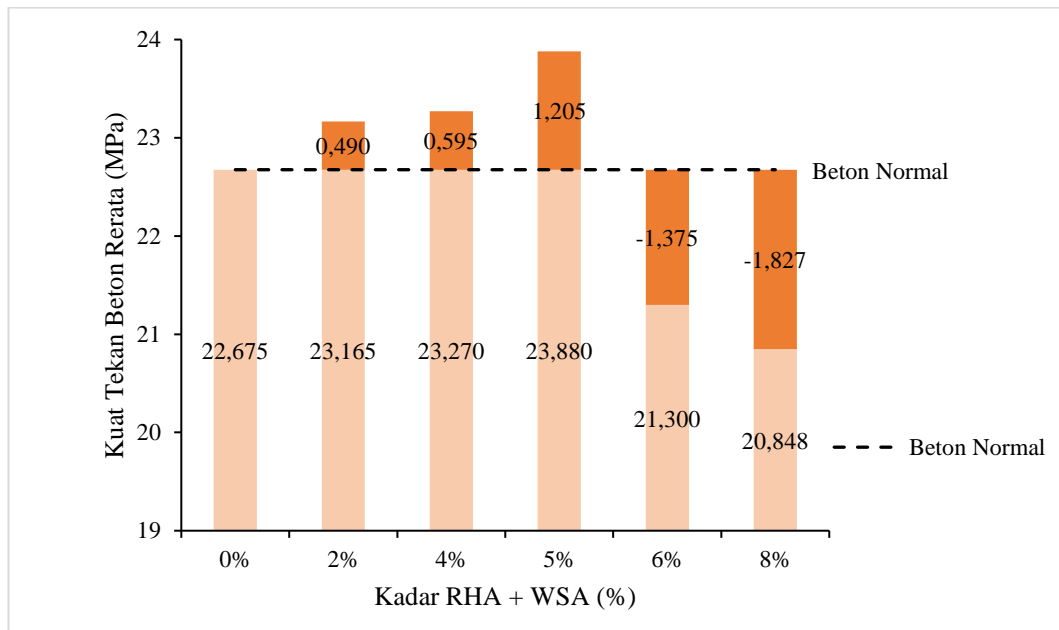
Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
6%	7 Hari	1	150,5	17789,465	418,7	23,536	21,300
		2	151	17907,864	234,6	13,100	
		3	151	17907,864	402,9	22,498	
		4	151,8	18098,118	464,6	25,671	
		5	150,7	17836,777	386,9	21,691	
	28 Hari	1	152	18145,839	580,6	31,996	31,217
		2	151,8	18098,118	543,2	30,014	
		3	150	17671,459	540,4	30,580	
		4	149,2	17483,466	524,6	30,005	
		5	151,2	17955,333	601,3	33,489	
8%	7 Hari	1	151,2	17955,333	360	20,050	20,848
		2	151,5	18026,655	409	22,689	
		3	150,5	17789,465	375,1	21,086	
		4	153	18385,386	369,1	20,076	
		5	149,8	17624,366	358,5	20,341	
	28 Hari	1	151	17907,864	541,9	30,260	30,600
		2	150,5	17789,465	541	30,411	
		3	150,2	17718,614	533,4	30,104	
		4	150	17671,459	559,7	31,673	
		5	150	17671,459	539,9	30,552	

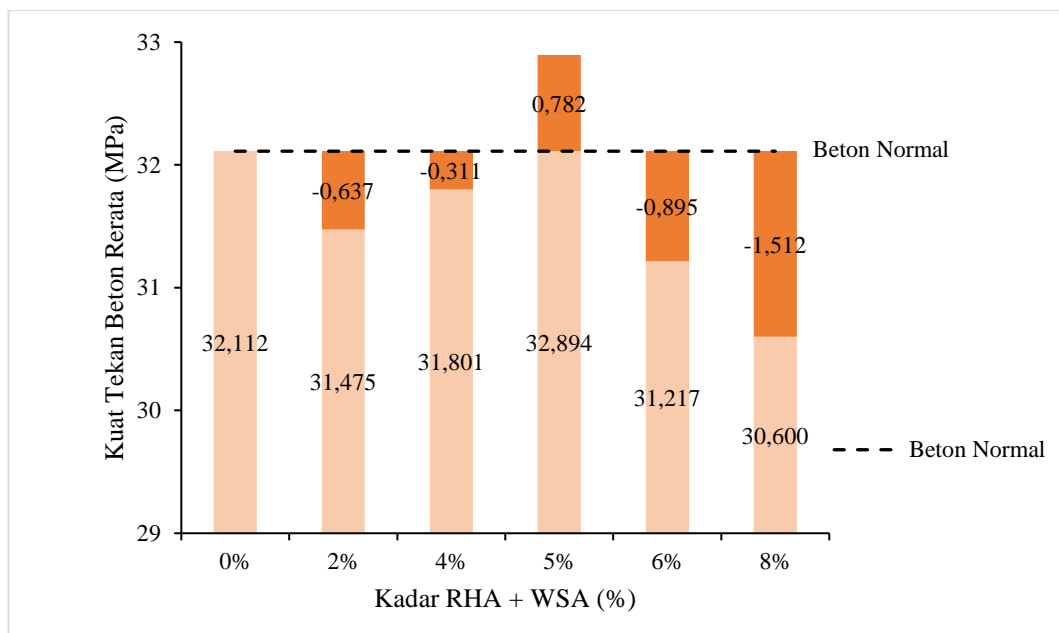
Berdasarkan Tabel 5.23 didapatkan nilai kuat tekan beton ( $f'_c$ ) rata-rata pada abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada variasi 0%, 2%, 4%, 5%, 6%, dan 8% untuk umur uji 7 hari secara berturut-turut sebesar 22,675 MPa, 23,165 MPa, 23,270 MPa, 23,880 MPa, 21,300 MPa, dan 20,848 MPa. Sedangkan untuk umur uji 28 hari secara berturut-turut sebesar 32,112 MPa, 31,475 MPa, 31,801 MPa, 32,894 MPa, 31,217 MPa, dan 30,600 MPa. Pada beton dengan penambahan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) dengan kadar 4% sampel 1 dan kadar 6% sampel 2 umur 7 hari ternyata kuat tekan yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dari  $f'_c$  rencana umur 7 hari sebesar 19,8 MPa (66% dari 30 MPa) dengan penurunan sebesar 46,561% dan 33,836%. Hal ini dikarenakan pada saat pemadatan di lapangan kurang maksimal sehingga pada campuran beton terdapat rongga-rongga udara dalam beton segar yang umumnya harus dipadatkan secara merata untuk meminimalisir rongga pada beton.

#### 5.5.1 Hubungan Kuat Tekan Beton Setiap Variasi Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Jerami Gandum (WSA)

Berdasarkan hasil kuat tekan rata-rata pada Tabel 5.23, nilai-nilai tersebut dapat menjadi hubungan kuat tekan beton pada setiap variasi abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) untuk masing-masing umur uji yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



**Gambar 5.11 Hubungan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA pada Umur Beton 7 Hari**



**Gambar 5.12 Hubungan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA pada Umur Beton 28 Hari**

**Tabel 5.24 Persentase Kenaikan Kuat Tekan Beton pada Setiap Variasi RHA + WSA terhadap Beton Normal**

Variasi Kadar RHA + WSA	Persentase Kenaikan Kuat Tekan pada Umur Beton Tertentu (%)	
	7 Hari	28 Hari
2%	2,161	-1,983
4%	2,623	-0,969
5%	5,315	2,436
6%	-6,066	-2,786
8%	-8,056	-4,707

Pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 diatas dapat dilihat bahwa mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Hal ini dapat dilihat dari nilai kuat tekan beton yang naik dan turun pada setiap variannya. Berdasarkan Tabel 5.24 nilai kuat tekan beton rata-rata yang mengalami peningkatan untuk umur uji 7 hari pada variasi 2%, 4%, dan 5%. Sedangkan untuk umur uji 28 hari hanya pada variasi 5%.

Mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) dengan kadar optimum pada beton segar meningkatkan nilai kuat tekan beton. Kekuatan paling tinggi saat persentase abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) sebesar 5%, hasil ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Bheel *et al.*, 2021).

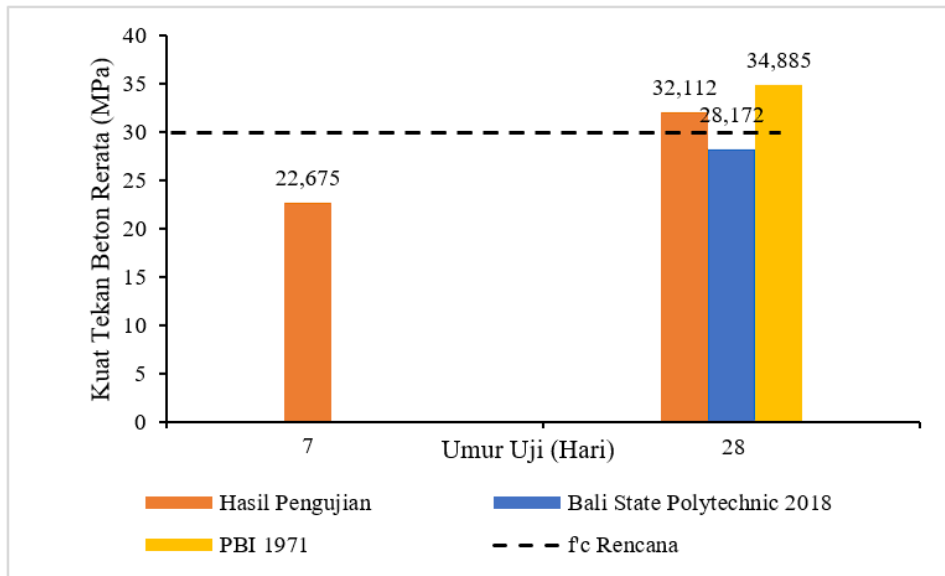
Peningkatan kuat tekan beton ini disebabkan fungsi abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) yang saling melengkapi, karena silika dan alumina pada abu sekam padi (RHA) yang berfungsi sebagai bahan oksida dominan. Sedangkan abu jerami gandum (WSA) memiliki ukuran partikel kecil yang memiliki efek pengisian yang baik pada campuran beton, tetapi jika penambahan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) terus dilakukan hingga melebihi kadar optimumnya maka akan terjadi penurunan kuat tekan beton, dimana menurut (Bheel *et al.*, 2021) hal ini terjadi dikarenakan menurunnya kalsium hidroksida yang ada pada campuran beton.

### 5.5.2 Hubungan Kuat Tekan Beton terhadap Umur Beton dengan Variasi Abu Sekam Padi (RHA) dan Abu Jerami Gandum (WSA)

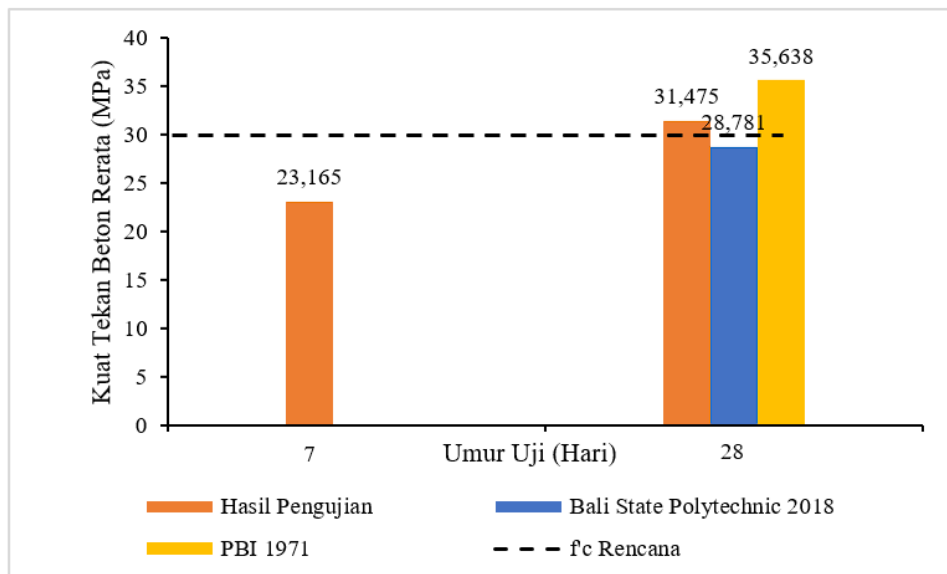
Menurut (Mindess *et al.*, 2003) kuat tekan beton yang menggunakan semen tipe I meningkat seiring dengan bertambahnya umur dari beton tersebut, yaitu dari umur 7 hari sampai umur 28 hari. Berdasarkan hasil kuat tekan beton rata-rata pada umur uji 7 hari dan 28 hari pada Tabel 5.23, nilai-nilai tersebut dapat digunakan untuk membandingkan hasil kuat tekan beton aktual yang menggunakan (Bali State Polytechnic *et al.*, 2018) dan (PBI, 1971) yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 Gambar 5.13, Gambar 5.14, Gambar 5.15, Gambar 5.16, Gambar 5.17, dan Gambar 5.18.

**Tabel 5.25 Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton dengan Bali State Polytechnic 2018 dan PBI 1971**

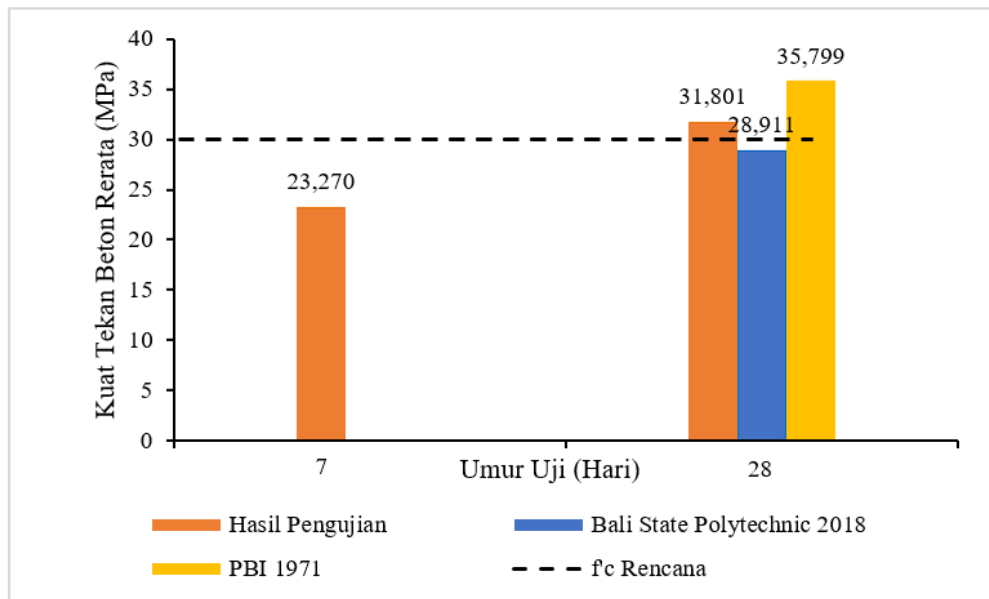
<b>Variasi Kadar RHA + WSA</b>	<b>Hasil Pengujian 7 Hari</b>	<b>Bali State Polytechnic, 2018</b>	<b>PBI, 1971</b>	<b>Hasil Pengujian 28 Hari</b>
0%	22,675	28,172	34,885	32,112
2%	23,165	28,781	35,638	31,475
4%	23,270	28,911	35,799	31,801
5%	23,880	29,669	36,738	32,894
6%	21,300	26,463	32,768	31,217
8%	20,848	25,902	32,074	30,600



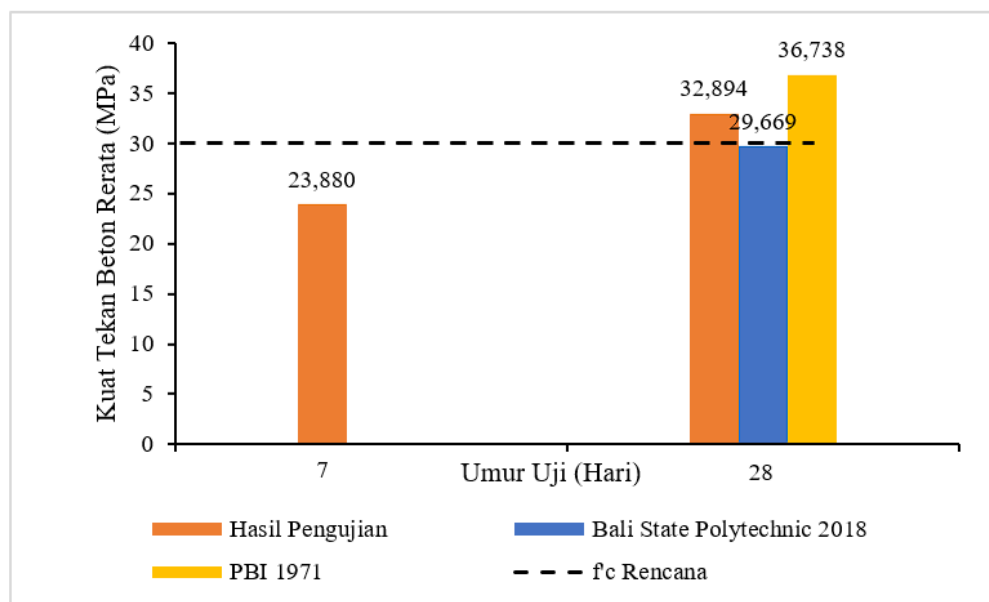
**Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 0%**



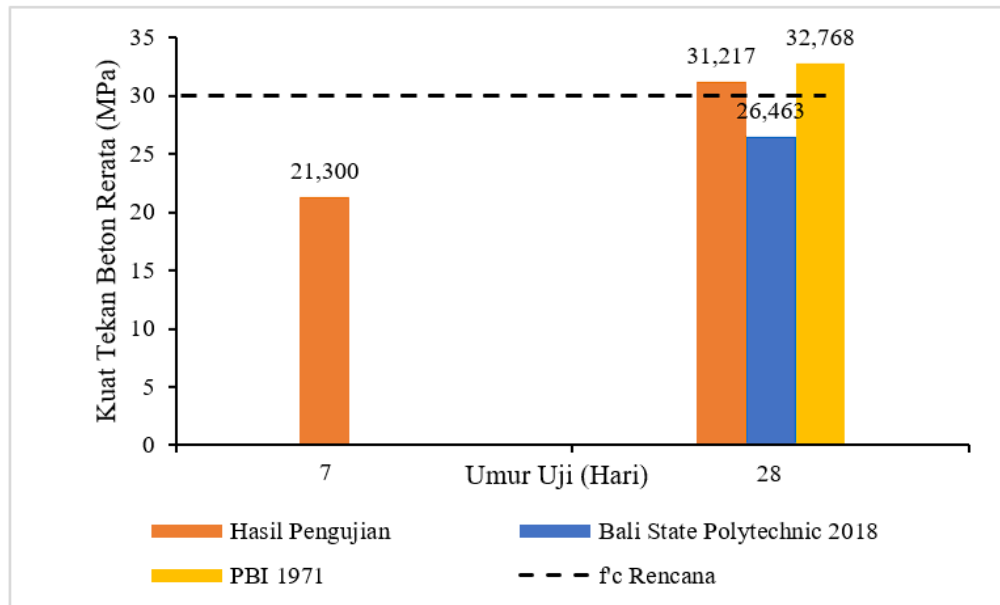
**Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 2%**



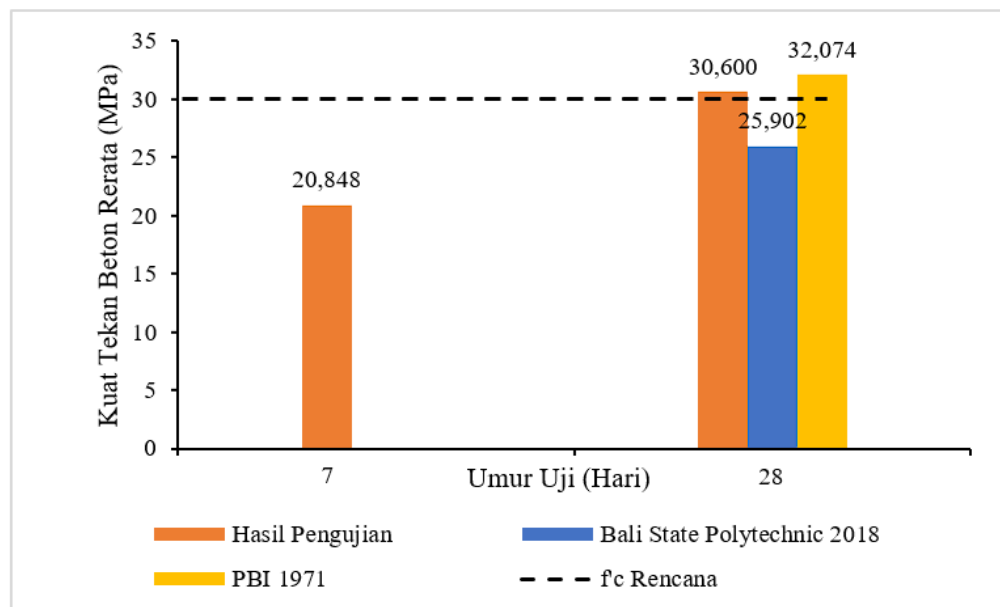
**Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 4%**



**Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 5%**



**Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 6%**



**Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton pada Kadar 8%**

Berdasarkan Tabel 5.25, Gambar 5.13, Gambar 5.14, Gambar 5.15, Gambar 5.16, Gambar 5.17, dan Gambar 5.18 kuat tekan beton yang paling tinggi, yaitu kuat tekan beton yang menggunakan (PBI, 1971) dan yang paling rendah yang menggunakan (Bali State Polytechnic *et al.*, 2018). Sedangkan kuat tekan beton hasil pengujian berada ditengah-tengah dan juga masih sesuai dengan  $f'_c$  rencana yaitu 30 MPa.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa dari hasil analisis dan pembahasan pada dua subbab sebelumnya bahwa kadar abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) yang paling optimum digunakan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton adalah sebanyak 5%. Hal ini dikarenakan dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) sebesar 5% dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 5,315% untuk umur uji 7 hari dan 2,436% untuk umur uji 28 hari.

## 5.6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan pada setiap variasi kadar abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) beserta variasi umur beton. Pengujian dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan beton. Sampel yang digunakan pada pengujian ini diambil sebanyak 3 dari 5 sampel untuk tiap variannya, sehingga jumlah seluruh sampel yang digunakan untuk pengujian ini adalah 36 buah silinder beton. Data yang harus diperiksa sebelum pengujian modulus elastisitas beton adalah luas penampang dari silinder beton ( $A$ ) dan panjang awal kompresometer ( $L_0$ ). Sedangkan data yang diperoleh pada pengujian ini berupa data penambahan beban setiap 10 kN menggunakan *compression machine* dan data penurunan silinder beton ( $\Delta L'$ ) setiap penambahan 10 kN menggunakan *dial gauge*. Adapun contoh perhitungan nilai tegangan dan regangan saat beban mencapai 10 kN pada pengujian modulus elastisitas beton sampel 1 beton normal umur 7 hari adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai  $\Delta L$

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{\Delta L'}{2} \times 10^{-3} \\ &= \frac{5}{2} \times 10^{-3}\end{aligned}$$

$$= 0,0025 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Regangan ( $\varepsilon$ )

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \\ &= \frac{0,0025}{200} \\ &= 0,0000125\end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai Tegangan ( $\sigma$ )

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{10000}{18169,72} \\ &= 0,5504 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung pula nilai tegangan dan regangan untuk setiap nilai penambahan beban 10 kN pada sampel 1 beton normal umur 28 hari. Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan dan regangan pada sampel 1 beton normal umur 7 hari dan sampel 1 beton normal umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan 5.27 berikut.

**Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Beton  
Varian RHA + WSA 0% Umur 7 Hari Sampel 1**

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\varepsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5504
20	18	0,00900	0,0000450	1,1007
30	25	0,01250	0,0000625	1,6511
40	32	0,01600	0,0000800	2,2015
50	38	0,01900	0,0000950	2,7518
60	50	0,02500	0,0001250	3,3022
70	60	0,03000	0,0001500	3,8526
80	67	0,03350	0,0001675	4,4029
90	79	0,03950	0,0001975	4,9533
100	93	0,04650	0,0002325	5,5037
110	100	0,05000	0,0002500	6,0540
120	108	0,05400	0,0002700	6,6044
130	116	0,05800	0,0002900	7,1548
140	125	0,06250	0,0003125	7,7051
150	133	0,06650	0,0003325	8,2555

**Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan  
Beton Varian RHA+WSA 0% Umur 7 Hari Sampel 1**

<b>Beban (kN)</b>	<b>Pembacaan Dial, <math>\Delta L'</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>	<b>Regangan, <math>\epsilon</math></b>	<b>Tegangan, <math>\sigma</math> (MPa)</b>
160	140	0,07000	0,0003500	8,8059
170	149	0,07450	0,0003725	9,3562
180	158	0,07900	0,0003950	9,9066
190	166	0,08300	0,0004150	10,4570
200	174	0,08700	0,0004350	11,0073
210	184	0,09200	0,0004600	11,5577
220	195	0,09750	0,0004875	12,1081
230	206	0,10300	0,0005150	12,6584
240	218	0,10900	0,0005450	13,2088
250	230	0,11500	0,0005750	13,7592
260	243	0,12150	0,0006075	14,3095
270	258	0,12900	0,0006450	14,8599
280	271	0,13550	0,0006775	15,4103
290	285	0,14250	0,0007125	15,9606
300	300	0,15000	0,0007500	16,5110
310	317	0,15850	0,0007925	17,0613
320	335	0,16750	0,0008375	17,6117
330	354	0,17700	0,0008850	18,1621
340	374	0,18700	0,0009350	18,7124
350	394	0,19700	0,0009850	19,2628
360	421	0,21050	0,0010525	19,8132
370	456	0,22800	0,0011400	20,3635
375,8	491	0,24550	0,0012275	20,6828
370	536	0,26800	0,0013400	20,3635
360	589	0,29450	0,0014725	19,8132
350	654	0,32700	0,0016350	19,2628
340	729	0,36450	0,0018225	18,7124

**Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan Beton  
Varian RHA + WSA 0% Umur 28 Hari Sampel 1**

<b>Beban (kN)</b>	<b>Pembacaan Dial, <math>\Delta L'</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>	<b>Regangan, <math>\epsilon</math></b>	<b>Tegangan, <math>\sigma</math> (MPa)</b>
10	12	0,00600	0,0000300	0,5592
20	18	0,00900	0,0000450	1,1183
30	23	0,01150	0,0000575	1,6775
40	30	0,01500	0,0000750	2,2366

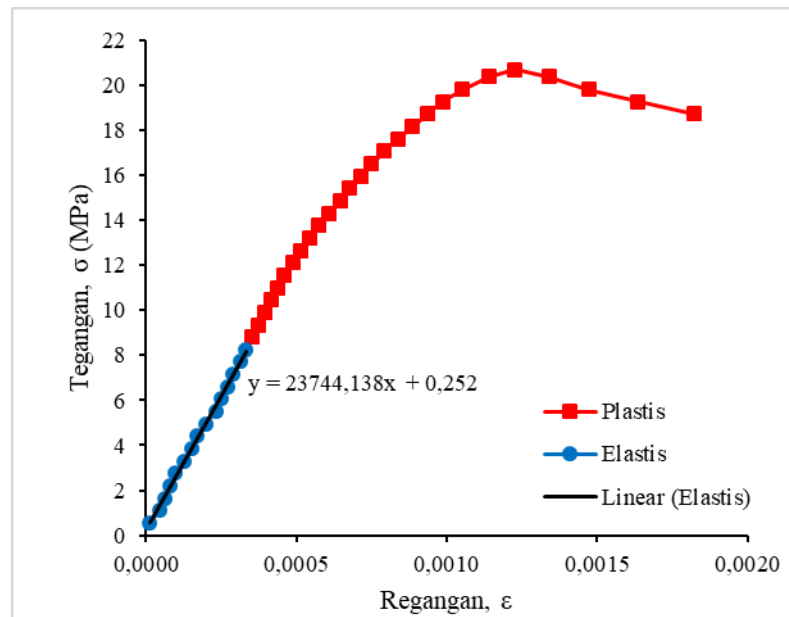
**Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan  
Beton Varian RHA + WSA 0% Umur 28 Hari Sampel 1**

<b>Beban (kN)</b>	<b>Pembacaan Dial, <math>\Delta L'</math> (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b><math>\Delta L</math> (mm)</b>	<b>Regangan, <math>\epsilon</math></b>	<b>Tegangan, <math>\sigma</math> (MPa)</b>
50	36	0,01800	0,0000900	2,7958
60	43	0,02150	0,0001075	3,3549
70	50	0,02500	0,0001250	3,9141
80	57	0,02850	0,0001425	4,4732
90	64	0,03200	0,0001600	5,0324
100	71	0,03550	0,0001775	5,5915
110	79	0,03950	0,0001975	6,1507
120	87	0,04350	0,0002175	6,7099
130	95	0,04750	0,0002375	7,2690
140	103	0,05150	0,0002575	7,8282
150	111	0,05550	0,0002775	8,3873
160	120	0,06000	0,0003000	8,9465
170	128	0,06400	0,0003200	9,5056
180	137	0,06850	0,0003425	10,0648
190	146	0,07300	0,0003650	10,6239
200	155	0,07750	0,0003875	11,1831
210	164	0,08200	0,0004100	11,7422
220	173	0,08650	0,0004325	12,3014
230	182	0,09100	0,0004550	12,8605
240	192	0,09600	0,0004800	13,4197
250	202	0,10100	0,0005050	13,9789
260	211	0,10550	0,0005275	14,5380
270	220	0,11000	0,0005500	15,0972
280	230	0,11500	0,0005750	15,6563
290	240	0,12000	0,0006000	16,2155
300	250	0,12500	0,0006250	16,7746
310	260	0,13000	0,0006500	17,3338
320	271	0,13550	0,0006775	17,8929
330	281	0,14050	0,0007025	18,4521
340	291	0,14550	0,0007275	19,0112
350	302	0,15100	0,0007550	19,5704
360	313	0,15650	0,0007825	20,1296
370	324	0,16200	0,0008100	20,6887
380	335	0,16750	0,0008375	21,2479
390	347	0,17350	0,0008675	21,8070
400	358	0,17900	0,0008950	22,3662
410	369	0,18450	0,0009225	22,9253
420	381	0,19050	0,0009525	23,4845
430	393	0,19650	0,0009825	24,0436

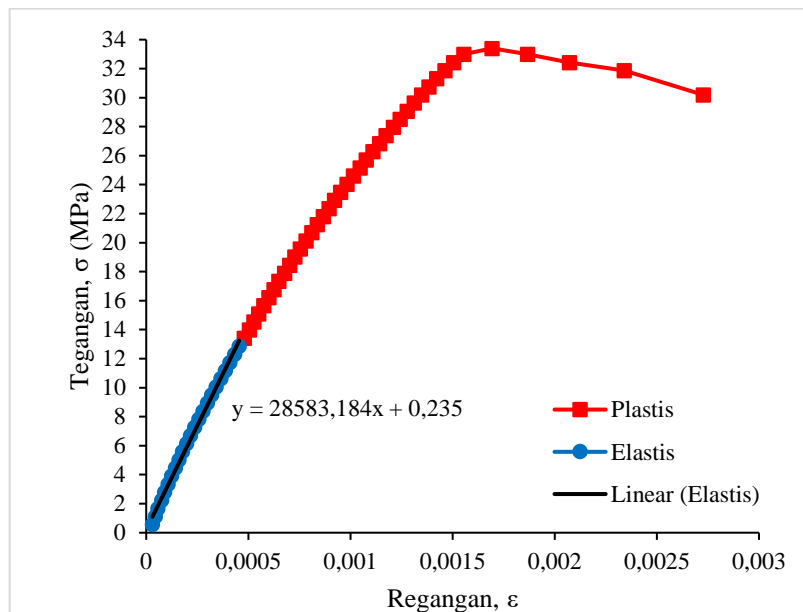
**Lanjutan Tabel 5.27 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan-Regangan  
Beton Varian RHA + WSA 0% Umur 28 Hari Sampel 1**

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
440	406	0,20300	0,0010150	24,6028
450	419	0,20950	0,0010475	25,1619
460	431	0,21550	0,0010775	25,7211
470	444	0,22200	0,0011100	26,2803
480	457	0,22850	0,0011425	26,8394
490	470	0,23500	0,0011750	27,3986
500	484	0,24200	0,0012100	27,9577
510	497	0,24850	0,0012425	28,5169
520	511	0,25550	0,0012775	29,0760
530	525	0,26250	0,0013125	29,6352
540	539	0,26950	0,0013475	30,1943
550	554	0,27700	0,0013850	30,7535
560	569	0,28450	0,0014225	31,3126
570	585	0,29250	0,0014625	31,8718
580	602	0,30100	0,0015050	32,4309
590	622	0,31100	0,0015550	32,9901
597,4	677	0,33850	0,0016925	33,4039
590	747	0,37350	0,0018675	32,9901
580	829	0,41450	0,0020725	32,4309
570	936	0,46800	0,0023400	31,8718
540	1091	0,54550	0,0027275	30,1943

Berdasarkan hasil perhitungan nilai tegangan dan regangan diatas selanjutnya diplot grafik tegangan-regangan beton. Nilai modulus elastisitas beton diperoleh dari kemiringan kurva regresi linier (*linier trendline*) pada daerah elastis/linier. Menurut (Nawy, 1998) daerah linier beton terjadi hingga tegangan mencapai nilai  $0,40 f'_c$  maksimum, sehingga batas dari kurva regresi linier yang digunakan adalah pada saat tegangan dengan beban 10 kN sampai tegangan saat  $0,40 f'_c$  maksimum. Berikut grafik modulus elastisitas beton varian RHA + WSA 0% umur 7 hari sampel 1 dan umur 28 hari sampel 1 yang dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20. Sedangkan untuk grafik modulus elastisitas sampel lain dapat dilihat pada lampiran 5.



