

TUGAS AKHIR

**PENGARUH *SILICA FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER*
PADA CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN
TAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN KUAT TARIK
DAN MODULUS ELASTISITAS BETON
(*THE EFFECT OF SILICA FUME AND
SUPERPLASTICIZER IN CONCRETE MIXTURES AS
ADDITIVE MATERIALS ON COMPRESSIVE
STRENGTH, TENSILE STRENGTH AND ELASTICITY
MODULUS OF CONCRETE*)**

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



**Ilham Khoiri
19511184**

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

TUGAS AKHIR

PENGARUH *SILICA FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER* PADA CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN KUAT TARIK DAN MODULUS ELASTISITAS BETON (*THE EFFECT OF SILICA FUME AND SUPERPLASTICIZER IN CONCRETE MIXTURES AS ADDITIVE MATERIALS ON COMPRESSIVE STRENGTH, TENSILE STRENGTH AND ELASTICITY MODULUS OF CONCRETE*)

Disusun Oleh

Ilham Khoiri
19511184

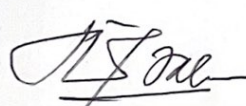
Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

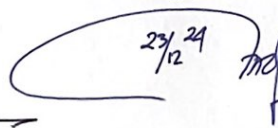
Diuji padatanggal
Oleh Dewan Penguji

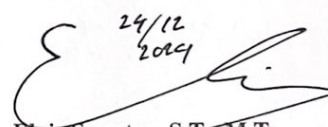
Pembimbing

Penguji 1

Penguji 2

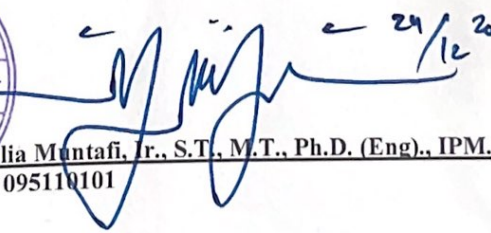

Ir. Helmy Akbar Bale, M.T
NIK: 885110105


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


Elvis Saputra, S.T., M.T.
NIK: 205111302

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil




Yunalia Muntafi, Ir., S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang sebelumnya pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 24 Desember 2024



Ilham Khoiri
(19511184)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia – Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH *SILICA FUME* DAN *SUPERPLASTICIZER* PADA CAMPURAN BETON SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KUAT TEKAN KUAT TARIK DAN MODULUS ELASTISITAS BETON” dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam senantiasa kita lantunkan junjungan Rasulullah Muhammad SAW, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

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

1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP selaku penguji I pada saat pelaksanaan sidang Tugas Akhir ini.
4. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku penguji II pada saat pelaksanaan sidang Tugas Akhir ini.

5. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan semangat dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Bapak Darussalam dan Suwarno selaku Laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah membantu saya selama proses pengumpulan data pengujian.
7. Seluruh Keluarga Besar, yang telah memberikan dukungan dan do'a.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.

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

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	x
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	<i>xiii</i>
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 Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbandingan Penelitian Yang Dilakukan	8
2.3 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Beton	12
3.1.1 Pengertian Beton	12
3.1.2 Kelebihan dan kekurangan beton	14
3.2 Beton Mutu Tinggi	15
3.3 Bahan Penyusun Beton	19

3.2.1	Semen Portland	19
3.2.2	Agregat	20
3.2.3	Air	21
3.2.4	Bahan Tambah	22
3.2.5	<i>Silica fume</i>	25
3.2.6	Superplasticizier	27
3.4	Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	28
3.5	Kuat Tekan Beton	37
3.6	Kuat Tarik Belah Beton	38
3.7	Modulus Elastisitas Beton	40
BAB IV METODE PENELITIAN		42
4.1	Jenis Penelitian	42
4.2	Variabel Penelitian	42
4.3	Benda Uji	42
4.4	Bahan Pembuatan Benda Uji	43
4.5	Peralatan	44
4.5.1	Peralatan Pembuatan Benda Uji	44
4.5.2	Peralatan Pengujian Benda Uji	45
4.6	Lokasi Penelitian	45
4.7	Persiapan	45
4.8	Pemeriksaan Material	46
4.8.1	Pemeriksaan Agregat Halus	46
4.8.2	Pemeriksaan Agregat Kasar	53
4.8.3	Pemeriksaan Semen	59
4.8.4	Pemeriksaan Air	59
4.9	Perencanaan Campuran Mix Design	60
4.10	Pembuatan Benda Uji	66
4.11	Pengujian Slump	67
4.12	Perawatan Benda Uji	68
4.13	Pembuatan dan Pengujian Trial Mix Beton Normal	69
4.14	Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Sampel	69

4.15	Kuat Tarik Belah Beton Sampel	76
4.16	Analisis Hasil	77
4.17	Pembahasan	77
4.18	Kesimpulan dan Saran	77
4.19	Bagan Alir Penelitian	77
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		79
5.1	Agregat Halus	79
5.2	Agregat Kasar	80
5.3	Proporsi Campuran Beton Normal	81
5.4	Benda Uji Beton Trial	82
5.5	Slump	83
5.6	Kuat Tekan Beton Sampel	84
5.7	Modulus Elastisitas Beton Sampel	86
5.8	Kuat Tarik Belah Beton Sampel	89
5.9	Pembahasan Menyeluruh	90
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		92
6.1	Kesimpulan	92
6.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94
LAMPIRAN		98

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Faktor Pengali Devisiasi Standar	28
Tabel 3. 2 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian	29
Tabel 3. 3 Perkiraan Kuat Tekan Dengan Fas 0,5	31
Tabel 3. 4 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton	32
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji	43
Tabel 4. 2 Peralatan Pembuatan Benda Uji	44
Tabel 4. 3 Peralatan Pengujian Benda Uji	45
Tabel 4. 4 Berat Jenis Dan Serapan Air Agregat Halus	48
Tabel 4. 5 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	49
Tabel 4. 6 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	49
Tabel 4. 7 Berat Volume Gembur Agregat Halus	52
Tabel 4. 8 Berat Volume Padat Agregat Halus	52
Tabel 4. 9 Pemeriksaan Lolos Saringan No.200	53
Tabel 4. 10 Berat Jenis dan Serapan Air Agregat Kasar	54
Tabel 4. 11 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	55
Tabel 4. 12 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	56
Tabel 4. 13 Berat Volume Gembur Agregat Kasar	59
Tabel 4. 14 Berat Volume Padat Agregat Kasar	59
Tabel 4. 15 Proporsi Campuran Benda Uji	65
Tabel 4. 16 Nilai Slump	68
Tabel 4. 17 Kuat Tekan Trial Mix Beton Normal	69
Tabel 4. 18 Kuat Tekan Beton	71
Tabel 4. 19 Tegangan dan Regangan Sampel BN-1	72
Tabel 4. 20 Modululus Elastisitas Beton Sampel	74
Tabel 4. 21 Kuat Tarik Beton Sampel	76
Tabel 5. 1 Campuran Beton Normal	81
Tabel 5. 2 Kuat Tekan Beton Trial	82

Tabel 5. 3 Nilai Slump	83
Tabel 5. 4 Kuat Tekan Beton Sampel	84
Tabel 5. 5 Modulus Elastisitas Aktual Beton Sampel	86
Tabel 5. 6 Modulus Elastisitas Teoritis Beton Sampel	87
Tabel 5. 7 Kuat Tarik Belah Beton Sampel	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Hubungan antara kuat tekan dan fas	16
Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)	30
Gambar 3. 3 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 10 mm	33
Gambar 3. 4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 20 mm	33
Gambar 3. 5 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 40 mm	34
Gambar 3. 6 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	35
Gambar 3. 7 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton	38
Gambar 3. 8 Skema Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	39
Gambar 4. 1 Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	50
Gambar 4. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	51
Gambar 4. 3 Analisa Sarigan Agregat Kasar Sampel 1	57
Gambar 4. 4 Analisa Sarigan Agregat Kasar Sampel 2	57
Gambar 4. 5 Penentuan Nilai fas	61
Gambar 4. 6 Penentuan Persentase Agregat Halus Dan Agregat Kasar	63
Gambar 4. 7 Penentuan Perkiraan Berat Isi Beton	64
Gambar 4. 8 Bagan Alir Tahapan Penelitian	78
Gambar 5. 1 Nilai Slump Setiap Variasi campuran	83
Gambar 5. 2 Kuat Tekan Beton Setiap Variasi Penambahan	85
Gambar 5. 3 Modulus Elastisitas Beton Setia Variasi Campuran	87
Gambar 5. 4 Kuat Tarik Belah Beton Setiap Variasi Campuran	89
Gambar 5. 5 Persentase Perubahan Hasil Pengujian Keseluruhan	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	99
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	101
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton	118
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	119
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton	120
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	170
Lampiran 7 Gambar Pengujian	173

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
Pusjatan	= Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan
ASTM	= <i>American Society for Testing and Material</i>
ACI	= <i>American Concrete Institute</i>
SF	= <i>Silica fume</i>
SP	= <i>Superplasticizier</i>
Sd	= Deviasi Standar
M	= Nilai Tambah
f'_{cr}	= Kuat Tekan Rata-rata Rencana
f'_c	= Kuat Tekan Beton
Wh	= Perkiraan Kadar Air Agregat Halus
Wk	= Perkiraan Kadar Air Agregat Kasar
%AH	= Persen Agregat Halus
%AK	= Persen Agregat Kasar
BJ_{AH}	= Berat Jenis Agregat Halus
BJ_{AK}	= Berat Jenis Agregat Kasar
BJ_{AG}	= Berat Jenis Agregat Gabungan
W_{Beton}	= Berat Isi Beton
W_{Semen}	= Kadar Semen
$W_{Ag.gab}$	= Kadar Agregat Gabungan
W	= Kadar Air Bebas
P	= Beban
A	= Luas Penampang

f_{ct}	= Kuat Tarik Belah Beton
L	= Panjang
D	= Diameter
E_c	= Modulus Elastisitas Beton
σ_2	= Tegangan pada 40% teg. runtuh
σ_2	= Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1
ε_2	= Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2
ε_1	= Regangan sebesar 0,00005
kN	= Kilo Newton
Mpa	= Megapascal
mm	= Milimeter
Kg	= Kilo Gram
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Surface Saturated Dry</i>

ABSTRAK

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang banyak dikembangkan dalam teknologi bahan konstruksi. Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju. Perencanaan fasilitas-fasilitas tersebut mengarah kepada digunakannya beton mutu tinggi. Salah satu bahan tambah yang sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton adalah *silica fume*. Pada penelitian ini digunakan bahan tambah *silica fume* sebesar 6%, 8%, 10%, dan 12% dari berat semen. Sedangkan *superplasticizer* digunakan sebesar 1,1% dari berat semen yang berperan sebagai pengencer adukan untuk menjaga tingkat kelecakan beton. Penulis ingin mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton dengan variasi kadar *silica fume* 6%, 8%, 10% dan 12% terhadap berat semen serta kadar tetap *superplasticizer* sebesar 1,1%, menggunakan tata cara pencampuran beton mutu normal sesuai SNI 03-2834-2000, serta berasumsi dapat meningkatkan kinerja beton $f'_c = 32$ MPa sehingga mencapai syarat kuat tekan beton mutu tinggi sesuai dengan SNI 6468-2000.

Adapun hasil yang diperoleh yaitu nilai kuat tekan beton dengan nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 41,70 MPa meningkat sebesar 27% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%, kuat tarik belah beton dengan nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 3,8 MPa meningkat sebesar 28% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%. Berdasarkan pengujian modulus elastisitas dengan metode ASTM C-469, nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 36860,55 Mpa, meningkat sebesar 12,5% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%.

Kata kunci: Beton, *SikaFume*, *ViscoCrete* 1003, Kuat Tekan, Kuat Tarik belah, Modulus Elastisitas

ABSTRACT

Concrete is one of the construction materials that has been extensively developed in construction material technology. The advancement of technology in the construction sector in Indonesia continues to progress, driven by the demands and needs of society for increasingly modern infrastructure facilities. The planning of such facilities tends to involve the use of high-strength concrete. One of the additives commonly used to enhance the strength of concrete is silica fume. In this study, silica fume was used as an additive at levels of 6%, 8%, 10%, and 12% of the cement weight. Meanwhile, superplasticizer was used at a fixed level of 1.1% of the cement weight, functioning as a fluidizer to maintain the workability of the concrete mix. The research aims to determine the effects of adding silica fume and superplasticizer on the compressive strength, tensile strength, and modulus of elasticity of concrete. The variations in silica fume content (6%, 8%, 10%, and 12% of cement weight) were tested with a fixed superplasticizer content of 1.1%, using the normal concrete mix design method in accordance with SNI 03-2834-2000, with the assumption of improving the concrete performance to achieve a compressive strength of $f'_c = 32$ MPa, meeting the high-strength concrete requirements according to SNI 6468-2000.

The results showed that the maximum average compressive strength of the concrete was 41.70 MPa, an increase of 27% at the addition of 10% SikaFume and 1.1% ViscoCrete 1003. The maximum average tensile splitting strength was 3.8 MPa, an increase of 28% at the same silica fume and superplasticizer levels. Based on the modulus of elasticity test using ASTM C-469, the maximum average value was 36,860.55 MPa, an increase of 12.5% at the addition of 10% SikaFume and 1.1% ViscoCrete 1003.

Key word: Concrete, SikaFume, ViscoCrete 1003, Compressive Strength, Tensile Strength, Modulus of Elasticity

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton adalah salah satu bahan konstruksi yang banyak dikembangkan dalam teknologi bahan konstruksi. Beton menjadi salah satu komponen struktur bersifat permanen yang unggul pada kuat tekan yang baik. Oleh sebab itu, beton sering digunakan sebagai komponen pembentuk struktur utama dalam konstruksi. Menurut SNI 03-2847-2002 beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat.

Perkembangan teknologi dalam bidang konstruksi di Indonesia terus menerus mengalami peningkatan, hal ini tidak lepas dari tuntutan dan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang semakin maju, seperti jembatan dengan bentang panjang dan lebar, bangunan gedung bertingkat tinggi terutama untuk kolom dan beton pracetak, dan fasilitas lain. Perencanaan fasilitas-fasilitas tersebut mengarah kepada digunakannya beton mutu tinggi, dimana mencakup kekuatan, ketahanan (keawetan), masa layan dan efisiensi. Dengan beton mutu tinggi dimensi dari struktur dapat diperkecil sehingga berat struktur menjadi lebih ringan. Menurut PD T-04-2004-C tentang Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi, yang tergolong beton bermutu tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40 – 80 MPa. Menurut SNI 03-6468-2000 beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton yang memiliki nilai kuat tekan minimum sebesar 41,4 MPa. Beton mutu tinggi dapat diperoleh dengan pemilihan mutu material pembentuk campurannya, misalnya kekerasan agregat dan kehalusan butir semen. Selain itu dalam perkembangan teknologi beton telah digunakan bahan tambah sebagai campuran mortar beton untuk meningkatkan kinerja dan mutu beton. Ini merupakan salah satu cara untuk mendapatkan kekuatan beton yang tinggi dan dapat mengurangi penurunan kekuatan yang terjadi akibat kerusakan.

Salah satu bahan tambah yang sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan beton adalah *silica fume*. Menurut ASTM C-125 *Silica fume* memiliki sifat pozzolan yang memungkinkan terbentuknya perekat baru semacam semen akibat reaksi antara *Silica Dioksida* (SiO_2) yang terkandung dalam *silica fume* dengan *Calcium Hidroksida* (Ca(OH)_2) dari hasil hidrasi semen yang akan menghasilkan senyawa bersifat semen. Penggunaan *silica fume* memang dapat meningkatkan kekuatan beton, tapi efek sampingnya dapat menyebabkan adukan menjadi kental (susah dikerjakan). Pada penelitian Hapsari dkk (2017) menyatakan bahwa semakin tinggi kadar *silica fume* yang ditambahkan, workabilitas beton semakin berkurang. Hal ini terjadi karena sifat *silica fume* yang menyerap air. Adapun solusinya yaitu dengan menggunakan *water reducing admixtures* yang berfungsi untuk mengurangi penggunaan air pencampur yang diperlukan karena penambahan air pada fas tertentu akan mengurangi kekuatan beton. Oleh karena itu maka dimanfaatkan pemakaian bahan *superplasticizer* yang berperan sebagai pengencer adukan sehingga dengan jumlah air yang sama dapat dihasilkan campuran beton dengan workabilitas yang diinginkan. Penelitian oleh Neville dalam buku *Properties of Concrete* menyatakan bahwa beton dengan *superplasticizer* menunjukkan peningkatan workabilitas dengan nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton tanpa *superplasticizer*.

Secara sederhana, *superplasticizer* berfungsi membuat adukan lebih encer dengan air yang sama. *Superplasticizer* masuk dalam kategori admixture tipe F yang mengacu pada klasifikasi ASTM C494-82. *Superplasticizer* akan membungkus partikel semen dan memberinya muatan negatif, sehingga terjadilah tolak menolak dengan partikel semen disekelilingnya lalu menimbulkan dispersi yang menyebabkan adukan terlihat encer.

PT. Sika Indonesia merekomendasikan kadar penggunaan *sika fume* adalah sebesar 5-15% terhadap berat semen serta kadar *viscocrete 1003* disarankan 0,8% - 2% terhadap berat semen. Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan (2023) menunjukkan nilai kuat tekan maksimum pada beton SCC $f'_c = 30$ MPa pada variasi *silica fume* 8% dengan *superplasticizer* 0,8% dari berat semen dengan nilai kuat tekan sebesar 33,179 MPa. Nilai tersebut belum mencapai syarat minimal kuat

tekan beton mutu tinggi sebesar 41,4 MPa berdasarkan SNI 6864-2000. Pada penelitian Rahady (2017), menggunakan kuat tekan beton rencana $f'_c = 41,4$ MPa (syarat minimal beton mutu tinggi menurut SNI 03-6468-2000). Proporsi campuran pada penelitian tersebut direncanakan berdasarkan SNI 6468-2000. Nilai optimum kuat tekan beton yang didapatkan berada pada variasi *silica fume* 10% serta *superplasticizer* 1,2% terhadap berat semen sebesar 43,063 MPa.

Belum banyak yang melakukan eksperimen menggunakan tata cara atau peraturan campuran beton mutu normal untuk kemudian direkayasa dengan penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* agar mencapai kinerja beton mutu tinggi. Oleh sebab itu, penulis ingin mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton dengan variasi kadar *silica fume* 6%, 8%, 10% dan 12% terhadap berat semen serta kadar tetap *superplasticizer* sebesar 1,1%, menggunakan tata cara pencampuran beton mutu normal sesuai SNI 03-2834-2000, serta berasumsi dapat meningkatkan kinerja beton $f'_c = 32$ MPa sehingga mencapai syarat kuat tekan beton mutu tinggi sesuai dengan SNI 6468-2000.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dicakup dalam penelitian ini dapat dimuat sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh *silica fume* dan *superplasticizer* sebagai bahan tambah pada campuran beton terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton?
2. Apakah penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* pada campuran dapat meningkatkan kinerja beton $f'_c = 32$ MPa sehingga mencapai syarat kuat tekan beton mutu tinggi?
3. Berapa persen penambahan *silica fume* optimum pada campuran beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas dapat ditentukan bahwa tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh *silica fume* dan *superplasticizer* sebagai bahan tambah pada campuran beton terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton.
2. Membuktikan bahwa penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* pada campuran beton dapat meningkatkan kinerja beton $f'_c = 32$ MPa sehingga mencapai syarat kuat tekan beton mutu tinggi.
3. Mengetahui jumlah optimum penambahan *silica fume* pada campuran beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Mengembangkan pengetahuan tentang penggunaan *silica fume* dan *superplasticizer* sebagai inovasi dalam ilmu pengetahuan dan teknologi beton.
2. Mengembangkan inovasi terkait penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* untuk menghasilkan beton mutu tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan benda uji yang dilakukan di laboratorium. Adapun batasan masalah yang digunakan sebagai acuan untuk memperjelas ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Mutu beton normal rencana 32 MPa direncanakan berdasarkan SNI-03-2834-2000 (Tata Cara Pembuatan Beton Normal).
2. Semen menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC) tipe I produk Semen Gresik.
3. *Silica fume* menggunakan *SikaFume* produk PT. Sika Indonesia.
4. *Superplasticizer* menggunakan *ViscoCrete 1003* produk PT. Sika Indonesia.
5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.
6. Benda uji berbentuk silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.
7. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 40 buah yang terdiri dari beton normal dan beton variasi dengan pembagian jumlah benda uji kuat tekan beton

tiap variasinya adalah 5 buah dan jumlah benda uji kuat tarik belah beton tiap variasinya adalah 3 buah .

8. Untuk pengujian modulus elastisitas beton menggunakan benda uji yang sama sebelum nantinya dilakukan pengujian destruktif (kuat tekan dan kuat tarik belah).
9. Variasi penambahan *SikaFume* sebesar 6%, 8%, 10% dan 12% terhadap berat semen yang digunakan.
10. Penambahan *ViscoCrete* 1003 sebesar 1,1% terhadap berat semen yang digunakan pada tiap variasi *SikaFume*.
11. Air yang digunakan adalah dari Laboratorium BKT, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
12. Agregat halus (pasir) yang digunakan berasal dari Merapi, Kaliurang.
13. Agregat kasar berupa batu split (batu pecah) yang digunakan berasal dari Kali Clereng, Kulonprogo.
14. Perawatan beton dengan cara direndam dalam kolam perendaman.
15. Kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton diuji pada umur 28 hari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian berikut merupakan penelitian-penelitian terdahulu yang dapat dijadikan tinjauan pustaka dan juga sebagai acuan pada penelitian yang dilaksanakan peneliti.

Davendra dan Trimurtiningrum (2022) menjelaskan pengaruh *silica fume* sebagai bahan tambah terhadap karakteristik beton mutu tinggi. Penelitian ini menggunakan variasi penambahan *silica fume* 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Pada penelitian tersebut juga memakai bahan *superplasticizer consol* SS-74 dengan kadar 0,4% dari berat semen. Pengujian kuat tekan dilaksanakan ketika beton mencapai umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada persentase 0% hingga 5% nilai kuat tekan beton meningkat karena *silica fume* yang berperan sebagai bahan pengisi rongga pada beton. namun pada persentase diatas 5%, nilai kuat tekan beton semakin menurun, ini diakibatkan karena kalsium hidroksida yang tidak dapat bereaksi dengan *silica fume* karena jumlahnya yang sangat banyak dan mengakibatkan tidak terbentuknya C-S-H baru serta hanya berfungsi sebagai pengisi celah antara agregat dengan pasta semen.

Mahenda dkk (2023) melakukan penelitian pengaruh penggunaan *silica fume* sebagai bahan tambah pada beton alir. Dari segi sifat kimianya, *silica fume* berfungsi untuk mengisi celah-celah antara partikel semen secara geometris, sehingga mengurangi ukuran dan volume pori. Sedangkan dari segi sifat mekaniknya, *silica fume* memiliki reaksi *pozzolan*, yaitu bahan yang mengandung senyawa silika dioksida dan alumina yang bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dihasilkan oleh semen. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan beton alir dengan menambahkan *silica fume* dalam variasi persentase 0%, 5%, 6%, 7,5%, 9%, 10,5%, dan 12%, serta menggunakan *superplasticizer* sebesar 1,5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton alir dengan penambahan *silica fume* mampu mencapai kuat tekan sebesar 25,91 MPa pada umur 7 hari dan 26,19 MPa pada umur 28 hari.

Sopa dkk (2023) meneliti pengaruh penambahan *silica fume* terhadap kuat tekan beton f'_c 25. Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* dengan variasi kadar 10% dan 20%. Metode eksperimen yang digunakan mengikuti standar SNI 03-2834-2000 untuk memastikan akurasi hasil penelitian. Temuan penelitian menunjukkan bahwa kadar *silica fume* 20% menghasilkan kuat tekan beton optimum sebesar 27,20 MPa pada umur 28 hari. Dengan meningkatnya proporsi *silica fume* dalam campuran, kemampuan kerja beton juga meningkat. Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar *silica fume*, semakin berkurang workabilitas beton, karena *silica fume* memiliki sifat yang menyerap air.

Ramadhan (2023) melakukan penelitian pengaruh variasi penambahan *SikaFume* terhadap beton *self compacting concrete* dengan variasi penggunaan *superplasticizer*. *Superplasticizer* (*ViscoCrete* 3115N) dan *silica fume* digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton SCC untuk meningkatkan *workability* dan mutu beton. *Silica fume* yang digunakan dalam variasi adalah 0%, 4%, 8%, dan 12% dari berat semen, sementara *superplasticizer* (*ViscoCrete* 3115N) ditambahkan dalam jumlah 0,8% dan 1,2% dari total berat semen dan *silica fume*. Mutu beton SCC yang ditargetkan adalah 30 MPa. Perencanaan campuran beton SCC mengikuti standar SNI 03-2834-2000 dan EFNARC 2005. Pengujian beton SCC meliputi pengujian slump flow T50, v-funnel, dan l-box, sedangkan pengujian mutu beton pada umur 28 hari mencakup pengujian kekuatan tekan, kekuatan tarik belah, dan kekuatan lentur.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi dengan *silica fume* 0% dan 4% serta *superplasticizer* 0,8% tidak memenuhi kriteria beton SCC menurut EFNARC 2005. Variasi dengan *silica fume* 8% dan *superplasticizer* 0,8% menunjukkan hasil terbaik, dengan kekuatan tekan beton maksimum sebesar 33,179 MPa, kuat tarik belah 3,580 MPa, dan kuat lentur 4,437 MPa.

Isa dkk (2024) meneliti variasi persentase pozzolan *silica fume* sebagai bahan pengganti Sebagian semen terhadap performa kuat tekan beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak variasi persentase *pozzolan silica fume* terhadap kuat tekan beton, serta untuk menilai efek penggantian semen dengan berbagai persentase *pozzolan silica fume* terhadap kuat tekan beton. Dalam pembuatan beton, bahan tambah yang digunakan meliputi serat, *fly ash*, *superplasticizer*, dan *silica fume*. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Berdasarkan data kuat tekan beton, variasi persentase pozzolan *silica fume* terbukti mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Pada persentase 0,10% dari berat semen, beton mencapai kuat tekan sebesar 56,741 MPa pada umur 28 hari, yang merupakan hasil terbaik dibandingkan dengan campuran variasi persentase *pozzolan silica fume* lainnya.

2.2 Perbandingan Penelitian Yang Dilakukan

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, maka didapatkan perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Vincentius Davendra, Retno Trimurtiningrumb (2022)	Rachmad Ihza Mahenda, Nurul Rochmah, Herry Widhiarto (2023)	Yra Maya Sopa N.R, Sartika Nisumanti, Denie Chandra (2023)	Anandya Dwinuardi Ramadhan (2023)	Isa, Elfidiah, Sri Martin (2024)
Judul	Pengaruh <i>Silica fume</i> Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi.	Pengaruh Penggunaan <i>Silica fume</i> Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Alir	Pengaruh Penambahan <i>Silica fume</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25	Pengaruh Variasi Penambahan Sika Fume Terhadap Beton <i>Self Compacting Concrete</i> Dengan Variasi Penggunaan Superplasticizer (Viscocrete 3115N)	Variasi Persentase <i>Pozzolan Sillica Fume</i> Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Performa Kuat Tekan Beton
Konten	• Semen tipe I • <i>Silica fume</i> dengan kadar 2,5%, 5%, 7,5% dan 10% • Superplasticizier dengan kadar 0,4% Umur pengujian 7, 14 dan 28 hari	• Semen tipe I • <i>Silica fume</i> sebagai bahan pengisi dengan kadar 0%, 5%, 6%, 7,5%, 9%, 10,5% dan 12% Umur pengujian 7 hari, dan 28 hari	• Semen tipe I • <i>Silica fume</i> dengan kadar 10% dan 20% Umur Pengujian 7, 14 dan 28 hari	• Semen Tipe 1 • <i>Silica fume</i> dengan kadar 0%, 4%, 8%, dan 12% • Variasi <i>Superplasticizer</i> 0,8% dan 1,2% Umur Pengujia 28 Hari	• Semen Tipe I • Variasi <i>Pozzolan Silica fume</i> 0,05%, 0,10%, dan 0,015%. • Umur pengujian 7, 14, dan 28 hari
Parameter Uji	Kuat Tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	• Kuat Tekan Beton • Kuat Tarik Belah Beton • Kuat Lentur Beton	• Kuat tekan beton • Kuat Tarik belah beton

Lanjutan Tabel 2.1

Peneliti	Vincentius Davendra, Retno Trimurtiningrumb (2022)	Rachmad Ihza Mahenda, Nurul Rochmah, Herry Widhiarto (2023)	Yra Maya Sopa N.R, Sartika Nisumanti, Denie Chandra (2023)	Anandya Dwinuardi Ramadhan (2023)	Isa, Elfidiah, Sri Martin (2024)
Hasil	Pada persentase 0% hingga 5% nilai kuat tekan beton meningkat karena <i>silica fume</i> yang berperan sebagai bahan pengisi rongga pada beton. namun pada persentase diatas 5%, nilai kuat tekan beton semakin menurun, ini diakibatkan karena kalsium hidroksida yang tidak dapat bereaksi dengan <i>silica fume</i> karena jumlahnya yang sangat banyak dan mengakibatkan tidak terbentuknya C-S-H baru serta hanya berfungsi sebagai pengisi celah antara agregat dengan pasta semen.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton alir dengan penambahan <i>silica fume</i> mampu mencapai kuat tekan sebesar 25,91 MPa pada umur 7 hari dan 26,19 MPa pada umur 28 hari.	Temuan penelitian menunjukkan bahwa kadar <i>silica fume</i> 20% menghasilkan kuat tekan beton optimum sebesar 27,20 MPa pada umur 28 hari. Dengan meningkatnya proporsi <i>silica fume</i> dalam campuran, kemampuan kerja beton juga meningkat. Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar <i>silica fume</i> , semakin berkurang workabilitas beton, karena <i>silica fume</i> memiliki sifat yang menyerap air.		Berdasarkan data kuat tekan beton, variasi persentase pozzolan <i>silica fume</i> terbukti mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Pada persentase 0,10% dari berat semen, beton mencapai kuat tekan sebesar 56,741 MPa pada umur 28 hari, yang merupakan hasil terbaik dibandingkan dengan campuran variasi persentase pozzolan <i>silica fume</i> lainnya.

2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, penelitian yang dilakukan oleh penulis merupakan hasil karya asli dan memiliki perbedaan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Adapun perbedaan pada penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian yang akan dilakukan adalah campuran beton normal dengan *Mix Design* beton mutu normal dimana mutu tersebut tidak termasuk ke dalam parameter beton mutu tinggi yang ditambahkan bahan *silica fume* dan *superplasticizer* dengan tujuan meningkatkan kinerja beton mutu normal agar mencapai parameter beton mutu tinggi dimana hal tersebut belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya.
2. Penggunaan parameter tersebut dilakukan dengan asumsi penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* dapat meningkatkan kinerja beton mutu normal sehingga mencapai parameter beton mutu tinggi.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

3.1.1 Pengertian Beton

Berdasarkan SNI 2847-2013 definisi beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Beton memiliki sifat yang masing-masing ditentukan oleh proporsi bahan-bahan penyusun, cara pengadukan, penuangan, pemadatan, dan perawatan selama proses pengerasannya.

Menurut SK SNI T-15-1990-03 beton adalah campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat. Mutu beton dapat dikatakan baik apabila bahan yang digunakan baik, proses pencampurannya baik (homogen), pelaksanaannya baik, alat yang digunakan juga baik dan derajat porositasnya rendah.

Menurut Mulyono (2004), Secara umum beton dibedakan ke dalam dua kelompok sebagai berikut.

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton.
 - a. Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan non struktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan - bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan.
 - b. Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan dibawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dala mutu - mutu standar B1,K 125, K 175, dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan-bahan sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Pada

mutu K125 dan K175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinu dari hasil – hasil pemeriksaan benda uji.

- c. Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan-pekerjaan struktural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaannya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga-tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga-tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinyu.

2. Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi 5 sebagai berikut ini.

- a. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik. Menurut SNI 08-1991-03 berat jenis agregat ringan sekitar 800 - 1800 kg/m³ dan berdasarkan penggunaan strukturnya berkisar 1400 kg/m³ , dan memiliki kuat tekan antara 6,89 MPa sampai 17,24 MPa pada umur 28 hari.

- b. Beton normal

Beton normal adalah beton yang menggunakan agregat pasir sebagai agregat halus dan split sebagai agregat kasar sehingga mempunyai berat jenis beton antara 2200 kg/m³ – 2400 kg/m³ dengan kuat tekan beton antara 15 MPa – 40 MPa.

- c. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang memiliki berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m³. Untuk menghasilkan beton berat digunakan agregat yang mempunyai berat jenis yang besar.

d. Beton massa

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif, misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi, dan jembatan.

e. Beton serat

Beton serat (*fiber concrete*) adalah bahan komposit yang terdiri dari beton dan bahan lain berupa serat. Serat dalam beton ini berfungsi mencegah retak-retak sehingga menjadikan beton lebih daktil daripada beton normal.

3.1.2 Kelebihan dan kekurangan beton

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

1. Kelebihan

- a. Memiliki harga yang relatif murah karena material penyusunnya mudah didapat.
- b. Beton tahan terhadap panas dan karat sehingga hanya membutuhkan sedikit biaya perawatan.
- c. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi, apabila dikombinasikan dengan baja yang memiliki kuat lentur tinggi maka akan menjadi suatu kesatuan struktur yang tahan tekan maupun tarik.
- d. Pengerjaan mudah karena beton dapat dicetak dan dibentuk sesuai keinginan.

2. Kekurangan

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

3.2 Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi menurut Pd T-04-2004-C tentang tata cara pembuatan dan pelaksanaan beton berkekuatan tinggi adalah beton yang memiliki kuat tekan antara 40-80 Mpa. Komposisi bahan-bahan penyusun beton perlu diperhatikan dan diteliti, agar komposisi bahan penyusunnya sesuai dengan kebutuhan. Beton mutu tinggi membutuhkan perbandingan air dan bahan ikat (fas) yang kecil. Oleh karena fas kecil, *workability* menjadi rendah, maka untuk mempermudah pengerjaannya ditambahkan *admixture* yang dapat mengencerkan adukan beton tersebut.

Beton mutu tinggi menurut Standart Nasional Indonesia atau SNI 03-6468-2000 yaitu beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih dari 41,4 MPa. Pada dasarnya, komponen utama penyusun beton mutu tinggi sama dengan beton normal, yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa bahan tambah. Beton mutu tinggi membutuhkan perbandingan air dan bahan ikat (fas) yang kecil. Oleh karena fas kecil, *workability* menjadi rendah, maka untuk mempermudah pengerjaannya ditambahkan *admixture* yang dapat mengencerkan adukan beton tersebut.

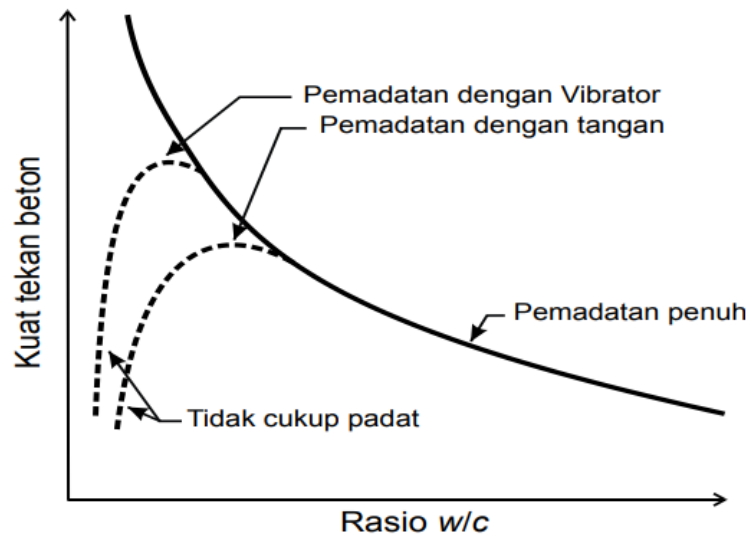
American Concrete Institue (ACI) 363R-92 mendefinisikan bahwa beton mutu tinggi adalah beton dengan perlakuan khusus dan persyaratan seragam yang tidak dapat selalu dicapai secara rutin hanya dengan penggunaan material konvensional dan pencampuran, penempatan, dan cara perawatannya secara normal. Disyaratkan terdapat kontrol terhadap pemilihan dan desain dari material penyusun beton dengan penambahan bahan tambah yang tepat.

Bila berhubungan dengan tuntutan mutu dan keawetan yang tinggi, ada beberapa faktor utama yang bisa menentukan keberhasilan pengadaan beton bermutu tinggi, diantaranya adalah

1. Faktor Air Semen (fas)

Faktor air semen (fas) adalah angka yang menunjukkan perbandingan antara berat air dan berat semen. Pada beton mutu tinggi dan sangat tinggi, pengertian fas bisa diartikan sebagai *water to cementitious ratio*, yaitu rasio berat air terhadap berat total semen dan *aditif cementitious*, yang umumnya ditambahkan pada campuran beton mutu tinggi. Faktor air semen yang rendah,

merupakan faktor yang paling menentukan dalam menghasilkan beton mutu tinggi, dengan tujuan untuk mengurangi seminimal mungkin porositas beton yang dihasilkan. Dengan demikian semakin besar volume faktor air-semen (fas), maka semakin rendah kuat tekan betonnya, seperti tampak pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Hubungan antara kuat tekan dan fas
(Sumber: Mindess, Young dan Darwin, 2003)

Menurut S. Mindess, Young dan D. Darwin, (2003), bila faktor air semen terlalu rendah, maka adukan beton sulit untuk dipadatkan. Dengan demikian ada suatu nilai faktor air semen optimum yang menghasilkan kuat tekan beton maksimum. Kepadatan adukan beton sangat mempengaruhi kuat tekan beton setelah mengeras. Dari Gambar 3.1 tampak bahwa idealnya semakin rendah fas kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi karena kesulitan pemadatan, maka di bawah fas tertentu (sekitar 0,30) kekuatan beton menjadi lebih rendah, karena betonnya kurang padat akibat kesulitan pemadatan. Untuk mengatasi kesulitan pemadatan dapat digunakan alat getar (*vibrator*) atau dengan bahan kimia tambahan (*chemical admixture*) yang bersifat menambah kemudahan pengerjaan (Tjokrodinuljo, 1992). Untuk membuat beton bermutu tinggi faktor air semen yang dipergunakan antara 0,28 sampai dengan 0,38. Untuk

beton bermutu sangat tinggi faktor air semen yang dipergunakan lebih kecil dari 0,2 (Jianxin Ma & Jorg Dietz, 2002).

2. Kualitas Agregat Halus (Pasir)

Kualitas agregat halus yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah :

- a. berbentuk bulat,
- b. tekstur halus (*smooth texture*),
- c. bersih,
- d. gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

3. Kualitas Agregat Kasar (Kerikil)

Kualitas agregat kasar yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah :

- a. Porositas rendah.

Porositas yang rendah akan menghasilkan adukan yang seragam (*uniform*), dalam arti mempunyai keteraturan atau keseragaman yang baik pada mutu (kuat tekan) maupun nilai slumpnya. Akan sangat baik bila bisa digunakan agregat kasar dengan tingkat penyerapan air (*water absorption*) yang kurang dari 1 %. Bila tidak, hal ini bisa menimbulkan kesulitan dalam mengontrol kadar air total pada beton segar, dan bisa mengakibatkan kekurangan teraturan (*irregularity*) dan deviasi yang besar pada mutu dan nilai slump beton yang dihasilkan. Karenanya, sensor kadar air secara ketat pada setiap group agregat yang akan dipakai merupakan suatu tahapan yang mutlak perlu dikerjakan.