**Gambar 5.19 Grafik Modulus Elastisitas Beton Varian RHA + WSA 0%  
Umur 7 Hari Sampel 1**



**Gambar 5.20 Grafik Modulus Elastisitas Beton Varian RHA + WSA 0%  
Umur 28 Hari Sampel 1**

Berdasarkan Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 diperoleh nilai modulus elastisitas untuk beton varian RHA + WSA 0% umur 7 hari sampel 1 sebesar 23744,138 MPa dan untuk beton varian RHA + WSA 0% umur 28 hari sampel 1 sebesar 28583,184 MPa. Pada penelitian ini dihitung pula modulus elastisitas

teoritis untuk setiap sampelnya. Persamaan yang digunakan berdasarkan (SNI 2847, 2019), yaitu  $4700 \sqrt{f'_c}$ . Untuk beton varian RHA + WSA 0% umur 7 hari sampel 1 diperoleh modulus elastisitas teoritis sebesar 26310,562 MPa dan untuk beton varian RHA + WSA 0% umur 28 hari sampel 1 diperoleh modulus elastisitas teoritis sebesar 29997,797 MPa. Adapun rekapitulasi nilai modulus elastisitas beton untuk semua varian sampel dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Variasi RHA + WSA	Umur Uji	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus Elastisitas Rerata, E (MPa)		Selisih (%)
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis	
0%	7 Hari	1	20,683	23744,138	26310,562	26008,558	27350,531	-4,907
		2	19,863	25714,234	25783,671			
		3	26,814	28567,303	29957,360			
	28 Hari	1	33,404	28583,184	29997,797	27670,363	28533,861	-3,026
		2	31,301	27733,733	29038,288			
		3	30,143	26694,172	26565,499			
2%	7 Hari	1	26,943	26767,163	30029,504	27384,754	28440,518	-3,712
		2	25,151	28434,533	29013,705			
		3	20,632	26952,567	26278,346			
	28 Hari	1	30,214	30451,074	28529,494	28848,040	28496,901	1,232
		2	30,016	26910,584	28436,086			
		3	30,205	29182,461	28525,124			
4%	7 Hari	1	10,581	26921,961	18818,629	28086,931	24229,221	15,922
		2	26,172	28373,231	25948,335			
		3	26,091	28965,601	27920,698			
	28 Hari	1	33,079	29988,516	29851,658	29798,082	29623,304	0,590
		2	34,226	30160,712	30364,754			
		3	30,477	29245,018	28653,500			

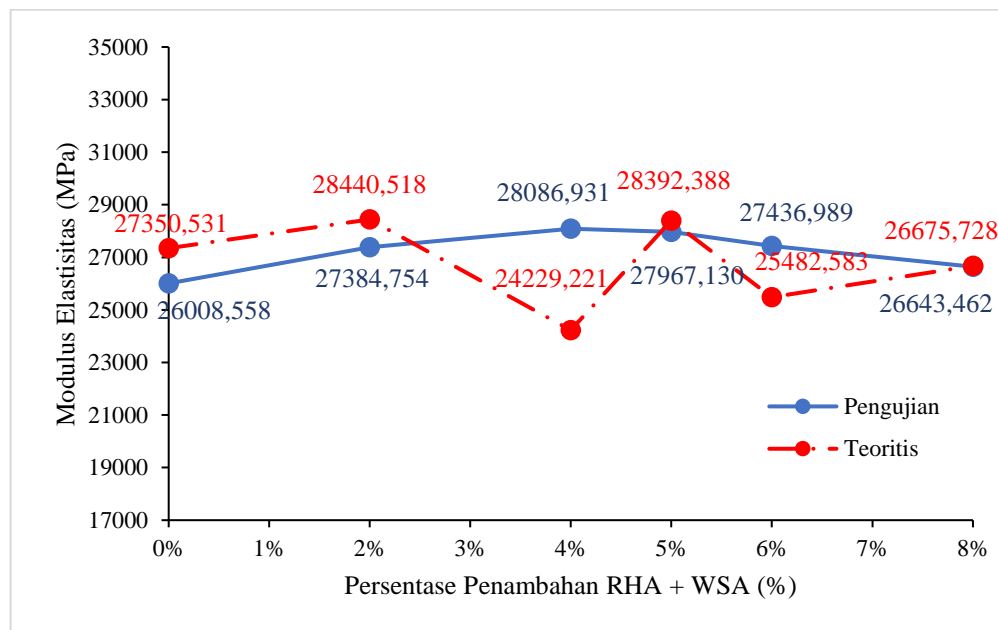
Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Variasi RHA + WSA	Umur Uji	No. Sampel	f'c (MPa)	Modulus Elastisitas, E (MPa)		Modulus Elastisitas Rerata, E (MPa)		Selisih (%)
				Pengujian	Teoritis	Pengujian	Teoritis	
5%	7 Hari	1	22,862	28420,491	27661,796	27967,130	28392,388	-1,498
		2	25,482	27843,931	29203,836			
		3	23,948	27636,968	28311,533			
	28 Hari	1	33,292	30616,684	29947,469	30183,289	29445,041	2,507
		2	30,445	30027,727	28638,484			
		3	32,852	29905,455	29749,170			
6%	7 Hari	1	23,536	29250,749	28066,996	27436,989	25482,583	7,670
		2	13,100	24215,141	20939,582			
		3	22,498	28845,076	27441,171			
	28 Hari	1	31,996	27753,098	29358,977	28781,693	28832,017	-0,175
		2	30,014	29019,124	28435,057			
		3	30,580	29572,857	28702,016			
8%	7 Hari	1	20,050	28403,669	25904,810	26643,462	26675,728	-0,121
		2	22,689	24102,797	27556,875			
		3	21,086	27423,921	26565,499			
	28 Hari	1	30,260	26290,226	28551,480	27389,490	28550,521	-4,067
		2	30,411	26778,245	28622,537			
		3	30,104	29099,998	28477,546			

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5.28, nilai modulus elastisitas pada tiap variasi kadar RHA + WSA dengan umur uji tertentu memperoleh nilai yang tidak berbeda signifikan, kemudian hasil tersebut diambil nilai rata-ratanya yang ditunjukkan pada Tabel 5.29. Selanjutnya dapat diplot menjadi grafik hubungan modulus elastisitas beton dengan kadar abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton yang dapat dilihat pada Gambar 5.21.

**Tabel 5.29 Persentase Perubahan Modulus Elastisitas Beton Terhadap Umur Beton pada Berbagai Variasi RHA + WSA**

Umur Beton	Persentase Perubahan Modulus Elastisitas Beton Terhadap Umur Beton pada Berbagai Variasi RHA + WSA					
	0%	2%	4%	5%	6%	8%
7 Hari	0	0	0	0	0	0
28 Hari	6,389	5,343	6,092	7,924	4,901	2,800



**Gambar 5.21 Hubungan Modulus Elastisitas Beton pada Berbagai Variasi RHA + WSA**

Berdasarkan Gambar 5.21 diketahui bahwa dengan mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton hasil pengujian. Peningkatan modulus elastisitas beton yang paling tinggi terjadi pada kadar RHA + WSA 5% yaitu dengan peningkatan 7,924% dari modulus elastisitas beton umur uji 7 hari. Hal ini dikarenakan modulus elastisitas akan meningkat seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton (Rifa'i, 2023). Setelah itu dilakukan perbandingan antara modulus elastisitas pengujian dan antara modulus elastisitas teoritis menurut (SNI 2847, 2019). Perbedaan nilai modulus elastisitas pengujian dengan modulus elastisitas teoritis yang disyaratkan pada (SNI 2847, 2019) adalah sebesar 20%. Berdasarkan Tabel 5.28 hasil modulus elastisitas pengujian telah memenuhi ketentuan (SNI 2847, 2019).

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

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

1. Mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton akan mempengaruhi kuat tekan beton sebagai berikut.
  - a. Pada umur 7 hari mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada kadar 2%, 4%, dan 5% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 2,161%, 2,623%, dan 5,315%. Sedangkan pada kadar 6% dan 8% dapat menurunkan kuat tekan beton sebesar 6,066% dan 8,056%.
  - b. Pada umur 28 hari mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada kadar 5% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 2,436. Sedangkan pada kadar 2%, 4%, 6%, dan 8% dapat menurunkan kuat tekan beton sebesar 1,983% dan 0,969%, 2,786%, dan 4,707%.
2. Nilai kuat tekan beton tertinggi terjadi pada beton dengan substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) sebanyak 5% dengan hasil sebagai berikut.
  - a. Pada umur beton 7 hari, kuat tekan beton dengan mensubstitusi sebagian semen menggunakan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) sebanyak 5% adalah 36,182 MPa atau 5,315% lebih tinggi dari kuat tekan beton normal.
  - b. Pada umur beton 28 hari, kuat tekan beton dengan mensubstitusi sebagian semen menggunakan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) sebanyak 5% adalah 40,115 MPa atau 2,436% lebih tinggi dari kuat tekan beton normal.

3. Hasil pengaruh mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton untuk perbedaan modulus elastisitas beton pengujian dan teoritis telah sesuai dengan yang disyaratkan pada (SNI 2847, 2019) adalah sebesar 20%. Kemudian peningkatan modulus elastisitas beton paling tinggi terjadi pada kadar 5% dengan peningkatan sebesar 7,924% dari modulus elastisitas beton umur uji 7 hari.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa hal berikut yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya tentang pengaruh substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) pada campuran beton.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kuat tekan beton pada kadar 5% dengan interval varian lebih kecil.
2. Perlu dilakukan pengujian-pengujian beton yang lainnya, seperti uji kuat tarik belah dan kuat lentur untuk mengetahui pengaruh dari substitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA).
3. Perlu melakukan penelitian mengenai pengaruh dari mensubstitusi sebagian semen dengan abu sekam padi (RHA) dan abu jerami gandum (WSA) terhadap mutu beton pada umur beton 3 hari, 14 hari, dan 21 hari.
4. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan menyesuaikan komposisi air untuk mempertahankan nilai faktor air semen (fas) dan juga mutu betonnya.
5. Untuk selanjutnya dapat dilakukan penelitian untuk masing-masing beton dengan substitutor abu sekam padi (RHA) dan beton dengan substitutor abu jerami gandum (WSA) dilakukan secara terpisah agar dapat ditentukan kontribusi tambahan kekuatan pada beton.
6. Pada saat proses *mixing* sebaiknya beton tercampur dengan baik, pada proses penumbukan harus maksimal karena proses pemadatan yang kurang maksimal dapat membuat kondisi sampel atau benda uji mengalami keropos sehingga dapat mempengaruhi mutu beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C-33. (2003). Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C-469. (1994). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- Babar, A. A., Lakho, H., Memon, M. A., Gul, H., Ahmed, F., & Siddiqui, F. H. (2022). The Impact of Wheat Straw Ash as a Partial Cement Replacement Material on Concrete Properties. *Environment and Sustainable Development*.
- Bali State Polytechnic, Intara, I. W., & Sutapa, I. K. (2018). Age and Compressive Strength of Concrete from Various Brands of Portland Composite Cement (PCC). *LOGIC Jurnal Rancang Bangun Dan Teknologi*, 18(2), 72–79. <https://doi.org/10.31940/logic.v18i2.974>
- Betaubun, P. (2018). Compressive Strength and Tensile Tests for Concrete Made from Local Materials from Toftof, Eligobel District. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 9(8), 574–579.
- Bheel, N., Awoyera, P., Shar, I. A., Sohu, S., Abbasi, S. A., & Krishna Prakash, A. (2021). Mechanical Properties of Concrete Incorporating Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash as Ternary Cementitious Material. *Advances in Civil Engineering*, 2021, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2021/2977428>
- CEIC Data. (2020). Indonesia Cement Consumption. *Indonesia Cement Consumption*. <https://www.ceicdata.com/en/indonesia/cement-consumption>
- El-Sayed, T. A., Erfan, A. M., & El-Naby, R. M. A. (2017). Influence of Rice, Wheat Straw Ash & Rice Husk Ash on The Properties of Concrete Mixes. 67(5), 103–119.
- Goyal, A., Kunio, H., Ogata, H., Garg, M., Anwar, A. M., Ashraf, M., & Mandula. (2007). Synergic Effect of Wheat Straw Ash and Rice-Husk Ash on Strength Properties of Mortar. *Journal of Applied Sciences*, 7, 3256–3261.
- Hanafi, M. A. A., Mahardana, Z. B., Addinfatkunada, N., Susanto, M. R., Eka Saputra, Y. M., Cintya, H., & Asih, M. S. (2023). Efektivitas Pembuatan Beton dengan Penggunaan Agregat Kasar Kedak. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 6(2), 129. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v6i2.71930>
- He, Z., Shen, A., Lyu, Z., Li, Y., Wu, H., & Wang, W. (2020). Effect of Wollastonite Microfibers as Cement Replacement on The Properties of Cementitious Composites: A review. *Construction and Building Materials*, 261, 119920. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119920>
- Leon, M. I. M., Haque, R., Tisha, A. S., & Shoad, I. (2023). Investigation of Mechanical Properties of Concrete by Partial Replacement of Cement with

- Rice Husk Ash and Wheat Straw Ash. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11(4), 136–142.
- Mehta, P. K. (1981). Studies on Blended Portland Cements Containing Santorin Earth. *Cement and Concrete Research*, 11(4), 507–518.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete: Second Edition*. Pearson Education, Inc.
- NASA. (2020). The Causes of Climate Change. *The Causes of Climate Change*. <https://climate.nasa.gov/causes/>
- Nawy, E. G. (1998). Beton Bertulang—Suatu Pendekatan Dasar. PT. Refika Aditama.
- PBI. (1971). Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (Cetakan ke 7) (7th ed.). Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Prayuda, H., & Saleh, F. (2019). Kuat Tekan Beton Awal Tinggi dengan Variasi Penambahan Superplasticizer dan Silica Fume. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 17(1). <https://doi.org/10.22219/jmts.v17i1.5951>
- Rifa'i, M. (2023). Pengaruh Serat Pohon Sagu terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton. 4(4).
- Rokhman, A., & Kusumastuti, D. P. (2016). Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Penambahan Tali Tambang Plastik.
- SII 0052. (1980). Mutu dan Cara Uji Agregat Beton.
- SNI 1968. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1969. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1970. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1972. (2008). Cara Uji Slump Beton. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1974. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2049. (2004). Semen Portland. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2826. (2008). Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2834. (2000). Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 4142. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregate yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,0075 mm). Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 4804. (1998). Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Badan Standarisasi Nasional.

- Suhendra, Yamali, F. R., & Ningfuri, T. (2014). Karakteristik Material Bahan Konstruksi di Beberapa Lokasi dalam Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 14(4).
- Sujivorakul, C., Jaturapitakkul, C., & Taotip, A. (2011). Utilization of Fly Ash, Rice Husk Ash, and Palm Oil Fuel Ash in Glass Fiber–Reinforced Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(9), 1281–1288. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000299](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000299)
- Tjokrodinuljo, K. (2007). Teknologi Beton. Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Velayutham, T., & Ashok Kumar, N. (2019). Experimental Research on Rice Husk Ash as Replacement to Cement in Construction Industry. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2S8), 1197–1200. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1037.0882S819>
- Waani, J. E., & Elisabeth, L. (2017). Substitusi Material Pozolan terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3).
- Wangler, T., Roussel, N., Bos, F. P., Salet, T. A. M., & Flatt, R. J. (2019). Digital Concrete: A Review. *Cement and Concrete Research*, 123, 105780. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.105780>
- Wariyatno, N. G., & Haryanto, Y. (2013). Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Sebagai Nilai Estimasi Kekuatan Sisa pada Beton Serat Kasa Aluminiumakibat Variasi Suhu. 9(1).
- Widjojoko, L. (2010). Pengaruh Sifat Kimia terhadap Unjuk Kerja Mortar. *Jurnal Teknik Sipil UBL*, 1, 52–59.
- Zaffar, S., Kumar, A., Memon, N. A., Kumar, R., & Saand, A. (2022). Investigating Optimum Conditions for Developing Pozzolanic Ashes from Organic Wastes as Cement Replacing Materials. *Materials*, 15(6), 2320. <https://doi.org/10.3390/ma15062320>

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat**

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT  
HALUS  
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- Rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	488	486	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt), gram	1156	1159	1157,5
Berat piknometer berisi air (B), gram	858	858	858
Berat jenis curah, $(Bk/(B+500-Bt))$	2,42	2,44	2,43
Berat jenis kering muka, $(500/(B+500-Bt))$	2,48	2,51	2,49
Berat jenis semu, $(Bk/(B+Bk-Bt))$	2,57	2,63	2,60
Penyerapan air, $((500-Bk)/(Bk \times 100))$	2,46%	2,88%	2,67%

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB)/ANALISIS  
SARINGAN AGREGAT HALUS  
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10	0	0,00	0,00	100
4,8	1	0,05	0,05	99,95
2,4	155	7,76	7,81	92,19
1,2	366	18,32	26,13	73,87
0,6	665	33,28	59,41	40,59
0,3	532	26,63	86,04	13,96
0,15	217	10,86	96.,90	3,10
Pan	62	3,10		
<b>Jumlah</b>	1998	100	276,33	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{276,33}{100} \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 2,76 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 1,5 – 3,8 (SK SNI S-04-1989-F).

### Gradasi Agregat Halus

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

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

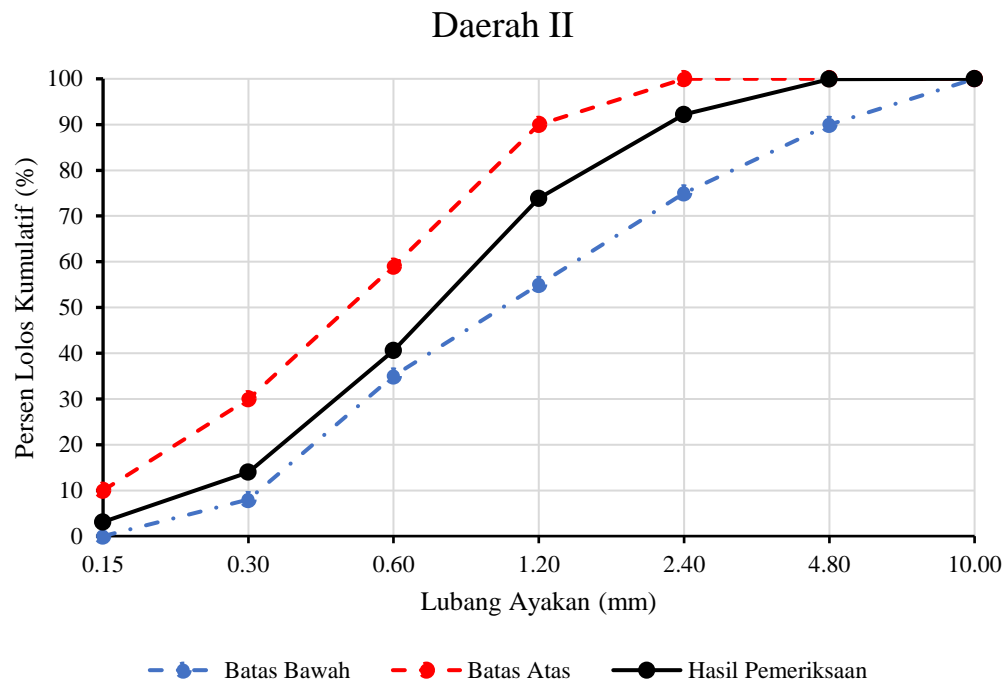
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

### Hasil Analisis Saringan

Pasir masuk daerah : Daerah II

Jenis pasir : Pasir Agak Kasar



**GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS**

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB)/ANALISIS  
SARINGAN AGREGAT HALUS  
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40				
20				
10	0	0,00	0,00	100
4,8	1	0,05	0,05	99,95
2,4	160	8,02	8,07	91,93
1,2	361	18,09	26,15	73,85
0,6	647	32,41	58,57	41,43
0,3	535	26,80	85,37	14,63
0,15	223	11,17	96,54	3,46
Pan	69	3,46		
<b>Jumlah</b>	1996	100	274,75	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{274,75}{100} \\ &= 2,75 \end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 2,75 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 1,5 – 3,8 (SK SNI S-04-1989-F).

### Gradasi Agregat Halus

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

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

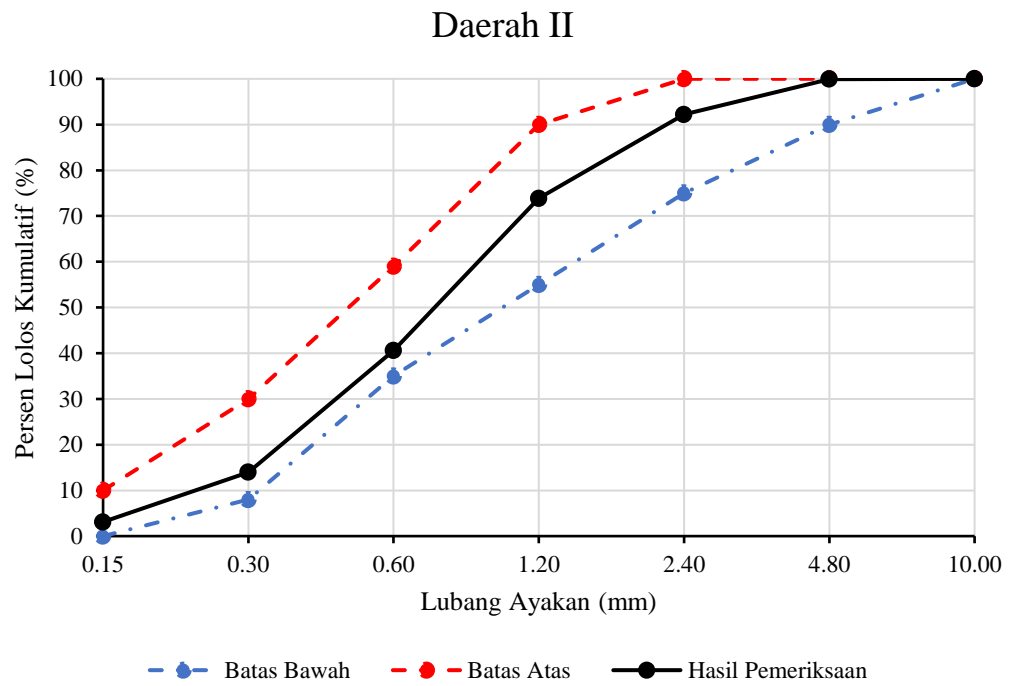
Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah IV : Pasir Halus

### Hasil Analisis Saringan

Pasir masuk daerah : Daerah II

Jenis pasir : Pasir Agak Kasar



**GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS**

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO.200/UJI  
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR  
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Ukuran Butir Maksimum	Berat Minimum	Keterangan
4,80 mm	500 gram	Pasir
9,60 mm	1000 gram	Kerikil
19,20 mm	1500 gram	Kerikil
38,00 mm	2500 gram	Kerikil

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	496	498	497
Persentase yang lolos ayakan No.200 [(W1-W2/W1)]×100	0,80%	0,40%	0,60%

## PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,80 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat tabung (W1), gram	11043	11043	11043
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17806	17769	17787,5
Berat agregat (W3), gram	6763	6726	6744,5
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5161,01	5161,01	5161,01
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,31	1,30	1,31

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{6744,5}{5161,01} \\
 &= 1,31 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

### PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,80 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat tabung (W1), gram	11043	11043	11043
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18925	18921	18923
Berat agregat (W3), gram	7882	7878	7880
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5161,01	5161,01	5161,01
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,53	1,53	1,53

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{7880}{5161,01} \\
 &= 1,53 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT  
KASAR  
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- Rata
Berat pasir kering mutlak (Bk), gram	4883	4874	4878,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air (Ba), gram	3113	3109	3111
Berat jenis curah, $(Bk/(B+500-Bt))$	2,59	2,58	2,58
Berat jenis kering muka, $(500/(B+500-Bt))$	2,65	2,64	2,65
Berat jenis semu, $(Bk/(B+Bk-Bt))$	2,76	2,76	2,76
Penyerapan air, $((500-Bk)/(Bk \times 100))$	2,40%	2,59%	2,49%

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB)/ANALISIS  
SARINGAN AGREGAT KASAR  
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

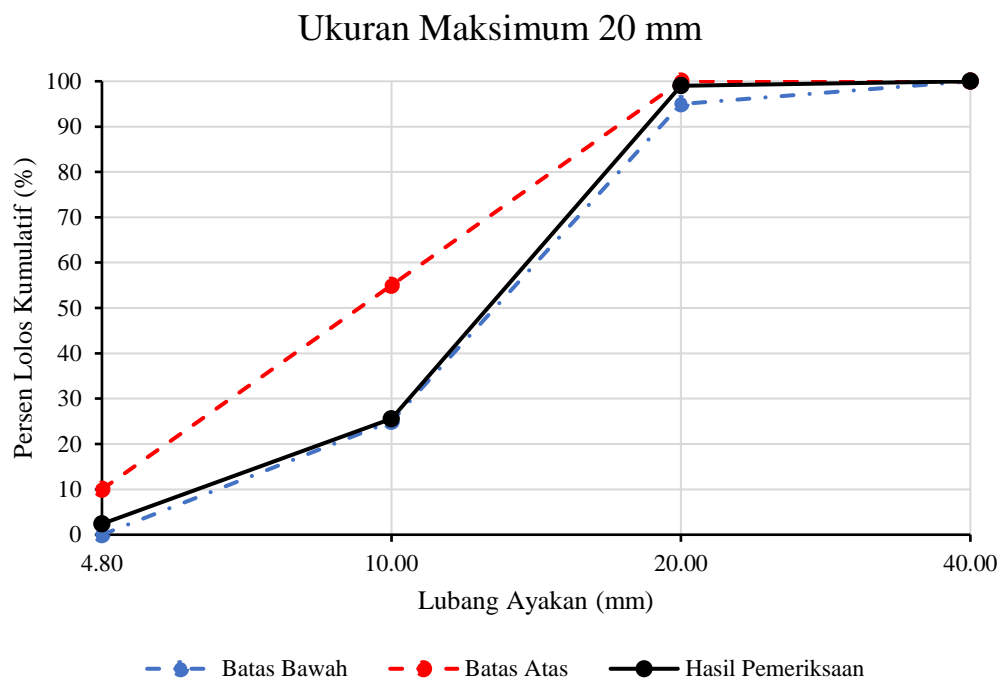
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100
20	49	0,98	0,98	99,02
10	3671	73,46	74,44	25,56
4,8	1158	23,17	97,62	2,38
2,4	21	0,42	98,04	1,96
1,2	12	0,24	98,28	1,72
0,6	0	0,24	98,28	1,72
0,3	0	0,24	98,28	1,72
0,15	0	0,24	98,28	1,72
Pan	86	1,72		
<b>Jumlah</b>	4997	100	664,20	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{664,20}{100} \\ &= \mathbf{6,64} \end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 6,64 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 5 – 8 (SK SNI S-04-1989-F).

### Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10



**GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR**

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB)/ANALISIS  
SARINGAN AGREGAT KASAR  
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

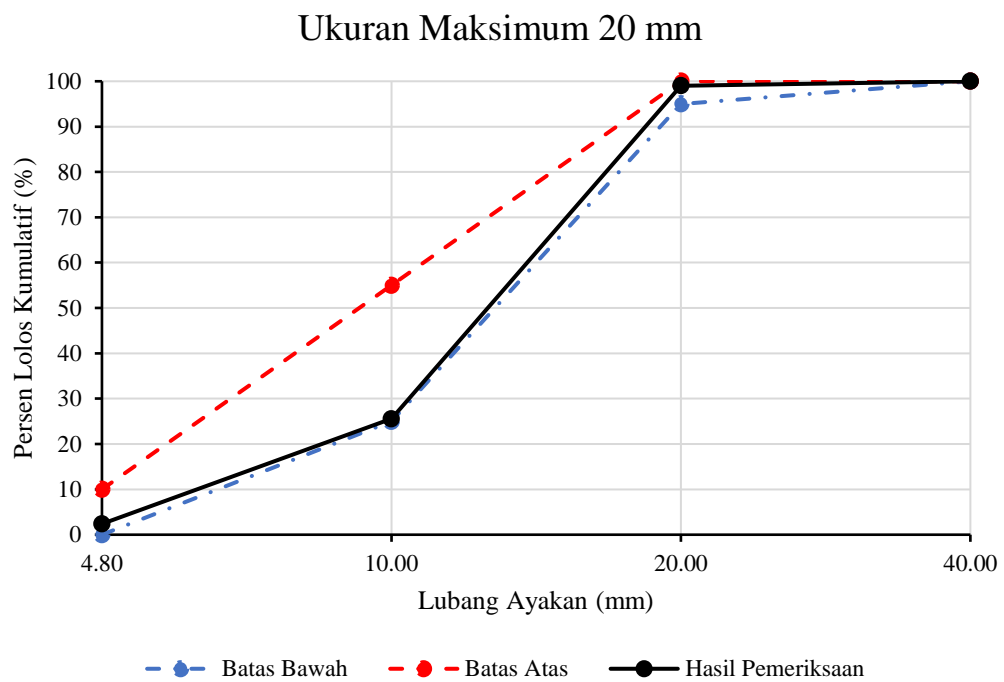
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,00	0,00	100
20	99	1,80	1,80	98,20
10	3581	71,66	73,46	26,54
4,8	1212	24,25	97,72	2,28
2,4	18	0,36	98,08	1,92
1,2	8	0,16	98,24	1,76
0,6	0	0,16	98,24	1,76
0,3	0	0,16	98,24	1,76
0,15	0	0,16	98,24	1,76
Pan	89	1,78		
<b>Jumlah</b>	4998	100	664,02	

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{664,02}{100} \\ &= \mathbf{6,64} \end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 6,64 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 5 – 8 (SK SNI S-04-1989-F).

### Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Agregat	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10



**GAMBAR ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR**

### PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,90 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat tabung (W1), gram	11047	11047	11047
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18109	18174	18141,5
Berat agregat (W3), gram	7062	6767	6914,5
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5230,99	5230,99	5230,99
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,35	1,29	1,32

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{6914,5}{5230,99} \\
 &= 1,32 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

### PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,90 cm
Tinggi Silinder	30 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-Rata
Berat tabung (W1), gram	11047	11047	11047
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	19084	19096	19090
Berat agregat (W3), gram	8037	8049	8043
Volume tabung (V), cm <sup>3</sup>	5230,99	5230,99	5230,99
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm <sup>3</sup>	1,54	1,54	1,54

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume tabung}} \\
 &= \frac{8043}{5230,99} \\
 &= 1,54 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

**Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton**

<b>Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)</b>			
<b>No</b>	<b>Uraian</b>	<b>Nilai</b>	<b>Satuan</b>
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	30	MPa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai tambah/margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	42	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
	Jenis agregat halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (fas)	0,46	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	Fas digunakan	0,46	
9	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m <sup>3</sup>
12	Kadar semen	445,65	kg/m <sup>3</sup>
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m <sup>3</sup>
14	Kadar semen minimum	275	kg/m <sup>3</sup>
15	Kadar semen digunakan	445,65	kg/m <sup>3</sup>
16	Fas disesuaikan	0,46	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,65	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,49	
19	Persen agregat halus	40,75	%
20	Persen agregat kasar	59,25	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,58	
22	Berat isi beton	2331,25	kg/m <sup>3</sup>
23	Kadar agregat gabungan	1680,60	kg/m <sup>3</sup>
24	Kadar agregat halus	684,84	kg/m <sup>3</sup>
25	Kadar agregat kasar	995,75	kg/m <sup>3</sup>
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,50	kg/m <sup>3</sup>
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	787,57	kg/m <sup>3</sup>
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1145,12	kg/m <sup>3</sup>
29	Kadar air dengan angka penyusutan	235,75	kg/m <sup>3</sup>

### Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
0%	7 Hari	1	152,1	303,0	0,005505	12,842	2332,608	2322,010
		2	152,5	302,7	0,005529	12,694	2295,919	
		3	150,2	302,5	0,005360	12,754	2379,531	
		4	150,5	300,5	0,005346	12,535	2344,860	
		5	151,2	299,5	0,005378	12,138	2257,131	
	28 Hari	1	150,9	302,5	0,005410	12,419	2295,582	2336,044
		2	151,6	300,5	0,005424	12,513	2306,900	
		3	151,0	301,0	0,005390	12,671	2350,718	
		4	149,8	300,0	0,005287	12,679	2398,006	
		5	151,2	302,5	0,005431	12,65	2329,012	
2%	7 Hari	1	150,5	302,0	0,005372	12,597	2344,754	2307,645
		2	151,0	303,0	0,005426	12,560	2314,745	
		3	150,0	300,5	0,005310	12,399	2334,908	
		4	151,1	302,6	0,005426	12,496	2302,943	
		5	153,7	301,8	0,005600	12,548	2240,875	
	28 Hari	1	151,2	303,0	0,005440	12,658	2326,639	2330,251
		2	152,7	303,0	0,005549	12,578	2266,736	
		3	151,0	301,2	0,005394	12,412	2301,140	
		4	149,5	302,5	0,005310	12,585	2370,039	
		5	150,4	300,2	0,005333	12,729	2386,701	

Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
4%	7 Hari	1	152,0	300,8	0,005458	12,420	2275,447	2298,007
		2	150,0	301,1	0,005321	12,359	2322,738	
		3	150,8	301,2	0,005380	12,305	2287,358	
		4	151,6	300,2	0,005419	12,306	2271,004	
		5	149,8	300,1	0,005289	12,342	2333,491	
	28 Hari	1	149,8	300,0	0,005287	12,579	2379,093	2314,338
		2	149,5	301,0	0,005284	12,304	2328,668	
		3	151,5	300,2	0,005412	12,386	2288,786	
		4	151,0	303,8	0,005440	12,432	2285,122	
		5	151,5	302,0	0,005444	12,467	2290,023	
5%	7 Hari	1	150,0	299,8	0,005298	12,157	2294,681	2295,258
		2	150,2	299,5	0,005307	12,272	2312,537	
		3	151,2	300,0	0,005387	12,372	2296,811	
		4	150,1	302,2	0,005347	12,421	2322,795	
		5	152,0	303,0	0,005498	12,368	2249,468	
	28 Hari	1	152,2	299,1	0,005442	12,465	2290,639	2300,443
		2	151,8	301,8	0,005462	12,471	2283,225	
		3	150,2	300,0	0,005316	12,318	2317,337	
		4	150,0	300,0	0,005301	12,389	2336,913	
		5	151,8	300,8	0,005444	12,380	2274,099	



Variasi Kadar RHA +WSA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
6%	7 Hari	1	150,5	302,1	0,005374	12,486	2323,324	2291,661
		2	151,0	300,8	0,005387	12,259	2275,797	
		3	151,0	301,0	0,005390	12,483	2315,841	
		4	151,8	301,2	0,005451	12,358	2267,043	
		5	150,7	302,4	0,005394	12,278	2276,300	
	28 Hari	1	152,0	302,0	0,005480	12,337	2251,260	2293,379
		2	151,8	300,5	0,005438	12,337	2268,463	
		3	150,0	296,5	0,005240	12,176	2323,847	
		4	149,2	300,2	0,005249	12,304	2344,273	
		5	151,2	301,8	0,005419	12,350	2279,052	
8%	7 Hari	1	151,2	300,7	0,005399	12,339	2285,352	2288,046
		2	151,5	302,0	0,005444	12,388	2275,512	
		3	150,5	299,2	0,005323	12,344	2319,164	
		4	153,0	301,3	0,005540	12,372	2233,408	
		5	149,8	300,5	0,005296	12,323	2326,797	
	28 Hari	1	151,0	300,2	0,005376	12,299	2287,786	2286,725
		2	150,5	303,0	0,005390	12,278	2277,834	
		3	150,2	302,0	0,005351	12,209	2281,620	
		4	150,0	299,7	0,005296	12,215	2306,398	
		5	150,0	302,7	0,005349	12,196	2279,988	

Disahkan oleh:

Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Diperiksa oleh:

Ka. Lab Bahan Konstruksi Teknik

Di data oleh:

PLP/Laboran Konstruksi Teknik

(Ir. Berlian Kushari, M. Eng., IPM., ASEAN.Eng.)

Tanggal:

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

Tanggal:

(Daru Salam, A.Md.)

Tanggal:

#### Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
0%	7 Hari	1	152,1	18169,723	375,8	20,683	22,675
		2	152,5	18265,416	362,8	19,863	
		3	150,2	17718,614	475,1	26,814	
		4	150,5	17789,465	463,9	26,077	
		5	151,2	17955,333	358	19,938	
	28 Hari	1	150,9	17884,152	597,4	33,404	32,112
		2	151,6	18050,460	565	31,301	
		3	151	17907,864	539,8	30,143	
		4	149,8	17624,366	572,2	32,466	
		5	151,2	17955,333	596,9	33,244	
2%	7 Hari	1	150,5	17789,465	479,3	26,943	23,165
		2	151	17907,864	450,4	25,151	
		3	150	17671,459	364,6	20,632	
		4	151,1	17931,590	384,9	21,465	
		5	153,7	18554,003	401,4	21,634	
	28 Hari	1	151,2	17955,333	542,5	30,214	31,475
		2	152,7	18313,357	549,7	30,016	
		3	151	17907,864	540,9	30,205	
		4	149,5	17553,845	583,5	33,241	
		5	150,4	17765,832	598,7	33,700	

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
4%	7 Hari	1	152	18145,839	192	10,581	23,270
		2	150	17671,459	462,5	26,172	
		3	150,8	17860,457	466	26,091	
		4	151,6	18050,460	488,2	27,046	
		5	149,8	17624,366	466,3	26,458	
	28 Hari	1	149,8	17624,366	583	33,079	31,801
		2	149,5	17553,845	600,8	34,226	
		3	151,5	18026,655	549,4	30,477	
		4	151	17907,864	542,3	30,283	
		5	151,5	18026,655	557,7	30,938	
5%	7 Hari	1	150	17671,459	404	22,862	23,880
		2	150,2	17718,614	451,5	25,482	
		3	151,2	17955,333	430	23,948	
		4	150,1	17695,028	381,5	21,560	
		5	152	18145,839	463,6	25,549	
	28 Hari	1	152,2	18193,623	605,7	33,292	32,894
		2	151,8	18098,118	551	30,445	
		3	150,2	17718,614	582,1	32,852	
		4	150	17671,459	601,1	34,015	
		5	151,8	18098,118	612,9	33,865	

Variasi Kadar RHA+W SA	Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)
6%	7 Hari	1	150,5	17789,465	418,7	23,536	21,300
		2	151	17907,864	234,6	13,100	
		3	151	17907,864	402,9	22,498	
		4	151,8	18098,118	464,6	25,671	
		5	150,7	17836,777	386,9	21,691	
	28 Hari	1	152	18145,839	580,6	31,996	31,217
		2	151,8	18098,118	543,2	30,014	
		3	150	17671,459	540,4	30,580	
		4	149,2	17483,466	524,6	30,005	
		5	151,2	17955,333	601,3	33,489	
8%	7 Hari	1	151,2	17955,333	360	20,050	20,848
		2	151,5	18026,655	409	22,689	
		3	150,5	17789,465	375,1	21,086	
		4	153	18385,386	369,1	20,076	
		5	149,8	17624,366	358,5	20,341	



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

8%	28 Hari	1	151	17907,864	541,9	30,260	30,600
		2	150,5	17789,465	541	30,411	
		3	150,2	17718,614	533,4	30,104	
		4	150	17671,459	559,7	31,673	
		5	150	17671,459	539,9	30,552	

Disahkan oleh:

Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Diperiksa oleh:

Ka. Lab Bahan Konstruksi Teknik

Di data oleh:

PLP/Laboran Konstruksi Teknik

(Ir. Berlian Kushari, M. Eng., IPM., ASEAN.Eng.)

Tanggal:

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

Tanggal:

(Daru Salam, A.Md.)

Tanggal:

## Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

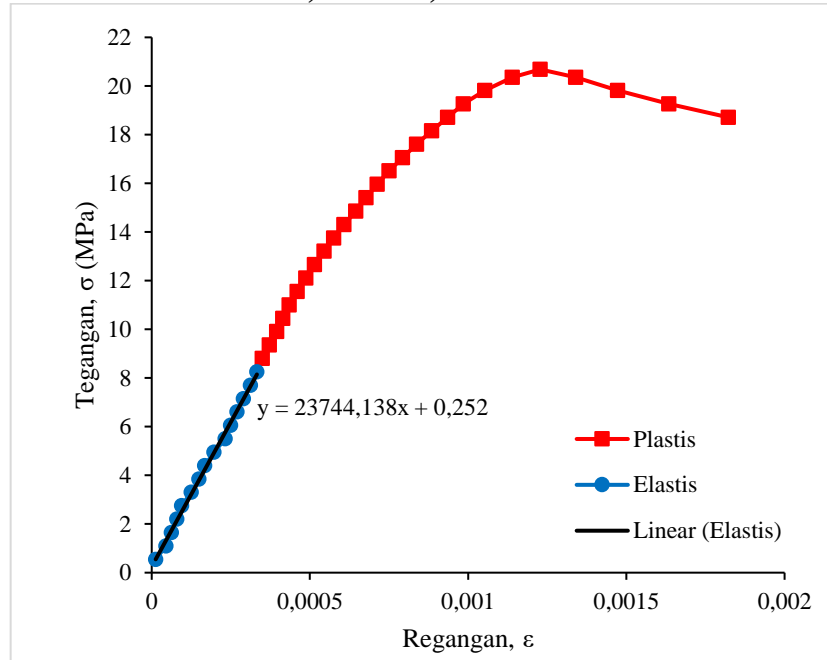
### Modulus Elastisitas Beton C-0-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,683 MPa
Diameter	152,1 mm
Tinggi	303 mm
Luas	18169,72 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5504
20	18	0,00900	0,0000450	1,1007
30	25	0,01250	0,0000625	1,6511
40	32	0,01600	0,0000800	2,2015
50	38	0,01900	0,0000950	2,7518
60	50	0,02500	0,0001250	3,3022
70	60	0,03000	0,0001500	3,8526
80	67	0,03350	0,0001675	4,4029
90	79	0,03950	0,0001975	4,9533
100	93	0,04650	0,0002325	5,5037
110	100	0,05000	0,0002500	6,0540
120	108	0,05400	0,0002700	6,6044
130	116	0,05800	0,0002900	7,1548
140	125	0,06250	0,0003125	7,7051
150	133	0,06650	0,0003325	8,2555
160	140	0,07000	0,0003500	8,8059
170	149	0,07450	0,0003725	9,3562
180	158	0,07900	0,0003950	9,9066
190	166	0,08300	0,0004150	10,4570
200	174	0,08700	0,0004350	11,0073
210	184	0,09200	0,0004600	11,5577
220	195	0,09750	0,0004875	12,1081
230	206	0,10300	0,0005150	12,6584
240	218	0,10900	0,0005450	13,2088

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
250	230	0,11500	0,0005750	13,7592
260	243	0,12150	0,0006075	14,3095
270	258	0,12900	0,0006450	14,8599
280	271	0,13550	0,0006775	15,4103
290	285	0,14250	0,0007125	15,9606
300	300	0,15000	0,0007500	16,5110
310	317	0,15850	0,0007925	17,0613
320	335	0,16750	0,0008375	17,6117
330	354	0,17700	0,0008850	18,1621
340	374	0,18700	0,0009350	18,7124
350	394	0,19700	0,0009850	19,2628
360	421	0,21050	0,0010525	19,8132
370	456	0,22800	0,0011400	20,3635
375,8	491	0,24550	0,0012275	20,6828
370	536	0,26800	0,0013400	20,3635
360	589	0,29450	0,0014725	19,8132
350	654	0,32700	0,0016350	19,2628
340	729	0,36450	0,0018225	18,7124

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 7 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas	
E uji	23744,138 MPa
E teoritis	26310,562 MPa
E uji / E teoritis	90,246 %

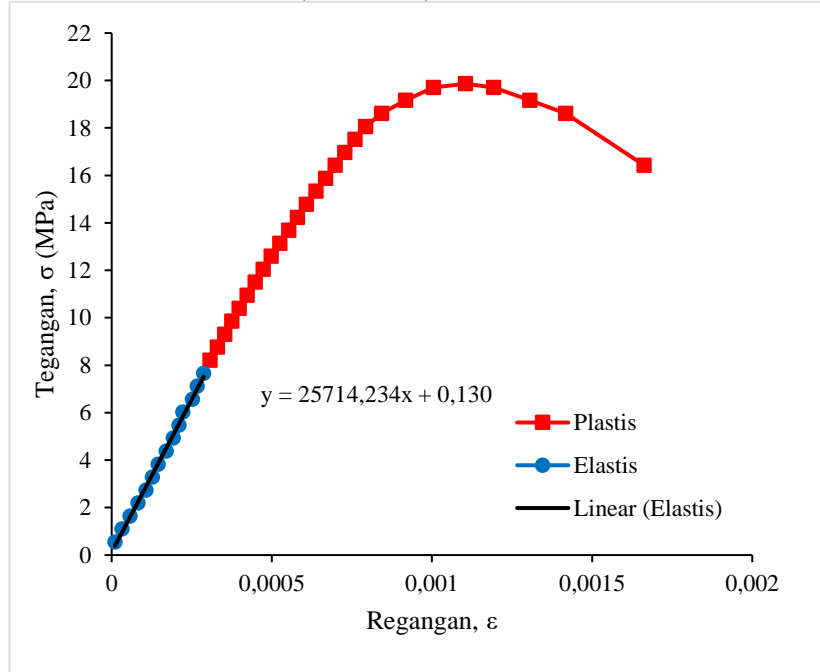
## Modulus Elastisitas Beton C-0-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	19,863 MPa
Diameter	152,5 mm
Tinggi	302,7 mm
Luas	18265,42 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5475
20	13	0,00650	0,0000325	1,0950
30	23	0,01150	0,0000575	1,6424
40	33	0,01650	0,0000825	2,1899
50	43	0,02150	0,0001075	2,7374
60	51	0,02550	0,0001275	3,2849
70	58	0,02900	0,0001450	3,8324
80	68	0,03400	0,0001700	4,3799
90	77	0,03850	0,0001925	4,9273
100	84	0,04200	0,0002100	5,4748
110	89	0,04450	0,0002225	6,0223
120	101	0,05050	0,0002525	6,5698
130	107	0,05350	0,0002675	7,1173
140	115	0,05750	0,0002875	7,6648
150	123	0,06150	0,0003075	8,2122
160	132	0,06600	0,0003300	8,7597
170	141	0,07050	0,0003525	9,3072
180	150	0,07500	0,0003750	9,8547
190	159	0,07950	0,0003975	10,4022
200	169	0,08450	0,0004225	10,9497
210	179	0,08950	0,0004475	11,4971
220	189	0,09450	0,0004725	12,0446
230	199	0,09950	0,0004975	12,5921
240	210	0,10500	0,0005250	13,1396
250	221	0,11050	0,0005525	13,6871

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
260	232	0,11600	0,0005800	14,2346
270	243	0,12150	0,0006075	14,7820
280	255	0,12750	0,0006375	15,3295
290	267	0,13350	0,0006675	15,8770
300	279	0,13950	0,0006975	16,4245
310	291	0,14550	0,0007275	16,9720
320	304	0,15200	0,0007600	17,5194
330	317	0,15850	0,0007925	18,0669
340	337	0,16850	0,0008425	18,6144
350	367	0,18350	0,0009175	19,1619
360	402	0,20100	0,0010050	19,7094
362,8	442	0,22100	0,0011050	19,8627
360	477	0,23850	0,0011925	19,7094
350	522	0,26100	0,0013050	19,1619
340	567	0,28350	0,0014175	18,6144
300	665	0,33250	0,0016625	16,4245

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 7 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	25714,234 MPa
E teoritis	25783,671 MPa
E uji / E teoritis	99,731 %

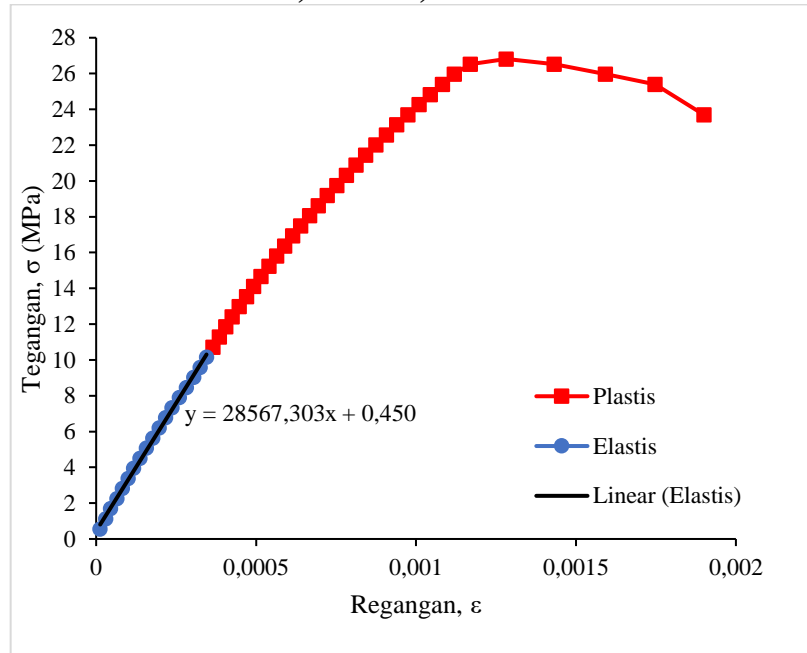
### Modulus Elastisitas Beton C-0-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,814 MPa
Diameter	150,2 mm
Tinggi	302,5 mm
Luas	17718,61 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5644
20	12	0,00600	0,0000300	1,1288
30	18	0,00900	0,0000450	1,6931
40	26	0,01300	0,0000650	2,2575
50	33	0,01650	0,0000825	2,8219
60	40	0,02000	0,0001000	3,3863
70	47	0,02350	0,0001175	3,9506
80	55	0,02750	0,0001375	4,5150
90	63	0,03150	0,0001575	5,0794
100	71	0,03550	0,0001775	5,6438
110	79	0,03950	0,0001975	6,2082
120	87	0,04350	0,0002175	6,7725
130	95	0,04750	0,0002375	7,3369
140	104	0,05200	0,0002600	7,9013
150	113	0,05650	0,0002825	8,4657
160	122	0,06100	0,0003050	9,0301
170	130	0,06500	0,0003250	9,5944
180	138	0,06900	0,0003450	10,1588
190	146	0,07300	0,0003650	10,7232
200	154	0,07700	0,0003850	11,2876
210	162	0,08100	0,0004050	11,8519
220	170	0,08500	0,0004250	12,4163
230	179	0,08950	0,0004475	12,9807
240	188	0,09400	0,0004700	13,5451
250	197	0,09850	0,0004925	14,1095
260	206	0,10300	0,0005150	14,6738
270	216	0,10800	0,0005400	15,2382

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	226	0,11300	0,0005650	15,8026
290	236	0,11800	0,0005900	16,3670
300	246	0,12300	0,0006150	16,9313
310	256	0,12800	0,0006400	17,4957
320	267	0,13350	0,0006675	18,0601
330	278	0,13900	0,0006950	18,6245
340	289	0,14450	0,0007225	19,1889
350	301	0,15050	0,0007525	19,7532
360	313	0,15650	0,0007825	20,3176
370	325	0,16250	0,0008125	20,8820
380	337	0,16850	0,0008425	21,4464
390	350	0,17500	0,0008750	22,0108
400	363	0,18150	0,0009075	22,5751
410	376	0,18800	0,0009400	23,1395
420	390	0,19500	0,0009750	23,7039
430	404	0,20200	0,0010100	24,2683
440	418	0,20900	0,0010450	24,8326
450	433	0,21650	0,0010825	25,3970
460	448	0,22400	0,0011200	25,9614
470	468	0,23400	0,0011700	26,5258
475,1	513	0,25650	0,0012825	26,8136
470	573	0,28650	0,0014325	26,5258
460	637	0,31850	0,0015925	25,9614
450	699	0,34950	0,0017475	25,3970
420	760	0,38000	0,0019000	23,7039

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 7 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	28567,303 MPa
E teoritis	29957,36 MPa
E uji / E teoritis	95,360 %

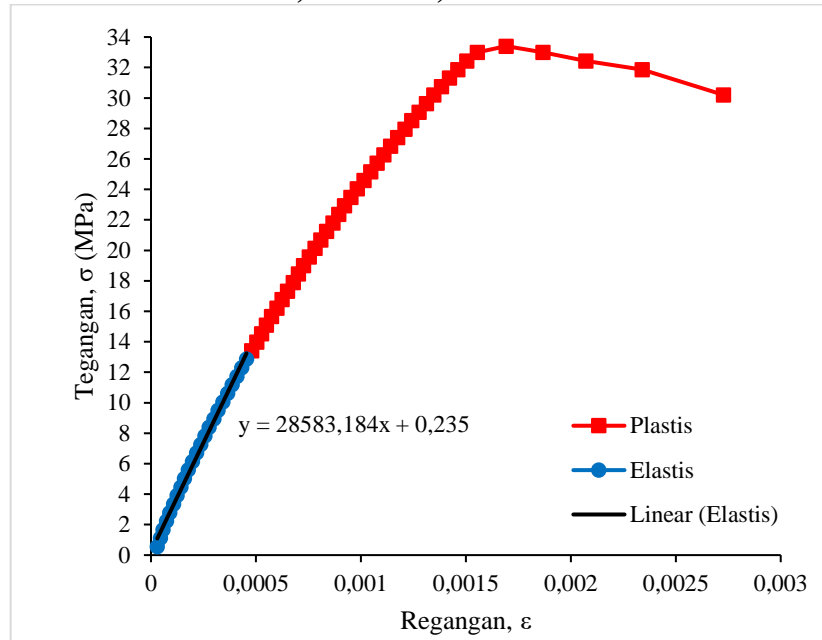
### Modulus Elastisitas Beton C-0-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	33,404 MPa
Diameter	150,9 mm
Tinggi	302,5 mm
Luas	17884,15 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	12	0,00600	0,0000300	0,5592
20	18	0,00900	0,0000450	1,1183
30	23	0,01150	0,0000575	1,6775
40	30	0,01500	0,0000750	2,2366
50	36	0,01800	0,0000900	2,7958
60	43	0,02150	0,0001075	3,3549
70	50	0,02500	0,0001250	3,9141
80	57	0,02850	0,0001425	4,4732
90	64	0,03200	0,0001600	5,0324
100	71	0,03550	0,0001775	5,5915
110	79	0,03950	0,0001975	6,1507
120	87	0,04350	0,0002175	6,7099
130	95	0,04750	0,0002375	7,2690
140	103	0,05150	0,0002575	7,8282
150	111	0,05550	0,0002775	8,3873
160	120	0,06000	0,0003000	8,9465
170	128	0,06400	0,0003200	9,5056
180	137	0,06850	0,0003425	10,0648
190	146	0,07300	0,0003650	10,6239
200	155	0,07750	0,0003875	11,1831
210	164	0,08200	0,0004100	11,7422
220	173	0,08650	0,0004325	12,3014
230	182	0,09100	0,0004550	12,8605
240	192	0,09600	0,0004800	13,4197
250	202	0,10100	0,0005050	13,9789
260	211	0,10550	0,0005275	14,5380
270	220	0,11000	0,0005500	15,0972