- b. Bentuk fisik agregat

Batu pecah dengan bentuk kubikal menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan kerikil bulat. Hal ini tidak lain adalah karena bentuk kubikal dan tajam bisa memberikan daya lekat mekanik yang lebih baik antara batuan dengan mortar.

- c. Ukuran maksimum agregat.

Pemakaian agregat yang lebih kecil ($< 15 \text{ mm}$) bisa menghasilkan mutu beton yang lebih tinggi (De Larrard, 1990). Namun pemakaian agregat kasar dengan ukuran maksimum 25 mm masih menunjukkan tingkat keberhasilan yang baik dalam produksi beton mutu tinggi.

- d. bersih,
- e. kuat tekan hancur yang tinggi,
- f. gradasi yang baik dan teratur (diambil dari sumber yang sama).

4. Bahan Tambah

Beton mutu tinggi dapat diperoleh dengan mencampurkan *superplasticizer* (*high range water reducer*) dan aditif mineral yang bersifat *cementitious* yang berupa abu terbang (*fly ash*), pozzofume (*super fly ash*), dan mikrosilika (*Silica fume*) dengan kadar yang tepat. Jika bahan admixture dan aditif dicampur dengan kadar yang tidak tepat hasilnya akan sebaliknya, yaitu dapat menurunkan kuat tekannya. Penggunaan *superplasticizer* atau *high range water reducer* bertujuan untuk bisa mengontrol dan menghasilkan nilai slump yang optimal pada beton segar (*workable*), sehingga bisa dihasilkan kinerja pengecoran beton yang baik. *Superplasticizer* mutlak diperlukan pada beton mutu tinggi atau sangat tinggi, karena kondisi fas yang umumnya sangat rendah. Namun dalam segala hal, penggunaan *superplasticizer* harus sesuai dengan standar ASTM C-494-82 tipe F. Ketepatan dosis penambahan *superplasticizer* umumnya perlu dibuktikan dengan membuat campuran percobaan (*trial mixes*) dengan beberapa variasi dosis penambahan *superplasticizer* hingga mendapatkan hasil yang optimum dalam memenuhi syarat kelecakan yang direncanakan. Hasil penelitian penggunaan *superplasticizer* menunjukkan peningkatan nilai slump yang memuaskan pada fas yang rendah (dalam hal ini digunakan sikamen-163, produk PT. Sika Nusa Pratama). Dengan fas sebesar 0,28, nilai slump awal sebesar 1,5 cm. Pada penambahan *superplasticizer* dengan dosis 1,25 % nilai slump mencapai 9,5 cm, sedangkan pada penambahan *superplasticizer* dengan dosis 2 % nilai slump mencapai 12,5 cm (Supartono, 1998)

5. Kontrol Kualitas (dicari sumbernya)

Almufid, A. (2020), mengungkapkan bahwa untuk menghasilkan beton bermutu tinggi maka dibutuhkan prosedur yang benar dan cermat pada keseluruhan proses produksi beton yang meliputi :

- a. Uji material (*material testing*),

- b. Sensor material dan pengelompokan material (*material sensor and grouping*),
- c. Penakaran dan pencampuran (*batching*),
- d. Pengadukan (*mixing*),
- e. Pangangkutan (*transportating*),
- f. Pengecoran (*placing*),
- g. Perawatan (*curing*).

Disamping itu perlu pengawasan dan pengendalian yang ketat pada keseluruhan prosedur dan mutu pelaksanaan, yang didukung oleh koordinasi operasional yang optimal.

Dalam implementasinya di lapangan sulit mendapatkan mutu beton tinggi yang seragam. ACI 363R-92 telah menetapkan batas kontrol kualitas keseragaman beton dalam deviasi standar 3,5-5 MPa.

3.3 Bahan Penyusun Beton

Beton dibentuk dari pencampuran bahan yang diikat dengan bahan perekat semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi agregat kasar (krikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah $\pm 70\% - 75\%$ dari seluruh beton. Bahan penyusun beton dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan pasif. Kelompok bahan aktif yaitu semen dan air, sedangkan bahan yang pasif yaitu pasir dan krikil (agregat halus dan agregat kasar). Kelompok bahan pasif tersebut merupakan pengisi sedangkan yang aktif disebut perekat/pengikat (Tjokrodinuljo, 1996).

3.2.1 Semen Portland

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan menghaluskan klinker terutama terdiri dari atas silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dengan gips sebagai bahan tambahannya. Semen portland diperoleh dengan membakar secara bersamaan suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan

perbandingan tertentu. Secara mudahnya kandungan semen portland adalah kapur, silika, dan alumina. Ketiga bahan tadi dicampurkan dan dibakar dengan suhu 1550° C dan menjadi klinker. Setelah itu kemudian dikeluarkan, didinginkan, dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk lalu klinker digiling halus secara mekanis sambil ditambahkan gips atau kalsium sulfat (CaSO_4) kira-kira 2-4 % sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Bahan tambahan lain kadang ditambahkan untuk membentuk semen khusus (Tjokrodinuljo, 1996).

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Agregat menempati 70 – 75 % dari total volume beton, maka kualitas agregat akan sangat mempengaruhi kualitas beton, tetapi sifat sifat tersebut lebih bergantung pada faktor – faktor seperti bentuk, dan ukuran butiran pada jenis batuanannya. Agregat dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Cara membedakannya adalah dengan berdasarkan pada ukuran butiran-butirannya. Pusjatan (2019) menyatakan agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) dan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).

Menurut peraturan SK SNI T-15-1990-03 kekerasan pasir dibagikan menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar dan kasar. pasir yang digunakan dalam adukan beton harus memenuhi syarat sebagai berikut.

1. Pasir harus terdiri dari butiran tajam dan keras. Hal ini dikarenakan dengan adanya bentuk pasir yang tajam, maka ikatan antar agregat akan lebih baik, sedangkan sifat keras untuk menghasilkan beton yang keras pula.
2. Butiran harus bersifat kekal. Sifat kekal berarti pasir tidak mudah hancur atau kuat oleh pengaruh cuaca, sehingga beton yang dihasilkan juga tahan terhadap pengaruh cuaca.
3. Pasir tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak.
4. Pasir tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat kering pasir, lumpur yang ada akan menghalangi ikatan antara pasir dan pasta semen, jika konsentrasi lumpur tinggi maka yang dihasilkan akan berkualitas rendah.

Agregat kasar merupakan bahan pengisi dalam beton yang memiliki ukuran butir lebih dari 4,75 mm atau tertahan pada saringan No.4. Untuk pembuatan beton, agregat kasar harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam SK SNI S-04-1989-F yaitu:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
2. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat digunakan jika butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% dari berat butir seluruhnya.
3. Butir-butir agregat kasar harus kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
4. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% terhadap berat keringnya. Jika kadar lumpur agregat kasar melampaui 1% maka agregat harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
5. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
6. Nilai modulus kehalusan agregat kasar berada pada rentang 6,0–7,1.

3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting namun harganya murah. Air diperlukan semen untuk dapat bereaksi, serta untuk menjadi bahan pelumas antara butiran agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Sifat dan kualitas air yang digunakan dalam beton akan sangat mempengaruhi proses, sifat serta mutu beton yang dihasilkan. Dalam pembuatan beton, air merupakan salah satu faktor penting karena air dapat bereaksi dengan semen yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Air juga berpengaruh terhadap kuat desak beton, karena kelebihan air akan mengakibatkan beton *bleeding*, yaitu air bersama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan antara lapis-lapis beton.

Tujuan utama dari penggunaan air adalah agar terjadi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran ini menjadi keras setelah melewati beberapa waktu. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira – kira 20 % dari berat semen. Dengan menambahkan lebih banyak air

harus dibatasi sebab penggunaan air yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton.

Proses hidrasi akan berlangsung baik apabila dipakai air tawar serta murni. Disamping digunakan sebagai bahan campuran untuk beton. Air juga digunakan untuk proses perawatan (*curing*) beton dengan cara pembasahan setelah dicor. Air untuk perawatan dan pembuatan tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik ataupun bahan-bahan lain yang dapat merusak beton dan baja tulangan, sebaiknya digunakan air bersih, tidak berasa, tidak berbau dan dapat diminum (Subakti,1994).

3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah pada beton adalah material yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran berlangsung. Fungsi bahan tambah ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu, atau untuk menghemat biaya (Mulyono,2004). Bahan tambah dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu:

1. Bahan tambah kimia (*chemical admixture*).

Yaitu bahan kimia berupa bubuk atau cair yang ditambahkan pada campuran beton dalam jumlah tertentu untuk mengubah beberapa sifat beton. Menurut standar ASTM C-494, bahan tambah kimia dapat dibedakan menjadi 7 tipe bahan tambah, yaitu:

- a. Tipe A (*Water-Reducing Admixtures*)

Water-Reducing Admixtures (pengurangan kadar air) adalah bahan tambah yang mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Tujuannya adalah agar beton lebih mudah dikerjakan tanpa penambahan air.

- b. Tipe B (*Retarding Admixtures*)

Retarding Admixtures (penunda waktu ikat) adalah bahan tambah yang berfungsi untuk menghambat waktu pengikatan beton. Tujuannya adalah untuk menunda waktu pengikatan beton, misalnya karena cuaca yang panas, atau untuk memperpanjang waktu pemadatan, untuk menghindari

cold joint dan menghindari dampak penurunan saat beton segar atau saat pelaksanaan pengecoran.

c. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)

Accelerating Admixtures (mempercepat waktu ikat) atau dikenal kalsium klorida yaitu bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton. Tujuannya adalah mempercepat proses hidrasi.

d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)

Water Reducing and Retarding Admixtures (Pengurangan air dan penunda waktu ikat) adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikat awal. Tujuannya adalah untuk menambah kekuatan beton.

e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)

Water Reducing and Accelerating Admixtures (pengurangan air dan pemercepat waktu ikat) adalah bahan tambah yang berfungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikat awal. Tujuannya pada beton precast memungkinkan melepas bekisting lebih awal dan juga untuk pekerjaan perbaikan dimana kekuatan awal yang tinggi diperlukan.

f. Tipe F (*Water Reducing, High Range Admixtures*)

Water Reducing, High Range Admixtures (pengurang kadar air tinggi) adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi lebih tinggi 12% atau lebih dari konsistensi beton murni.

g. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)

Water Reducing, High Range Retarding Admixtures (pengurangan kadar air dan penunda waktu ikat) adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampuran yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi yang lebih besar sebanyak 12%

atau lebih dan juga untuk menghambat waktu pengikat beton. Jenis bahan ini merupakan gabungan superlaticizer dengan menunda waktu pengikat beton. Biasanya digunakan pada kondisi pekerjaan terjepit karena sedikit tenaga kerja yang diperlukan.

2. Bahan tambah mineral (*additive*). Pada saat ini, bahan tambah mineral lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kuat tekan beton. Menurut standar ASTM C-494 bahan tambah mineral adalah *pozzolan* yang terdiri dari beberapa macam, yaitu:

- a. Abu Terbang Batu Bara (*Fly Ash*)

Abu terbang batu bara adalah butiran halus hasil residu pembakaran batu bara atau bubuk batu bara.

- b. Slag

Slag merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi atau produk non metal yang merupakan material berbentuk halus, granular hasil pembakaran yang kemudian didinginkan.

- c. *Silica fume*

Silica fume adalah material pozzolan yang halus, dimana komposisi *silica* lebih banyak yang dihasilkan dari tanur tinggi atau sisa produksi gabungan antara microsilika dengan *silica fume*. Tujuannya adalah untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan tinggi.

- d. Penghalus Gradasi (*Finely devided mineral admixtures*)

Bahan ini merupakan mineral yang dipakai untuk memperhalus perbedaan- perbedaan pada campuran beton dengan memberikan ukuran yang tidak ada atau kurang dalam agregat, selain itu juga dapat dipergunakan untuk menaikkan mutu beton yang akan dibuat.

3. Bahan Tambah Serat

Bahan tambah serat adalah bahan tambah berbentuk serat atau bahan tambah yang dibentuk menyerupai serat untuk meningkatkan kuat tarik beton. Diantara serat-serat tersebut adalah:

a. Serat Baja

Kelebihan serat ini adalah kekuatan dan modulusnya yang tinggi, tetapi serat ini juga mempunyai kelemahan yaitu sangat korosif. Hal ini akan sangat terasa bila ada sebagian dari serat yang tidak terlindung / tertutup beton.

b. Serat *Polypropelene*

Serat *Polypropelene* adalah salah satu jenis serat plastik. Sifat serat ini adalah tidak menyerap air semen, modulus elastisitas rendah, mudah terbakar, kurang tahan lama, dan titik lelehnya yang rendah.

c. Serat Kaca

Sifat serat ini adalah berat jenisnya rendah, modulus elastisitas kecil dan kurang tahan terhadap pengaruh alkali.

d. Serat Seng

Logam ini keras dan rapuh pada kebanyakan suhu, namun menjadi dapat ditempa antara 100°C sampai dengan 150°C. Di atas 210°C, logam ini kembali menjadi rapuh dan dapat dihancurkan menjadi bubuk dengan memukul-mukulnya. Seng juga mampu menghantarkan listrik. Dibandingkan dengan logam-logam lainnya, seng memiliki titik lebur (420°C) dan titik didih (900°C) yang relatif rendah.

3.2.5 *Silica fume*

Menurut standar *Spesification for Silica fume for Use in Hydaulic Cemen Concrete and Mortar* (ASTM C-618-86), *silica fume* merupakan bahan yang mengandung SiO₂ lebih besar dari 85% dan merupakan bahan yang sangat halus berbentuk bulat dan berdiameter 1/100 diameter semen. Menurut Subakti (1994), *silica fume* mempunyai peranan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan mekanik beton. Ditinjau dari sifat kimianya, secara geometris *silica fume* mengisi rongga-rongga antara bahan semen, dan mengakibatkan diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Sedangkan dari sifat mekaniknya, *silica fume* memiliki reaksi yang bersifat pozzolan yang bereaksi terhadap batu kapur yang dilepas semen. Hidrasi air dan semen akan menghasilkan Ca(OH)₂. Kalsium hidroksida

Ca(OH)_2 ini bereaksi dengan silica oksida (SiO_2) membentuk kalsium silikat hidrat, dimana C-S-H ini mempengaruhi kekerasan beton.

Penggunaan *silica fume* dalam campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang tinggi. Beton dengan kekuatan tinggi, digunakan, misalnya, untuk kolom struktur atau dinding geser, *pre-cast* atau beton prategang dan beberapa keperluan lain.

Keuntungan dalam penggunaan *silica fume* dapat ditinjau pada dua kondisi:

1. Saat beton dalam proses pengikatan:
 - a. Memudahkan pengerjaan (*workability*)
 - b. Mengurangi perembesan air dan beton (*bleeding*), dan
 - c. Memberikan waktu pengikatan (*setting time*) yang lama.
2. Saat beton dalam kondisi keras:
 - a. Meningkatkan kuat Tarik
 - b. Meningkatkan kuat lentur
 - c. Memperkecil susut dan rangkai
 - d. Meningkatkan ketahanan terhadap sulfat dan dari lingkungan agresif
 - e. Sebagai penetrasi klorida
 - f. Permeabilitas lebih kecil
 - g. Ketahanan terhadap keausan tinggi.

Keuntungan fisik yang diperoleh dari partikel halus *silica fume* yang mampu menempati ruang sempit antara pori pada permukaan agregat dengan semen yang merupakan daerah kelemahan dari beton karena dapat mencegah bersatunya semen dengan permukaan agregat. Bagian ini yang nantinya akan diisi oleh partikel dari *silica fume* yang sangat halus sehingga air tidak terperangkap didalam partikel padat sehingga sifat menyerap air dari daerah bidang pemisah pada pori permukaan agregat lebih kecil dibanding dengan tanpa *silica fume*.

Menurut Neville (1990), penggunaan *silica fume* dengan jumlah yang rendah (dibawah 5% dari berat semen) tidak menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi dari beton karena jumlah *silica fume* tidak akan mencukupi untuk menutupi permukaan seluruh partikel dari agregat kasar, namun penggunaan *silica fume* yang menguntungkan juga terbatas tidak lebih dari 10% dari berat semen yang

digunakan, hal ini disebabkan oleh penggunaan *silica fume* yang berlebih tidak akan dapat menutupi permukaan agregat (Kusumo, 2013).

3.2.6 *Superplasticizer*

Superplasticizer merupakan bahan tambah kimia yang digunakan untuk mengurangi penggunaan air, sehingga akan dapat menghasilkan adukan dengan nilai faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama. Hal ini mengakibatkan kuat tekan beton akan menjadi lebih tinggi (ASTM C-494 dan British Standard 5075).

Menurut Nawy (1985), *Superplasticizer* adalah bahan yang dapat disebut sebagai "bahan tambahan kimia pengurang air". Tiga jenis plasticizer adalah :

1. Kondensasi *sulfonat melamin formaldehid* dengan kandungan klorida sebesar 0,005%.
2. *Sulfonat naftalin formaldehid* dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
3. Modifikasi *lignosulfonat* tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini dibuat dari sulfonat organik dan disebut *superplasticizer* karena bahan ini dapat banyak mengurangi air pada campuran beton sementara slump beton bertambah. Dosis yang disarankan adalah 1 sampai 2% dari berat semen. Dosis yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kuat tekan pada beton.

Bahan tambah kimia pengurang air atau disebut juga *superplasticizer*, ditambahkan dalam dosis yang kecil selama penambahan air, dengan dosis sebesar 0,2%) dari berat semen yang pada intinya menambah nilai *slump* dari beton. Beton dengan nilai *slump* lebih besar tanpa terjadi segregation maupun bleeding yang disebut beton mengalir (*flowing concrete*) (Somayaji, 2001).

Smith dan Andres (1989) menyebutkan keuntungan yang dihasilkan dari pemakaian bahan tambah ini adalah untuk :

1. mempertahankan kandungan air dan semen tetap, membuat campuran beton menjadi sangat mudah dikerjakan, dan
2. mereduksi kebutuhan air dan mempertahankan kandungan semen dan kemudahan pengerjaan (*workability*) dan pada saat yang sama menghasilkan

beton dengan kekuatan yang tinggi dengan nilai fas (*water-cement ratio*) yang rendah.

3.4 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) adalah proses merancang dan memilih bahan material yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, dengan daya tahan tertentu dan secara ekonomis. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) menggunakan acuan SNI 03-2834-2000 memiliki langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan kuat tekan (f'_c) yang disyaratkan.
2. Menentukan Nilai Deviasi Standar (Sd) Nilai deviasi standar (Sd) ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran. Semakin baik mutu pelaksanaan akan semakin kecil nilai deviasi standarnya. Jika jumlah data hasil uji berkisar 15 – 30 buah maka nilai deviasi standar dilakukan pengkoreksian dengan faktor pengali yang dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 3. 1 Faktor Pengali Deviasi Standar

Jumlah pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	-
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3. 2 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian

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

Sumber : SNI 03-2834-2000

Untuk menghitung nilai tambah (M) yang digunakan dalam kuat tekan rencana dapat menggunakan Persamaan 3.1 berikut.

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

Keterangan:

M = Nilai tambah (M)

Sd = Deviasi standar (MPa)

3. Menentukan Kuat Tekan Rata-Rata Rencana (f'_{cr})

Kuat tekan rata-rata rencana dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2 berikut.