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	230	0,11500	0,0005750	15,6563
290	240	0,12000	0,0006000	16,2155
300	250	0,12500	0,0006250	16,7746
310	260	0,13000	0,0006500	17,3338
320	271	0,13550	0,0006775	17,8929
330	281	0,14050	0,0007025	18,4521
340	291	0,14550	0,0007275	19,0112
350	302	0,15100	0,0007550	19,5704
360	313	0,15650	0,0007825	20,1296
370	324	0,16200	0,0008100	20,6887
380	335	0,16750	0,0008375	21,2479
390	347	0,17350	0,0008675	21,8070
400	358	0,17900	0,0008950	22,3662
410	369	0,18450	0,0009225	22,9253
420	381	0,19050	0,0009525	23,4845
430	393	0,19650	0,0009825	24,0436
440	406	0,20300	0,0010150	24,6028
450	419	0,20950	0,0010475	25,1619
460	431	0,21550	0,0010775	25,7211
470	444	0,22200	0,0011100	26,2803
480	457	0,22850	0,0011425	26,8394
490	470	0,23500	0,0011750	27,3986
500	484	0,24200	0,0012100	27,9577
510	497	0,24850	0,0012425	28,5169
520	511	0,25550	0,0012775	29,0760
530	525	0,26250	0,0013125	29,6352
540	539	0,26950	0,0013475	30,1943
550	554	0,27700	0,0013850	30,7535
560	569	0,28450	0,0014225	31,3126
570	585	0,29250	0,0014625	31,8718
580	602	0,30100	0,0015050	32,4309
590	622	0,31100	0,0015550	32,9901
597,4	677	0,33850	0,0016925	33,4039
590	747	0,37350	0,0018675	32,9901
580	829	0,41450	0,0020725	32,4309
570	936	0,46800	0,0023400	31,8718
540	1091	0,54550	0,0027275	30,1943

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 28 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas		
E uji	28583,184	MPa
E teoritis	29997,797	MPa
E uji / E teoritis	95,284	%

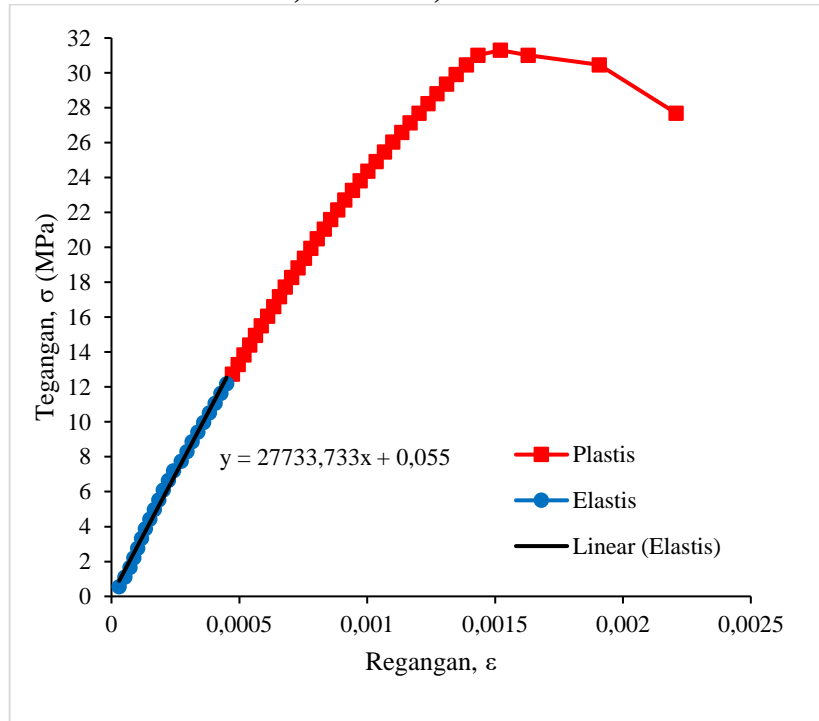
## Modulus Elastisitas Beton C-0-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	31,301 MPa
Diameter	151,6 mm
Tinggi	300,5 mm
Luas	18050,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	12	0,00600	0,0000300	0,5540
20	21	0,01050	0,0000525	1,1080
30	29	0,01450	0,0000725	1,6620
40	35	0,01750	0,0000875	2,2160
50	41	0,02050	0,0001025	2,7700
60	47	0,02350	0,0001175	3,3240
70	53	0,02650	0,0001325	3,8780
80	60	0,03000	0,0001500	4,4320
90	67	0,03350	0,0001675	4,9860
100	74	0,03700	0,0001850	5,5400
110	81	0,04050	0,0002025	6,0940
120	89	0,04450	0,0002225	6,6480
130	97	0,04850	0,0002425	7,2020
140	109	0,05450	0,0002725	7,7560
150	118	0,05900	0,0002950	8,3100
160	126	0,06300	0,0003150	8,8640
170	135	0,06750	0,0003375	9,4180
180	144	0,07200	0,0003600	9,9720
190	153	0,07650	0,0003825	10,5260
200	162	0,08100	0,0004050	11,0800
210	171	0,08550	0,0004275	11,6341
220	180	0,09000	0,0004500	12,1881
230	189	0,09450	0,0004725	12,7421
240	198	0,09900	0,0004950	13,2961
250	207	0,10350	0,0005175	13,8501
260	216	0,10800	0,0005400	14,4041
270	225	0,11250	0,0005625	14,9581

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	234	0,11700	0,0005850	15,5121
290	244	0,12200	0,0006100	16,0661
300	254	0,12700	0,0006350	16,6201
310	263	0,13150	0,0006575	17,1741
320	272	0,13600	0,0006800	17,7281
330	282	0,14100	0,0007050	18,2821
340	292	0,14600	0,0007300	18,8361
350	302	0,15100	0,0007550	19,3901
360	312	0,15600	0,0007800	19,9441
370	322	0,16100	0,0008050	20,4981
380	333	0,16650	0,0008325	21,0521
390	343	0,17150	0,0008575	21,6061
400	354	0,17700	0,0008850	22,1601
410	365	0,18250	0,0009125	22,7141
420	377	0,18850	0,0009425	23,2681
430	389	0,19450	0,0009725	23,8221
440	401	0,20050	0,0010025	24,3761
450	414	0,20700	0,0010350	24,9301
460	427	0,21350	0,0010675	25,4841
470	440	0,22000	0,0011000	26,0381
480	454	0,22700	0,0011350	26,5921
490	467	0,23350	0,0011675	27,1461
500	481	0,24050	0,0012025	27,7001
510	495	0,24750	0,0012375	28,2541
520	509	0,25450	0,0012725	28,8081
530	524	0,26200	0,0013100	29,3621
540	539	0,26950	0,0013475	29,9161
550	555	0,27750	0,0013875	30,4701
560	573	0,28650	0,0014325	31,0241
565	608	0,30400	0,0015200	31,3011
560	652	0,32600	0,0016300	31,0241
550	763	0,38150	0,0019075	30,4701
500	883	0,44150	0,0022075	27,7001

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 28 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	27733,733 MPa
E teoritis	29038,288 MPa
E uji / E teoritis	95,507 %

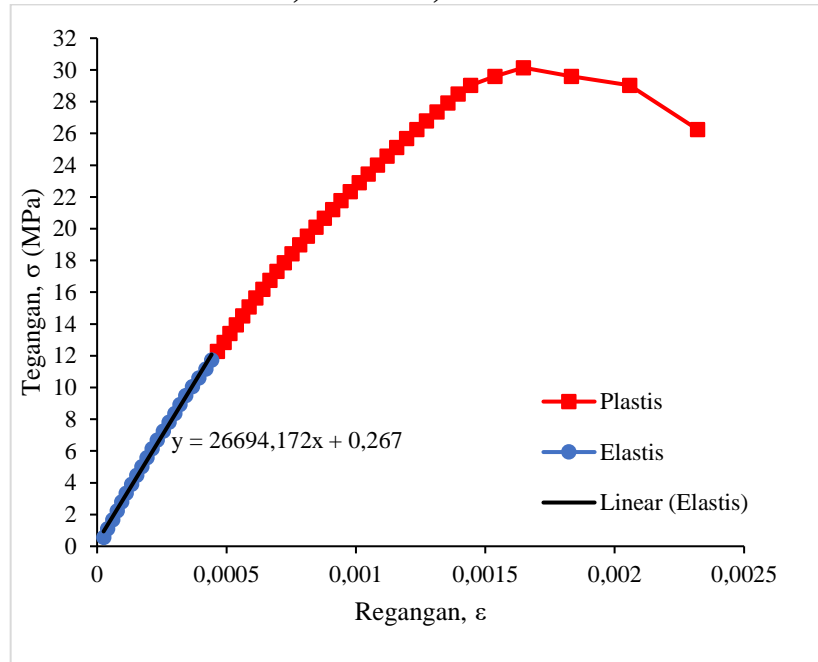
### Modulus Elastisitas Beton C-0-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	0%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,143 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	301 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5584
20	16	0,00800	0,0000400	1,1168
30	24	0,01200	0,0000600	1,6752
40	31	0,01550	0,0000775	2,2337
50	38	0,01900	0,0000950	2,7921
60	45	0,02250	0,0001125	3,3505
70	53	0,02650	0,0001325	3,9089
80	61	0,03050	0,0001525	4,4673
90	69	0,03450	0,0001725	5,0257
100	77	0,03850	0,0001925	5,5841
110	85	0,04250	0,0002125	6,1426
120	93	0,04650	0,0002325	6,7010
130	102	0,05100	0,0002550	7,2594
140	111	0,05550	0,0002775	7,8178
150	120	0,06000	0,0003000	8,3762
160	128	0,06400	0,0003200	8,9346
170	137	0,06850	0,0003425	9,4930
180	147	0,07350	0,0003675	10,0515
190	157	0,07850	0,0003925	10,6099
200	168	0,08400	0,0004200	11,1683
210	177	0,08850	0,0004425	11,7267
220	186	0,09300	0,0004650	12,2851
230	196	0,09800	0,0004900	12,8435
240	205	0,10250	0,0005125	13,4019
250	215	0,10750	0,0005375	13,9603
260	225	0,11250	0,0005625	14,5188
270	235	0,11750	0,0005875	15,0772

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	245	0,12250	0,0006125	15,6356
290	256	0,12800	0,0006400	16,1940
300	267	0,13350	0,0006675	16,7524
310	278	0,13900	0,0006950	17,3108
320	289	0,14450	0,0007225	17,8692
330	301	0,15050	0,0007525	18,4277
340	313	0,15650	0,0007825	18,9861
350	325	0,16250	0,0008125	19,5445
360	338	0,16900	0,0008450	20,1029
370	351	0,17550	0,0008775	20,6613
380	364	0,18200	0,0009100	21,2197
390	377	0,18850	0,0009425	21,7781
400	391	0,19550	0,0009775	22,3366
410	405	0,20250	0,0010125	22,8950
420	419	0,20950	0,0010475	23,4534
430	433	0,21650	0,0010825	24,0118
440	448	0,22400	0,0011200	24,5702
450	463	0,23150	0,0011575	25,1286
460	478	0,23900	0,0011950	25,6870
470	494	0,24700	0,0012350	26,2455
480	509	0,25450	0,0012725	26,8039
490	525	0,26250	0,0013125	27,3623
500	542	0,27100	0,0013550	27,9207
510	558	0,27900	0,0013950	28,4791
520	577	0,28850	0,0014425	29,0375
530	615	0,30750	0,0015375	29,5959
539,8	659	0,32950	0,0016475	30,1432
530	733	0,36650	0,0018325	29,5959
520	823	0,41150	0,0020575	29,0375
470	928	0,46400	0,0023200	26,2455

### Grafik Modulus Elastisitas 0%, 28 Hari, Silinder 3



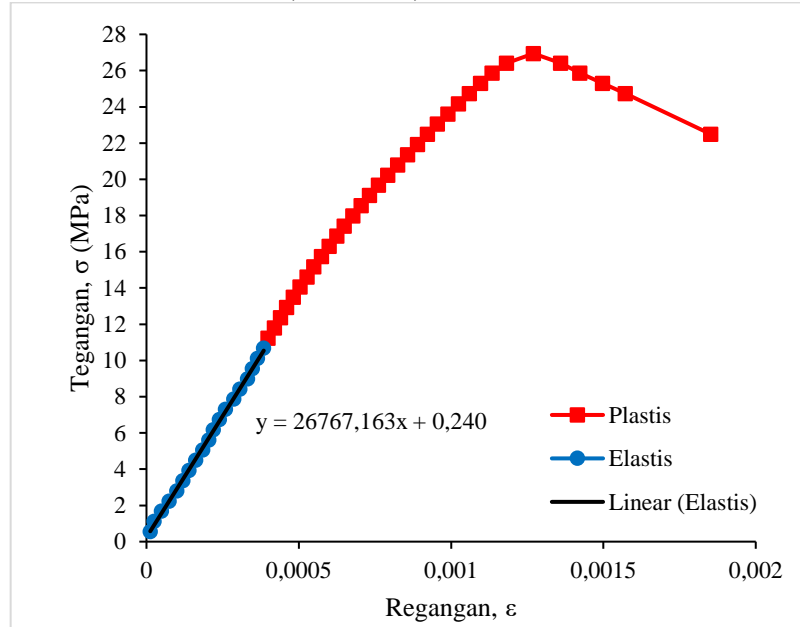
### Modulus Elastisitas Beton C-2-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,943 MPa
Diameter	150,5 mm
Tinggi	302 mm
Luas	17789,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5621
20	10	0,00500	0,0000250	1,1243
30	20	0,01000	0,0000500	1,6864
40	30	0,01500	0,0000750	2,2485
50	40	0,02000	0,0001000	2,8107
60	48	0,02400	0,0001200	3,3728
70	56	0,02800	0,0001400	3,9349
80	65	0,03250	0,0001625	4,4970
90	74	0,03700	0,0001850	5,0592
100	82	0,04100	0,0002050	5,6213
110	88	0,04400	0,0002200	6,1834
120	96	0,04800	0,0002400	6,7456
130	104	0,05200	0,0002600	7,3077
140	115	0,05750	0,0002875	7,8698
150	123	0,06150	0,0003075	8,4320
160	133	0,06650	0,0003325	8,9941
170	139	0,06950	0,0003475	9,5562
180	146	0,07300	0,0003650	10,1183
190	154	0,07700	0,0003850	10,6805
200	160	0,08000	0,0004000	11,2426
210	168	0,08400	0,0004200	11,8047
220	176	0,08800	0,0004400	12,3669
230	184	0,09200	0,0004600	12,9290
240	193	0,09650	0,0004825	13,4911
250	202	0,10100	0,0005050	14,0533
260	211	0,10550	0,0005275	14,6154
270	220	0,11000	0,0005500	15,1775

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	230	0,11500	0,0005750	15,7397
290	240	0,12000	0,0006000	16,3018
300	250	0,12500	0,0006250	16,8639
310	260	0,13000	0,0006500	17,4260
320	271	0,13550	0,0006775	17,9882
330	282	0,14100	0,0007050	18,5503
340	293	0,14650	0,0007325	19,1124
350	305	0,15250	0,0007625	19,6746
360	317	0,15850	0,0007925	20,2367
370	330	0,16500	0,0008250	20,7988
380	343	0,17150	0,0008575	21,3610
390	356	0,17800	0,0008900	21,9231
400	369	0,18450	0,0009225	22,4852
410	382	0,19100	0,0009550	23,0473
420	396	0,19800	0,0009900	23,6095
430	410	0,20500	0,0010250	24,1716
440	424	0,21200	0,0010600	24,7337
450	439	0,21950	0,0010975	25,2959
460	454	0,22700	0,0011350	25,8580
470	473	0,23650	0,0011825	26,4201
479,3	508	0,25400	0,0012700	26,9429
470	544	0,27200	0,0013600	26,4201
460	569	0,28450	0,0014225	25,8580
450	599	0,29950	0,0014975	25,2959
440	629	0,31450	0,0015725	24,7337
400	741	0,37050	0,0018525	22,4852

## Grafik Modulus Elastisitas 2%, 7 Hari, Silinder 1



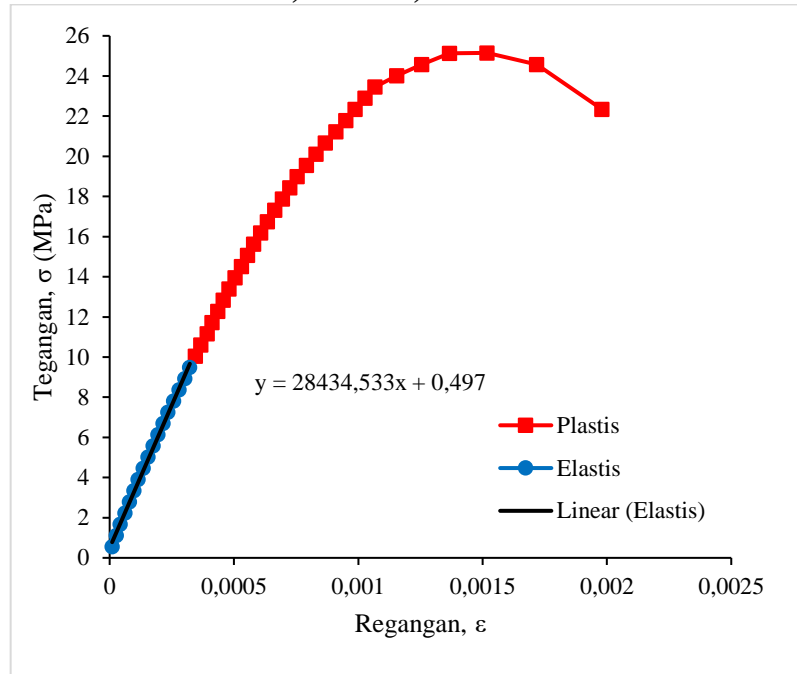
## Modulus Elastisitas Beton C-2-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,151 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	303 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5584
20	11	0,00550	0,0000275	1,1168
30	17	0,00850	0,0000425	1,6752
40	25	0,01250	0,0000625	2,2337
50	32	0,01600	0,0000800	2,7921
60	39	0,01950	0,0000975	3,3505
70	46	0,02300	0,0001150	3,9089
80	54	0,02700	0,0001350	4,4673
90	62	0,03100	0,0001550	5,0257
100	70	0,03500	0,0001750	5,5841
110	78	0,03900	0,0001950	6,1426
120	86	0,04300	0,0002150	6,7010
130	94	0,04700	0,0002350	7,2594
140	103	0,05150	0,0002575	7,8178
150	112	0,05600	0,0002800	8,3762
160	121	0,06050	0,0003025	8,9346
170	129	0,06450	0,0003225	9,4930
180	138	0,06900	0,0003450	10,0515
190	147	0,07350	0,0003675	10,6099
200	157	0,07850	0,0003925	11,1683
210	165	0,08250	0,0004125	11,7267
220	174	0,08700	0,0004350	12,2851
230	183	0,09150	0,0004575	12,8435
240	192	0,09600	0,0004800	13,4019
250	202	0,10100	0,0005050	13,9603
260	212	0,10600	0,0005300	14,5188
270	222	0,11100	0,0005550	15,0772

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	232	0,11600	0,0005800	15,6356
290	243	0,12150	0,0006075	16,1940
300	254	0,12700	0,0006350	16,7524
310	266	0,13300	0,0006650	17,3108
320	278	0,13900	0,0006950	17,8692
330	290	0,14500	0,0007250	18,4277
340	302	0,15100	0,0007550	18,9861
350	317	0,15850	0,0007925	19,5445
360	332	0,16600	0,0008300	20,1029
370	347	0,17350	0,0008675	20,6613
380	364	0,18200	0,0009100	21,2197
390	380	0,19000	0,0009500	21,7781
400	395	0,19750	0,0009875	22,3366
410	411	0,20550	0,0010275	22,8950
420	427	0,21350	0,0010675	23,4534
430	462	0,23100	0,0011550	24,0118
440	502	0,25100	0,0012550	24,5702
450	547	0,27350	0,0013675	25,1286
450,4	607	0,30350	0,0015175	25,1510
440	687	0,34350	0,0017175	24,5702
400	792	0,39600	0,0019800	22,3366

### Grafik Modulus Elastisitas 2%, 7 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	28434,533 MPa
E teoritis	29013,705 MPa
E uji / E teoritis	98,004 %

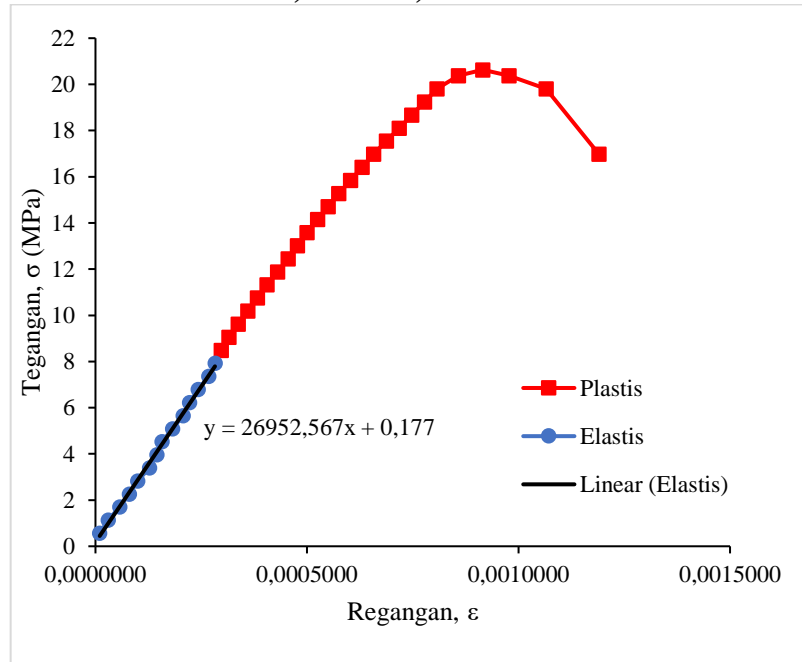
### Modulus Elastisitas Beton C-2-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,632 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	300,5 mm
Luas	17671,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5659
20	12	0,00600	0,0000300	1,1318
30	23	0,01150	0,0000575	1,6977
40	32	0,01600	0,0000800	2,2635
50	40	0,02000	0,0001000	2,8294
60	51	0,02550	0,0001275	3,3953
70	58	0,02900	0,0001450	3,9612
80	63	0,03150	0,0001575	4,5271
90	73	0,03650	0,0001825	5,0930
100	83	0,04150	0,0002075	5,6588
110	89	0,04450	0,0002225	6,2247
120	97	0,04850	0,0002425	6,7906
130	107	0,05350	0,0002675	7,3565
140	113	0,05650	0,0002825	7,9224
150	119	0,05950	0,0002975	8,4883
160	126	0,06300	0,0003150	9,0541
170	135	0,06750	0,0003375	9,6200
180	144	0,07200	0,0003600	10,1859
190	153	0,07650	0,0003825	10,7518
200	162	0,08100	0,0004050	11,3177
210	172	0,08600	0,0004300	11,8836
220	182	0,09100	0,0004550	12,4495
230	191	0,09550	0,0004775	13,0153
240	200	0,10000	0,0005000	13,5812
250	210	0,10500	0,0005250	14,1471
260	220	0,11000	0,0005500	14,7130
270	230	0,11500	0,0005750	15,2789

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	241	0,12050	0,0006025	15,8448
290	252	0,12600	0,0006300	16,4106
300	263	0,13150	0,0006575	16,9765
310	275	0,13750	0,0006875	17,5424
320	287	0,14350	0,0007175	18,1083
330	299	0,14950	0,0007475	18,6742
340	311	0,15550	0,0007775	19,2401
350	323	0,16150	0,0008075	19,8059
360	343	0,17150	0,0008575	20,3718
364,6	366	0,18300	0,0009150	20,6321
360	391	0,19550	0,0009775	20,3718
350	426	0,21300	0,0010650	19,8059
300	476	0,23800	0,0011900	16,9765

### Grafik Modulus Elastisitas 2%, 7 Hari, Silinder 3



#### Modulus Elastisitas

E uji	26952,567 MPa
E teoritis	26278,346 MPa
E uji / E teoritis	102,566 %

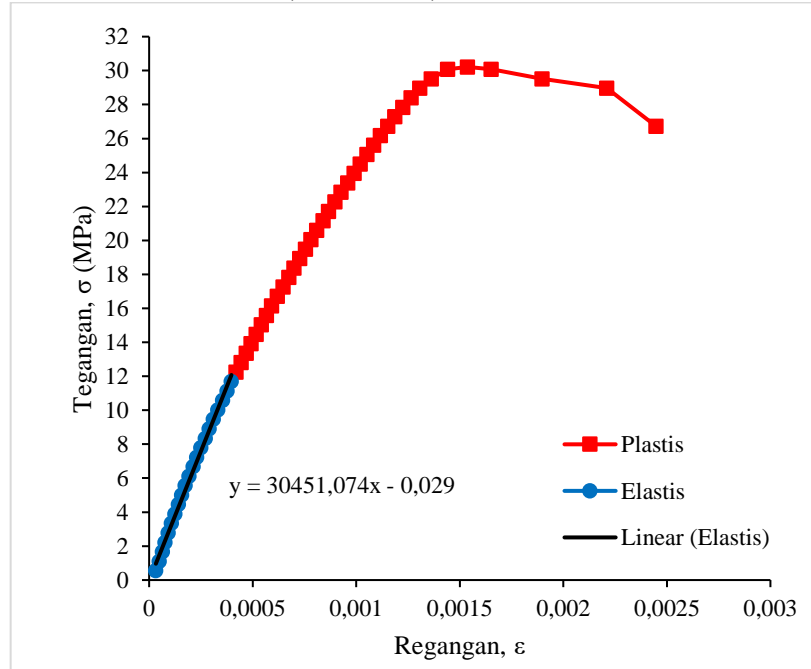
## Modulus Elastisitas Beton C-2-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,214 MPa
Diameter	151,2 mm
Tinggi	303 mm
Luas	17955,33 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	13	0,00650	0,0000325	0,5569
20	20	0,01000	0,0000500	1,1139
30	26	0,01300	0,0000650	1,6708
40	31	0,01550	0,0000775	2,2278
50	37	0,01850	0,0000925	2,7847
60	43	0,02150	0,0001075	3,3416
70	50	0,02500	0,0001250	3,8986
80	57	0,02850	0,0001425	4,4555
90	63	0,03150	0,0001575	5,0124
100	70	0,03500	0,0001750	5,5694
110	77	0,03850	0,0001925	6,1263
120	85	0,04250	0,0002125	6,6833
130	92	0,04600	0,0002300	7,2402
140	100	0,05000	0,0002500	7,7971
150	109	0,05450	0,0002725	8,3541
160	116	0,05800	0,0002900	8,9110
170	124	0,06200	0,0003100	9,4679
180	133	0,06650	0,0003325	10,0249
190	142	0,07100	0,0003550	10,5818
200	151	0,07550	0,0003775	11,1388
210	159	0,07950	0,0003975	11,6957
220	168	0,08400	0,0004200	12,2526
230	178	0,08900	0,0004450	12,8096
240	188	0,09400	0,0004700	13,3665
250	197	0,09850	0,0004925	13,9234
260	207	0,10350	0,0005175	14,4804
270	217	0,10850	0,0005425	15,0373

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	227	0,11350	0,0005675	15,5943
290	237	0,11850	0,0005925	16,1512
300	248	0,12400	0,0006200	16,7081
310	259	0,12950	0,0006475	17,2651
320	270	0,13500	0,0006750	17,8220
330	280	0,14000	0,0007000	18,3789
340	291	0,14550	0,0007275	18,9359
350	302	0,15100	0,0007550	19,4928
360	313	0,15650	0,0007825	20,0498
370	324	0,16200	0,0008100	20,6067
380	336	0,16800	0,0008400	21,1636
390	347	0,17350	0,0008675	21,7206
400	359	0,17950	0,0008975	22,2775
410	371	0,18550	0,0009275	22,8344
420	384	0,19200	0,0009600	23,3914
430	396	0,19800	0,0009900	23,9483
440	408	0,20400	0,0010200	24,5053
450	421	0,21050	0,0010525	25,0622
460	434	0,21700	0,0010850	25,6191
470	447	0,22350	0,0011175	26,1761
480	461	0,23050	0,0011525	26,7330
490	475	0,23750	0,0011875	27,2899
500	490	0,24500	0,0012250	27,8469
510	506	0,25300	0,0012650	28,4038
520	523	0,26150	0,0013075	28,9608
530	545	0,27250	0,0013625	29,5177
540	577	0,28850	0,0014425	30,0746
542,5	615	0,30750	0,0015375	30,2139
540	661	0,33050	0,0016525	30,0746
530	759	0,37950	0,0018975	29,5177
520	884	0,44200	0,0022100	28,9608
480	979	0,48950	0,0024475	26,7330

### Grafik Modulus Elastisitas 2%, 28 Hari, Silinder 1



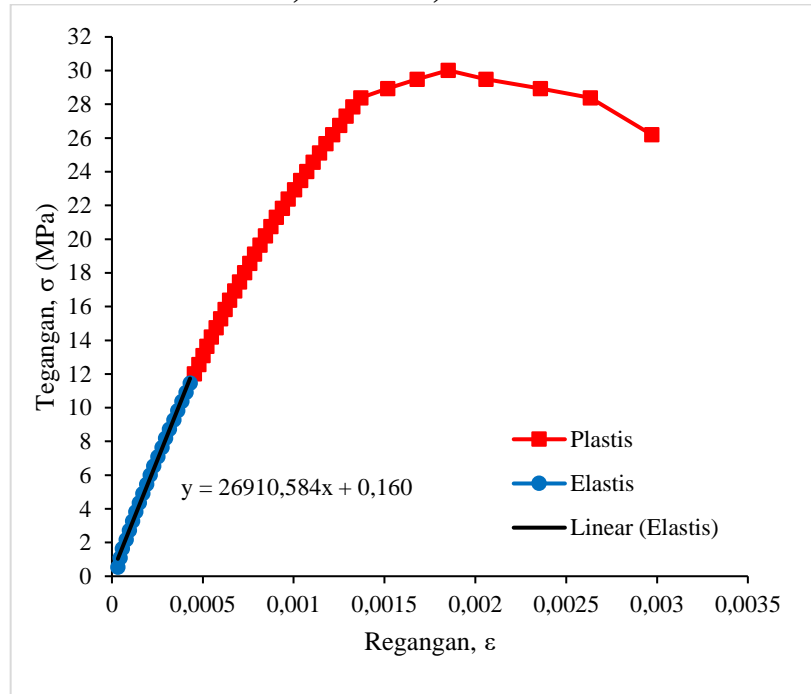
## Modulus Elastisitas Beton C-2-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,016 MPa
Diameter	152,7 mm
Tinggi	303 mm
Luas	18313,36 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	13	0,00650	0,0000325	0,5460
20	18	0,00900	0,0000450	1,0921
30	23	0,01150	0,0000575	1,6381
40	31	0,01550	0,0000775	2,1842
50	38	0,01900	0,0000950	2,7302
60	45	0,02250	0,0001125	3,2763
70	52	0,02600	0,0001300	3,8223
80	60	0,03000	0,0001500	4,3684
90	68	0,03400	0,0001700	4,9144
100	76	0,03800	0,0001900	5,4605
110	84	0,04200	0,0002100	6,0065
120	92	0,04600	0,0002300	6,5526
130	101	0,05050	0,0002525	7,0986
140	110	0,05500	0,0002750	7,6447
150	118	0,05900	0,0002950	8,1907
160	126	0,06300	0,0003150	8,7368
170	136	0,06800	0,0003400	9,2828
180	145	0,07250	0,0003625	9,8289
190	154	0,07700	0,0003850	10,3749
200	163	0,08150	0,0004075	10,9210
210	172	0,08600	0,0004300	11,4670
220	181	0,09050	0,0004525	12,0131
230	191	0,09550	0,0004775	12,5591
240	200	0,10000	0,0005000	13,1052
250	209	0,10450	0,0005225	13,6512
260	219	0,10950	0,0005475	14,1973
270	229	0,11450	0,0005725	14,7433

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	239	0,11950	0,0005975	15,2894
290	249	0,12450	0,0006225	15,8354
300	259	0,12950	0,0006475	16,3815
310	270	0,13500	0,0006750	16,9275
320	281	0,14050	0,0007025	17,4736
330	292	0,14600	0,0007300	18,0196
340	303	0,15150	0,0007575	18,5657
350	314	0,15700	0,0007850	19,1117
360	326	0,16300	0,0008150	19,6578
370	338	0,16900	0,0008450	20,2038
380	350	0,17500	0,0008750	20,7499
390	362	0,18100	0,0009050	21,2959
400	375	0,18750	0,0009375	21,8420
410	388	0,19400	0,0009700	22,3880
420	402	0,20100	0,0010050	22,9341
430	415	0,20750	0,0010375	23,4801
440	429	0,21450	0,0010725	24,0262
450	443	0,22150	0,0011075	24,5722
460	457	0,22850	0,0011425	25,1183
470	471	0,23550	0,0011775	25,6643
480	486	0,24300	0,0012150	26,2104
490	501	0,25050	0,0012525	26,7564
500	515	0,25750	0,0012875	27,3025
510	530	0,26500	0,0013250	27,8485
520	548	0,27400	0,0013700	28,3946
530	607	0,30350	0,0015175	28,9406
540	672	0,33600	0,0016800	29,4867
549,7	740	0,37000	0,0018500	30,0163
540	823	0,41150	0,0020575	29,4867
530	943	0,47150	0,0023575	28,9406
520	1053	0,52650	0,0026325	28,3946
480	1188	0,59400	0,0029700	26,2104

### Grafik Modulus Elastisitas 2%, 28 Hari, Silinder 2



#### Modulus Elastisitas

E uji	26910,584 MPa
E teoritis	28436,086 MPa
E uji / E teoritis	94,635 %

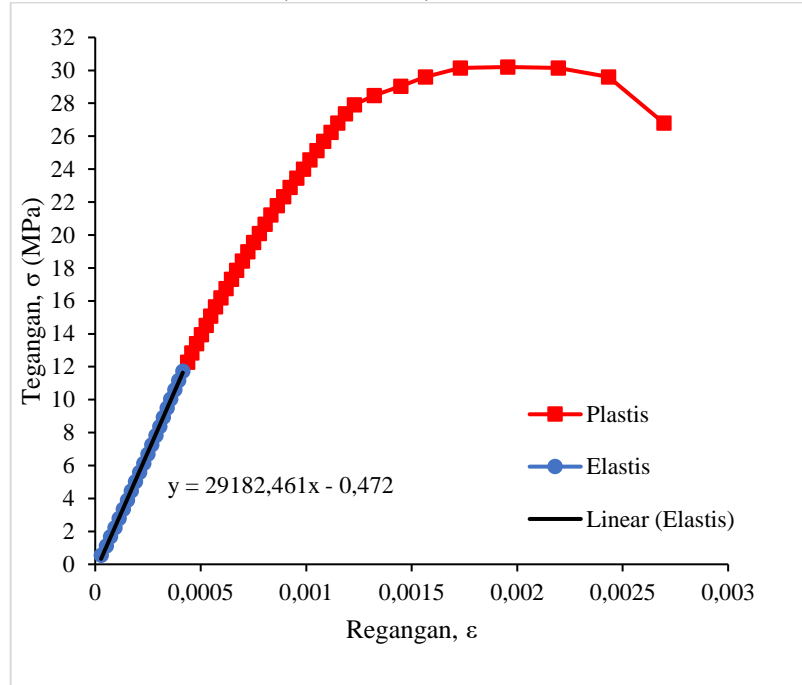
### Modulus Elastisitas Beton C-2-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	2%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,205 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	301,2 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	11	0,00550	0,0000275	0,5584
20	21	0,01050	0,0000525	1,1168
30	29	0,01450	0,0000725	1,6752
40	37	0,01850	0,0000925	2,2337
50	45	0,02250	0,0001125	2,7921
60	53	0,02650	0,0001325	3,3505
70	61	0,03050	0,0001525	3,9089
80	68	0,03400	0,0001700	4,4673
90	76	0,03800	0,0001900	5,0257
100	84	0,04200	0,0002100	5,5841
110	92	0,04600	0,0002300	6,1426
120	100	0,05000	0,0002500	6,7010
130	107	0,05350	0,0002675	7,2594
140	115	0,05750	0,0002875	7,8178
150	122	0,06100	0,0003050	8,3762
160	129	0,06450	0,0003225	8,9346
170	136	0,06800	0,0003400	9,4930
180	143	0,07150	0,0003575	10,0515
190	151	0,07550	0,0003775	10,6099
200	158	0,07900	0,0003950	11,1683
210	166	0,08300	0,0004150	11,7267
220	175	0,08750	0,0004375	12,2851
230	183	0,09150	0,0004575	12,8435
240	192	0,09600	0,0004800	13,4019
250	201	0,10050	0,0005025	13,9603
260	210	0,10500	0,0005250	14,5188
270	219	0,10950	0,0005475	15,0772

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	228	0,11400	0,0005700	15,6356
290	238	0,11900	0,0005950	16,1940
300	248	0,12400	0,0006200	16,7524
310	258	0,12900	0,0006450	17,3108
320	268	0,13400	0,0006700	17,8692
330	279	0,13950	0,0006975	18,4277
340	289	0,14450	0,0007225	18,9861
350	300	0,15000	0,0007500	19,5445
360	311	0,15550	0,0007775	20,1029
370	322	0,16100	0,0008050	20,6613
380	333	0,16650	0,0008325	21,2197
390	345	0,17250	0,0008625	21,7781
400	357	0,17850	0,0008925	22,3366
410	369	0,18450	0,0009225	22,8950
420	382	0,19100	0,0009550	23,4534
430	395	0,19750	0,0009875	24,0118
440	407	0,20350	0,0010175	24,5702
450	420	0,21000	0,0010500	25,1286
460	433	0,21650	0,0010825	25,6870
470	447	0,22350	0,0011175	26,2455
480	460	0,23000	0,0011500	26,8039
490	474	0,23700	0,0011850	27,3623
500	491	0,24550	0,0012275	27,9207
510	529	0,26450	0,0013225	28,4791
520	579	0,28950	0,0014475	29,0375
530	626	0,31300	0,0015650	29,5959
540	692	0,34600	0,0017300	30,1544
540,9	782	0,39100	0,0019550	30,2046
540	878	0,43900	0,0021950	30,1544
530	973	0,48650	0,0024325	29,5959
480	1078	0,53900	0,0026950	26,8039

### Grafik Modulus Elastisitas 2%, 28 Hari, Silinder 3



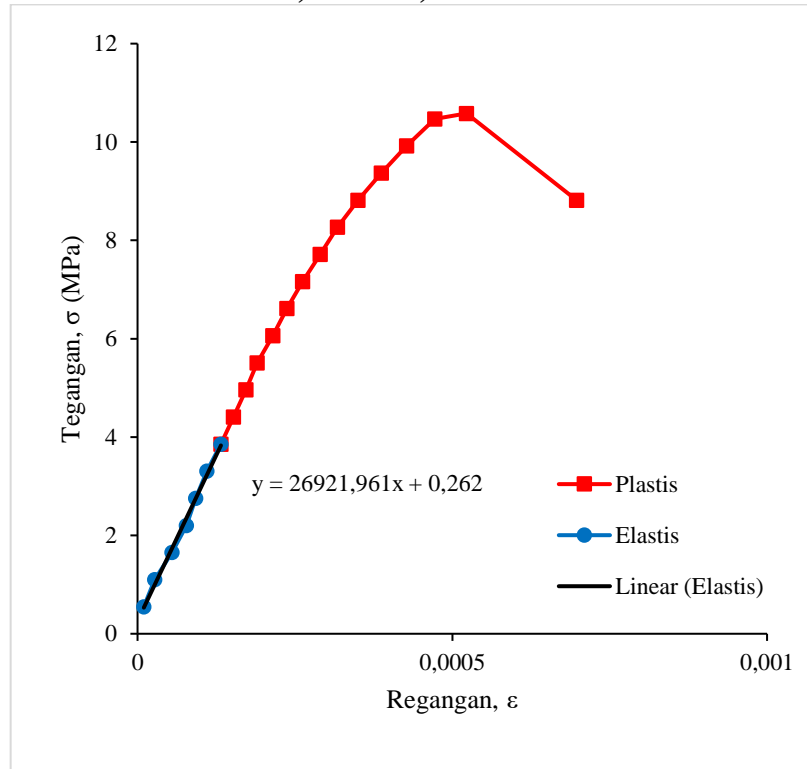
Modulus Elastisitas	
E uji	29182,461 MPa
E teoritis	28525,124 MPa
E uji / E teoritis	102,304 %

## Modulus Elastisitas Beton C-4-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	10,581 MPa
Diameter	152 mm
Tinggi	300,8 mm
Luas	18145,84 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5511
20	11	0,00550	0,0000275	1,1022
30	22	0,01100	0,0000550	1,6533
40	31	0,01550	0,0000775	2,2044
50	37	0,01850	0,0000925	2,7555
60	44	0,02200	0,0001100	3,3065
70	53	0,02650	0,0001325	3,8576
80	61	0,03050	0,0001525	4,4087
90	69	0,03450	0,0001725	4,9598
100	76	0,03800	0,0001900	5,5109
110	86	0,04300	0,0002150	6,0620
120	95	0,04750	0,0002375	6,6131
130	105	0,05250	0,0002625	7,1642
140	116	0,05800	0,0002900	7,7153
150	127	0,06350	0,0003175	8,2664
160	140	0,07000	0,0003500	8,8174
170	155	0,07750	0,0003875	9,3685
180	171	0,08550	0,0004275	9,9196
190	189	0,09450	0,0004725	10,4707
192	209	0,10450	0,0005225	10,5809
160	279	0,13950	0,0006975	8,8174

## Grafik Modulus Elastisitas 4%, 7 Hari, Silinder 1



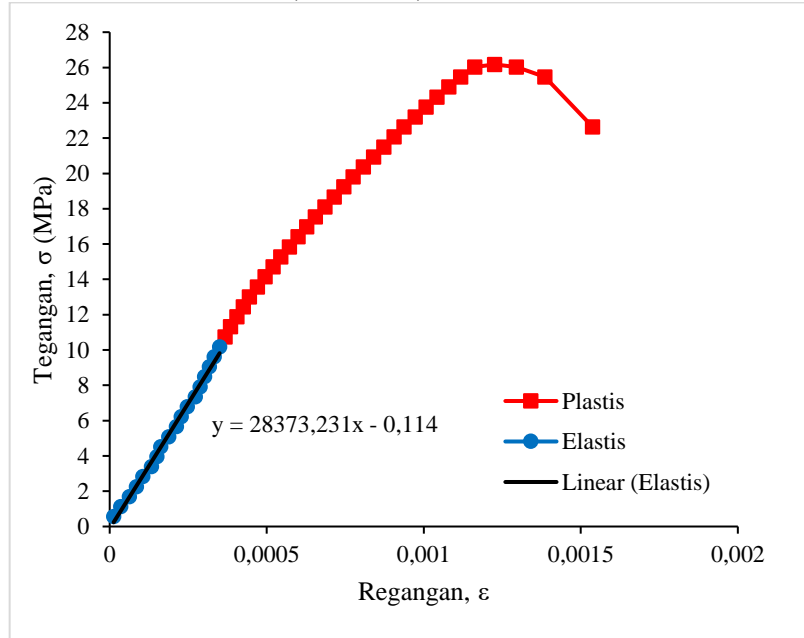
## Modulus Elastisitas Beton C-4-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,172 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	301,1 mm
Luas	17671,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5659
20	14	0,00700	0,0000350	1,1318
30	25	0,01250	0,0000625	1,6977
40	34	0,01700	0,0000850	2,2635
50	42	0,02100	0,0001050	2,8294
60	53	0,02650	0,0001325	3,3953
70	60	0,03000	0,0001500	3,9612
80	65	0,03250	0,0001625	4,5271
90	75	0,03750	0,0001875	5,0930
100	85	0,04250	0,0002125	5,6588
110	91	0,04550	0,0002275	6,2247
120	99	0,04950	0,0002475	6,7906
130	109	0,05450	0,0002725	7,3565
140	115	0,05750	0,0002875	7,9224
150	121	0,06050	0,0003025	8,4883
160	127	0,06350	0,0003175	9,0541
170	133	0,06650	0,0003325	9,6200
180	140	0,07000	0,0003500	10,1859
190	147	0,07350	0,0003675	10,7518
200	154	0,07700	0,0003850	11,3177
210	162	0,08100	0,0004050	11,8836
220	170	0,08500	0,0004250	12,4495
230	178	0,08900	0,0004450	13,0153
240	188	0,09400	0,0004700	13,5812
250	198	0,09900	0,0004950	14,1471
260	208	0,10400	0,0005200	14,7130
270	218	0,10900	0,0005450	15,2789

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	229	0,11450	0,0005725	15,8448
290	240	0,12000	0,0006000	16,4106
300	251	0,12550	0,0006275	16,9765
310	262	0,13100	0,0006550	17,5424
320	274	0,13700	0,0006850	18,1083
330	286	0,14300	0,0007150	18,6742
340	298	0,14900	0,0007450	19,2401
350	310	0,15500	0,0007750	19,8059
360	323	0,16150	0,0008075	20,3718
370	336	0,16800	0,0008400	20,9377
380	349	0,17450	0,0008725	21,5036
390	362	0,18100	0,0009050	22,0695
400	375	0,18750	0,0009375	22,6354
410	389	0,19450	0,0009725	23,2013
420	403	0,20150	0,0010075	23,7671
430	417	0,20850	0,0010425	24,3330
440	432	0,21600	0,0010800	24,8989
450	447	0,22350	0,0011175	25,4648
460	465	0,23250	0,0011625	26,0307
462,5	490	0,24500	0,0012250	26,1721
460	518	0,25900	0,0012950	26,0307
450	554	0,27700	0,0013850	25,4648
400	615	0,30750	0,0015375	22,6354

### Grafik Modulus Elastisitas 4%, 7 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	28373,231 MPa
E teoritis	25948,335 MPa
E uji / E teoritis	109,345 %

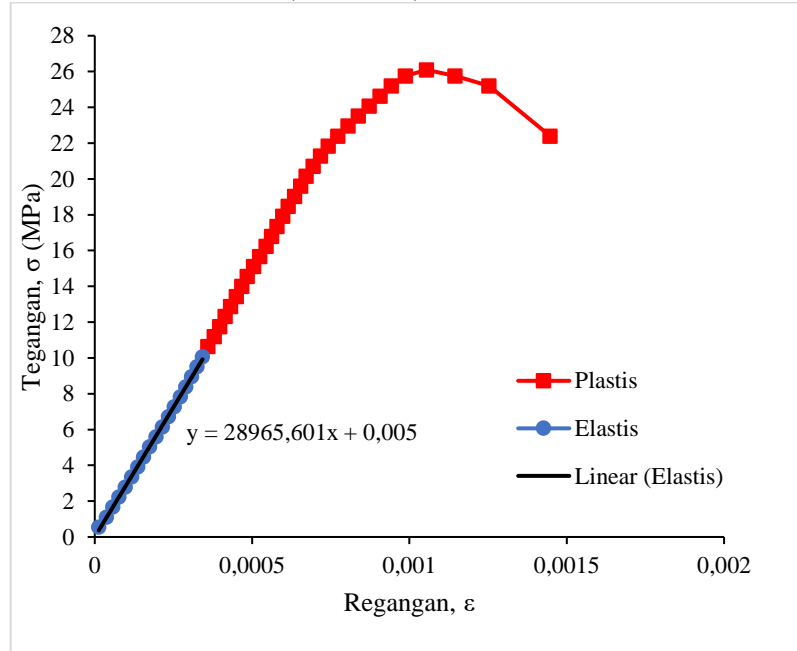
### Modulus Elastisitas Beton C-4-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	26,091 MPa
Diameter	150,8 mm
Tinggi	301,2 mm
Luas	17860,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5599
20	15	0,00750	0,0000375	1,1198
30	23	0,01150	0,0000575	1,6797
40	31	0,01550	0,0000775	2,2396
50	39	0,01950	0,0000975	2,7995
60	47	0,02350	0,0001175	3,3594
70	55	0,02750	0,0001375	3,9193
80	62	0,03100	0,0001550	4,4792
90	70	0,03500	0,0001750	5,0391
100	78	0,03900	0,0001950	5,5990
110	86	0,04300	0,0002150	6,1589
120	94	0,04700	0,0002350	6,7188
130	101	0,05050	0,0002525	7,2786
140	109	0,05450	0,0002725	7,8385
150	116	0,05800	0,0002900	8,3984
160	123	0,06150	0,0003075	8,9583
170	130	0,06500	0,0003250	9,5182
180	137	0,06850	0,0003425	10,0781
190	144	0,07200	0,0003600	10,6380
200	152	0,07600	0,0003800	11,1979
210	159	0,07950	0,0003975	11,7578
220	166	0,08300	0,0004150	12,3177
230	173	0,08650	0,0004325	12,8776
240	180	0,09000	0,0004500	13,4375
250	187	0,09350	0,0004675	13,9974
260	194	0,09700	0,0004850	14,5573
270	202	0,10100	0,0005050	15,1172

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	210	0,10500	0,0005250	15,6771
290	218	0,10900	0,0005450	16,2370
300	225	0,11250	0,0005625	16,7969
310	232	0,11600	0,0005800	17,3568
320	239	0,11950	0,0005975	17,9167
330	246	0,12300	0,0006150	18,4766
340	254	0,12700	0,0006350	19,0365
350	262	0,13100	0,0006550	19,5964
360	269	0,13450	0,0006725	20,1563
370	278	0,13900	0,0006950	20,7162
380	287	0,14350	0,0007175	21,2761
390	297	0,14850	0,0007425	21,8359
400	309	0,15450	0,0007725	22,3958
410	322	0,16100	0,0008050	22,9557
420	335	0,16750	0,0008375	23,5156
430	349	0,17450	0,0008725	24,0755
440	363	0,18150	0,0009075	24,6354
450	377	0,18850	0,0009425	25,1953
460	395	0,19750	0,0009875	25,7552
466	422	0,21100	0,0010550	26,0912
460	458	0,22900	0,0011450	25,7552
450	501	0,25050	0,0012525	25,1953
400	579	0,28950	0,0014475	22,3958

### Grafik Modulus Elastisitas 4%, 7 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	28965,601 MPa
E teoritis	27920,698 MPa
E uji / E teoritis	103,742 %

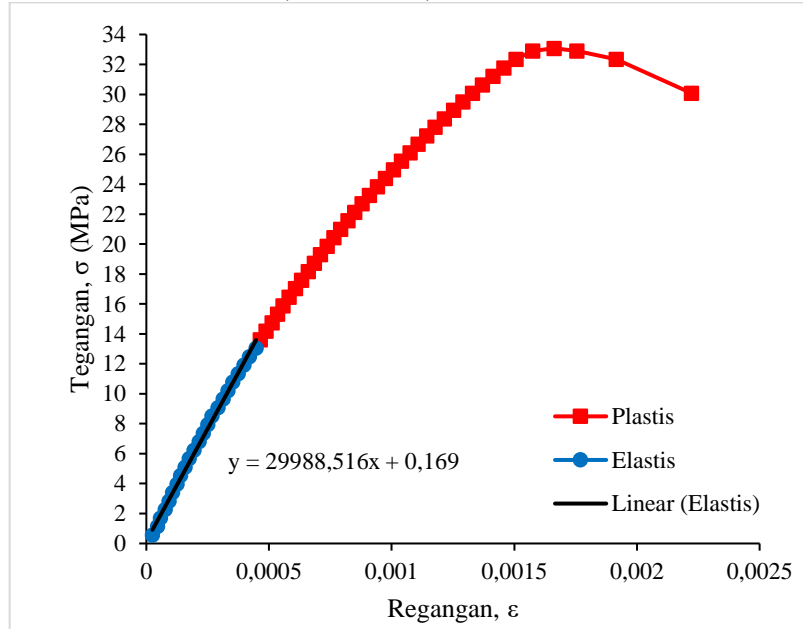
### Modulus Elastisitas Beton C-4-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	33,079 MPa
Diameter	149,8 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17624,37 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5674
20	18	0,00900	0,0000450	1,1348
30	23	0,01150	0,0000575	1,7022
40	31	0,01550	0,0000775	2,2696
50	37	0,01850	0,0000925	2,8370
60	43	0,02150	0,0001075	3,4044
70	50	0,02500	0,0001250	3,9718
80	56	0,02800	0,0001400	4,5392
90	63	0,03150	0,0001575	5,1066
100	70	0,03500	0,0001750	5,6740
110	78	0,03900	0,0001950	6,2414
120	86	0,04300	0,0002150	6,8088
130	93	0,04650	0,0002325	7,3762
140	100	0,05000	0,0002500	7,9435
150	107	0,05350	0,0002675	8,5109
160	117	0,05850	0,0002925	9,0783
170	125	0,06250	0,0003125	9,6457
180	133	0,06650	0,0003325	10,2131
190	141	0,07050	0,0003525	10,7805
200	150	0,07500	0,0003750	11,3479
210	159	0,07950	0,0003975	11,9153
220	168	0,08400	0,0004200	12,4827
230	179	0,08950	0,0004475	13,0501
240	186	0,09300	0,0004650	13,6175
250	195	0,09750	0,0004875	14,1849
260	205	0,10250	0,0005125	14,7523
270	214	0,10700	0,0005350	15,3197

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	223	0,11150	0,0005575	15,8871
290	233	0,11650	0,0005825	16,4545
300	243	0,12150	0,0006075	17,0219
310	253	0,12650	0,0006325	17,5893
320	264	0,13200	0,0006600	18,1567
330	274	0,13700	0,0006850	18,7241
340	284	0,14200	0,0007100	19,2915
350	295	0,14750	0,0007375	19,8589
360	306	0,15300	0,0007650	20,4263
370	317	0,15850	0,0007925	20,9937
380	329	0,16450	0,0008225	21,5611
390	340	0,17000	0,0008500	22,1285
400	352	0,17600	0,0008800	22,6959
410	364	0,18200	0,0009100	23,2632
420	377	0,18850	0,0009425	23,8306
430	390	0,19500	0,0009750	24,3980
440	403	0,20150	0,0010075	24,9654
450	416	0,20800	0,0010400	25,5328
460	430	0,21500	0,0010750	26,1002
470	443	0,22150	0,0011075	26,6676
480	457	0,22850	0,0011425	27,2350
490	471	0,23550	0,0011775	27,8024
500	486	0,24300	0,0012150	28,3698
510	501	0,25050	0,0012525	28,9372
520	516	0,25800	0,0012900	29,5046
530	532	0,26600	0,0013300	30,0720
540	548	0,27400	0,0013700	30,6394
550	565	0,28250	0,0014125	31,2068
560	583	0,29150	0,0014575	31,7742
570	603	0,30150	0,0015075	32,3416
580	630	0,31500	0,0015750	32,9090
583	665	0,33250	0,0016625	33,0792
580	702	0,35100	0,0017550	32,9090
570	766	0,38300	0,0019150	32,3416
530	889	0,44450	0,0022225	30,0720

### Grafik Modulus Elastisitas 4%, 28 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas	
E uji	29988,516 MPa
E teoritis	29851,658 MPa
E uji / E teoritis	100,458 %

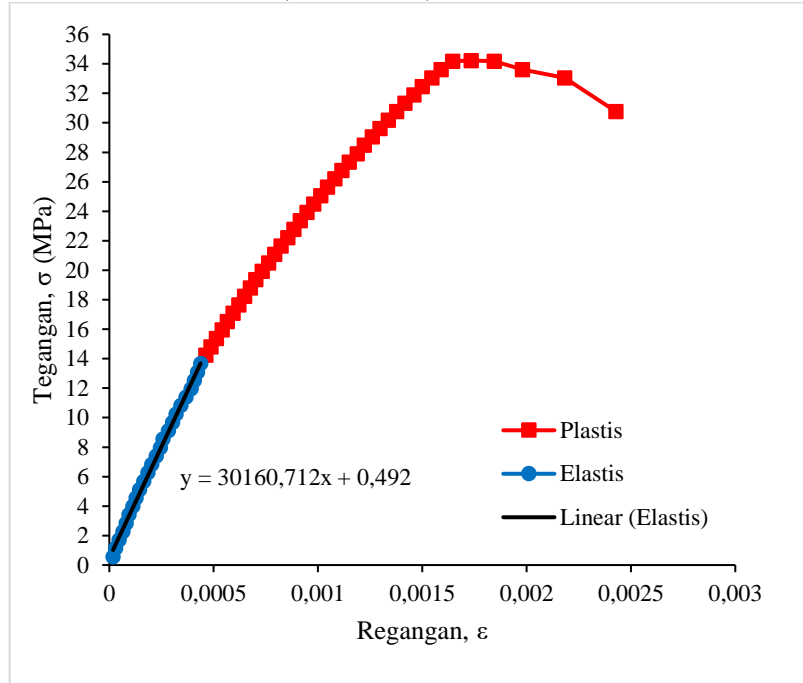
## Modulus Elastisitas Beton C-4-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	34,226 MPa
Diameter	149,5 mm
Tinggi	301 mm
Luas	17553,85 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	7	0,00350	0,0000175	0,5697
20	12	0,00600	0,0000300	1,1394
30	19	0,00950	0,0000475	1,7090
40	26	0,01300	0,0000650	2,2787
50	32	0,01600	0,0000800	2,8484
60	38	0,01900	0,0000950	3,4181
70	45	0,02250	0,0001125	3,9877
80	51	0,02550	0,0001275	4,5574
90	58	0,02900	0,0001450	5,1271
100	66	0,03300	0,0001650	5,6968
110	74	0,03700	0,0001850	6,2664
120	81	0,04050	0,0002025	6,8361
130	90	0,04500	0,0002250	7,4058
140	98	0,04900	0,0002450	7,9755
150	103	0,05150	0,0002575	8,5451
160	113	0,05650	0,0002825	9,1148
170	121	0,06050	0,0003025	9,6845
180	128	0,06400	0,0003200	10,2542
190	137	0,06850	0,0003425	10,8238
200	147	0,07350	0,0003675	11,3935
210	157	0,07850	0,0003925	11,9632
220	163	0,08150	0,0004075	12,5329
230	169	0,08450	0,0004225	13,1025
240	175	0,08750	0,0004375	13,6722
250	185	0,09250	0,0004625	14,2419
260	195	0,09750	0,0004875	14,8116
270	205	0,10250	0,0005125	15,3812

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	216	0,10800	0,0005400	15,9509
290	226	0,11300	0,0005650	16,5206
300	237	0,11850	0,0005925	17,0903
310	248	0,12400	0,0006200	17,6599
320	259	0,12950	0,0006475	18,2296
330	270	0,13500	0,0006750	18,7993
340	281	0,14050	0,0007025	19,3690
350	293	0,14650	0,0007325	19,9387
360	305	0,15250	0,0007625	20,5083
370	317	0,15850	0,0007925	21,0780
380	329	0,16450	0,0008225	21,6477
390	342	0,17100	0,0008550	22,2174
400	354	0,17700	0,0008850	22,7870
410	366	0,18300	0,0009150	23,3567
420	379	0,18950	0,0009475	23,9264
430	392	0,19600	0,0009800	24,4961
440	405	0,20250	0,0010125	25,0657
450	418	0,20900	0,0010450	25,6354
460	432	0,21600	0,0010800	26,2051
470	446	0,22300	0,0011150	26,7748
480	460	0,23000	0,0011500	27,3444
490	475	0,23750	0,0011875	27,9141
500	489	0,24450	0,0012225	28,4838
510	504	0,25200	0,0012600	29,0535
520	519	0,25950	0,0012975	29,6231
530	535	0,26750	0,0013375	30,1928
540	551	0,27550	0,0013775	30,7625
550	567	0,28350	0,0014175	31,3322
560	584	0,29200	0,0014600	31,9018
570	600	0,30000	0,0015000	32,4715
580	618	0,30900	0,0015450	33,0412
590	636	0,31800	0,0015900	33,6109
600	658	0,32900	0,0016450	34,1805
600,8	694	0,34700	0,0017350	34,2261
600	738	0,36900	0,0018450	34,1805
590	792	0,39600	0,0019800	33,6109
580	873	0,43650	0,0021825	33,0412
540	971	0,48550	0,0024275	30,7625