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

Keterangan:

f'_{cr} = Kuat tekan rata-rata rencana (MPa)

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

4. Menentukan Jenis Semen

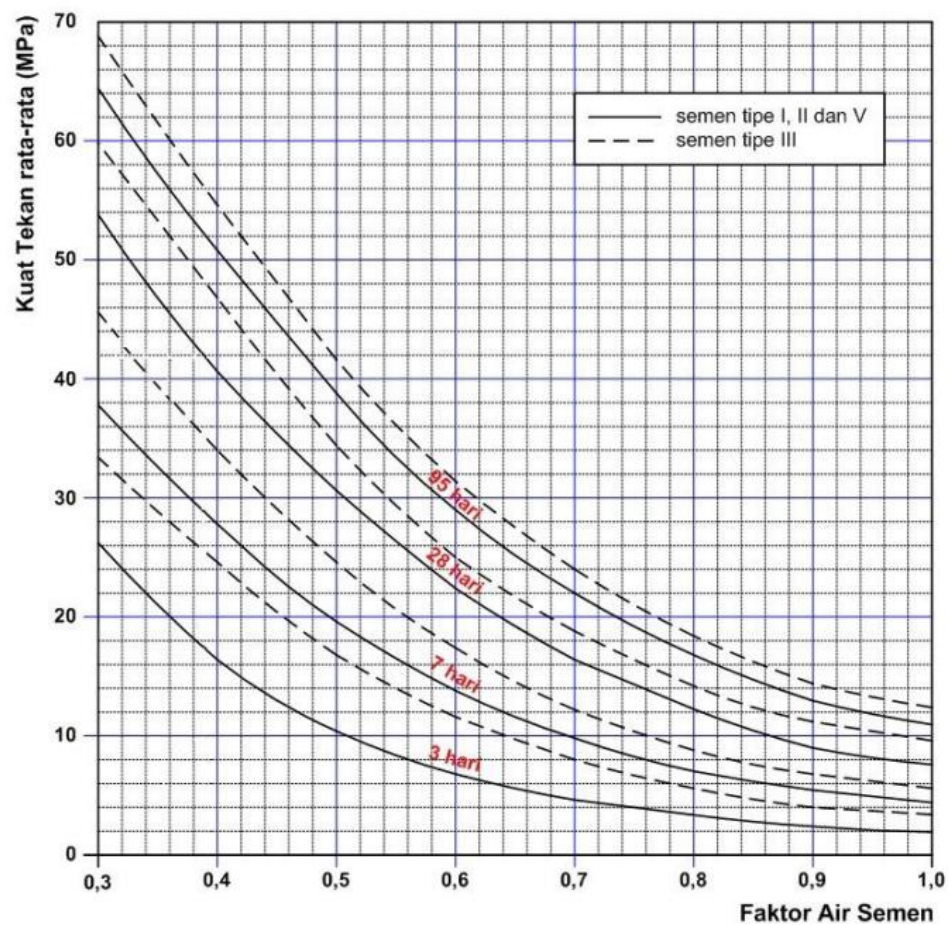
Jenis semen yang digunakan dapat ditentukan sesuai tipe dan penggunaannya.

5. Menentukan Jenis Agregat

Jenis agregat yang digunakan dapat ditentukan seperti ukuran maksimalnya, jenis agregat alami atau buatan, dan lain-lain.

6. Menentukan Nilai Faktor Air Semen (FAS)

Menentukan nilai faktor air semen (FAS) yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan rata – rata yang ditargetkan berdasarkan grafik pada Gambar 3.2 Sebagai berikut.



**Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Tabel 3. 3 Perkiraan Kuat Tekan Dengan Fas 0,5

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat Tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		Pada Umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portlad Tipe I	Batu Tak Dipecah	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe Ii, V	Batu Tak Dipecah	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	15	32	45	54	
Semen Portland Tipe Iii	Batu Tak Dipecah	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Batu Tak Dipecah	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	

7. Menentukan Nilai Slump

Penentuan nilai slump dilakukan untuk mendapatkan tingkat kelecakan pada campuran beton agar sesuai dengan mutu beton yang diinginkan.

8. Menentukan Ukuran Butir Agregat Maksimum

Syarat dalam menentukan ukuran butir agregat maksimum adalah sebagai berikut.

- Tidak melebihi seperlima jarak terkecil antarbidang samping dari cetakan
- Tidak melebihi sepertiga dari ketebalan pelat
- Tidak melebihi tiga perempat dari jarak bersih minimum di antara tulangan

9. Menghitung Kadar Air Bebas Agregat Campuran

Kadar air bebas agregat campuran diperoleh dengan memperhitungkan gabungan antara kadar air agregat halus dan agregat kasar. Perkiraan kadar air tiap agregat dapat dilihat pada Tabel 3. 3 berikut.

Tabel 3. 4 Perkiraan Kadar Air Bebas Per Meter Kubik Beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	Nilai Slump (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu Tak Dipecahkan	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Batu Tak Dipecahkan	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Batu Tak Dipecahkan	115	140	160	175
	Batu Pecah	155	175	190	205

Sumber: SNI 03-2834-2000

berdasarkan perkiraan kadar air tiap agregat yang didapat, kadar air bebas agregat campuran dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 berikut.

$$Kadar\ Air\ bebas = \frac{2}{3} Wh + \frac{2}{3} Wk \quad (3.3)$$

Keterangan:

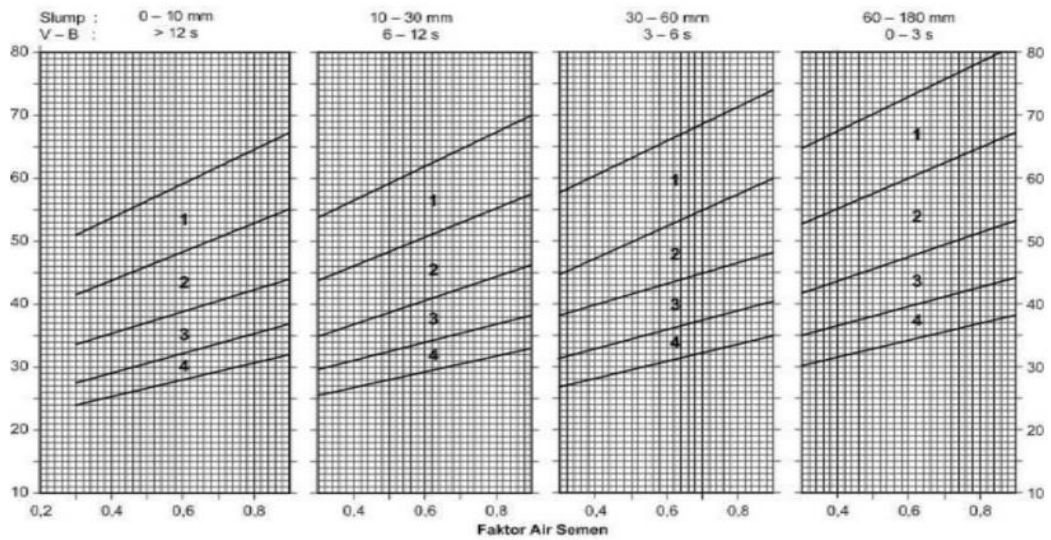
Wh = Perkiraan kadar air untuk agregat halus (Kg/m³)

Wk = Perkiraan kadar air untuk agregat kasar (Kg/m³)

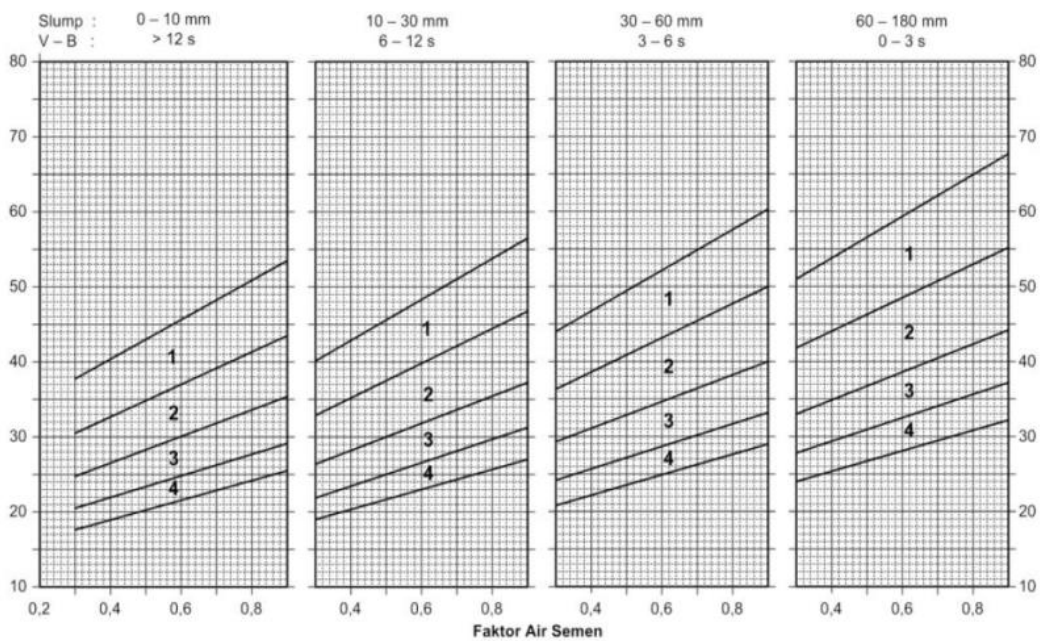
10. Menghitung Kadar Semen per m³ Beton Kadar semen yang dibutuhkan tiap m³ beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$Jumlah\ Semen\ per\ m^3\ beton = \frac{Kadar\ Air\ Bebas}{FAS} \quad (3.4)$$

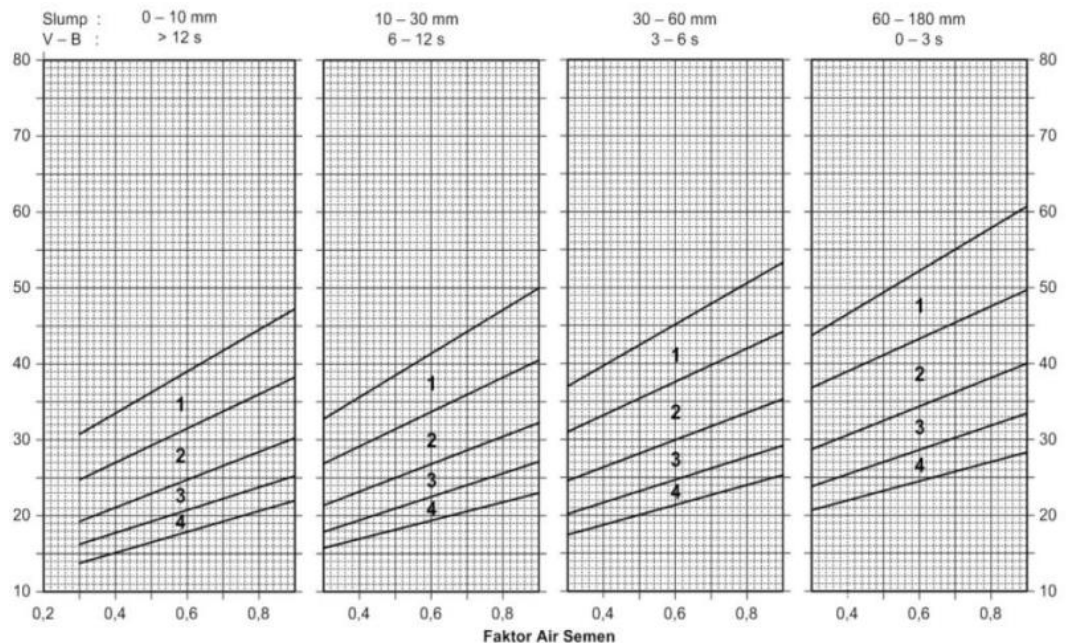
11. Menentukan Persentase Agregat Persentase agregat halus dan agregat kasar dapat ditentukan menggunakan grafik yang sesuai dengan ukuran maksimum agregat halus yang digunakan. Grafik-grafik yang dapat digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2, 3.3, dan 3.4 sebagai berikut berikut.



Gambar 3. 3 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 10 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3. 5 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Nilai persentase agregat halus dan agregat kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut.

$$\% \text{ Agregat Halus} = \frac{\text{Batas Atas} + \text{Batas Bawah}}{2} \quad (3.5)$$

$$\% \text{ Agregat Kasar} = 100\% - \% \text{ Agregat Halus} \quad (3.6)$$

12. Menghitung Berat Jenis Agregat Gabungan

Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian berat jenis serta perhitungan persentase agregat halus dan kasar kemudian dapat digunakan untuk menghitung berat jenis agregat gabungan menggunakan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$BJ_{AG} = (\% AH \times BJ_{AH}) + (\% AK \times BJ_{AK}) \quad (3.7)$$

Keterangan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

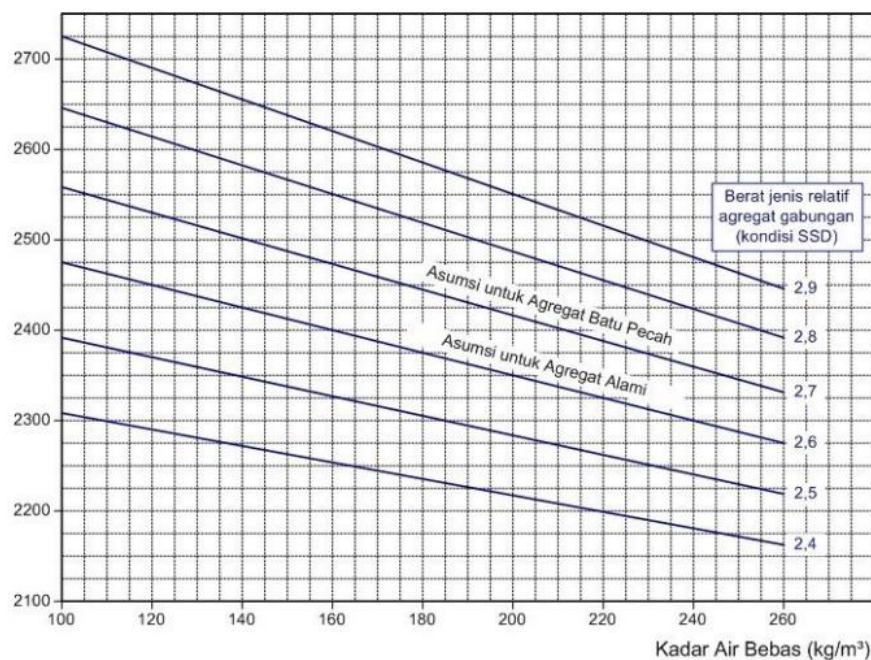
BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

% AH = Persentase agregat halus

% AK = Persentase agregat kasar

13. Mencari Nilai Perkiraan Berat Isi

Beton Nilai perkiraan berat isi beton dapat ditentukan menggunakan grafik dengan cara membuat kurva berat jenis agregat gabungan sesuai perhitungan sebelumnya kemudian menarik garis vertikal berdasarkan kadar air bebas yang digunakan hingga menyentuh kurva yang dibuat. Setelah itu tarik garis horizontal dari perpotongan kurva dan garis kadar air bebas ke kiri untuk mendapatkan nilai berat isi beton. Grafik yang digunakan dalam mencari nilai perkiraan berat isi beton dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 6 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

14. Menghitung Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$W_{Ag.gab} = W_{Beton} - W_{Semen} - w \quad (3.8)$$

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)

15. Menghitung Kadar Agregat Halus dan Kasar
Kadar agregat halus dan kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$W_{Ag.halus} = \% Ag. Halus \times W_{Ag.gab} \quad (3.9)$$

$$W_{Ag.kasar} = W_{Ag.gab} - W_{Ag.halus} \quad (3.10)$$

Keterangan:

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

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

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

$\% Ag. Halus$ = Persentase Agregat Halus (%)

16. Menghitung Kadar *Silica fume*

Kadar *Silica fume* yang digunakan dapat dihitung berdasarkan berat semen yang didapat dan dikali sesuai persentase kadar *silica fume* yang digunakan.

17. Menghitung Kadar *Superplasticizer*

Kadar *superplasticizer* yang digunakan dapat dihitung berdasarkan berat semen yang didapat dan dikali sesuai persentase kadar *superplasticizer* yang digunakan.

3.5 Kuat Tekan Beton

Sifat paling penting yang dimiliki beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur karena dibebani dengan gaya tekan. Kuat tekan biasanya berhubungan dengan sifat – sifat lain, maksudnya bila kuat tekan beton sudah tinggi, maka sifat – sifat lainnya akan baik.

Beton berdasarkan kuat tekan dapat dibagi menjadidi beberapa jenis, antara lain adalah sebagai berikut.

1. Beton sederhana, dipakai untuk bagian – bagian non struktur seperti dinding bukan struktur penahan tembok, kuat tekannya $f'_c < 10$ MPa.
2. Beton normal, dipakai untuk beton bertulang, bagian struktur penahan beban misalnya kolom dan balok, kuat tekannya $f'_c < 30$ MPa.
3. Beton prategang untuk balok prategang yaitu balok dengan baja tulangan ditarik terlebih dahulu diberi beban, kuat tekannya $f'_c < 40$ MPa.
4. Beton kuat tekan tinggi dan sangat tinggi dipakai pada struktur khusus, misalnya gedung bertingkat sangat banyak, kuat tekannya $f'_c \leq 80$ MPa. (Tjokrodimulyo, 1995).

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor selain oleh perbandingan faktor air semen (fas) dan tingkat pematatannya. Faktor –faktor tersebut antara lain adalah :

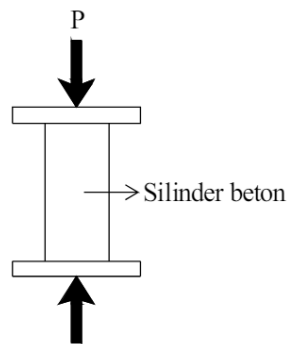
1. jenis semen dan kualitas,
2. jenis dan bentuk permukaan agregat,
3. faktor umum, dan
4. mutu agregat.

Kekuatan beton yang paling umum yang digunakan adalah 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm² tergantung pada jenis campuran, sifat –sifat agregat, serta kualitas perawatannya. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian yang sesuai standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu sampai benda uji pecah. Beban tekan maksimum pada saat benda uji pecah dibagi luas penampang benda

uji merupakan nilai kuat desak beton yang dinyatakan dalam satuan Mpa atau kg/cm². Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan adalah:

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.11)$$

Keterangan : f'_c = kuat desak beton (MPa)
P = beban maksimum (N)
A = luas penampang benda uji (mm^2)



Gambar 3. 7 Skema Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan menurut Tjokrodimulyo (1995) sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain adalah sebagai berikut:

1. pengaruh mutu semen portland,
2. pengaruh dari perbandingan adukan beton,
3. pengaruh air untuk membuat adukan,
4. pengaruh umur beton,
5. pengaruh waktu pencampuran,
6. pengaruh perawatan, dan
7. pengaruh bahan campuran tambahan.

3.6 Kuat Tarik Belah Beton

Salah satu kelemahan dari material beton adalah ketahanan terhadap tegangan tarik. Dalam dunia konstruksi, penggunaan struktur beton akan digabungkan dengan tulangan baja agar kekuatan tarik pada beton tersebut tersalurkan ke

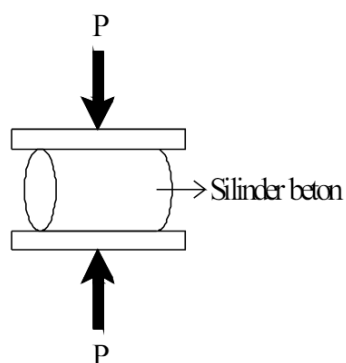
tulangan baja tersebut. Sehingga struktur beton tersebut dapat menahan gaya tarik yang terjadi pada struktur tersebut.