### Grafik Modulus Elastisitas 4%, 28 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	30160,712 MPa
E teoritis	30364,754 MPa
E uji / E teoritis	99,328 %

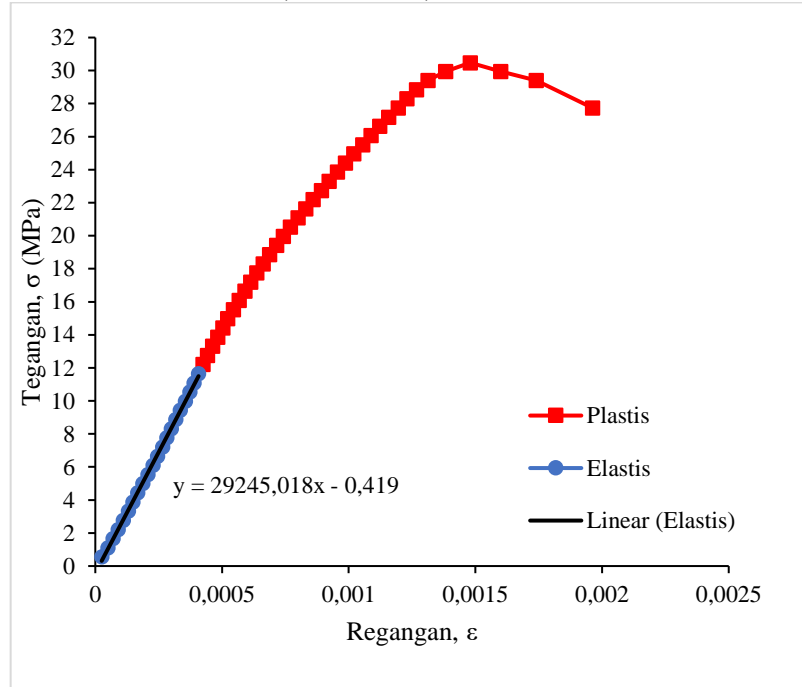
### Modulus Elastisitas Beton C-4-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	4%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,477 MPa
Diameter	151,5 mm
Tinggi	300,2 mm
Luas	18026,65 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5547
20	20	0,01000	0,0000500	1,1095
30	28	0,01400	0,0000700	1,6642
40	36	0,01800	0,0000900	2,2189
50	44	0,02200	0,0001100	2,7737
60	52	0,02600	0,0001300	3,3284
70	59	0,02950	0,0001475	3,8831
80	67	0,03350	0,0001675	4,4379
90	75	0,03750	0,0001875	4,9926
100	83	0,04150	0,0002075	5,5473
110	91	0,04550	0,0002275	6,1021
120	98	0,04900	0,0002450	6,6568
130	106	0,05300	0,0002650	7,2115
140	113	0,05650	0,0002825	7,7663
150	120	0,06000	0,0003000	8,3210
160	127	0,06350	0,0003175	8,8757
170	134	0,06700	0,0003350	9,4305
180	142	0,07100	0,0003550	9,9852
190	149	0,07450	0,0003725	10,5399
200	156	0,07800	0,0003900	11,0947
210	163	0,08150	0,0004075	11,6494
220	170	0,08500	0,0004250	12,2041
230	177	0,08850	0,0004425	12,7589
240	185	0,09250	0,0004625	13,3136
250	193	0,09650	0,0004825	13,8684
260	201	0,10050	0,0005025	14,4231
270	209	0,10450	0,0005225	14,9778

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	218	0,10900	0,0005450	15,5326
290	227	0,11350	0,0005675	16,0873
300	236	0,11800	0,0005900	16,6420
310	245	0,12250	0,0006125	17,1968
320	255	0,12750	0,0006375	17,7515
330	265	0,13250	0,0006625	18,3062
340	275	0,13750	0,0006875	18,8610
350	286	0,14300	0,0007150	19,4157
360	297	0,14850	0,0007425	19,9704
370	308	0,15400	0,0007700	20,5252
380	320	0,16000	0,0008000	21,0799
390	332	0,16600	0,0008300	21,6346
400	344	0,17200	0,0008600	22,1894
410	357	0,17850	0,0008925	22,7441
420	369	0,18450	0,0009225	23,2988
430	382	0,19100	0,0009550	23,8536
440	395	0,19750	0,0009875	24,4083
450	408	0,20400	0,0010200	24,9630
460	422	0,21100	0,0010550	25,5178
470	435	0,21750	0,0010875	26,0725
480	449	0,22450	0,0011225	26,6272
490	463	0,23150	0,0011575	27,1820
500	478	0,23900	0,0011950	27,7367
510	492	0,24600	0,0012300	28,2914
520	507	0,25350	0,0012675	28,8462
530	525	0,26250	0,0013125	29,4009
540	553	0,27650	0,0013825	29,9556
549,4	592	0,29600	0,0014800	30,4771
540	640	0,32000	0,0016000	29,9556
530	696	0,34800	0,0017400	29,4009
500	785	0,39250	0,0019625	27,7367

### Grafik Modulus Elastisitas 4%, 28 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	29245,018 MPa
E teoritis	28653,500 MPa
E uji / E teoritis	102,064 %

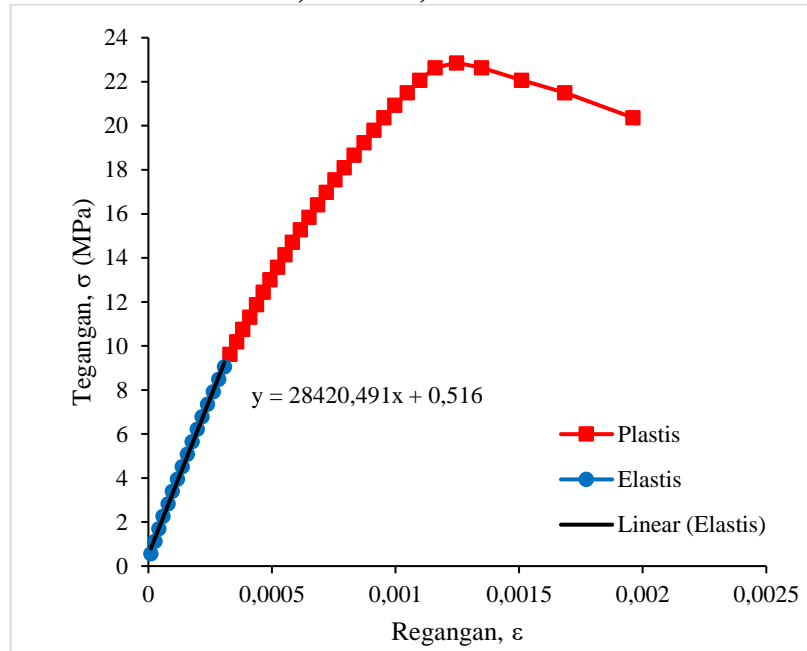
### Modulus Elastisitas Beton C-5-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,862 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	299,8 mm
Luas	17671,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5659
20	11	0,00550	0,0000275	1,1318
30	17	0,00850	0,0000425	1,6977
40	24	0,01200	0,0000600	2,2635
50	32	0,01600	0,0000800	2,8294
60	39	0,01950	0,0000975	3,3953
70	47	0,02350	0,0001175	3,9612
80	55	0,02750	0,0001375	4,5271
90	63	0,03150	0,0001575	5,0930
100	71	0,03550	0,0001775	5,6588
110	79	0,03950	0,0001975	6,2247
120	87	0,04350	0,0002175	6,7906
130	96	0,04800	0,0002400	7,3565
140	105	0,05250	0,0002625	7,9224
150	114	0,05700	0,0002850	8,4883
160	123	0,06150	0,0003075	9,0541
170	132	0,06600	0,0003300	9,6200
180	143	0,07150	0,0003575	10,1859
190	153	0,07650	0,0003825	10,7518
200	164	0,08200	0,0004100	11,3177
210	175	0,08750	0,0004375	11,8836
220	186	0,09300	0,0004650	12,4495
230	197	0,09850	0,0004925	13,0153
240	209	0,10450	0,0005225	13,5812
250	221	0,11050	0,0005525	14,1471
260	233	0,11650	0,0005825	14,7130
270	246	0,12300	0,0006150	15,2789

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	260	0,13000	0,0006500	15,8448
290	274	0,13700	0,0006850	16,4106
300	288	0,14400	0,0007200	16,9765
310	302	0,15100	0,0007550	17,5424
320	317	0,15850	0,0007925	18,1083
330	333	0,16650	0,0008325	18,6742
340	349	0,17450	0,0008725	19,2401
350	365	0,18250	0,0009125	19,8059
360	381	0,19050	0,0009525	20,3718
370	399	0,19950	0,0009975	20,9377
380	419	0,20950	0,0010475	21,5036
390	439	0,21950	0,0010975	22,0695
400	464	0,23200	0,0011600	22,6354
404	499	0,24950	0,0012475	22,8617
400	539	0,26950	0,0013475	22,6354
390	604	0,30200	0,0015100	22,0695
380	674	0,33700	0,0016850	21,5036
360	784	0,39200	0,0019600	20,3718

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 7 Hari, Silinder 1



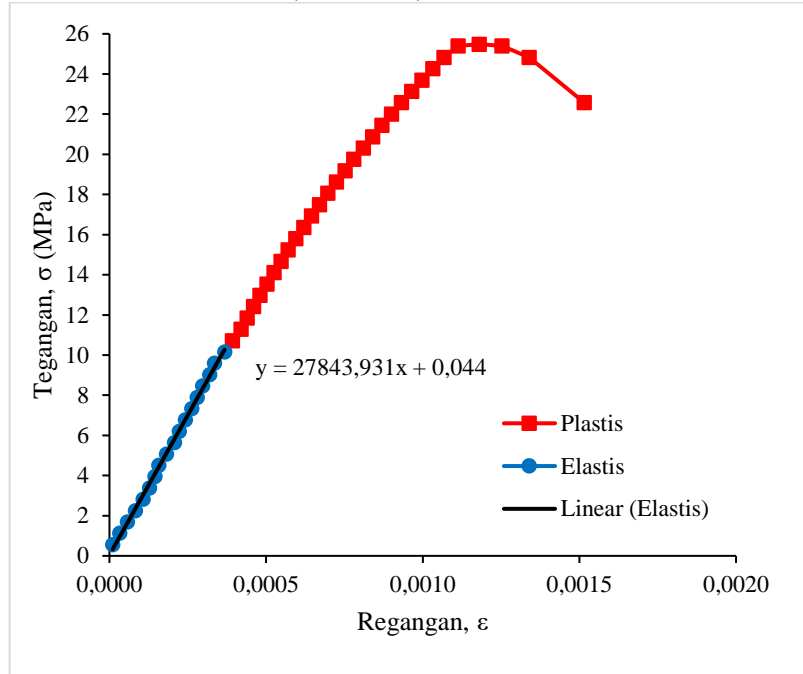
## Modulus Elastisitas Beton C-5-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	25,482 MPa
Diameter	150,2 mm
Tinggi	299,5 mm
Luas	17718,61 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5644
20	13	0,00650	0,0000325	1,1288
30	23	0,01150	0,0000575	1,6931
40	33	0,01650	0,0000825	2,2575
50	43	0,02150	0,0001075	2,8219
60	51	0,02550	0,0001275	3,3863
70	58	0,02900	0,0001450	3,9506
80	63	0,03150	0,0001575	4,5150
90	73	0,03650	0,0001825	5,0794
100	83	0,04150	0,0002075	5,6438
110	89	0,04450	0,0002225	6,2082
120	97	0,04850	0,0002425	6,7725
130	105	0,05250	0,0002625	7,3369
140	112	0,05600	0,0002800	7,9013
150	119	0,05950	0,0002975	8,4657
160	128	0,06400	0,0003200	9,0301
170	134	0,06700	0,0003350	9,5944
180	147	0,07350	0,0003675	10,1588
190	157	0,07850	0,0003925	10,7232
200	168	0,08400	0,0004200	11,2876
210	176	0,08800	0,0004400	11,8519
220	184	0,09200	0,0004600	12,4163
230	192	0,09600	0,0004800	12,9807
240	201	0,10050	0,0005025	13,5451
250	210	0,10500	0,0005250	14,1095
260	219	0,10950	0,0005475	14,6738
270	228	0,11400	0,0005700	15,2382

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	238	0,11900	0,0005950	15,8026
290	248	0,12400	0,0006200	16,3670
300	258	0,12900	0,0006450	16,9313
310	268	0,13400	0,0006700	17,4957
320	279	0,13950	0,0006975	18,0601
330	290	0,14500	0,0007250	18,6245
340	301	0,15050	0,0007525	19,1889
350	312	0,15600	0,0007800	19,7532
360	324	0,16200	0,0008100	20,3176
370	336	0,16800	0,0008400	20,8820
380	348	0,17400	0,0008700	21,4464
390	360	0,18000	0,0009000	22,0108
400	373	0,18650	0,0009325	22,5751
410	386	0,19300	0,0009650	23,1395
420	399	0,19950	0,0009975	23,7039
430	413	0,20650	0,0010325	24,2683
440	427	0,21350	0,0010675	24,8326
450	445	0,22250	0,0011125	25,3970
451,5	472	0,23600	0,0011800	25,4817
450	501	0,25050	0,0012525	25,3970
440	536	0,26800	0,0013400	24,8326
400	606	0,30300	0,0015150	22,5751

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 7 Hari, Silinder 2



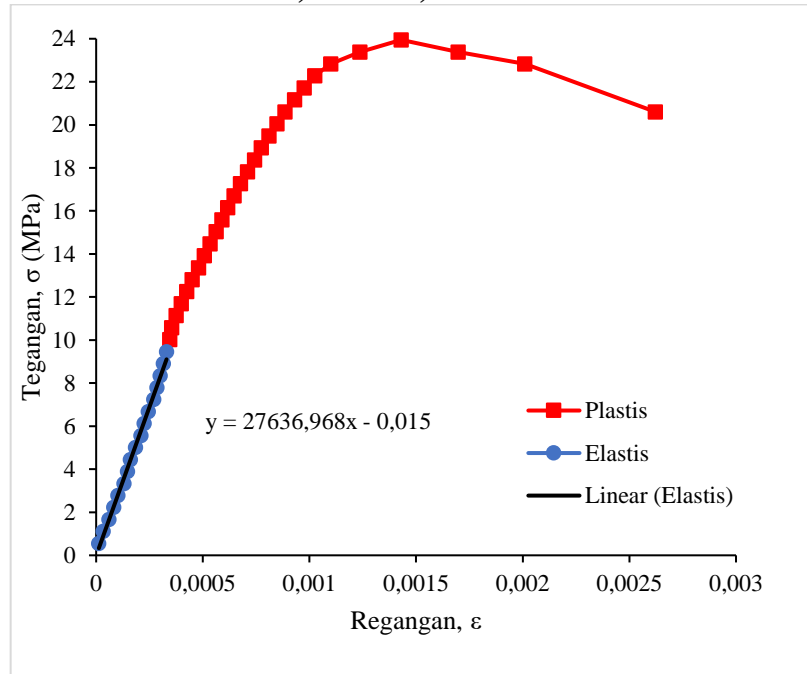
### Modulus Elastisitas Beton C-5-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,948 MPa
Diameter	151,2 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17955,33 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5569
20	13	0,00650	0,0000325	1,1139
30	24	0,01200	0,0000600	1,6708
40	33	0,01650	0,0000825	2,2278
50	41	0,02050	0,0001025	2,7847
60	52	0,02600	0,0001300	3,3416
70	59	0,02950	0,0001475	3,8986
80	64	0,03200	0,0001600	4,4555
90	74	0,03700	0,0001850	5,0124
100	84	0,04200	0,0002100	5,5694
110	90	0,04500	0,0002250	6,1263
120	98	0,04900	0,0002450	6,6833
130	108	0,05400	0,0002700	7,2402
140	114	0,05700	0,0002850	7,7971
150	120	0,06000	0,0003000	8,3541
160	126	0,06300	0,0003150	8,9110
170	132	0,06600	0,0003300	9,4679
180	138	0,06900	0,0003450	10,0249
190	142	0,07100	0,0003550	10,5818
200	150	0,07500	0,0003750	11,1388
210	160	0,08000	0,0004000	11,6957
220	170	0,08500	0,0004250	12,2526
230	180	0,09000	0,0004500	12,8096
240	192	0,09600	0,0004800	13,3665
250	203	0,10150	0,0005075	13,9234
260	214	0,10700	0,0005350	14,4804
270	225	0,11250	0,0005625	15,0373

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	236	0,11800	0,0005900	15,5943
290	247	0,12350	0,0006175	16,1512
300	259	0,12950	0,0006475	16,7081
310	271	0,13550	0,0006775	17,2651
320	284	0,14200	0,0007100	17,8220
330	297	0,14850	0,0007425	18,3789
340	310	0,15500	0,0007750	18,9359
350	324	0,16200	0,0008100	19,4928
360	339	0,16950	0,0008475	20,0498
370	354	0,17700	0,0008850	20,6067
380	372	0,18600	0,0009300	21,1636
390	390	0,19500	0,0009750	21,7206
400	410	0,20500	0,0010250	22,2775
410	440	0,22000	0,0011000	22,8344
420	495	0,24750	0,0012375	23,3914
430	572	0,28600	0,0014300	23,9483
420	679	0,33950	0,0016975	23,3914
410	804	0,40200	0,0020100	22,8344
370	1049	0,52450	0,0026225	20,6067

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 7 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	27636,968 MPa
E teoritis	28311,533 MPa
E uji / E teoritis	97,617 %

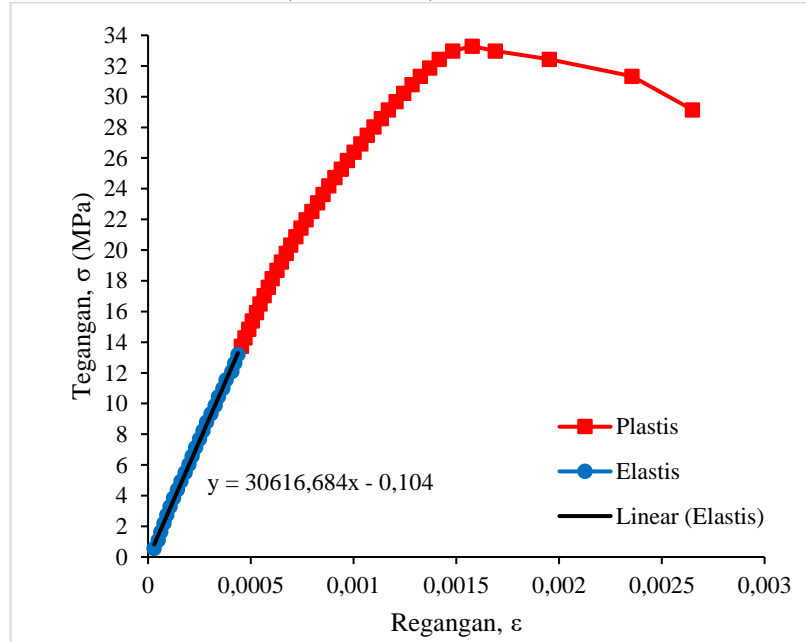
## Modulus Elastisitas Beton C-5-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	33,292 MPa
Diameter	152,2 mm
Tinggi	299,1 mm
Luas	18193,62 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	12	0,00600	0,0000300	0,5496
20	20	0,01000	0,0000500	1,0993
30	25	0,01250	0,0000625	1,6489
40	31	0,01550	0,0000775	2,1986
50	37	0,01850	0,0000925	2,7482
60	43	0,02150	0,0001075	3,2979
70	50	0,02500	0,0001250	3,8475
80	57	0,02850	0,0001425	4,3971
90	64	0,03200	0,0001600	4,9468
100	72	0,03600	0,0001800	5,4964
110	80	0,04000	0,0002000	6,0461
120	86	0,04300	0,0002150	6,5957
130	93	0,04650	0,0002325	7,1454
140	100	0,05000	0,0002500	7,6950
150	107	0,05350	0,0002675	8,2446
160	114	0,05700	0,0002850	8,7943
170	123	0,06150	0,0003075	9,3439
180	131	0,06550	0,0003275	9,8936
190	137	0,06850	0,0003425	10,4432
200	146	0,07300	0,0003650	10,9929
210	152	0,07600	0,0003800	11,5425
220	163	0,08150	0,0004075	12,0921
230	169	0,08450	0,0004225	12,6418
240	175	0,08750	0,0004375	13,1914
250	182	0,09100	0,0004550	13,7411
260	189	0,09450	0,0004725	14,2907
270	196	0,09800	0,0004900	14,8404

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	203	0,10150	0,0005075	15,3900
290	211	0,10550	0,0005275	15,9397
300	218	0,10900	0,0005450	16,4893
310	226	0,11300	0,0005650	17,0389
320	234	0,11700	0,0005850	17,5886
330	242	0,12100	0,0006050	18,1382
340	251	0,12550	0,0006275	18,6879
350	260	0,13000	0,0006500	19,2375
360	269	0,13450	0,0006725	19,7872
370	278	0,13900	0,0006950	20,3368
380	288	0,14400	0,0007200	20,8864
390	298	0,14900	0,0007450	21,4361
400	308	0,15400	0,0007700	21,9857
410	319	0,15950	0,0007975	22,5354
420	330	0,16500	0,0008250	23,0850
430	341	0,17050	0,0008525	23,6347
440	352	0,17600	0,0008800	24,1843
450	364	0,18200	0,0009100	24,7339
460	376	0,18800	0,0009400	25,2836
470	388	0,19400	0,0009700	25,8332
480	401	0,20050	0,0010025	26,3829
490	414	0,20700	0,0010350	26,9325
500	427	0,21350	0,0010675	27,4822
510	440	0,22000	0,0011000	28,0318
520	454	0,22700	0,0011350	28,5814
530	468	0,23400	0,0011700	29,1311
540	483	0,24150	0,0012075	29,6807
550	498	0,24900	0,0012450	30,2304
560	514	0,25700	0,0012850	30,7800
570	530	0,26500	0,0013250	31,3297
580	548	0,27400	0,0013700	31,8793
590	567	0,28350	0,0014175	32,4289
600	593	0,29650	0,0014825	32,9786
605,7	631	0,31550	0,0015775	33,2919
600	676	0,33800	0,0016900	32,9786
590	781	0,39050	0,0019525	32,4289
570	942	0,47100	0,0023550	31,3297
530	1060	0,53000	0,0026500	29,1311

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 28 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas	
E uji	30616,684 MPa
E teoritis	29947,469 MPa
E uji / E teoritis	102,235 %

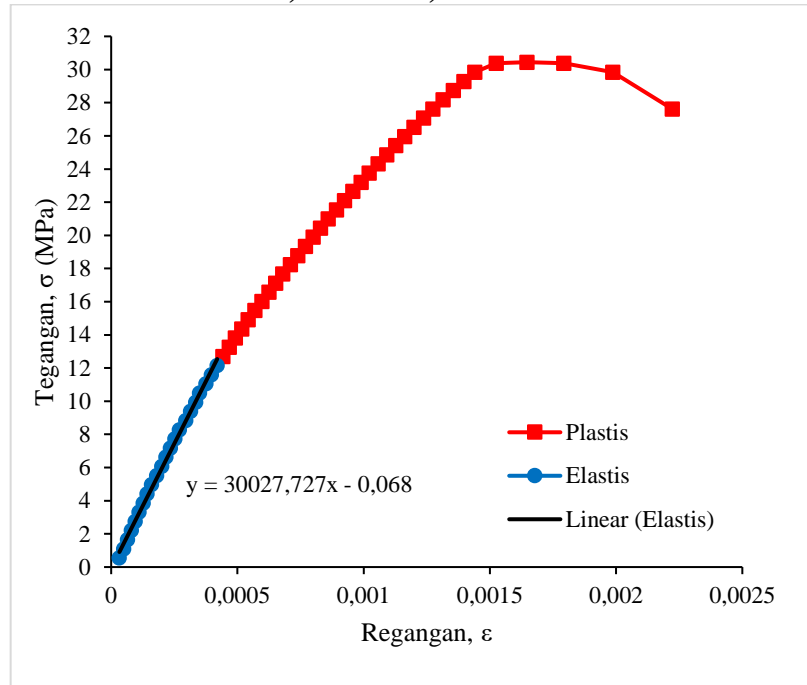
## Modulus Elastisitas Beton C-5-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,445 MPa
Diameter	151,8 mm
Tinggi	301,8 mm
Luas	18098,12 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	13	0,00650	0,0000325	0,5525
20	20	0,01000	0,0000500	1,1051
30	26	0,01300	0,0000650	1,6576
40	32	0,01600	0,0000800	2,2102
50	38	0,01900	0,0000950	2,7627
60	44	0,02200	0,0001100	3,3153
70	51	0,02550	0,0001275	3,8678
80	57	0,02850	0,0001425	4,4203
90	64	0,03200	0,0001600	4,9729
100	72	0,03600	0,0001800	5,5254
110	80	0,04000	0,0002000	6,0780
120	87	0,04350	0,0002175	6,6305
130	94	0,04700	0,0002350	7,1831
140	101	0,05050	0,0002525	7,7356
150	108	0,05400	0,0002700	8,2882
160	118	0,05900	0,0002950	8,8407
170	126	0,06300	0,0003150	9,3932
180	134	0,06700	0,0003350	9,9458
190	140	0,07000	0,0003500	10,4983
200	150	0,07500	0,0003750	11,0509
210	159	0,07950	0,0003975	11,6034
220	168	0,08400	0,0004200	12,1560
230	177	0,08850	0,0004425	12,7085
240	187	0,09350	0,0004675	13,2610
250	197	0,09850	0,0004925	13,8136
260	207	0,10350	0,0005175	14,3661
270	217	0,10850	0,0005425	14,9187

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	228	0,11400	0,0005700	15,4712
290	239	0,11950	0,0005975	16,0238
300	250	0,12500	0,0006250	16,5763
310	261	0,13050	0,0006525	17,1289
320	272	0,13600	0,0006800	17,6814
330	284	0,14200	0,0007100	18,2339
340	296	0,14800	0,0007400	18,7865
350	308	0,15400	0,0007700	19,3390
360	320	0,16000	0,0008000	19,8916
370	332	0,16600	0,0008300	20,4441
380	344	0,17200	0,0008600	20,9967
390	357	0,17850	0,0008925	21,5492
400	370	0,18500	0,0009250	22,1017
410	383	0,19150	0,0009575	22,6543
420	396	0,19800	0,0009900	23,2068
430	409	0,20450	0,0010225	23,7594
440	423	0,21150	0,0010575	24,3119
450	437	0,21850	0,0010925	24,8645
460	451	0,22550	0,0011275	25,4170
470	465	0,23250	0,0011625	25,9696
480	480	0,24000	0,0012000	26,5221
490	495	0,24750	0,0012375	27,0746
500	510	0,25500	0,0012750	27,6272
510	526	0,26300	0,0013150	28,1797
520	542	0,27100	0,0013550	28,7323
530	559	0,27950	0,0013975	29,2848
540	576	0,28800	0,0014400	29,8374
550	610	0,30500	0,0015250	30,3899
551	659	0,32950	0,0016475	30,4452
550	717	0,35850	0,0017925	30,3899
540	795	0,39750	0,0019875	29,8374
500	889	0,44450	0,0022225	27,6272

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 28 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	30027,727 MPa
E teoritis	28638,484 MPa
E uji / E teoritis	104,851 %

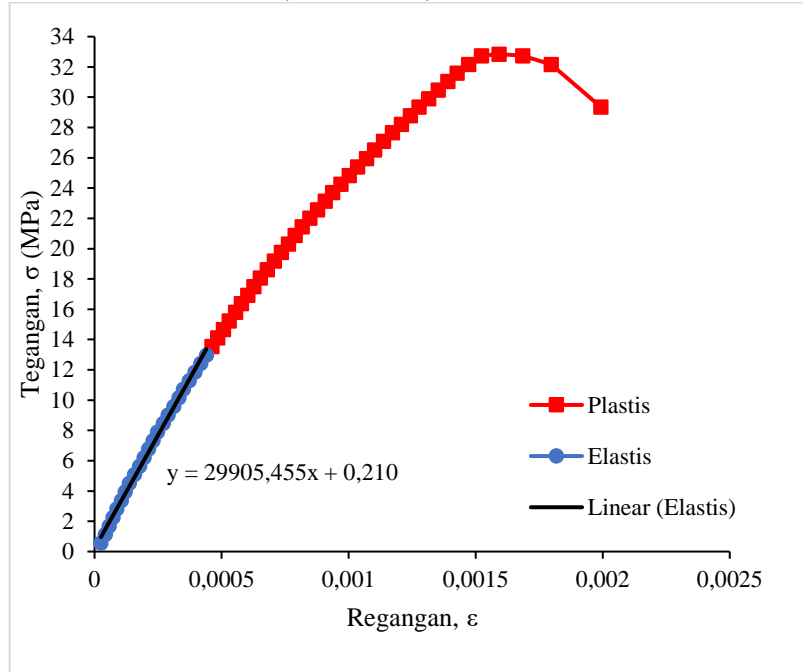
### Modulus Elastisitas Beton C-5-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	5%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	32,852 MPa
Diameter	150,2 mm
Tinggi	300 mm
Luas	17718,61 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5644
20	17	0,00850	0,0000425	1,1288
30	23	0,01150	0,0000575	1,6931
40	29	0,01450	0,0000725	2,2575
50	35	0,01750	0,0000875	2,8219
60	42	0,02100	0,0001050	3,3863
70	48	0,02400	0,0001200	3,9506
80	55	0,02750	0,0001375	4,5150
90	63	0,03150	0,0001575	5,0794
100	71	0,03550	0,0001775	5,6438
110	78	0,03900	0,0001950	6,2082
120	85	0,04250	0,0002125	6,7725
130	92	0,04600	0,0002300	7,3369
140	99	0,04950	0,0002475	7,9013
150	108	0,05400	0,0002700	8,4657
160	116	0,05800	0,0002900	9,0301
170	125	0,06250	0,0003125	9,5944
180	133	0,06650	0,0003325	10,1588
190	140	0,07000	0,0003500	10,7232
200	149	0,07450	0,0003725	11,2876
210	158	0,07900	0,0003950	11,8519
220	167	0,08350	0,0004175	12,4163
230	176	0,08800	0,0004400	12,9807
240	185	0,09250	0,0004625	13,5451
250	194	0,09700	0,0004850	14,1095
260	203	0,10150	0,0005075	14,6738
270	212	0,10600	0,0005300	15,2382

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	222	0,11100	0,0005550	15,8026
290	231	0,11550	0,0005775	16,3670
300	241	0,12050	0,0006025	16,9313
310	251	0,12550	0,0006275	17,4957
320	261	0,13050	0,0006525	18,0601
330	272	0,13600	0,0006800	18,6245
340	283	0,14150	0,0007075	19,1889
350	294	0,14700	0,0007350	19,7532
360	305	0,15250	0,0007625	20,3176
370	316	0,15800	0,0007900	20,8820
380	327	0,16350	0,0008175	21,4464
390	339	0,16950	0,0008475	22,0108
400	351	0,17550	0,0008775	22,5751
410	363	0,18150	0,0009075	23,1395
420	375	0,18750	0,0009375	23,7039
430	388	0,19400	0,0009700	24,2683
440	401	0,20050	0,0010025	24,8326
450	414	0,20700	0,0010350	25,3970
460	428	0,21400	0,0010700	25,9614
470	441	0,22050	0,0011025	26,5258
480	455	0,22750	0,0011375	27,0902
490	469	0,23450	0,0011725	27,6545
500	483	0,24150	0,0012075	28,2189
510	497	0,24850	0,0012425	28,7833
520	511	0,25550	0,0012775	29,3477
530	526	0,26300	0,0013150	29,9120
540	541	0,27050	0,0013525	30,4764
550	556	0,27800	0,0013900	31,0408
560	571	0,28550	0,0014275	31,6052
570	589	0,29450	0,0014725	32,1696
580	609	0,30450	0,0015225	32,7339
582,1	637	0,31850	0,0015925	32,8525
580	674	0,33700	0,0016850	32,7339
570	719	0,35950	0,0017975	32,1696
520	797	0,39850	0,0019925	29,3477

### Grafik Modulus Elastisitas 5%, 28 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	29905,455 MPa
E teoritis	29749,170 MPa
E uji / E teoritis	100,525 %

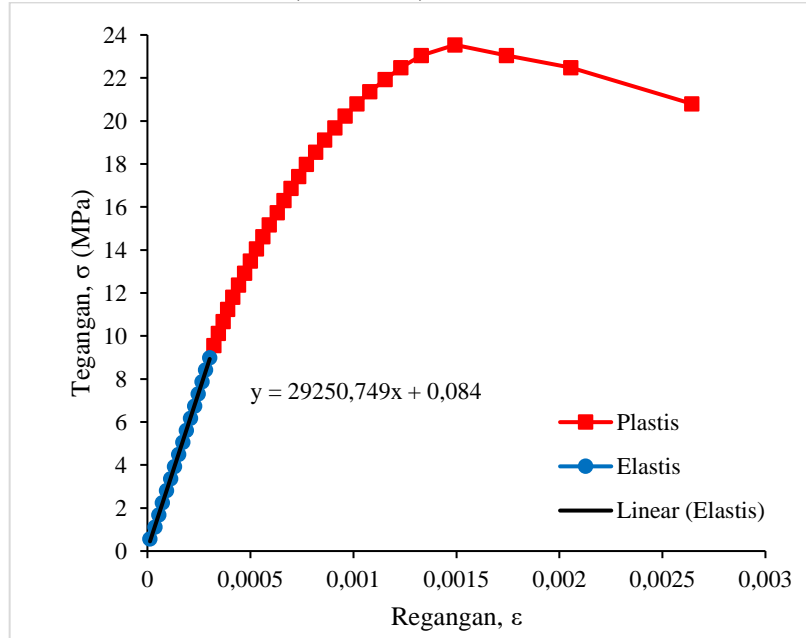
### Modulus Elastisitas Beton C-6-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	23,536 MPa
Diameter	150,5 mm
Tinggi	302,1 mm
Luas	17789,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5621
20	15	0,00750	0,0000375	1,1243
30	22	0,01100	0,0000550	1,6864
40	29	0,01450	0,0000725	2,2485
50	37	0,01850	0,0000925	2,8107
60	45	0,02250	0,0001125	3,3728
70	53	0,02650	0,0001325	3,9349
80	61	0,03050	0,0001525	4,4970
90	69	0,03450	0,0001725	5,0592
100	76	0,03800	0,0001900	5,6213
110	84	0,04200	0,0002100	6,1834
120	92	0,04600	0,0002300	6,7456
130	99	0,04950	0,0002475	7,3077
140	106	0,05300	0,0002650	7,8698
150	113	0,05650	0,0002825	8,4320
160	121	0,06050	0,0003025	8,9941
170	129	0,06450	0,0003225	9,5562
180	138	0,06900	0,0003450	10,1183
190	147	0,07350	0,0003675	10,6805
200	156	0,07800	0,0003900	11,2426
210	166	0,08300	0,0004150	11,8047
220	177	0,08850	0,0004425	12,3669
230	189	0,09450	0,0004725	12,9290
240	200	0,10000	0,0005000	13,4911
250	212	0,10600	0,0005300	14,0533
260	224	0,11200	0,0005600	14,6154
270	237	0,11850	0,0005925	15,1775

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	252	0,12600	0,0006300	15,7397
290	265	0,13250	0,0006625	16,3018
300	279	0,13950	0,0006975	16,8639
310	294	0,14700	0,0007350	17,4260
320	309	0,15450	0,0007725	17,9882
330	327	0,16350	0,0008175	18,5503
340	344	0,17200	0,0008600	19,1124
350	364	0,18200	0,0009100	19,6746
360	384	0,19200	0,0009600	20,2367
370	407	0,20350	0,0010175	20,7988
380	432	0,21600	0,0010800	21,3610
390	462	0,23100	0,0011550	21,9231
400	492	0,24600	0,0012300	22,4852
410	532	0,26600	0,0013300	23,0473
418,7	597	0,29850	0,0014925	23,5364
410	697	0,34850	0,0017425	23,0473
400	822	0,41100	0,0020550	22,4852
370	1057	0,52850	0,0026425	20,7988

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 7 Hari, Silinder 1



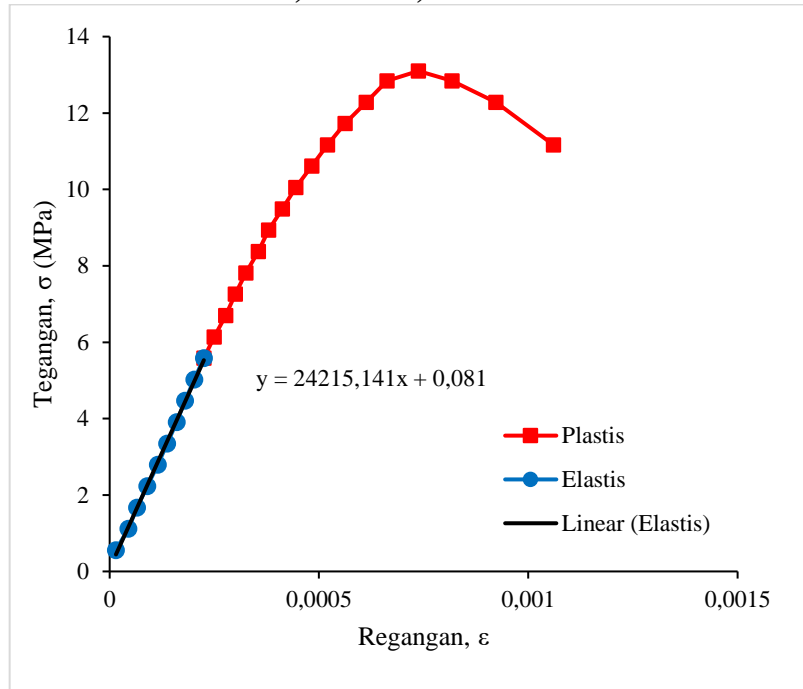
Modulus Elastisitas	
E uji	29250,749 MPa
E teoritis	28066,996 MPa
E uji / E teoritis	104,218 %

## Modulus Elastisitas Beton C-6-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	13,100 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	300,8 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	6	0,00300	0,0000150	0,5584
20	18	0,00900	0,0000450	1,1168
30	26	0,01300	0,0000650	1,6752
40	36	0,01800	0,0000900	2,2337
50	46	0,02300	0,0001150	2,7921
60	55	0,02750	0,0001375	3,3505
70	64	0,03200	0,0001600	3,9089
80	72	0,03600	0,0001800	4,4673
90	81	0,04050	0,0002025	5,0257
100	90	0,04500	0,0002250	5,5841
110	100	0,05000	0,0002500	6,1426
120	111	0,05550	0,0002775	6,7010
130	120	0,06000	0,0003000	7,2594
140	130	0,06500	0,0003250	7,8178
150	142	0,07100	0,0003550	8,3762
160	152	0,07600	0,0003800	8,9346
170	165	0,08250	0,0004125	9,4930
180	178	0,08900	0,0004450	10,0515
190	193	0,09650	0,0004825	10,6099
200	208	0,10400	0,0005200	11,1683
210	225	0,11250	0,0005625	11,7267
220	245	0,12250	0,0006125	12,2851
230	265	0,13250	0,0006625	12,8435
234,6	295	0,14750	0,0007375	13,1004
230	327	0,16350	0,0008175	12,8435
220	369	0,18450	0,0009225	12,2851
200	424	0,21200	0,0010600	11,1683

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 7 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas		
E uji	24215,141	MPa
E teoritis	20939,582	MPa
E uji / E teoritis	115,643	%

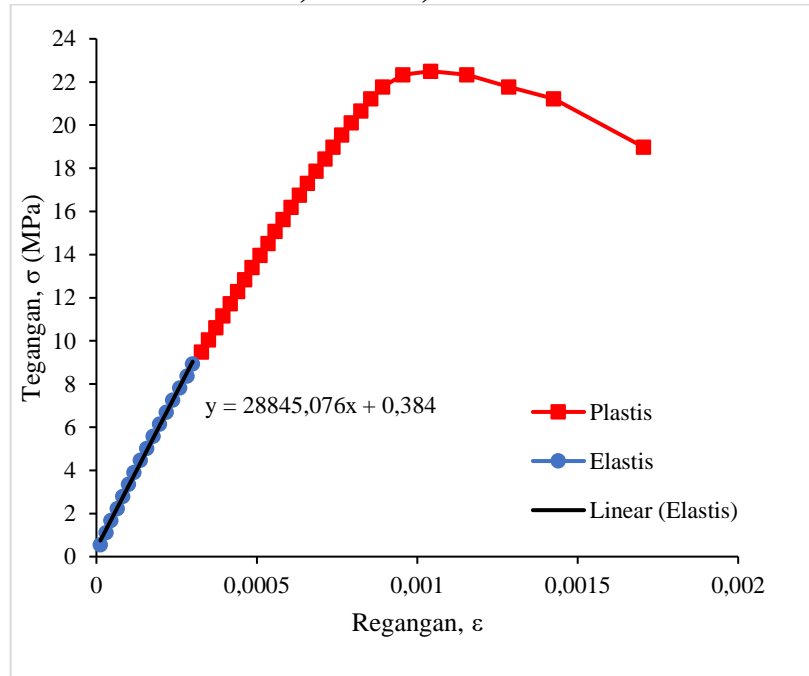
### Modulus Elastisitas Beton C-6-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,498 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	301 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5584
20	12	0,00600	0,0000300	1,1168
30	18	0,00900	0,0000450	1,6752
40	26	0,01300	0,0000650	2,2337
50	33	0,01650	0,0000825	2,7921
60	40	0,02000	0,0001000	3,3505
70	47	0,02350	0,0001175	3,9089
80	55	0,02750	0,0001375	4,4673
90	63	0,03150	0,0001575	5,0257
100	71	0,03550	0,0001775	5,5841
110	79	0,03950	0,0001975	6,1426
120	87	0,04350	0,0002175	6,7010
130	95	0,04750	0,0002375	7,2594
140	104	0,05200	0,0002600	7,8178
150	113	0,05650	0,0002825	8,3762
160	120	0,06000	0,0003000	8,9346
170	131	0,06550	0,0003275	9,4930
180	140	0,07000	0,0003500	10,0515
190	149	0,07450	0,0003725	10,6099
200	158	0,07900	0,0003950	11,1683
210	167	0,08350	0,0004175	11,7267
220	176	0,08800	0,0004400	12,2851
230	185	0,09250	0,0004625	12,8435
240	194	0,09700	0,0004850	13,4019
250	204	0,10200	0,0005100	13,9603
260	214	0,10700	0,0005350	14,5188
270	223	0,11150	0,0005575	15,0772

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	233	0,11650	0,0005825	15,6356
290	243	0,12150	0,0006075	16,1940
300	253	0,12650	0,0006325	16,7524
310	263	0,13150	0,0006575	17,3108
320	274	0,13700	0,0006850	17,8692
330	285	0,14250	0,0007125	18,4277
340	295	0,14750	0,0007375	18,9861
350	306	0,15300	0,0007650	19,5445
360	318	0,15900	0,0007950	20,1029
370	330	0,16500	0,0008250	20,6613
380	342	0,17100	0,0008550	21,2197
390	357	0,17850	0,0008925	21,7781
400	382	0,19100	0,0009550	22,3366
402,9	417	0,20850	0,0010425	22,4985
400	462	0,23100	0,0011550	22,3366
390	514	0,25700	0,0012850	21,7781
380	570	0,28500	0,0014250	21,2197
340	682	0,34100	0,0017050	18,9861

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 7 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	28845,076 MPa
E teoritis	27441,171 MPa
E uji / E teoritis	105,116 %

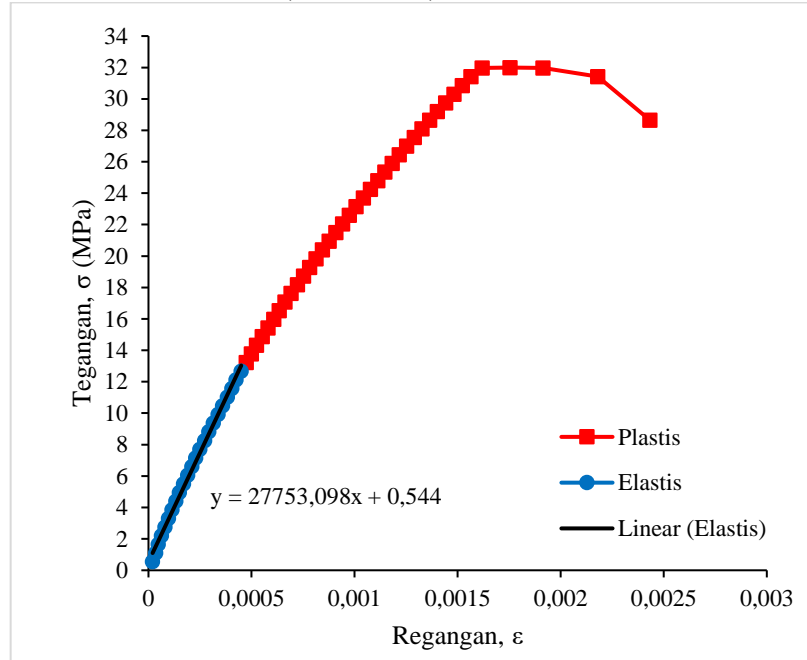
## Modulus Elastisitas Beton C-6-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	31,996 MPa
Diameter	152 mm
Tinggi	302 mm
Luas	18145,84 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	8	0,00400	0,0000200	0,5511
20	14	0,00700	0,0000350	1,1022
30	19	0,00950	0,0000475	1,6533
40	25	0,01250	0,0000625	2,2044
50	32	0,01600	0,0000800	2,7555
60	39	0,01950	0,0000975	3,3065
70	46	0,02300	0,0001150	3,8576
80	53	0,02650	0,0001325	4,4087
90	60	0,03000	0,0001500	4,9598
100	68	0,03400	0,0001700	5,5109
110	76	0,03800	0,0001900	6,0620
120	84	0,04200	0,0002100	6,6131
130	92	0,04600	0,0002300	7,1642
140	100	0,05000	0,0002500	7,7153
150	109	0,05450	0,0002725	8,2664
160	117	0,05850	0,0002925	8,8174
170	126	0,06300	0,0003150	9,3685
180	135	0,06750	0,0003375	9,9196
190	144	0,07200	0,0003600	10,4707
200	153	0,07650	0,0003825	11,0218
210	162	0,08100	0,0004050	11,5729
220	170	0,08500	0,0004250	12,1240
230	180	0,09000	0,0004500	12,6751
240	190	0,09500	0,0004750	13,2262
250	200	0,10000	0,0005000	13,7773
260	210	0,10500	0,0005250	14,3284
270	221	0,11050	0,0005525	14,8794

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	232	0,11600	0,0005800	15,4305
290	243	0,12150	0,0006075	15,9816
300	254	0,12700	0,0006350	16,5327
310	265	0,13250	0,0006625	17,0838
320	277	0,13850	0,0006925	17,6349
330	289	0,14450	0,0007225	18,1860
340	301	0,15050	0,0007525	18,7371
350	313	0,15650	0,0007825	19,2882
360	325	0,16250	0,0008125	19,8393
370	338	0,16900	0,0008450	20,3903
380	351	0,17550	0,0008775	20,9414
390	364	0,18200	0,0009100	21,4925
400	377	0,18850	0,0009425	22,0436
410	390	0,19500	0,0009750	22,5947
420	403	0,20150	0,0010075	23,1458
430	417	0,20850	0,0010425	23,6969
440	431	0,21550	0,0010775	24,2480
450	445	0,22250	0,0011125	24,7991
460	459	0,22950	0,0011475	25,3502
470	473	0,23650	0,0011825	25,9013
480	487	0,24350	0,0012175	26,4523
490	501	0,25050	0,0012525	27,0034
500	516	0,25800	0,0012900	27,5545
510	531	0,26550	0,0013275	28,1056
520	546	0,27300	0,0013650	28,6567
530	561	0,28050	0,0014025	29,2078
540	577	0,28850	0,0014425	29,7589
550	593	0,29650	0,0014825	30,3100
560	609	0,30450	0,0015225	30,8611
570	626	0,31300	0,0015650	31,4122
580	648	0,32400	0,0016200	31,9633
580,6	702	0,35100	0,0017550	31,9963
580	766	0,38300	0,0019150	31,9633
570	872	0,43600	0,0021800	31,4122
520	973	0,48650	0,0024325	28,6567

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 28 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas	
E uji	27753,098 MPa
E teoritis	29358,977 MPa
E uji / E teoritis	94,530 %

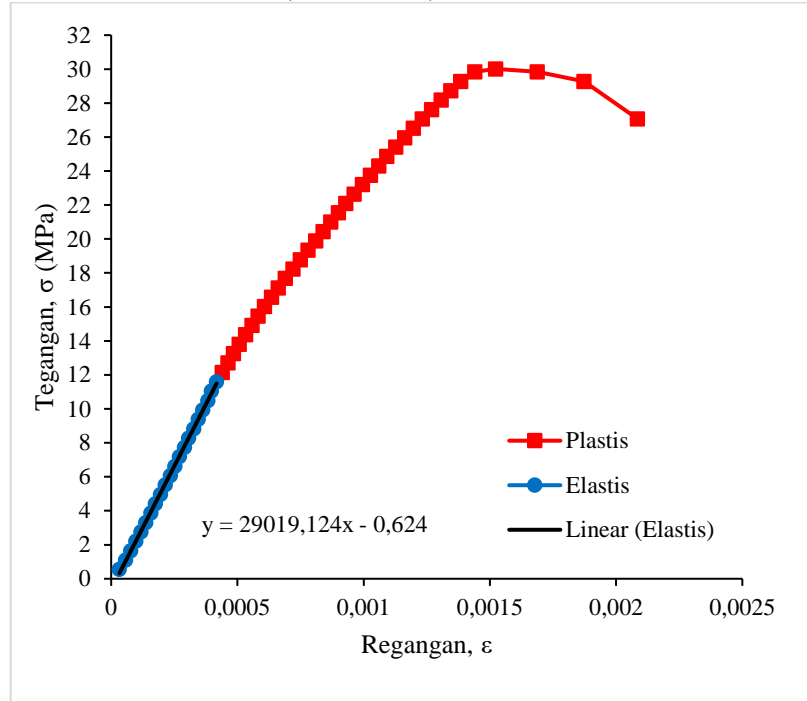
## Modulus Elastisitas Beton C-6-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,014 MPa
Diameter	151,8 mm
Tinggi	300,5 mm
Luas	18098,12 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	13	0,00650	0,0000325	0,5525
20	23	0,01150	0,0000575	1,1051
30	31	0,01550	0,0000775	1,6576
40	39	0,01950	0,0000975	2,2102
50	47	0,02350	0,0001175	2,7627
60	55	0,02750	0,0001375	3,3153
70	63	0,03150	0,0001575	3,8678
80	70	0,03500	0,0001750	4,4203
90	78	0,03900	0,0001950	4,9729
100	86	0,04300	0,0002150	5,5254
110	94	0,04700	0,0002350	6,0780
120	101	0,05050	0,0002525	6,6305
130	108	0,05400	0,0002700	7,1831
140	116	0,05800	0,0002900	7,7356
150	123	0,06150	0,0003075	8,2882
160	131	0,06550	0,0003275	8,8407
170	138	0,06900	0,0003450	9,3932
180	145	0,07250	0,0003625	9,9458
190	153	0,07650	0,0003825	10,4983
200	159	0,07950	0,0003975	11,0509
210	167	0,08350	0,0004175	11,6034
220	176	0,08800	0,0004400	12,1560
230	185	0,09250	0,0004625	12,7085
240	194	0,09700	0,0004850	13,2610
250	203	0,10150	0,0005075	13,8136
260	213	0,10650	0,0005325	14,3661
270	223	0,11150	0,0005575	14,9187

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	233	0,11650	0,0005825	15,4712
290	243	0,12150	0,0006075	16,0238
300	254	0,12700	0,0006350	16,5763
310	265	0,13250	0,0006625	17,1289
320	276	0,13800	0,0006900	17,6814
330	288	0,14400	0,0007200	18,2339
340	300	0,15000	0,0007500	18,7865
350	312	0,15600	0,0007800	19,3390
360	324	0,16200	0,0008100	19,8916
370	336	0,16800	0,0008400	20,4441
380	348	0,17400	0,0008700	20,9967
390	360	0,18000	0,0009000	21,5492
400	372	0,18600	0,0009300	22,1017
410	385	0,19250	0,0009625	22,6543
420	398	0,19900	0,0009950	23,2068
430	411	0,20550	0,0010275	23,7594
440	424	0,21200	0,0010600	24,3119
450	437	0,21850	0,0010925	24,8645
460	451	0,22550	0,0011275	25,4170
470	465	0,23250	0,0011625	25,9696
480	479	0,23950	0,0011975	26,5221
490	493	0,24650	0,0012325	27,0746
500	508	0,25400	0,0012700	27,6272
510	523	0,26150	0,0013075	28,1797
520	538	0,26900	0,0013450	28,7323
530	554	0,27700	0,0013850	29,2848
540	576	0,28800	0,0014400	29,8374
543,2	609	0,30450	0,0015225	30,0142
540	675	0,33750	0,0016875	29,8374
530	749	0,37450	0,0018725	29,2848
490	834	0,41700	0,0020850	27,0746

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 28 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	29019,124 MPa
E teoritis	28435,057 MPa
E uji / E teoritis	102,054 %

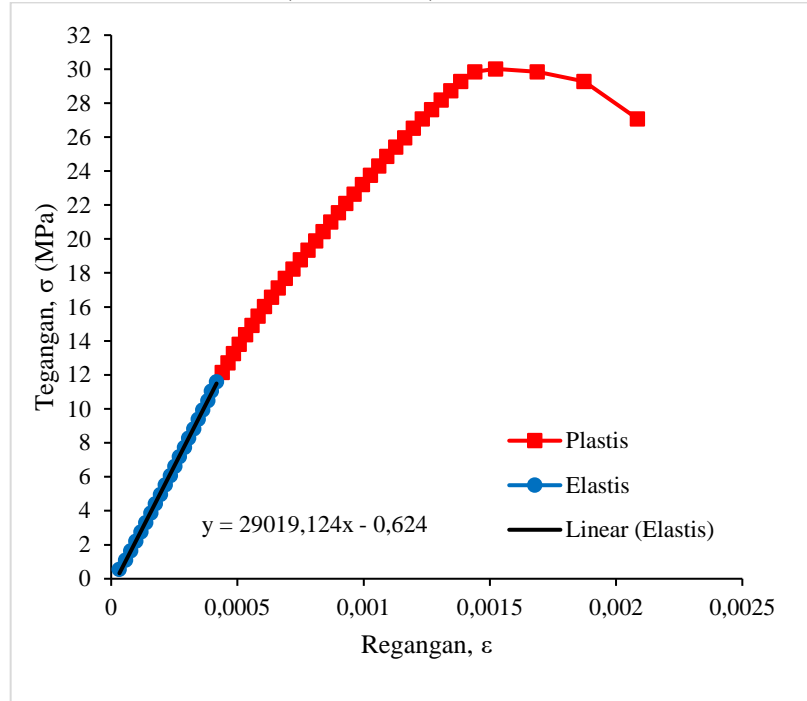
### Modulus Elastisitas Beton C-6-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	6%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,580 MPa
Diameter	150 mm
Tinggi	296,5 mm
Luas	17671,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5659
20	20	0,01000	0,0000500	1,1318
30	28	0,01400	0,0000700	1,6977
40	36	0,01800	0,0000900	2,2635
50	44	0,02200	0,0001100	2,8294
60	52	0,02600	0,0001300	3,3953
70	60	0,03000	0,0001500	3,9612
80	67	0,03350	0,0001675	4,5271
90	75	0,03750	0,0001875	5,0930
100	83	0,04150	0,0002075	5,6588
110	91	0,04550	0,0002275	6,2247
120	99	0,04950	0,0002475	6,7906
130	106	0,05300	0,0002650	7,3565
140	114	0,05700	0,0002850	7,9224
150	121	0,06050	0,0003025	8,4883
160	128	0,06400	0,0003200	9,0541
170	135	0,06750	0,0003375	9,6200
180	142	0,07100	0,0003550	10,1859
190	150	0,07500	0,0003750	10,7518
200	157	0,07850	0,0003925	11,3177
210	165	0,08250	0,0004125	11,8836
220	173	0,08650	0,0004325	12,4495
230	181	0,09050	0,0004525	13,0153
240	190	0,09500	0,0004750	13,5812
250	199	0,09950	0,0004975	14,1471
260	208	0,10400	0,0005200	14,7130
270	217	0,10850	0,0005425	15,2789

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	226	0,11300	0,0005650	15,8448
290	235	0,11750	0,0005875	16,4106
300	244	0,12200	0,0006100	16,9765
310	253	0,12650	0,0006325	17,5424
320	263	0,13150	0,0006575	18,1083
330	273	0,13650	0,0006825	18,6742
340	283	0,14150	0,0007075	19,2401
350	293	0,14650	0,0007325	19,8059
360	304	0,15200	0,0007600	20,3718
370	315	0,15750	0,0007875	20,9377
380	326	0,16300	0,0008150	21,5036
390	337	0,16850	0,0008425	22,0695
400	349	0,17450	0,0008725	22,6354
410	361	0,18050	0,0009025	23,2013
420	373	0,18650	0,0009325	23,7671
430	385	0,19250	0,0009625	24,3330
440	398	0,19900	0,0009950	24,8989
450	411	0,20550	0,0010275	25,4648
460	424	0,21200	0,0010600	26,0307
470	437	0,21850	0,0010925	26,5966
480	450	0,22500	0,0011250	27,1624
490	464	0,23200	0,0011600	27,7283
500	478	0,23900	0,0011950	28,2942
510	492	0,24600	0,0012300	28,8601
520	507	0,25350	0,0012675	29,4260
530	522	0,26100	0,0013050	29,9919
540	542	0,27100	0,0013550	30,5577
540,4	563	0,28150	0,0014075	30,5804
540	591	0,29550	0,0014775	30,5577
530	627	0,31350	0,0015675	29,9919
520	673	0,33650	0,0016825	29,4260
480	734	0,36700	0,0018350	27,1624

### Grafik Modulus Elastisitas 6%, 28 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	29019,124 MPa
E teoritis	28435,057 MPa
E uji / E teoritis	102,054 %