Besarnya nilai hasil uji kuat tarik belah beton dapat digunakan sebagai acuan untuk mengestimasi beban retak beton atau momen retak yang sering digunakan dalam perencanaan beton prategang. Uji kuat tarik beton diperoleh dari uji sampel berbentuk silinder yang diuji belah (*splitting test*). Pengujian menggunakan benda uji beton silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Tegangan tarik yang timbul sewaktu benda uji terbelah disebut sebagai tegangan tarik belah, diperhitungkan dengan persamaan sebagai berikut (SNI 03-2491-2002).

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (3.12)$$

dengan :

- f_{ct} = Kuat tarik belah (MPa)
- P = Beban maksimum beban belah (N)
- L = Panjang benda uji silinder (mm)
- D = Diameter benda uji silinder (mm)



Gambar 3. 8 Skema Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

3.7 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas adalah rasio dari tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan. Modulus elastisitas tergantung pada umur beton, sifat-sifat agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis dan ukuran dari benda uji. Modulus elastisitas dan kuat tekan beton merupakan parameter utama mutu beton. Semakin kuat struktur yang diinginkan maka semakin besar modulus elastisitas pada beton.

Modulus elastisitas diperoleh dari pengujian benda uji atau sample beton berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi silinder 300 mm. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton akan berbanding lurus dengan nilai modulus elastisitas beton yang juga semakin tinggi. Modulus elastisitas berkaitan erat dengan kekuatan bahan pada beton yang akan menerima beban, reaksi yang terjadi mengakibatkan perubahan tegangan dan regangan pada beton. Modulus elastisitas tinggi menunjukkan rasio tegangan terhadap regangan yang dihasilkan tinggi sehingga lendutan yang terjadi pada beton kecil.

Dari pengujian tekan silinder beton 150/300 dihitung besarnya modulus elastisitas beton dengan menggunakan rumus ASTM C 469-02 sebagai berikut :

$$E_c = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (3.13)$$

Keterangan:

E_c = Modulus elastisitas beton (kg/m^3)

σ_2 = Tegangan pada 40% teg. runtuh (kg)

σ_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (m^3)

ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat σ_2 (m^3)

ε_1 = Regangan sebesar 0,00005 (m^3)

Sesuai dengan SNI 2847-2019 digunakan rumus nilai modulus elastisitas teoritis sebagai berikut.

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

Dalam ACI 363-92 “*State of The Art Report on High Strength Concrete*”
adalah sebagai berikut :

$$E_c = 3320 \sqrt{f'c'} + 6900 \quad (3.15)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini yakni jenis penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen merupakan jenis penelitian bersifat kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (*treatment*/perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan.

4.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga jenis variabel yang digunakan pada penelitian ini, yakni sebagai berikut:

1. Variabel Bebas/Independen meliputi kadar *Sika Fume* dan *Viscocrete 1003*.
2. Variabel Terikat/Dependen meliputi kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton.
3. Variabel Tetap meliputi semen, agregat, bentuk benda uji, umur benda uji, dan kuat tekan rencana (f'_c).

4.3 Benda Uji

Pada penelitian ini, dilakukan beberapa pengujian yang menggunakan benda uji silinder beton berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Adapun pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, modulus elastisitas beton, dan kuat tarik belah beton. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 40 buah dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Variasi		Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji untuk Setiap Pengujian (buah)	
Kadar <i>SikaFume</i> (%)	Kadar <i>ViscoCrete 1003</i> (%)		Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
0	0	BN	5	3
6	1,1	SF6	5	3
8	1,1	SF8	5	3
10	1,1	SF10	5	3
12	1,1	SF12	5	3
Total			25	15
			40	

Keterangan: Kadar *SikaFume* menunjukkan persen terhadap berat semen.

Kadar *ViscoCrete 1003* menunjukkan persen terhadap berat semen.

4.4 Bahan Pembuatan Benda Uji

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Semen Portland

Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis semen *Portland Cement Composite* (PCC) tipe 1 dengan merk Semen Gresik.

2. Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini dibedakan menjadi dua, yaitu agregat halus berupa pasir yang berasal dari merapi dan agregat kasar berupa batu pecah yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4. *Silica fume*

Silica fume yang digunakan pada penelitian ini adalah *SikaFume* produk PT. Sika Indonesia dengan variasi penambahan yaitu 6%, 8%, 10%, dan 12%.

5. *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini adalah *ViscoCrete 1003* dengan kadar penambahan sebesar 1.1% dari berat total semen.

4.5 Peralatan

4.5.1 Peralatan Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini, peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Peralatan Pembuatan Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
1	Ayakan Agregat Halus	Untuk mengayak agregat halus
2	Ayakan Agregat Kasar	Untuk mengayak agregat kasar
3	Neraca Ohaus	Untuk menimbang material
4	Cetakan Silinder	Untuk mencetak benda uji silinder
5	Mixer Beton	Untuk mengaduk campuran beton
6	Sekop	Untuk memasukkan campuran beton ke dalam cetakan
7	Tongkat Penumbuk	Untuk memadatkan campuran beton pada cetakan
8	Ember	Untuk menampung material
9	Gelas Ukur	Untuk mengukur takaran air
10	Troli/Gerobak Pendorong	Untuk membantu mobilitas material
11	Bak Penampung	Sebagai wadah material dan juga alat yang membantu memasukan material <i>concrete mixer</i> .
12	Kerucut Abrams	Untuk mengetahui nilai slump beton segar sebelum dilakukan penuangan ke dalam cetakan
13	Piknometer	Digunakan dalam pengukuran massa jenis atau densitas fluida. Pada penelitian ini piknometer berperan dalam pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

4.5.2 Peralatan Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini, alat yang digunakan dalam pengujian benda uji dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Peralatan Pengujian Benda Uji

No	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Commpressing Test Machine</i>	Untuk menguji kuat tekan dan kuat tarik belah beton
2	Oven	Untuk mengeringkan benda uji
3	Kaliper	Untuk mengeringkan dimensi benda uji
4	Timbangan	Untuk menimbang berat material yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji
5	Dial Gauge	Untuk Pembacaan Regangan Beton Pada Saat Pengujian Modulus Elastisitas.

4.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia mulai dari persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji.

4.7 Persiapan

Tahapan persiapan yang dilakukan merupakan langkah awal sebelum memulai proses pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini, peneliti melakukan beberapa kegiatan persiapan yang bertujuan untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan penelitian. Tahap persiapan meliputi kegiatan berikut:

1. Studi Pustaka dan Literatur.

Peneliti melakukan kajian terhadap literatur yang relevan dengan topik penelitian. Hal yang dilakukan ialah membaca jurnal ilmiah, buku, artikel, dan penelitian terdahulu dalam lima tahun terakhir untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang teori, konsep, serta perkembangan terkait topik pada penelitian ini. Selain itu, studi pustaka dan literatur yang dilakukan bertujuan

guna mengidentifikasi latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, landasan teori, serta metode yang akan diterapkan pada penelitian ini.

2. Persiapan Laboratorium

Hal yang dilakukan pada persiapan laboratorium adalah memastikan bahwa laboratorium yang akan digunakan sudah siap dan memenuhi standar yang diperlukan untuk penelitian ini. Kemudian, mengajukan perizinan pemakaian laboratorium sesuai prosedur yang berlaku pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, dan melakukan koordinasi dengan laboran terkait pelaksanaan penelitian. Hal termasuk pengaturan alat, pengaturan tata tertib, dan pengaturan area kerja sesuai dengan prosedur keamanan.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Hal yang dilakukan pada persiapan alat dan bahan pada penelitian ini yakni menginventarisasi bahan-bahan yang dibutuhkan, termasuk memastikan alat-alat tersebut tersedia dalam kondisi baik dan siap pakai. Bahan-bahan yang diperlukan juga harus tersedia dan memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan agar hasil penelitian *valid* dan sesuai dengan perencanaan. Dalam menginventarisasi bahan, peneliti mencari *supplier* yang menyediakan bahan-bahan sesuai spesifikasi rencana.

4.8 Pemeriksaan Material

Material yang diperiksa pada penelitian ini yaitu agregat halus, agregat kasar, Semen, dan Air.

4.8.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan terhadap agregat halus meliputi pemeriksaan berat jenis dan serapan air, pemeriksaan analisa saringan, pemeriksaan berat volume gembur dan padat, serta pemeriksaan kadar lumpur.

Pemeriksaan berat jenis dan serapan air terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1970-1990, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat benda uji tetap. Berat benda uji tetap didapatkan dengan 3 kali proses penimbangan

dan pemanasan dalam oven berturut dengan jangka waktu 2 jam dan tidak menunjukkan adanya perubahan kadar air yang lebih besar dari 0,1%. Selanjutnya benda uji didinginkan dalam suhu ruang dan direndam dalam air selama (24 ± 4) jam.

2. Air perendaman dibuang dengan perlahan dan diperhatikan agar tidak ada butiran yang terbang, selanjutnya agregat disebarkan pada atas talam dan dikeringkan dengan cara dibalik-balikkan pada udara panas hingga mencapai keadaan kering permukaan jenuh (SSD).
3. Keadaan kering permukaan jenuh (SSD) diperiksa menggunakan kerucut terpancung, pemeriksaan ini dilakukan dengan memasukkan benda uji kedalam kerucut terpancung dan dilakukan pemadatan sebanyak 25 kali menggunakan batang penumbuk, selanjutnya permukaannya diratakan. Selanjutnya kerucut terpancung diangkat, apabila benda uji runtuh namun tetap dalam kondisi tercetak maka keadaan kering permukaan jenuh telah tercapai.
4. Benda uji sebanyak 500 gram dimasukkan ke dalam piknometer kemudian dilanjutkan dengan pengisian air suling hingga mencapai 90% isi piknometer. Lalu piknometer diputar dan diguncangkan hingga gelembung udara didalamnya tidak terlihat.
5. Piknometer direndam di dalam air dan suhu air diukur untuk penyesuaian perhitungan dengan suhu air standar yakni 25°C .
6. Air ditambahkan hingga mencapai tanda batas.
7. Piknometer berisi benda uji dan air ditimbang dengan ketelitian timbangan 0,1 gram, diperoleh nilai $B_t = 985$ gram pada sampel 1 dan 980 gram pada sampel 2.
8. Benda uji dikeluarkan dari piknometer dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat tetap, selanjutnya benda uji didinginkan menggunakan desikator.
9. Benda uji yang telah dingin ditimbang, diperoleh nilai $B_k = 493$ gram pada sampel 1 dan 494 gram pada sampel 2.

10. Piknometer diisi air penuh dan ditimbang untuk menentukan berat piknometer berisi air penuh, diperoleh nilai $B = 675$ gram pada sampel 1 dan 672 gram pada sampel 2.
11. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data hasil berat jenis jenuh dan serapan air yang disusun pada Tabel 4.4 Berikut.

Tabel 4. 4 Berat Jenis Dan Serapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	493	494	493,5
Berat pasir kondisi (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	985	980	982,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	675	672	673,5
Berat Jenis Curah $Bk/(B + 500 - Bt)$	2,595	2,573	2,584
Berat Jenis jenuh (SSD) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,632	2,604	2,618
Berat Jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,694	2,656	2,675
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	1,420%	1,215%	1,317%

Pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap.
2. Benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram sebanyak 2000 gram masing-masing untuk sampel 1 dan sampel 2.
3. Saringan diatur dengan lubang terbesar pada bagian atas dan lubang terkecil pada bagian bawah. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam saringan dan saringan diguncang secara menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Benda uji dikeluarkan dari setiap ukuran saringan dan diletakkan pada talam. Selanjutnya benda uji pada setiap talam ditimbang.
5. Data hasil penimbangan diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data persen berat tertinggal kumulatif dan persen lolos kumulatif pada kedua sampel pemeriksaan kemudian didapatkan nilai modulus

halus butir (MHB) rata-rata sehingga disusun pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	15	0,75	0,75	99,25
2,40	231	11,55	12,30	87,70
1,20	494	24,70	37,00	63,00
0,60	468	23,40	60,40	39,60
0,30	314	15,70	76,10	23,90
0,15	252	12,60	88,70	11,30
Sisa	226	11,300	100,000	0
Jumlah	2000	100	275,250	324,750

Tabel 4. 6 Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

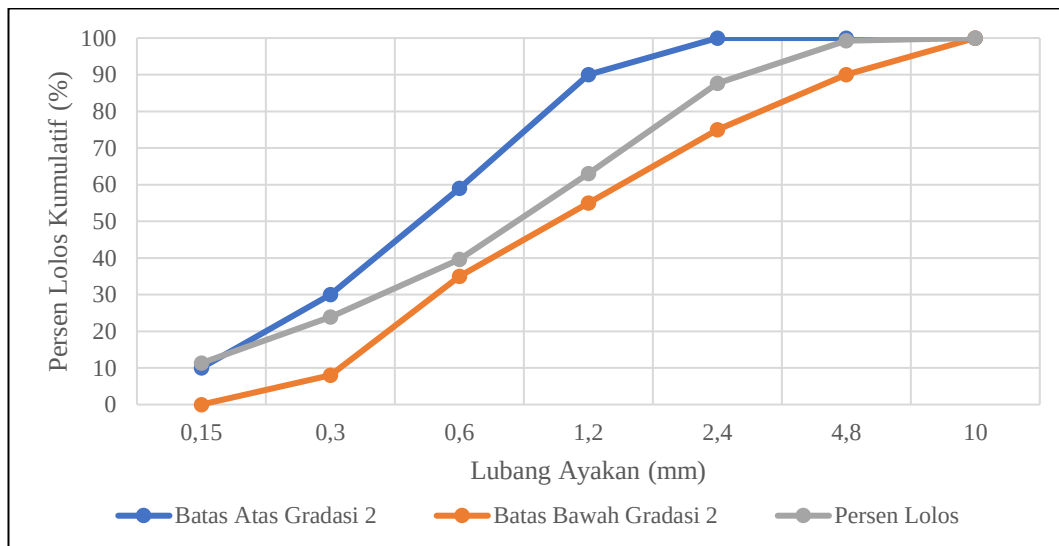
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	9	0,45	0,45	99,55
2,40	250	12,50	12,95	87,05
1,20	406	20,30	33,25	66,75
0,60	459	22,95	56,20	43,80
0,30	371	18,55	74,75	25,25
0,15	306	15,30	90,05	9,95
Sisa	199	9,950	100,000	0
Jumlah	2000	100	267,650	332,350

$$\text{MHB rata-rata} = \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{MHB Sampel 2}}{2}$$

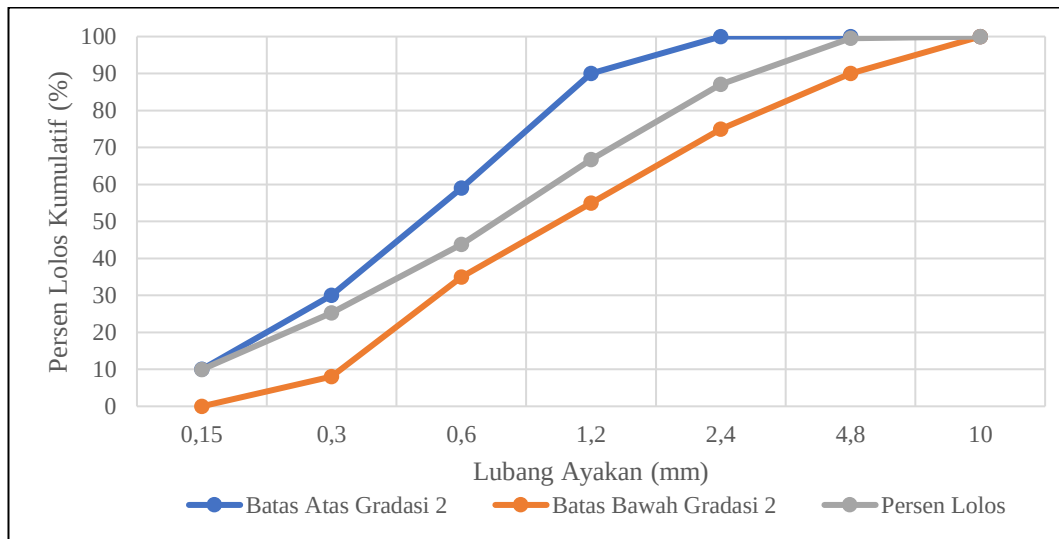
$$= \frac{2,753+2,677}{2}$$

$$= 2,715$$

Data modulus halus butir yang didapatkan digunakan untuk menentukan daerah gradasi terhadap agregat halus dengan menggunakan nilai persen lolos kumulatif. Berdasarkan pemeriksaan, dapat ditentukan bahwa kedua sampel agregat halus masuk kedalam jenis gradasi daerah II. Berikut kedua grafik dari gradasi agregat halus beserta batas gradasi yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4. 1 Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1



Gambar 4. 2 Gradasi Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Pengujian berat volume padat dan gembur terhadap agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap.
2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram dengan kapasitas 10000 gram masing-masing untuk kedua sampel.
3. Berat tabung dihitung. Diperoleh nilai $W1 = 11332$ gram untuk tabung 1 dan 11367 gram untuk tabung 2.
4. Silinder/tabung diletakkan pada tempat dengan permukaan datar. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan dua kondisi yakni volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa dilakukannya pemadatan, kemudian permukaan diratakan. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai $W2 = 19670$ gram untuk sampel 1 dan 19702 gram untuk sampel 2.
6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji per 1/3 bagian dan setiap bagiannya dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, kemudian pekerjaan tersebut

dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai $W_2 = 21092$ gram untuk sampel 1 dan 21018 gram untuk sampel 2.

7. Volume tabung dihitung. Tabung yang sama digunakan untuk pemeriksaan berat volume gembur dan padat agregat halus pada kedua sampel sehingga diperoleh nilai $V = 5283,71 \text{ cm}^3$
6. Data yang didapatkan diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai sehingga disusun pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19670	19702	gram
Berat Agregat (W3)	8338	8335	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,10	cm
Volume Tabung (V)	5283,71	5283,71	cm ³
Berat Volume Gembur	1,578	1,577	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,578		gram/cm ³

Tabel 4. 8 Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	21092	21018	gram
Berat Agregat (W3)	9760	9651	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,10	30,10	cm
Volume Tabung (V)	5283,71	5283,71	cm ³
Berat Volume Gembur	1,847	1,827	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,837		gram/cm ³

Pemeriksaan kadar lumpur terhadap agregat halus (lolos saringan no. 200) dilakukan berdasarkan SNI 4142-1996, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai $W_1 = 500$ gram masing-masing pada kedua sampel.
2. Benda uji diletakkan pada saringan kemudian air dialirkan diatasnya.
3. Benda uji pada saringan digerakkan menggunakan aliran air hingga bagian halus dari benda uji dapat lolos saringan No. 200 dan bagian kasar tertahan pada saringan.
4. Pekerjaan pada poin 3 dilakukan dan diulangi hingga air dari pencucian tetap jernih.
5. Setelah air dari pencucian dapat dipastikan jernih, benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap kemudian ditimbang hingga ketelitian 0,1 gram. Diperoleh nilai $W_2 = 482$ gram untuk sampel 1 dan 485 gram untuk sampel 2.
6. Data yang didapatkan diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai sehingga disusun pada Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4. 9 Pemeriksaan Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Kering Awal (W_1)	500	500	gram
Berat Kering Setelah Dicuci (W_2)	482	485	gram
Kadar Lumpur	3,60	3,00	%
Kadar Lumpur rata-rata	3,30		%

4.8.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan terhadap agregat kasar meliputi pemeriksaan berat jenis dan serapan air, pemeriksaan analisa saringan, serta pemeriksaan berat volume gembur dan padat.