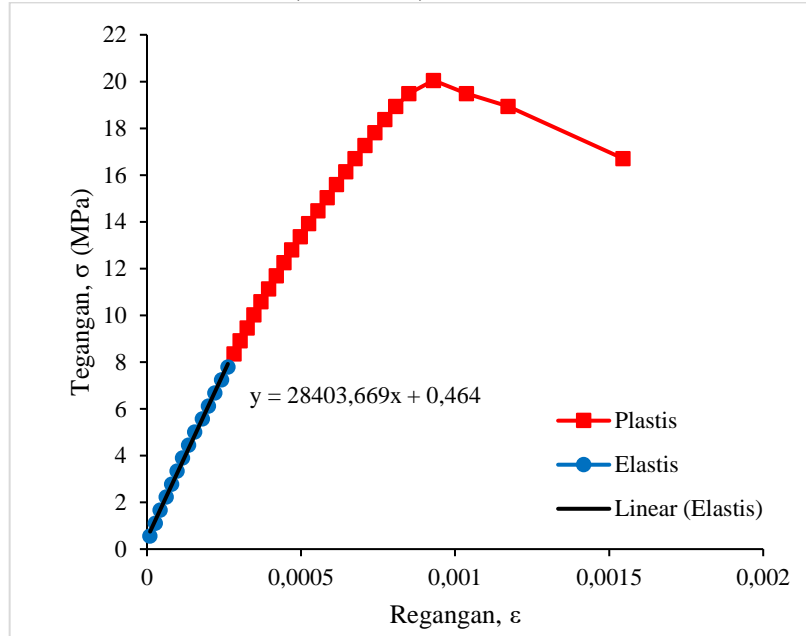
### Modulus Elastisitas Beton C-8-7 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	20,050 MPa
Diameter	151,2 mm
Tinggi	300,7 mm
Luas	17955,33 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5569
20	11	0,00550	0,0000275	1,1139
30	17	0,00850	0,0000425	1,6708
40	25	0,01250	0,0000625	2,2278
50	32	0,01600	0,0000800	2,7847
60	39	0,01950	0,0000975	3,3416
70	46	0,02300	0,0001150	3,8986
80	54	0,02700	0,0001350	4,4555
90	62	0,03100	0,0001550	5,0124
100	72	0,03600	0,0001800	5,5694
110	80	0,04000	0,0002000	6,1263
120	88	0,04400	0,0002200	6,6833
130	97	0,04850	0,0002425	7,2402
140	105	0,05250	0,0002625	7,7971
150	113	0,05650	0,0002825	8,3541
160	121	0,06050	0,0003025	8,9110
170	130	0,06500	0,0003250	9,4679
180	139	0,06950	0,0003475	10,0249
190	148	0,07400	0,0003700	10,5818
200	158	0,07900	0,0003950	11,1388
210	168	0,08400	0,0004200	11,6957
220	178	0,08900	0,0004450	12,2526
230	188	0,09400	0,0004700	12,8096
240	199	0,09950	0,0004975	13,3665
250	210	0,10500	0,0005250	13,9234
260	222	0,11100	0,0005550	14,4804
270	234	0,11700	0,0005850	15,0373

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	246	0,12300	0,0006150	15,5943
290	258	0,12900	0,0006450	16,1512
300	270	0,13500	0,0006750	16,7081
310	283	0,14150	0,0007075	17,2651
320	296	0,14800	0,0007400	17,8220
330	309	0,15450	0,0007725	18,3789
340	323	0,16150	0,0008075	18,9359
350	340	0,17000	0,0008500	19,4928
360	372	0,18600	0,0009300	20,0498
350	415	0,20750	0,0010375	19,4928
340	469	0,23450	0,0011725	18,9359
300	618	0,30900	0,0015450	16,7081

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 7 Hari, Silinder 1



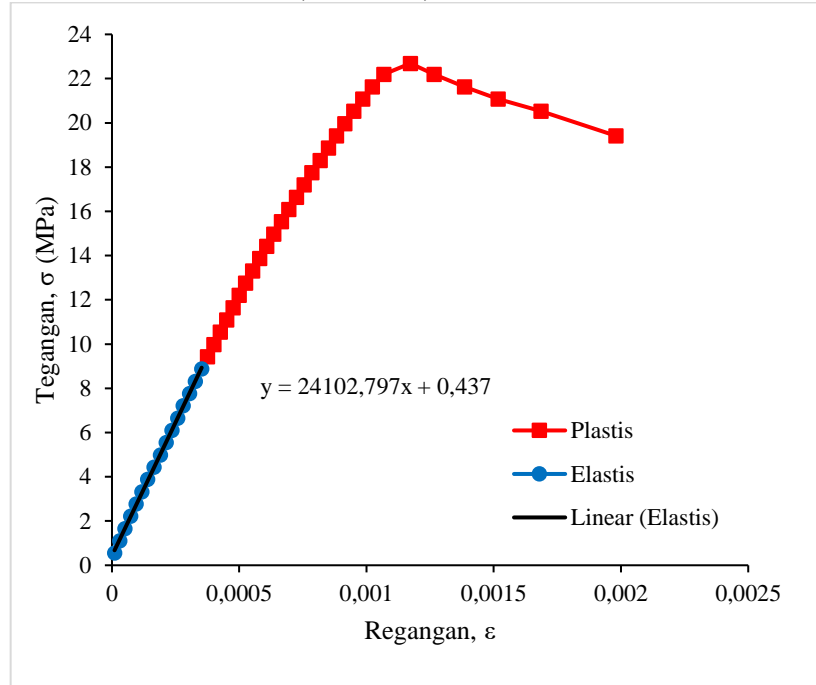
## Modulus Elastisitas Beton C-8-7 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	22,689 MPa
Diameter	151,5 mm
Tinggi	302 mm
Luas	18026,65 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	4	0,00200	0,0000100	0,5547
20	12	0,00600	0,0000300	1,1095
30	20	0,01000	0,0000500	1,6642
40	29	0,01450	0,0000725	2,2189
50	38	0,01900	0,0000950	2,7737
60	47	0,02350	0,0001175	3,3284
70	56	0,02800	0,0001400	3,8831
80	66	0,03300	0,0001650	4,4379
90	76	0,03800	0,0001900	4,9926
100	85	0,04250	0,0002125	5,5473
110	94	0,04700	0,0002350	6,1021
120	103	0,05150	0,0002575	6,6568
130	112	0,05600	0,0002800	7,2115
140	122	0,06100	0,0003050	7,7663
150	131	0,06550	0,0003275	8,3210
160	141	0,07050	0,0003525	8,8757
170	150	0,07500	0,0003750	9,4305
180	160	0,08000	0,0004000	9,9852
190	170	0,08500	0,0004250	10,5399
200	180	0,09000	0,0004500	11,0947
210	190	0,09500	0,0004750	11,6494
220	200	0,10000	0,0005000	12,2041
230	210	0,10500	0,0005250	12,7589
240	221	0,11050	0,0005525	13,3136
250	232	0,11600	0,0005800	13,8684
260	243	0,12150	0,0006075	14,4231
270	254	0,12700	0,0006350	14,9778

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	266	0,13300	0,0006650	15,5326
290	278	0,13900	0,0006950	16,0873
300	290	0,14500	0,0007250	16,6420
310	302	0,15100	0,0007550	17,1968
320	314	0,15700	0,0007850	17,7515
330	327	0,16350	0,0008175	18,3062
340	340	0,17000	0,0008500	18,8610
350	353	0,17650	0,0008825	19,4157
360	366	0,18300	0,0009150	19,9704
370	380	0,19000	0,0009500	20,5252
380	394	0,19700	0,0009850	21,0799
390	409	0,20450	0,0010225	21,6346
400	427	0,21350	0,0010675	22,1894
409	469	0,23450	0,0011725	22,6886
400	506	0,25300	0,0012650	22,1894
390	554	0,27700	0,0013850	21,6346
380	607	0,30350	0,0015175	21,0799
370	674	0,33700	0,0016850	20,5252
350	792	0,39600	0,0019800	19,4157

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 7 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	24102,797 MPa
E teoritis	27556,875 MPa
E uji / E teoritis	87,466 %

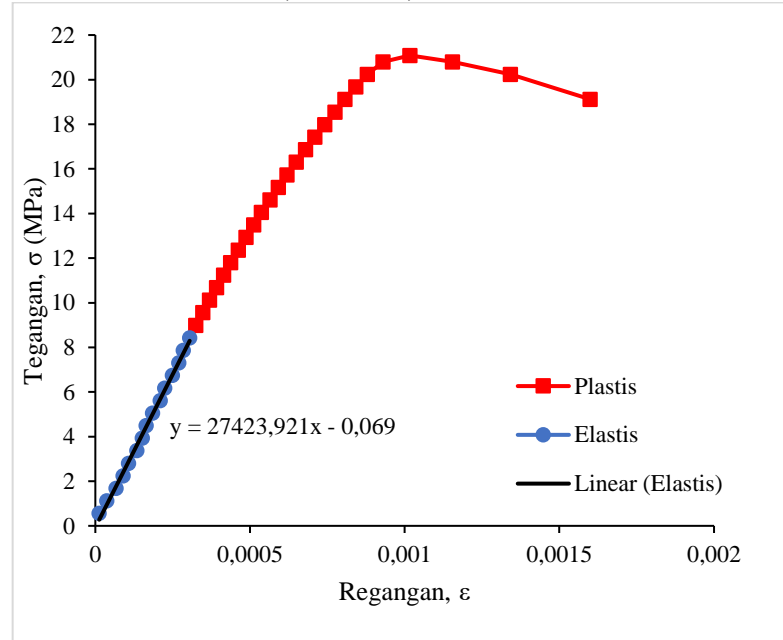
### Modulus Elastisitas Beton C-8-7 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	7 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	21,086 MPa
Diameter	150,5 mm
Tinggi	299,2 mm
Luas	17789,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	5	0,00250	0,0000125	0,5621
20	15	0,00750	0,0000375	1,1243
30	27	0,01350	0,0000675	1,6864
40	36	0,01800	0,0000900	2,2485
50	43	0,02150	0,0001075	2,8107
60	54	0,02700	0,0001350	3,3728
70	61	0,03050	0,0001525	3,9349
80	66	0,03300	0,0001650	4,4970
90	74	0,03700	0,0001850	5,0592
100	84	0,04200	0,0002100	5,6213
110	90	0,04500	0,0002250	6,1834
120	100	0,05000	0,0002500	6,7456
130	108	0,05400	0,0002700	7,3077
140	114	0,05700	0,0002850	7,8698
150	122	0,06100	0,0003050	8,4320
160	130	0,06500	0,0003250	8,9941
170	139	0,06950	0,0003475	9,5562
180	148	0,07400	0,0003700	10,1183
190	157	0,07850	0,0003925	10,6805
200	166	0,08300	0,0004150	11,2426
210	175	0,08750	0,0004375	11,8047
220	185	0,09250	0,0004625	12,3669
230	195	0,09750	0,0004875	12,9290
240	205	0,10250	0,0005125	13,4911
250	215	0,10750	0,0005375	14,0533
260	226	0,11300	0,0005650	14,6154
270	237	0,11850	0,0005925	15,1775

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	248	0,12400	0,0006200	15,7397
290	260	0,13000	0,0006500	16,3018
300	272	0,13600	0,0006800	16,8639
310	284	0,14200	0,0007100	17,4260
320	297	0,14850	0,0007425	17,9882
330	310	0,15500	0,0007750	18,5503
340	323	0,16150	0,0008075	19,1124
350	337	0,16850	0,0008425	19,6746
360	352	0,17600	0,0008800	20,2367
370	372	0,18600	0,0009300	20,7988
375,1	407	0,20350	0,0010175	21,0855
370	462	0,23100	0,0011550	20,7988
360	537	0,26850	0,0013425	20,2367
340	640	0,32000	0,0016000	19,1124

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 7 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas		
E uji	27423,921	MPa
E teoritis	26565,499	MPa
E uji / E teoritis	103,231	%

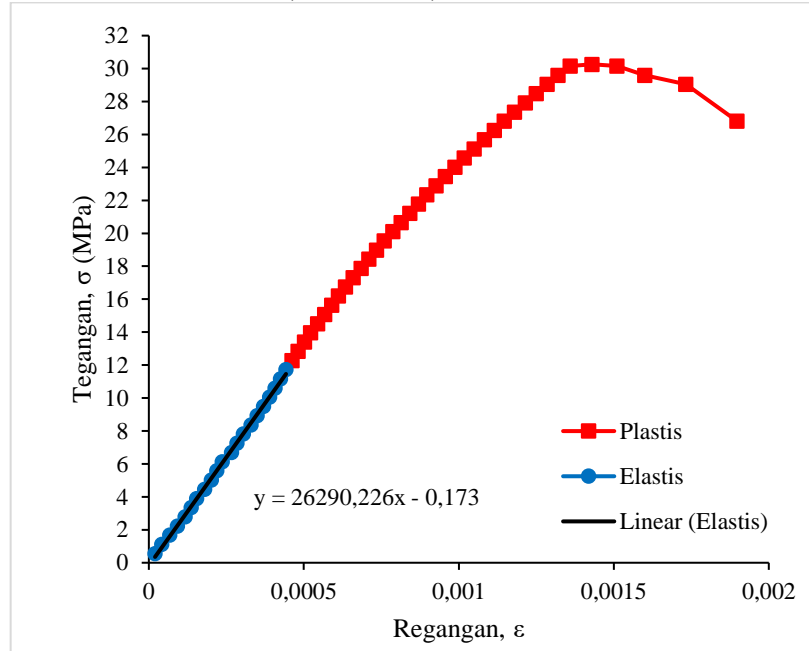
### Modulus Elastisitas Beton C-8-28 Sampel 1

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	1
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,260 MPa
Diameter	151 mm
Tinggi	300,2 mm
Luas	17907,86 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	8	0,00400	0,0000200	0,5584
20	17	0,00850	0,0000425	1,1168
30	27	0,01350	0,0000675	1,6752
40	37	0,01850	0,0000925	2,2337
50	47	0,02350	0,0001175	2,7921
60	55	0,02750	0,0001375	3,3505
70	62	0,03100	0,0001550	3,9089
80	72	0,03600	0,0001800	4,4673
90	81	0,04050	0,0002025	5,0257
100	88	0,04400	0,0002200	5,5841
110	95	0,04750	0,0002375	6,1426
120	107	0,05350	0,0002675	6,7010
130	114	0,05700	0,0002850	7,2594
140	122	0,06100	0,0003050	7,8178
150	132	0,06600	0,0003300	8,3762
160	140	0,07000	0,0003500	8,9346
170	148	0,07400	0,0003700	9,4930
180	156	0,07800	0,0003900	10,0515
190	163	0,08150	0,0004075	10,6099
200	170	0,08500	0,0004250	11,1683
210	177	0,08850	0,0004425	11,7267
220	185	0,09250	0,0004625	12,2851
230	193	0,09650	0,0004825	12,8435
240	201	0,10050	0,0005025	13,4019
250	209	0,10450	0,0005225	13,9603
260	218	0,10900	0,0005450	14,5188
270	227	0,11350	0,0005675	15,0772

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	236	0,11800	0,0005900	15,6356
290	245	0,12250	0,0006125	16,1940
300	254	0,12700	0,0006350	16,7524
310	264	0,13200	0,0006600	17,3108
320	274	0,13700	0,0006850	17,8692
330	284	0,14200	0,0007100	18,4277
340	294	0,14700	0,0007350	18,9861
350	304	0,15200	0,0007600	19,5445
360	315	0,15750	0,0007875	20,1029
370	326	0,16300	0,0008150	20,6613
380	337	0,16850	0,0008425	21,2197
390	348	0,17400	0,0008700	21,7781
400	359	0,17950	0,0008975	22,3366
410	371	0,18550	0,0009275	22,8950
420	383	0,19150	0,0009575	23,4534
430	395	0,19750	0,0009875	24,0118
440	407	0,20350	0,0010175	24,5702
450	420	0,21000	0,0010500	25,1286
460	433	0,21650	0,0010825	25,6870
470	446	0,22300	0,0011150	26,2455
480	459	0,22950	0,0011475	26,8039
490	472	0,23600	0,0011800	27,3623
500	486	0,24300	0,0012150	27,9207
510	500	0,25000	0,0012500	28,4791
520	514	0,25700	0,0012850	29,0375
530	528	0,26400	0,0013200	29,5959
540	544	0,27200	0,0013600	30,1544
541,9	572	0,28600	0,0014300	30,2604
540	604	0,30200	0,0015100	30,1544
530	640	0,32000	0,0016000	29,5959
520	693	0,34650	0,0017325	29,0375
480	759	0,37950	0,0018975	26,8039

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 28 Hari, Silinder 1



Modulus Elastisitas	
E uji	26290,226 MPa
E teoritis	28551,480 MPa
E uji / E teoritis	92,080 %

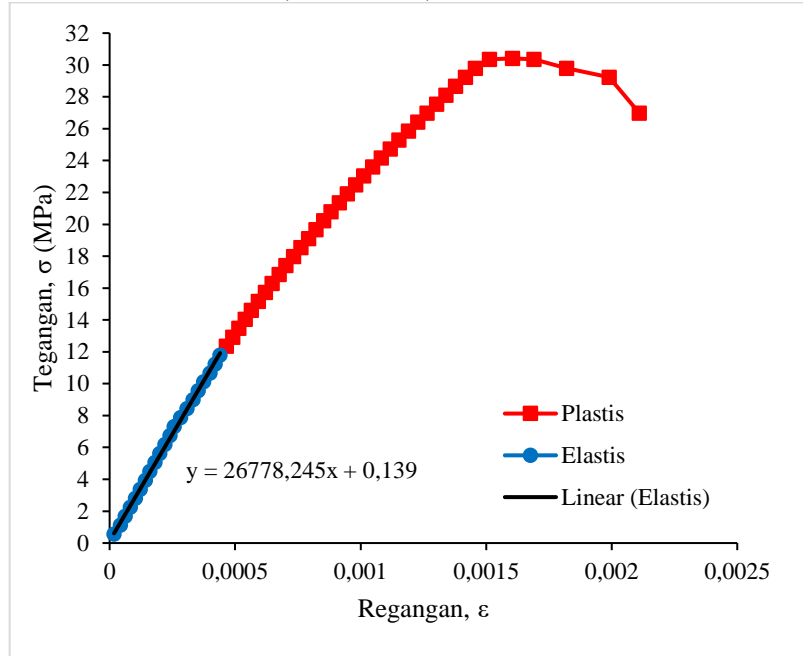
## Modulus Elastisitas Beton C-8-28 Sampel 2

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	2
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,411 MPa
Diameter	150,5 mm
Tinggi	303 mm
Luas	17789,46 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	7	0,00350	0,0000175	0,5621
20	17	0,00850	0,0000425	1,1243
30	25	0,01250	0,0000625	1,6864
40	33	0,01650	0,0000825	2,2485
50	41	0,02050	0,0001025	2,8107
60	49	0,02450	0,0001225	3,3728
70	57	0,02850	0,0001425	3,9349
80	64	0,03200	0,0001600	4,4970
90	72	0,03600	0,0001800	5,0592
100	80	0,04000	0,0002000	5,6213
110	88	0,04400	0,0002200	6,1834
120	96	0,04800	0,0002400	6,7456
130	103	0,05150	0,0002575	7,3077
140	113	0,05650	0,0002825	7,8698
150	123	0,06150	0,0003075	8,4320
160	133	0,06650	0,0003325	8,9941
170	141	0,07050	0,0003525	9,5562
180	150	0,07500	0,0003750	10,1183
190	160	0,08000	0,0004000	10,6805
200	168	0,08400	0,0004200	11,2426
210	176	0,08800	0,0004400	11,8047
220	186	0,09300	0,0004650	12,3669
230	196	0,09800	0,0004900	12,9290
240	206	0,10300	0,0005150	13,4911
250	216	0,10800	0,0005400	14,0533
260	226	0,11300	0,0005650	14,6154
270	237	0,11850	0,0005925	15,1775

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	248	0,12400	0,0006200	15,7397
290	259	0,12950	0,0006475	16,3018
300	270	0,13500	0,0006750	16,8639
310	281	0,14050	0,0007025	17,4260
320	293	0,14650	0,0007325	17,9882
330	305	0,15250	0,0007625	18,5503
340	317	0,15850	0,0007925	19,1124
350	329	0,16450	0,0008225	19,6746
360	341	0,17050	0,0008525	20,2367
370	353	0,17650	0,0008825	20,7988
380	366	0,18300	0,0009150	21,3610
390	379	0,18950	0,0009475	21,9231
400	392	0,19600	0,0009800	22,4852
410	405	0,20250	0,0010125	23,0473
420	419	0,20950	0,0010475	23,6095
430	433	0,21650	0,0010825	24,1716
440	447	0,22350	0,0011175	24,7337
450	461	0,23050	0,0011525	25,2959
460	476	0,23800	0,0011900	25,8580
470	491	0,24550	0,0012275	26,4201
480	506	0,25300	0,0012650	26,9823
490	521	0,26050	0,0013025	27,5444
500	536	0,26800	0,0013400	28,1065
510	551	0,27550	0,0013775	28,6687
520	567	0,28350	0,0014175	29,2308
530	583	0,29150	0,0014575	29,7929
540	605	0,30250	0,0015125	30,3550
541	642	0,32100	0,0016050	30,4113
540	676	0,33800	0,0016900	30,3550
530	728	0,36400	0,0018200	29,7929
520	796	0,39800	0,0019900	29,2308
480	844	0,42200	0,0021100	26,9823

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 28 Hari, Silinder 2



Modulus Elastisitas	
E uji	26778,245 MPa
E teoritis	28622,537 MPa
E uji / E teoritis	93,557 %

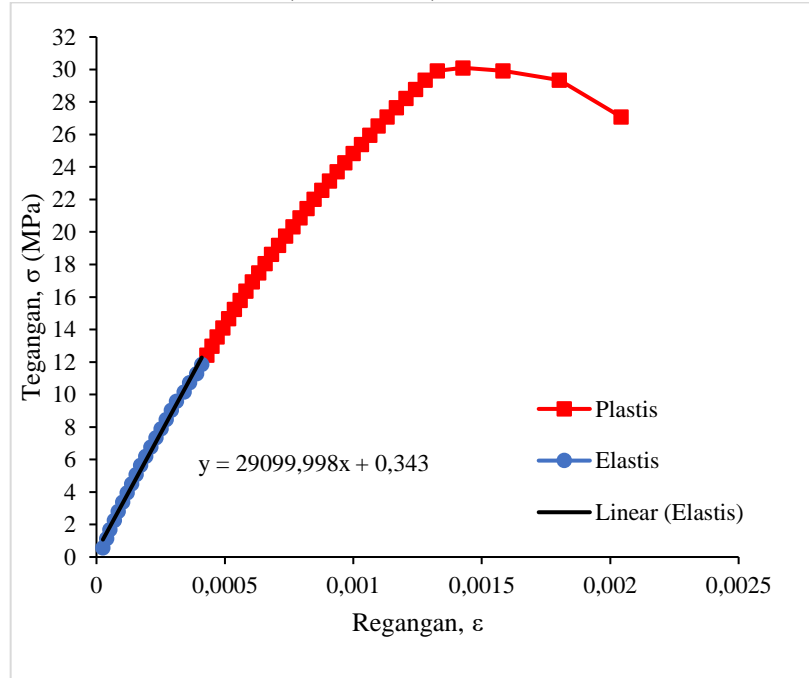
### Modulus Elastisitas Beton C-8-28 Sampel 3

Data Sampel	
Kadar RHA + WSA	8%
Umur Uji	28 Hari
No. Sampel	3
Mutu Beton Rencana	30 MPa
Mutu Beton Hasil Uji	30,104 MPa
Diameter	150,2 mm
Tinggi	302 mm
Luas	17718,61 mm <sup>2</sup>
Lo	200 mm

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
10	10	0,00500	0,0000250	0,5644
20	16	0,00800	0,0000400	1,1288
30	21	0,01050	0,0000525	1,6931
40	28	0,01400	0,0000700	2,2575
50	34	0,01700	0,0000850	2,8219
60	41	0,02050	0,0001025	3,3863
70	48	0,02400	0,0001200	3,9506
80	55	0,02750	0,0001375	4,5150
90	62	0,03100	0,0001550	5,0794
100	69	0,03450	0,0001725	5,6438
110	77	0,03850	0,0001925	6,2082
120	85	0,04250	0,0002125	6,7725
130	93	0,04650	0,0002325	7,3369
140	101	0,05050	0,0002525	7,9013
150	109	0,05450	0,0002725	8,4657
160	117	0,05850	0,0002925	9,0301
170	125	0,06250	0,0003125	9,5944
180	137	0,06850	0,0003425	10,1588
190	145	0,07250	0,0003625	10,7232
200	156	0,07800	0,0003900	11,2876
210	164	0,08200	0,0004100	11,8519
220	172	0,08600	0,0004300	12,4163
230	180	0,09000	0,0004500	12,9807
240	188	0,09400	0,0004700	13,5451
250	197	0,09850	0,0004925	14,1095
260	206	0,10300	0,0005150	14,6738
270	215	0,10750	0,0005375	15,2382

Beban (kN)	Pembacaan Dial, $\Delta L'$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta L$ (mm)	Regangan, $\epsilon$	Tegangan, $\sigma$ (MPa)
280	224	0,11200	0,0005600	15,8026
290	233	0,11650	0,0005825	16,3670
300	243	0,12150	0,0006075	16,9313
310	253	0,12650	0,0006325	17,4957
320	263	0,13150	0,0006575	18,0601
330	273	0,13650	0,0006825	18,6245
340	284	0,14200	0,0007100	19,1889
350	295	0,14750	0,0007375	19,7532
360	306	0,15300	0,0007650	20,3176
370	317	0,15850	0,0007925	20,8820
380	328	0,16400	0,0008200	21,4464
390	339	0,16950	0,0008475	22,0108
400	351	0,17550	0,0008775	22,5751
410	363	0,18150	0,0009075	23,1395
420	375	0,18750	0,0009375	23,7039
430	387	0,19350	0,0009675	24,2683
440	400	0,20000	0,0010000	24,8326
450	413	0,20650	0,0010325	25,3970
460	426	0,21300	0,0010650	25,9614
470	439	0,21950	0,0010975	26,5258
480	453	0,22650	0,0011325	27,0902
490	467	0,23350	0,0011675	27,6545
500	482	0,24100	0,0012050	28,2189
510	497	0,24850	0,0012425	28,7833
520	512	0,25600	0,0012800	29,3477
530	531	0,26550	0,0013275	29,9120
533,4	571	0,28550	0,0014275	30,1039
530	633	0,31650	0,0015825	29,9120
520	721	0,36050	0,0018025	29,3477
480	817	0,40850	0,0020425	27,0902

### Grafik Modulus Elastisitas 8%, 28 Hari, Silinder 3



Modulus Elastisitas	
E uji	29099,998 MPa
E teoritis	28477,546 MPa
E uji / E teoritis	102,186 %

Disahkan oleh:

Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Diperiksa oleh:

Ka. Lab Bahan Konstruksi Teknik

Di data oleh:

PLP/Laboran Konstruksi Teknik

(Ir. Berlian Kushari, M. Eng., IPM., ASEAN.Eng.)

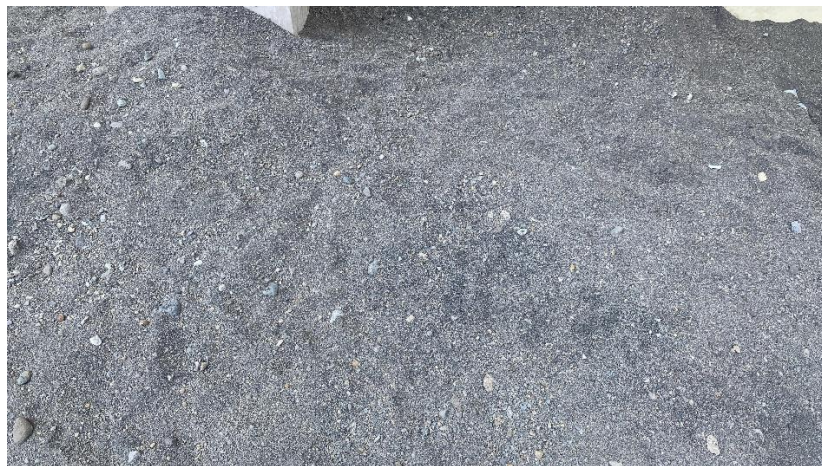
Tanggal:

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

Tanggal:

(Daru Salam, A.Md.)

Tanggal:

**Lampiran 6 Gambar Bahan yang digunakan****Gambar L-6.1 Semen Tipe I Tiga Roda****Gambar L-6.2 Agregat Halus****Gambar L-6.3 Agregat Kasar**

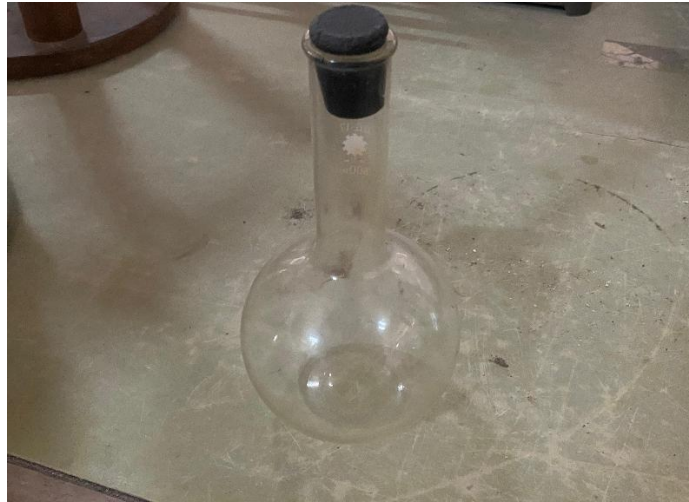


(a)

(b)

**Gambar L-6.4 (a) Abu Sekam Padi (*Rice Husk Ash*) dan (b) Abu Jerami Gandum (*Wheat Straw Ash*)**

**Lampiran 7 Gambar Alat yang digunakan****Gambar L-7.1 Set Saringan Agregat****Gambar L-7.2 Timbangan****Gambar L-7.3 Neraca *Ohaus***



**Gambar L-7.4 Piknometer**



**Gambar L-7.5 Oven**



**Gambar L-7.6 Concrete Mixer**



**Gambar L-7.7 Sekop**



**Gambar L-7.8 Kerucut Abrams**



**Gambar L-7.9 Bekisting Beton**



**Gambar L-7.10 Mesin Uji Tekan**

**Lampiran 8 Gambar Pengujian**

**Gambar L-8.1 Mesin Uji Tekan dan *Dial Gauge***



**Gambar L-8.2 Benda Uji Beton Normal Sebelum Pengujian**



**Gambar L-8.3 Benda Uji Beton Normal Setelah Pengujian**



**Gambar L-8.4 Benda Uji Beton RHA + WSA Sebelum Pengujian**



**Gambar L-8.5 Benda Uji Beton RHA + WSA Setelah Pengujian**