Pengujian berat jenis dan penyerapan air terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-1990. Dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dicuci agar terbebas dari debu atau bahan lainnya pada permukaan.
2. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap.
3. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 2 jam pada suhu kamar. Selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram. Diperoleh nilai $B_k = 4926$ gram untuk sampel 1 dan 4927 gram untuk sampel 2.
4. Benda uji direndam pada air selama (24 ± 4) jam dengan suhu kamar.
5. Benda uji dikeluarkan dari air dan dilap dengan kain hingga permukaan benda uji terbebas dari selaput air.
6. Benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh ditimbang. Ditentukan nilai $B_j = 5000$ gram masing-masing untuk kedua sampel.
7. Benda uji diletakkan di dalam keranjang kemudian diguncangkan agar udara yang tersekap didalamnya dapat keluar. Kemudian berat benda uji dalam air ditentukan. Diperoleh nilai $B_a = 3078$ gram untuk sampel 1 dan 3090 gram untuk sampel 2.
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data hasil berat jenis dan serapan air yang disusun pada Tabel 4.10 Berikut.

Tabel 4. 10 Berat Jenis dan Serapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat Kerikil Kering Mutlak (B_k), gram	4926	4927	4926,5
Berat Kerikil (SSD), gram (B_j)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (B_a)	3078	3090	3084
Berat Jenis Curah $B_k/(5000-B_a)$	2,563	2,580	2,571
Berat Jenis jenuh (SSD) $5000/(5000-B_a)$	2,601	2,618	2,610
Berat Jenis semu $B_k/(B_k-B_a)$	2,666	2,682	2,674
Penyerapan Air $(5000-B_k)/B_k \times 100\%$	1,50%	1,48%	1,492%

Pemeriksaan analisa saringan terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-1968-1990, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap.
2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram. Ditentukan nilai berat benda uji = 5000 gram masing-masing pada kedua sampel.
3. Saringan diatur dengan lubang terbesar pada bagian atas dan lubang terkecil pada bagian bawah. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam saringan dan saringan diguncang secara manual atau menggunakan mesin pengguncang selama 15 menit.
4. Benda uji dikeluarkan dari setiap ukuran saringan dan diletakkan pada talam sesuai dengan ukurannya. Selanjutnya benda uji pada setiap talam ditimbang.
5. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai untuk mendapatkan data hasil berat jenis dan serapan air yang disusun pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 Berikut.

Tabel 4. 11 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

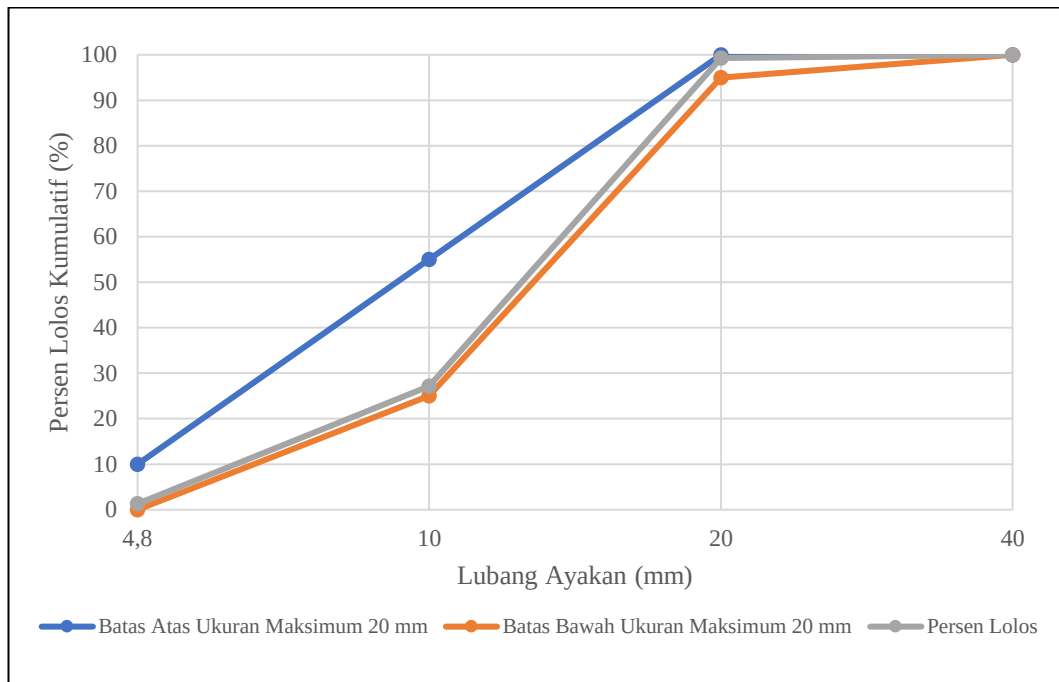
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	36	0,72	0,72	99,28
10,00	3606	72,12	72,84	27,16
4,80	1293	25,86	98,70	1,30
2,40	30	0,60	99,30	0,70
1,20	5	0,10	99,40	0,60
0,60	0	0	99,40	0,60
0,30	0	0	99,40	0,60
0,15	0	0	99,40	0,60
Sisa	30	0,60	100	0,00
Jumlah	5000	100	669,160	230,84

Tabel 4. 12 Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

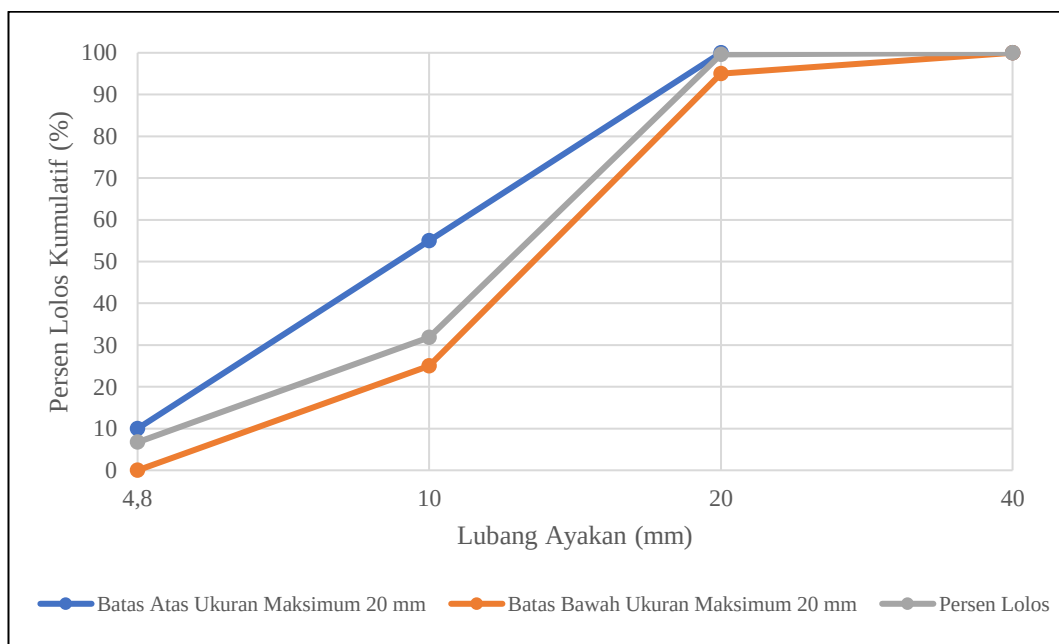
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	18	0,36	0,36	99,64
10,00	3390	67,81	68,17	31,83
4,80	1255	25,11	93,28	6,72
2,40	253	5,06	98,34	1,66
1,20	30	0,60	98,94	1,06
0,60	0	0	98,94	1,06
0,30	0	0	98,94	1,06
0,15	0	0	98,94	1,06
Sisa	53	1,06	100	0,00
Jumlah	4999	100	655,911	244,09

$$\begin{aligned}
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB Sampel 1} + \text{MHB Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{6,692 + 6,559}{2} \\
 &= 6,625
 \end{aligned}$$

Data modulus halus butir yang didapatkan digunakan untuk menentukan ukuran maksimum agregat kasar dengan menggunakan nilai persen lolos kumulatif. Penentuan ukuran maksimum agregat kasar dilakukan berdasarkan persentase berat butir agregat yang lolos ayakan. Sesuai hasil persen lolos kumulatif, didapatkan agregat kasar memiliki ukuran maksimum sebesar 20 mm. Berikut ini grafik dari analisis saringan agregat kasar beserta batas atas dan bawah gradasi dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4. 3 Analisa Sarigan Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 4. 4 Analisa Sarigan Agregat Kasar Sampel 2

Pengujian berat volume padat dan gembur terhadap agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 03-4804-1998, dilaksanakan sebagaimana berikut di bawah ini.

1. Benda uji dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap.
2. Benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 1-3 jam, selanjutnya benda uji ditimbang hingga ketelitian 0,5 gram dengan kapasitas 10000 gram masing-masing untuk kedua sampel.
3. Berat tabung dihitung. Diperoleh nilai $W1 = 11332$ gram untuk tabung 1 dan 11367 gram untuk tabung 2.
4. Silinder/tabung diletakkan pada tempat dengan permukaan datar. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan dua kondisi yakni volume gembur dan volume padat.
5. Pengujian berat volume gembur dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji hingga penuh tanpa dilakukannya pemadatan, kemudian permukaan diratakan. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai $W2 = 17898$ gram untuk sampel 1 dan 18102 gram untuk sampel 2.
6. Pengujian berat volume padat dilakukan dengan pengisian tabung dengan benda uji per 1/3 bagian dan setiap bagiannya dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali secara menyeluruh dan diratakan, kemudian pekerjaan tersebut dilakukan hingga volume penuh. Berat tabung berisi benda uji ditimbang sehingga diperoleh nilai $W2 = 18947$ gram untuk sampel 1 dan 18979 gram untuk sampel 2.
7. Volume tabung dihitung. Tabung yang sama digunakan untuk pemeriksaan berat volume gembur dan padat agregat kasar pada kedua sampel, sehingga diperoleh nilai $V = 5285,46 \text{ cm}^3$.
8. Data yang telah didapatkan tersebut diolah menggunakan rumus perhitungan yang sesuai sehingga disusun pada Tabel 4.13 dan 4.14 berikut.

Tabel 4. 13 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17898	18102	gram
Berat Agregat (W3)	6566	6735	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	cm
Volume Tabung (V)	5285,46	5285,46	cm ³
Berat Volume Gembur	1,242	1,274	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,258		gram/cm ³

Tabel 4. 14 Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18947	18979	gram
Berat Agregat (W3)	7615	7612	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	cm
Volume Tabung (V)	5285,46	5285,46	cm ³
Berat Volume Gembur	1,441	1,440	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,4405		gram/cm ³

4.8.3 Pemeriksaan Semen

Semen yang digunakan diperiksa secara visual dan terlihat bahwa kantong semen tertutup rapat dan tidak ada penggumpalan pada semen sejak pabrikasi.

4.8.4 Pemeriksaan Air

Air yang digunakan diperiksa secara visual dan terlihat bahwa air yang digunakan merupakan air yang bersih, tidak mengandung lumpur, tidak bau, dan tidak berasa.

4.9 Perencanaan Campuran *Mix Design*

Tahapan *mix design* yang dilakukan mengacu pada standar yaitu berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana 32 MPa. Berikut tahapan yang dilakukan dalam perhitungan perencanaan *Mix Design* pada penelitian ini.

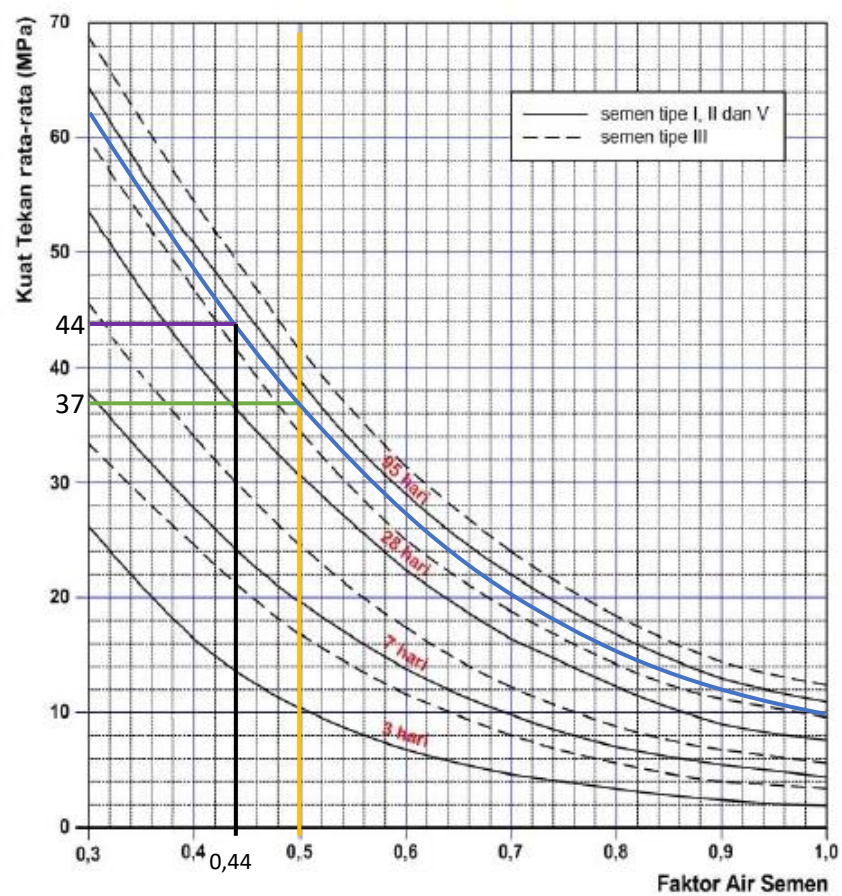
1. Kuat tekan yang direncanakan ($f'c$) = 32 Mpa
2. Pada pengujian ini, diasumsikan bahwa tingkat pengendalian pada proses pelaksanaan pencampuran dengan tingkatan jelek sehingga berdasarkan Tabel 3.2 tentang Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian, nilai deviasi standar (S) yang digunakan adalah 7 sehingga diperoleh nilai tambah:

$$\begin{aligned}M &= 1,64 \times S \\&= 1,64 \times 7 \\&= 11,48 \text{ MPa atau } 12 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3. Ditentukan Kuat Tekan Rata-Rata Rencana ($f'cr$)
$$f'cr = f'c + M$$
$$f'cr = 32 + 12$$
$$f'cr = 44 \text{ Mpa}$$
4. Jenis semen yang digunakan yakni jenis semen PCC tipe 1 dengan asumsi digunakan dalam konstruksi bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus.
5. Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan adalah 20 mm dengan jenis batu pecah.
6. Nilai Faktor Air Semen (FAS) ditentukan menggunakan tabel perkiraan kuat beton dengan fas 0,5 serta grafik 1 SNI 03-2834-2000 dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Perkiraan kuat tekan dengan fas 0,5 diperoleh dari Tabel 3.3 tentang Perkiraan kuat tekan (Mpa) dengan fas 0,5 yang digunakan di Indonesia.
 - b. Untuk semen tipe 1, jenis agregat kasar batu pecah, benda uji berbentuk silinder, diperoleh perkiraan kuat tekan pada umur 28 hari sebesar 37 MPa.
 - c. Dengan menggunakan gambar 3.1, ditarik garis berwarna hijau pada kuat tekan 37 MPa (lihat Gambar 4.5) sampai menyentuh garis kuning pada

nilai fas 0,5. Maka diperoleh garis lengkung berwarna biru yang merupakan perpotongan dari garis hijau dan kuning.

- d. Kemudian tarik garis berwarna ungu pada $f'_{cr} = 44$ MPa hingga menyentuh garis lengkung berwarna biru, lalu tarik garis kebawah berwarna orange sehingga didapatkan nilai fas = 0,44. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



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

Gambar 4. 5 Penentuan Nilai fas

7. Nilai *slump* ditetapkan yaitu 60 – 180 mm.
8. Berdasarkan pemeriksaan material, didapatkan ukuran butir maksimum agregat kasar sebesar 20 mm dengan jenis batu pecah. Agregat halus masuk dalam gradasi II dengan jenis batu tak dipecahkan.

9. Kadar Air Bebas Agregat Campuran

Perhitungan perkiraan kadar bebas dibuat berdasarkan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Kadar Air bebas} &= \frac{2}{3} Wh + \frac{2}{3} Wk \\ &= \frac{2}{3} 195 + \frac{2}{3} 225 \\ &= 205 \text{ kg}/m^3\end{aligned}$$

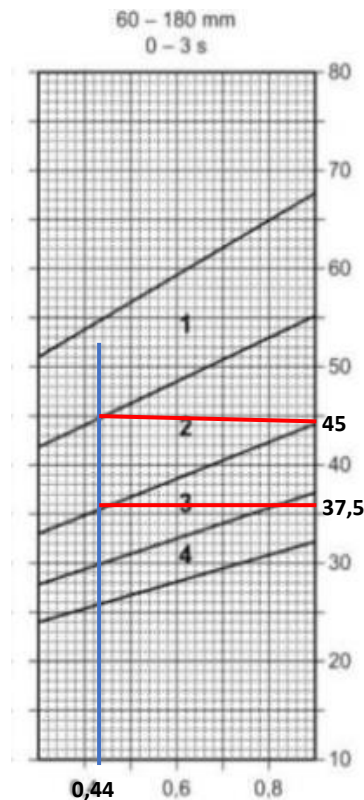
10. Kadar Semen per m^3 Beton

Kadar semen yang dibutuhkan tiap m^3 beton dihitung berdasarkan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Semen per } m^3 \text{ beton} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{FAS}} \\ &= \frac{205}{0,44} \\ &= 465,909 \text{ kg}/m^3\end{aligned}$$

12. Penentuan persentase agregat halus dan agregat kasar dilakukan dengan mengambil Gambar 3.4. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut.

- a. Menarik garis hitam ke atas pada posisi nilai fas 0,44 sampai ke daerah gradasi 2 (dapat dilihat pada gambar 4.6).
- b. Menarik garis berwarna merah ke kanan dari posisi garis hitam dan batas atas dan batas bawah gradasi 2 berpotongan. Diperoleh nilai pada batas atas sebesar 45 dan batas bawah sebesar 35,5.



Gambar 4. 6 Penentuan Persentase Agregat Halus Dan Agregat Kasar

Nilai persentase agregat halus dan agregat kasar dihitung berdasarkan Persamaan 3.5 dan 3.6. Adapun perhitungannya dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Agregat Halus} &= \frac{\text{Batas Atas} + \text{Batas Bawah}}{2} \\
 &= \frac{45 + 35,5}{2} \\
 &= 40,25\%
 \end{aligned}$$

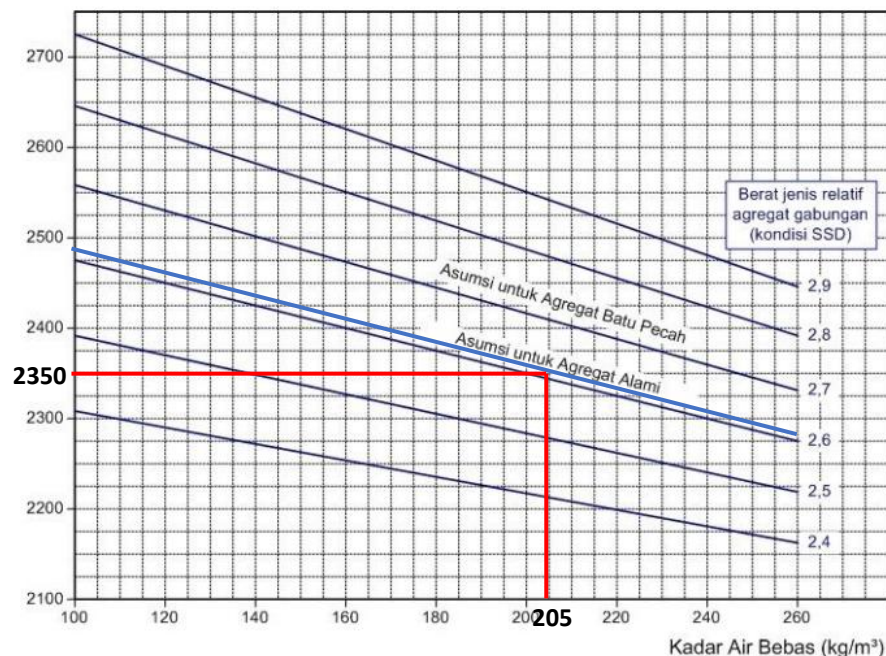
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Agregat Kasar} &= 100\% - \% \text{ Agregat Halus} \\
 &= 100\% - 40,25\% \\
 &= 50,75\%
 \end{aligned}$$

11. Berat Jenis Agregat Gabungan

$$\begin{aligned}
 BJ_{AG} &= (\% AH \times BJ_{AH}) + (\% AK \times BJ_{AK}) \\
 &= (40,25\% \times 2,618) + (50,75\% \times 2,610) \\
 &= 2,613
 \end{aligned}$$

12. Mencari Nilai Perkiraan Berat Isi Beton

Penentuan nilai perkiraan berat isi beton dilakukan dengan mengambil Gambar 3.6 dengan cara membuat kurva pada posisi berat jenis agregat gabungan sebesar 2,613 kemudian menarik garis vertikal berwarna merah berdasarkan kadar air bebas yang digunakan hingga menyentuh kurva yang dibuat. Setelah itu menarik garis horizontal dari perpotongan kurva dan garis kadar air bebas ke kiri untuk mendapatkan nilai berat isi beton, Dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Penentuan Perkiraan Berat Isi Beton

Berdasarkan Gambar 4.7 di atas, didapatkan perkiraan berat isi beton sebesar 2350 kg/m^3 .

13. Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung berdasarkan Persamaan 3.8 yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_{Ag.gab} &= W_{Beton} - W_{Semen} - w \\ &= 2350 - 465,909 - 205 \end{aligned}$$

$$= 1679,09 \text{ kg/m}^3.$$

14. Kadar Agregat Halus dan Kasar

Kasar agregat halus dan kasar dihitung berdasarkan Persamaan 3.9 dan 3.10 yang dapat dilihat sebagai berikut berikut.

$$W_{Ag.halus} = \% Ag. Halus \times W_{Ag.gab}$$

$$= 40,25 \% \times 1679,09 \text{ kg/m}^3$$

$$= 675,834 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{Ag.kasar} = W_{Ag.gab} - W_{Ag.halus}$$

$$= 1679,09 \text{ kg/m}^3 - 675,834 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1003,26 \text{ kg/m}^3$$

15. Proporsi Campuran Untuk 1 m³ beton

Berdasarkan perhitungan perencanaan campuran beton (*Mix Design*) diperoleh proporsi campuran beton untuk 1 m³ beton sebagai berikut.

- a. Semen Portland = 465,909 kg/m³
- b. Agregat Halus = 675,834 kg/m³
- c. Agregat Kasar = 1003,26 kg/m³
- d. Air = 205 kg/m³
- e. Perbandingan Terhadap PC = 1 : 1,5 : 2,2 : 0,4

16. Nilai proporsi campuran tersebut ditambahkan dengan angka penyusutan sebesar 20%. Proporsi campuran untuk proses *mixing* dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4. 15 Proporsi Campuran Benda Uji

Kadar Sika Fume	Kadar ViscoCrete 1003	Sampel Silinder	Volume	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	Air	Sika Fume	ViscoCrete 1003
%	%	Buah	m ³	kg	kg	kg	kg	kg	kg
0	0	8	0,042	34,396	51,060	23,712	10,433	0,000	0,000
6	1,1	8	0,042	34,396	51,060	23,712	10,433	1,423	0,115
8	1,1	8	0,042	34,396	51,060	23,712	10,433	1,897	0,115
10	1,1	8	0,042	34,396	51,060	23,712	10,433	2,371	0,115
12	1,1	8	0,042	34,396	51,060	23,712	10,433	2,845	0,115

4.10 Pembuatan Benda Uji

Proses pencampuran benda uji dilakukan untuk 5 variasi campuran dengan jumlah sampel masing-masing variasi sebanyak 8 buah sampel. Pembuatan benda uji dilaksanakan di laboratorium dengan prosedur sebagai berikut.

1. Persiapan Material

- a. Agregat kasar dan agregat halus dikondisikan dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*) agar dalam pengerjaan pembuatan adukan beton tidak butuh menambah atau mereduksi penggunaan air.
- b. Untuk agregat halus dikondisikan SSD dengan cara penjemuran di bawah matahari yang sebelumnya telah didiamkan di dalam karung dengan kondisi jenuh air selama 48 jam.
- c. Untuk agregat kasar dikondisikan SSD dengan cara pendiaman di dalam karung selama 48 jam yang sebelumnya telah dibersihkan dari seluruh kotoran menggunakan ayakan pencuci dan air.
- d. Setiap bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan campuran beton (*Mix Design*) serta ditambahkan 20% setiap bahan untukantisipasi bahan kurang akibat penempelan bahan pada *mixer* dan lainnya.

2. Persiapan Alat

- a. Seluruh kotoran yang berada di dalam mesin pengaduk dibersihkan menggunakan air, kemudian mesin pengaduk dibiarkan dengan kondisi permukaan yang lembab.
- b. Setiap cetakan silinder diolesi pelumas seperti oli dan ditimbang beratnya.

3. Pencampuran Material dan Pengadukan

- a. Mesin pengaduk dihidupkan.
- b. Dalam kondisi mesin berputar agregat halus dan agregat kasar dimasukkan saat mesin pengaduk berputar sampai tercampur rata.
- c. Semen, *SikaFume*, dan *ViscoCrete 1003* dimasukkan sampai agregat dan semen serta bahan tambah tercampur rata.
- d. Air dituangkan sesuai volume yang telah direncanakan secara bertahap .
- e. Pengadukan dilaksanakan sampai pencampuran homogen.

- f. Adukan beton dituangkan di pelat wadah adukan beton yang lembab dan segera dilaksanakan pengujian slump.
 - g. Proses pencampuran dapat dilihat pada lampiran Gambar L-7.1.
4. Pencetakan
- a. Pengisian dilaksanakan setiap sepertiga bagian lalu ditumbuk 25 kali secara merata setiap bagiannya dan juga dipukul-pukul bagian dinding cetakan dengan palu karet agar beton menjadi padat sehingga tidak memiliki rongga udara.
 - b. Permukaan beton diratakan dengan mistar Perata dan diberi tanda setiap cetakannya.
 - c. Setelah cetakan silinder yang berisi campuran beton segar disimpan di dalam ruangan dengan atap selama 24 jam.
 - d. Beton keras sebagai benda uji dikeluarkan dari cetakan silinder dan diberikan kode identitas kemudian dimasukkan ke dalam bak perendaman untuk proses perawatan beton selama 28 hari.

4.11 Pengujian Slump

Pengujian nilai slump diuji berdasarkan acuan SNI 1972-2008. Pengujian slump bertujuan untuk menentukan kekentalan/keleccakan beton segar agar mendapatkan nilai slump yang baik dan beton yang diproduksi bisa mencapai mutu beton rencana. Prosedur pengujiannya sebagai berikut.

1. Kerucut abrams dibasahi terlebih dahulu dan diletakkan di atas permukaan yang datar, kaku, tidak menyerap air, lembab. Kerucut abrams ditahan dengan kokoh oleh operator dengan menginjak kaki di bagian injakan kerucut abrams selama pengisian beton segar.
2. Kerucut abram diisi dalam tiga lapis, untuk setiap lapisnya sepertiga dari volume cetakan.
3. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan menggunakan batang penusuk. penusukan dilakukan secara merata di permukaan lapisan dan lapisan bawah pada bagian miring kerucut abram penusukan dilakukan secara miring.

4. Pengisian adukan beton segar lapisan bagian atas diisi secara berlebih kemudian ditusuk 25 kali. Adukan beton ditambahkan kalau pemadatan menghasilkan beton segar turun di bawah ujung atas kerucut abram.
5. Permukaan beton segar diratakan di bagian atas kerucut dengan metode batang penusuk digelindingkan di atasnya.
6. Kerucut dilepaskan segera dari beton segar dengan mengangkat ke arah vertikal secara hati-hati dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Seluruh pekerjaan pengujian slump diselesaikan dalam waktu kurang dari 2 ½ menit.
7. Setelah beton menunjukkan terjadi penurunan pada permukaan, tingginya diukur bandingkan tinggi kerucut kemudian mencatat hasil pengukurannya.
8. Proses pengujian slump dapat dilihat pada lampiran Gambar L.7.2.
9. Hasil pengujian slump dicatat kemudian disusun ke dalam sebuah tabel dan grafik yang dapat dilihat pada Tabel 4.16 sebagai berikut.

Tabel 4. 16 Nilai Slump

Nama Benda Uji	Kadar SikaFume	Kadar ViscoCrete 1003 N	Nilai Slump (cm)
BN	0%	0%	10
SF6	6%	1,1%	12
SF8	8%	1,1%	10
SF10	10%	1,1%	9
SF12	12%	1,1%	8

4.12 Perawatan Benda Uji

Untuk perawatan benda uji sudah mencapai *setting time* atau mengeras maka beton dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan perawatan. Perawatan yang dilakukan menggunakan metode perendaman hingga berumur 28 hari. Metode perendaman di dalam air dilakukan dengan cara merendam benda uji pada air yang berada di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.13 Pembuatan dan Pengujian *Trial Mix* Beton Normal

Tujuan dari pembuatan dan pengujian *trial mix* beton normal adalah untuk memastikan bahwa rencana campuran tersebut memenuhi target kuat tekan rencana sebelum pembuatan beton sampel. Pengujian yang dilakukan yaitu kuat tekan beton pada umur 7 hari. Nilai kuat tekan beton pada umur 28 hari diperoleh dengan membagi nilai f'_c aktual dengan angka konversi umur uji pada umur 7 hari. Perhitungan dibawah merupakan perhitungan kuat tekan beton trial sampel 1.

$$\begin{aligned}
 f'_c \text{ aktual} &= \frac{P \text{ (Kn)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{P \times 1000}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{408,51 \times 1000}{\frac{1}{4} \times \pi \times 150^2} \\
 &= 23,117 \text{ Mpa} \\
 f'_c \text{ Konversi} &= f'_c \text{ aktual} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 23,117 \times \frac{1}{0,65} \\
 &= 35,565 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menggunakan langkah yang sama pada 3 buah sampel yang diuji, diperoleh kuat tekan pada umur 7 hari sebagaimana pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4. 17 Kuat Tekan Trial Mix Beton Normal

Kode Sampel	Luas Penampang (cm^2)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Aktual (MPa)	Faktor Konversi	Kuat Tekan Konversi (MPa)
TI01	176,71	408,51	23,12	0,65	35,565
TI02	178,48	398,2	22,31	0,65	34,323
TI03	179,43	402,3	22,42	0,65	34,493

4.14 Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Sampel

Uji kuat tekan dan modulus elastisitas beton sampel dilakukan pada saat beton mencapai umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilakukan secara bersamaan pada 5 variasi sampel dengan total sampel pada

pengujian kuat tekan beton sebanyak 25 sampel silinder. Sebelum pengujian ini dilakukan, permukaan benda uji bagian atas dilapisi dengan belerang yang disebut dengan proses *capping*, bertujuan untuk membuat permukaan lebih halus dan rata. sehingga beban yang dihasilkan oleh mesin kompresi tersebar merata. Pengujian ini dilakukan sampai benda uji tidak dapat menahan beban lebih dari mesin uji yang menyebabkan beton pecah atau retak.

Pengujian modulus elastisitas dilaksanakan dengan memasang alat ekstensometer pada benda uji. Pada pengujian ini digunakan dua kamera, kamera pertama untuk merekam pembebanan mesin CTM, dan kamera kedua merekam *dial gauge* yang berfungsi untuk menunjukkan deformasi pada beton saat diberi beban oleh mesin CTM. Kedua kamera dihubungkan ke *laptop* untuk mengambil rekaman simultan.

Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan seluruh benda uji yang akan diuji dan peralatan perekaman.
2. Mengukur dimensi dan tinggi dari benda uji serta menimbang berat benda uji.
3. Memasang ekstensometer sebagai alat pengukur deformasi.
4. Meletakkan benda uji ke dalam dudukan mesin tekan dan memastikan dial beban menunjukan angka 0. Ketika dial tidak menunjukan angka 0, maka dilakukan pengaturan dial terlebih dahulu sebelum memulai pembebanan.
5. Meletakkan kamera yang merekam pergerakan *dial gauge* dan merekam *display* pada mesin uji yang menunjukkan pemberian beban dengan satuan kN.
6. Memulai perekaman pada *laptop* dan mengoperasikan mesin uji dengan memberikan pembebanan hingga mesin uji berhenti secara otomatis ketika beban yang diterima oleh benda uji mencapai beban maksimal.
7. Proses pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dapat dilihat pada lampiran Gambar L.7.5, Gambar L.7.6 dan gambar L.7.7.

Output data yang dibutuhkan untuk uji kuat tekan berupa beban maksimal setiap benda uji. Data tersebut dimasukkan ke dalam formula pada *software excel* dengan rumus yang sesuai untuk mendapatkan hasil kuat tekan dengan satuan MPa.

Data yang diperoleh dari pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 4.18 Sebagai berikut.

Tabel 4. 18 Kuat Tekan Beton

Variasi		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tekan Beton (Mpa)
SF0%- SP0%	1	150,60	305,40	17813,11	12408	586,9	32,95
	2	149,80	303,65	17624,37	12393	579,4	32,87
	3	151,20	302,50	17955,33	12408	584,1	32,53
	4	150,00	302,45	17671,46	12282	585,1	33,11
	5	151,75	301,30	18086,20	12402	598,6	33,10
SF6% - SP1,1%	1	149,00	304,20	17436,62	12612	684,6	39,26
	2	154,50	303,40	18747,65	12631	677,2	36,12
	3	151,35	304,80	17990,98	12790	677,8	37,67
	4	150,00	300,60	17671,46	12657	610,9	34,57
	5	150,30	300,37	17742,22	12744	629,7	35,49
SF8% - SP1,1%	1	150,90	304,00	17884,15	12592	740,4	41,40
	2	150,20	305,30	17718,61	12553	755,1	42,62
	3	151,00	301,60	17907,86	12549	603,9	33,72
	4	150,00	304,50	17671,46	12423	615,8	34,85
	5	150,00	301,70	17671,46	12590	719,6	40,72
SF10% - SP1,1%	1	150,30	302,35	17742,22	12738	753,6	42,47
	2	150,10	302,45	17695,03	12600	764,6	43,21
	3	150,65	303,00	17824,94	12660	757,0	42,47
	4	149,50	302,10	17553,85	12629	671,1	38,23
	5	149,60	301,40	17577,34	12733	740,7	42,14
SF12% - SP1,1%	1	151,10	305,60	17931,59	12256	618,8	34,51
	2	150,20	304,10	17718,61	12234	506,0	28,56
	3	150,00	303,20	17671,46	12219	690,3	39,06
	4	149,00	306,00	17436,62	12140	601,6	34,50
	5	151,40	304,00	18002,87	12371	680,6	37,81

Perhitungan pengujian modulus elastisitas menggunakan dua metode yaitu dengan menggunakan hasil pengujian di laboratorium dan perhitungan secara teoritis. Metode pertama berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas yang dilakukan di laboratorium sesuai dengan ASTM C-469, metode kedua secara teoritis berdasarkan SNI 2847-2019 dan ACI 363-92.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan menurut ASTM C-469, *output* data yang dibutuhkan ialah deformasi yang terjadi pada benda uji saat diberikan pembebanan setiap 10 kN hingga mencapai 40% beban maksimal. Data tersebut

direkam pada saat pengujian menggunakan bantuan kamera dan *software* pada *laptop*. Hasil perekaman berupa video tersebutlah yang digunakan untuk membaca deformasi yang terjadi setiap pembebanan 10 kN pada setiap benda uji. Kemudian, hasil pembacaan dimasukkan ke dalam formula *excel* dengan rumus yang sesuai hingga menjadi tabel regangan dan tegangan. Berikut merupakan salah satu data yakni nilai regangan dan tegangan pada sampel BN-1 yang dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut.

Tabel 4. 19 Tegangan dan Regangan Sampel BN-1

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	6	0,003	0,000015	1,12
30	30000	12	0,006	0,000030	1,68
40	40000	18	0,009	0,000045	2,25
50	50000	25	0,013	0,000063	2,81
60	60000	31	0,016	0,000078	3,37
70	70000	37	0,019	0,000093	3,93
80	80000	42	0,021	0,000105	4,49
90	90000	49	0,025	0,000123	5,05
100	100000	55	0,028	0,000138	5,61
110	110000	62	0,031	0,000155	6,18
120	120000	69	0,035	0,000173	6,74
130	130000	75	0,038	0,000188	7,30
140	140000	83	0,042	0,000208	7,86
150	150000	88	0,044	0,000220	8,42
160	160000	94	0,047	0,000235	8,98
170	170000	100	0,050	0,000250	9,54
180	180000	108	0,054	0,000270	10,10
190	190000	116	0,058	0,000290	10,67
200	200000	124	0,062	0,000310	11,23
210	210000	134	0,067	0,000335	11,79
220	220000	142	0,071	0,000355	12,35
230	230000	150	0,075	0,000375	12,91
240	240000	160	0,080	0,000400	13,47

Dari tabel hubungan tegangan dan regangan tersebut diambil tegangan dan regangan pada saat 40% beban maksimal dan tegangan yang terjadi pada saat regangan $0,00005 m^3$. Berdasarkan Tabel 4.19 di atas, tidak terdapat nilai beban yang memiliki kelipatan 10 pada nilai regangan dan tegangan pada saat 40% beban maksimal yakni 234,76 kN serta tegangan pada saat regangan 0,00005. Oleh karena itu, untuk mencari nilai tersebut dilakukan pola interpolasi sehingga didapatkan hasil perhitungan modulus elastisitas (E_c) sampel BN-1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_2 &= 0,000387 \\
 \sigma_2 &= 13,18 \text{ Mpa} \\
 \varepsilon_1 &= 0,00005 \\
 \sigma_1 &= 2,41 \text{ Mpa} \\
 E_c &= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \\
 &= \frac{13,18 - 2,41}{0,000387 - 0,00005} \\
 &= 31977,21 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan teoritis modulus elastisitas (E_c) sampel BN-1 dapat dilihat sebagai berikut.

1. SNI 2857-2019

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{32,95} \\
 &= 26978,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. ACI 363-92

$$\begin{aligned}
 E_c &= 3320 \times \sqrt{f'_c} + 6900 \\
 &= 3320 \times \sqrt{32,95} + 6900 \\
 &= 25956,81 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Metode yang sama dilakukan pada beton sampel yang lain untuk memperoleh nilai modulus elastisitas yang disusun pada Tabel 4.20 sebagai berikut.

Tabel 4. 20 Modululus Elastisitas Beton Sampel

Variasi Campuran		Daimeter (mm)	Tinggi (mm)	Wc (kg/m ³)	F'c (MPa)	ASTM C- 469 (MPa)	SNI 2847-2019 (MPa)	ACI 363-92 (MPa)
SF0%-SP0%	1	150,60	305,40	2280,83	32,95	31977,21	26978,02	25956,81
	2	149,80	303,65	2315,74	32,87	31179,48	26948,24	25935,78
	3	151,20	302,50	2284,46	32,53	31212,33	26806,78	25835,86
	4	150,00	302,45	2297,96	33,11	32817,17	27044,36	26003,68
	5	151,75	301,30	2275,86	33,10	31633,07	27039,12	25999,98
SF6% - SP1,1%	1	149,00	304,20	2377,73	39,26	32950,07	29449,99	27702,97
	2	154,50	303,40	2220,63	36,12	32244,81	28247,69	26853,69
	3	151,35	304,80	2332,39	37,67	32924,29	28848,37	27278,00
	4	150,00	300,60	2382,70	34,57	30689,41	27634,19	26420,32
	5	150,30	300,37	2391,38	35,49	30917,36	28000,18	26678,85
SF8% - SP1,1%	1	150,90	304,00	2316,08	41,40	36476,05	30241,05	28261,76
	2	150,20	305,30	2320,55	42,62	34172,12	30682,11	28573,32
	3	151,00	301,60	2323,45	33,72	35749,56	27293,45	26179,63
	4	150,00	304,50	2308,70	34,85	32525,44	27744,79	26498,45
	5	150,00	301,70	2361,45	40,72	33424,39	29992,12	28085,93

Lanjutan Tabel 4.20

Variasi Campuran		Daimeter (mm)	Tinggi (mm)	Wc (kg/m³)	F'c (MPa)	ASTM C- 469 (MPa)	SNI 2847-2019 (MPa)	ACI 363-92 (MPa)
SF10% - SP1,1%	1	150,30	302,35	2374,56	42,47	37502,12	30631,23	28537,38
	2	150,10	302,45	2354,32	43,21	35994,57	30895,08	28723,76
	3	150,65	303,00	2344,03	42,47	36997,20	30628,92	28535,75
	4	149,50	302,10	2381,47	38,23	37978,38	29060,65	27427,95
	5	149,60	301,40	2403,45	42,14	35830,48	30510,02	28451,76
SF12% - SP1,1%	1	151,10	305,60	2236,54	34,51	33820,58	27609,82	26403,11
	2	150,20	304,10	2270,50	28,56	36628,62	25116,45	24641,83
	3	150,00	303,20	2280,52	39,06	31421,63	29375,18	27650,13
	4	149,00	306,00	2275,28	34,50	35757,73	27607,09	26401,18
	5	151,40	304,00	2260,42	37,81	31385,85	28898,35	27313,30

4.15 Kuat Tarik Belah Beton Sampel

Sama halnya dengan uji kuat tekan beton, uji kuat tarik belah beton dilakukan pada saat benda mencapai umur 28 hari. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder sebanyak 3 buah sampel untuk setiap variasinya. Pengujian ini menggunakan beberapa tahapan sebagai berikut sesuai dengan SNI 03-2491-2002.

1. Benda uji ditimbang dan diukur diameter serta tingginya.
2. Benda uji diberi tanda dengan membuat garis tengah menggunakan alat bantu dari setiap sisi ujung benda uji. Kedua garis tengah tersebut diletakan pada bidang aksial pada bagian penekan mesin uji.
3. Benda uji diletakkan di atas bantalan bantu pembebanan dengan posisi tanda garis tengah dari benda uji tegak lurus dengan titik tengah bantalan bantu pembebanan.
4. Mesin uji tekan dioperasikan dengan pemberian beban secara menerus dan tidak disertai sentakan. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan yakni 0,7 – 1,4 MPa per menit hingga benda uji hancur.
5. Proses pengujian kuat tarik belah dapat dilihat pada lampiran Gambar L.7.8.

Output data yang dibutuhkan pada uji kuat tarik belah ialah nilai beban maksimal beban belah dengan satuan kN yang terjadi pada setiap benda uji. Sama halnya dengan uji kuat tekan, *output* data tersebut dimasukkan ke dalam formula *excel* dengan rumus yang sesuai untuk kuat tarik belah beton. Kemudian diperoleh nilai kuat tarik belah beton sehingga disusun ke dalam sebuah tabel sebagaimana pada Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4. 21 Kuat Tarik Beton Sampel

Variasi Campuran		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)
SF0% - SP0%	1	150,00	304,15	143327,31	12595	214	2,99
	2	150,80	303,20	143641,66	12476	212	2,95
	3	149,90	300,75	141630,62	12336	210	2,97
SF6% - SP1,1%	1	151,10	300,32	142560,30	12816	200	2,81
	2	151,70	300,15	143042,99	12645	266	3,72
	3	152,45	300,28	143814,84	12778	247	3,43

Lanjutan Tabel 4.21

Variasi Campuran		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm²)	Berat Beton (kg)	Beban Maksimal (kN)	Kuat Tarik Belah (MPa)
SF8% - SP1,1%	1	150,40	305,45	144323,76	12719	260	3,60
	2	151,00	305,00	144686,05	12489	237	3,28
	3	150,60	302,45	143096,31	12573	262	3,66
SF10%-SP1,1%	1	150,06	304,85	143714,64	12680	265	3,69
	2	149,30	302,00	141650,01	12707	260	3,67
	3	149,50	301,20	141464,03	12554	286	4,04
SF12%-SP1,1%	1	151,30	305,00	144973,51	12440	226	3,04
	2	151,10	303,00	143832,48	12170	228	3,17
	3	150,30	303,20	143165,39	12156	225	3,14

4.16 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan hasil olah data berdasarkan kelompok variabel tertentu untuk mengetahui perbedaan nilai antar variabel yang diteliti.

4.17 Pembahasan

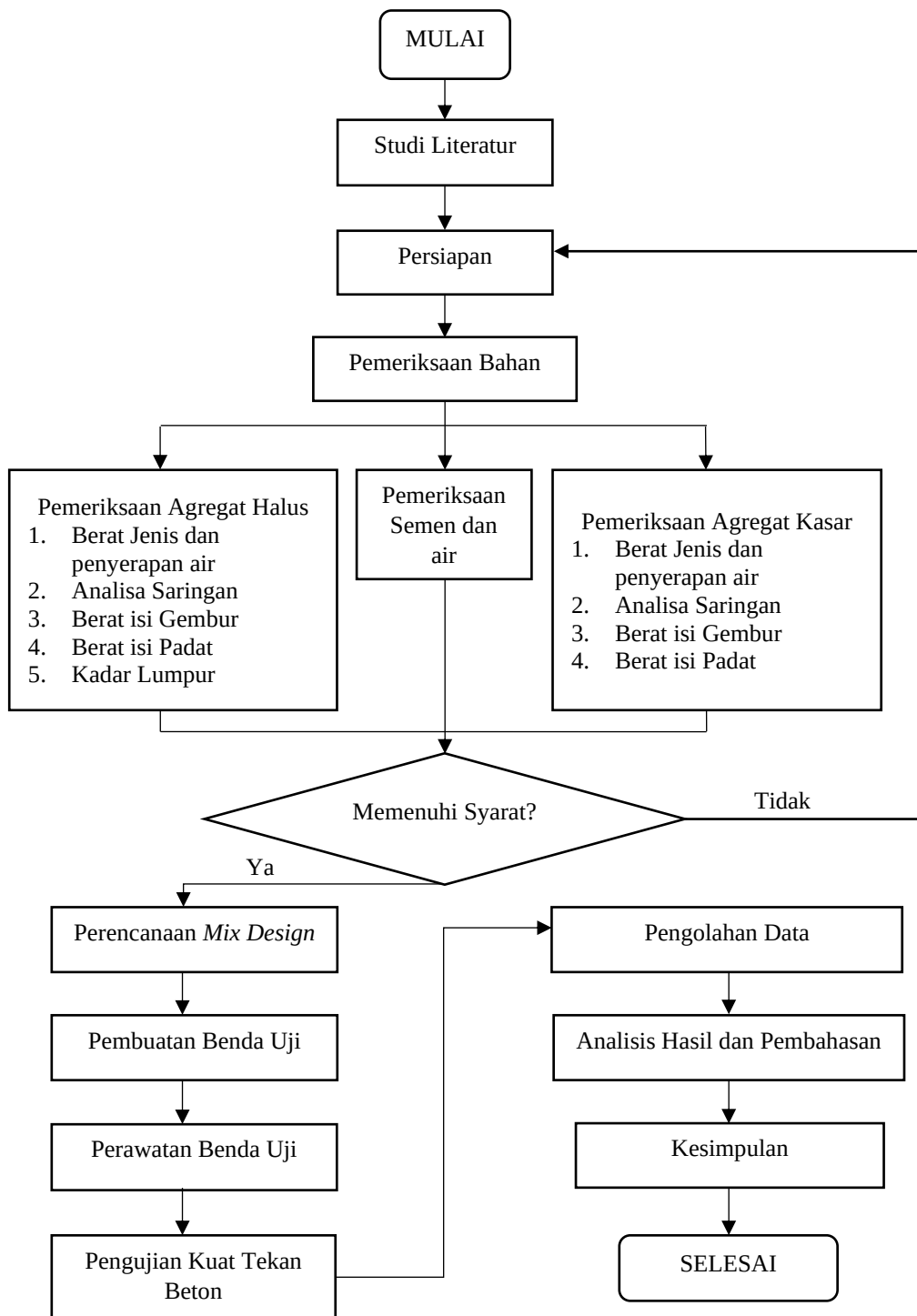
Pembahasan merupakan tahapan dimana penulis membahas hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan jawaban terhadap perbedaan yang ditemukan pada saat melakukan perbandingan hasil pengujian pada tahap analisis data.

4.18 Kesimpulan dan Saran

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.

4.19 Bagan Alir Penelitian

Secara keseluruhan tahapan penelitian pada Tugas Akhir ini dapat dirangkum menjadi skema bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Agregat Halus

1. Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Dari olah data (lihat Tabel 4.4), didapatkan hasil rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 2,618 dan rata-rata penyerapan air didapatkan sebesar 1,317%. Hasil tersebut memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus dalam SNI 03-1970-1990 yakni berat jenis jenuh SSD berkisar antara 1,6 - 3,3 dan penyerapan air 0,2% - 2%.

2. Analisa Saringan

Rekapitulasi data perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Hasil modulus halus butir agregat halus pada sampel 1 dan sampel 2 sebesar 2,753 dan 2,667 sehingga didapatkan modulus halus butir rata-rata sebesar 2,715. Nilai tersebut memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus pada SNI 03-1968-1990, yakni persyaratan modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1,5 - 3,8. Dari nilai persen lolos kumulatif pada Tabel 4.5 dan 4.6 tersebut didapatkan grafik gradasi yang sesuai untuk agregat halus dari kedua sampel pemeriksaan (dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2). Grafik tersebut menggambarkan bahwa nilai persen lolos kumulatif pada agregat halus berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi II. Maka, dapat disimpulkan bahwa butiran agregat halus tersebut termasuk dalam kategori agak kasar.

3. Berat Volume Gembur dan Berat Volume Padat

Dari olah data (lihat Tabel 4.7), didapatkan nilai berat volume gembur rata-rata agregat halus sebesar 1,578 gram/cm³. Berdasarkan olah data (lihat Tabel 4.8), didapatkan nilai berat volume padat rata-rata agregat halus sebesar 1,837 gram/cm³. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat

volume agregat halus menurut SNI 03-4904-1998 bahwa nilai berat volume gembur dan padat agregat halus antara 1,4-1,9 kg/m³ baik dalam kondisi gembur maupun kondisi padat.

4. Uji lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur)

Berdasarkan olah data (lihat Tabel 4.9), didapatkan nilai kadar lumpur rata-rata agregat halus sebesar 3,30%. Nilai tersebut memenuhi standar uji karakteristik material agregat halus pada SNI 03-4142-1996 bahwa persyaratan kadar lumpur agregat halus maksimal sebesar 5%.

5.2 Agregat Kasar

1. Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Dari tabel 4.10 pada olah data, hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar rata-rata sebesar 2,610 dan penyerapan air didapatkan sebesar 1,492%. Nilai tersebut sesuai dengan standar uji karakteristik material pada SNI 03-1969-1990 yakni berat jenis jenuh SSD agregat kasar berada pada interval 1,6 – 3,3 dan penyerapan air agregat kasar maksimal 4%.

2. Analisa Saringan

Berdasarkan tabel 4.11 dan 4.12 pada olah data, didapatkan nilai modulus halus butir agregat halus pada sampel 1 dan sampel 2 sebesar 6,691 dan 6,559. Nilai tersebut sesuai dengan standar uji karakteristik material agregat kasar pada SNI 03-1968-1990 bahwa persyaratan modulus halus butir agregat kasar mempunyai interval antara 6,0 – 7,1 sehingga hasil pemeriksaan modulus halus butir agregat kasar telah memenuhi persyaratan. Dari nilai persen lolos kumulatif pada Tabel 4.11 dan 4.12 tersebut didapatkan grafik gradasi yang sesuai untuk agregat kasar dari kedua sampel pemeriksaan (dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4). Grafik tersebut menggambarkan nilai persen lolos kumulatif pada agregat kasar, berada di antara batas atas dan batas bawah gradasi butiran agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm. Maka, dapat disimpulkan bahwa butiran agregat kasar tersebut memiliki ukuran maksimum sebesar 20 mm.

3. Berat Volume Gembur dan Berat Volume Padat

Dari olah data (lihat Tabel 4.13), didapatkan nilai berat volume gembur rata-rata agregat kasar sebesar $1,258 \text{ gram/cm}^3$. Berdasarkan olah data (lihat Tabel 4.14), didapatkan nilai berat volume padat rata-rata agregat kasar sebesar $1,440 \text{ gram/cm}^3$. Hasil tersebut memenuhi standar spesifikasi pemeriksaan berat volume agregat kasar menurut SNI 03-1969-1990 yaitu dalam kondisi gembur berkisar $1,2 - 1,5 \text{ kg/m}^3$ dan dalam kondisi padat berkisar $1,4 - 1,7 \text{ kg/m}^3$.

5.3 Proporsi Campuran Beton Normal

Hasil proporsi campuran beton normal dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Campuran Beton Normal

<i>Mix Design</i>				
No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
1	Kuat Tekan Beton Rencana ($F'c$)	32		
2	Deviasi Standar (S)	7		Pengendalian Jelek
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12		
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	44	MPa	
5	Jenis Semen	Tipe 1		Semen Gresik
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah		Clereng
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam		Merapi
8	Faktor air semen	0,44		
9	Slump	60-180	mm	
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm	Uji Material
11	Kadar Air Bebas	205,00	kg/m^3	
12	Kadar Semen	465,909	kg	
13	Kadar Semen Maksimum	-		
14	Kadar Semen Minimum	275	kg	
15	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2		Uji Material
16	Berat Jenis Agregat Halus	2,618		Uji Material
17	Berat Jenis Agregat Kasar	2,610		Uji Material
18	Persen Agregat Halus	40,25	%	
19	Berat Jenis relatif Agregat Gabungan	2,613		
20	Berat Isi Beton	2350	kg/m^3	

Lanjutan Tabel 5.1

No	Uraian	Nilai	Satuan	Keterangan
21	Kadar Agregat Gabungan	1679,09	kg/m ³	
22	Kadar Semen digunakan	465,909	kg/m ³	
23	Kadar agregat halus	675,834	kg/m ³	
24	Kadar Agregat Kasar	1003,26	kg/m ³	
25	Kadar Air digunakan	205,00	kg/m ³	
26	Perbandingan Material Normal	1 : 1,5 : 2,2 : 0,4		
Proporsi campuran dengan angka penyusutan 20%				
27	Semen	559,091	kg/m ³	
28	Agregat Halus	811,001	kg/m ³	
29	Agregat Kasar	1203,908	kg/m ³	
30	Air	246,00	kg/m ³	
31	Sika Fume 6%	33,545	kg/m ³	
32	Sika Fume 8%	44,727	kg/m ³	
33	Sika Fume 10%	55,909	kg/m ³	
34	Sika Fume 12%	67,091	kg/m ³	
35	Viscocrete 1003 1,1%	6,150	kg/m ³	

5.4 Benda Uji Beton *Trial*

Pengujian benda uji beton *trial* dilakukan untuk uji kuat tekan beton dengan umur 7 hari. Adapun hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Kuat Tekan Beton *Trial*

Kode Sampel	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
TI01	35,565	34,793
TI02	34,323	
TI03	34,493	

Berdasarkan Tabel 5.2 di atas, didapatkan nilai rerata kuat tekan beton *trial* sebesar 34,793 MPa. Nilai tersebut memenuhi target kuat tekan rencana pada penelitian ini. Hal tersebut membuktikan bahwa hasil proporsi campuran beton normal yang dibuat, sesuai sehingga dapat digunakan untuk membuat beton sampel.

5.5 Slump

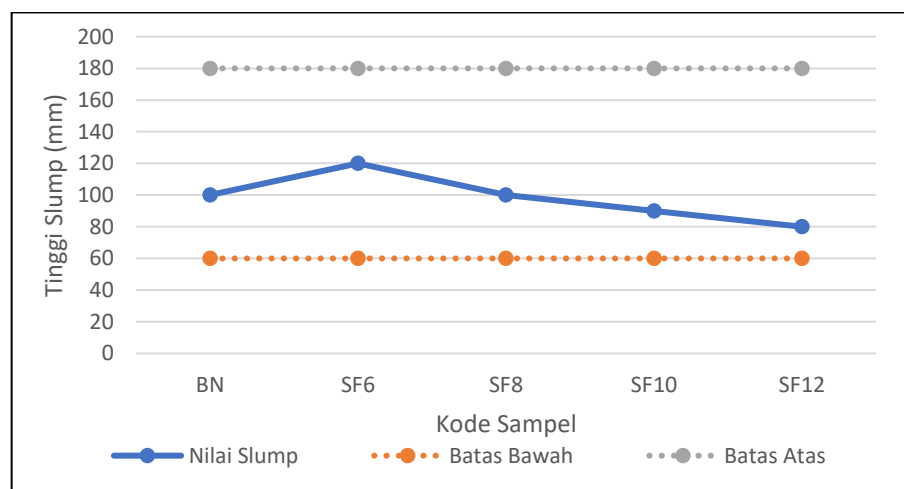
Hasil nilai *slump* serta persentase perubahannya pada setiap variasi campuran beton sampel dapat dilihat pada tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 3 Nilai Slump

Variasi Campuran	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Syarat <i>Slump</i> (60-180 mm)	Persentase Perubahan (%)
SF0% - SP0%	10	Memenuhi	0,0%
SF6% - SP1,1%	12	Memenuhi	20,0%
SF8% - SP1,1%	10	Memenuhi	0,0%
SF10% - SP1,1%	9	Memenuhi	-10,0%
SF12% - SP1,1%	8	Memenuhi	-20,0%

Keterangan: Nilai persentase perubahan *slump* menggunakan tolak ukur sampel beton normal.

Berdasarkan Tabel 5.3 di atas, dapat dilihat bahwa nilai *slump* secara keseluruhan memenuhi syarat perencanaan *slump* 60 – 180 mm. Terdapat persentase perubahan nilai *slump* mengalami kenaikan tertinggi sebesar 20% pada penambahan kadar *SikaFume* 6% dengan *ViscoCrete* 1003 1,1% serta penurunan terendah sebesar -20% pada penambahan kadar *SikaFume* 12% dengan *ViscoCrete* 1003 1,1%. Grafik perubahan nilai *slump* yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Nilai *Slump* Setiap Variasi campuran

Berdasarkan gambar 5.1, dapat dilihat pada variasi campuran *SikaFume* 0% dan *ViscoCrete* 1003 0% didapatkan nilai *slump* sebesar 10 cm. Semakin tinggi nilai *slump* maka semakin encer adukan beton tersebut. Pada persentase *SikaFume* 6% dan *ViscoCrete* 1003 1,1% mengalami kenaikan nilai *slump* sebesar 12 cm dengan persentase perubahan sebesar 20%. Sifat yang dimiliki oleh *SikaFume* yaitu dapat mengurangi tingkat kelecakan pada adonan semen karena dapat menyerap air. Meskipun terdapat penambahan *SikaFume* sebesar 6% dari berat semen, *slump* tersebut mengalami kenaikan karena adanya penambahan *ViscoCrete* 1003 sebesar 1,1% dari berat semen yang membuat adukan beton pada saat pencampuran menjadi encer. Hal tersebut menandakan bahwa meski bahan *SikaFume* dapat menyerap air, kadar 6% dari *SikaFume* yang diiringi dengan 1,1% *ViscoCrete* belum mampu mengurangi tingkat kelecakan dari adukan beton. Pada persentase *SikaFume* 8%, 10%, dan 12%, nilai *slump* mengalami penurunan. Hal tersebut terjadi karena semakin besarnya kadar *SikaFume* yang membuat adonan semen lebih mengental, dengan kata lain tingkat kelecakannya menurun.

5.6 Kuat Tekan Beton Sampel

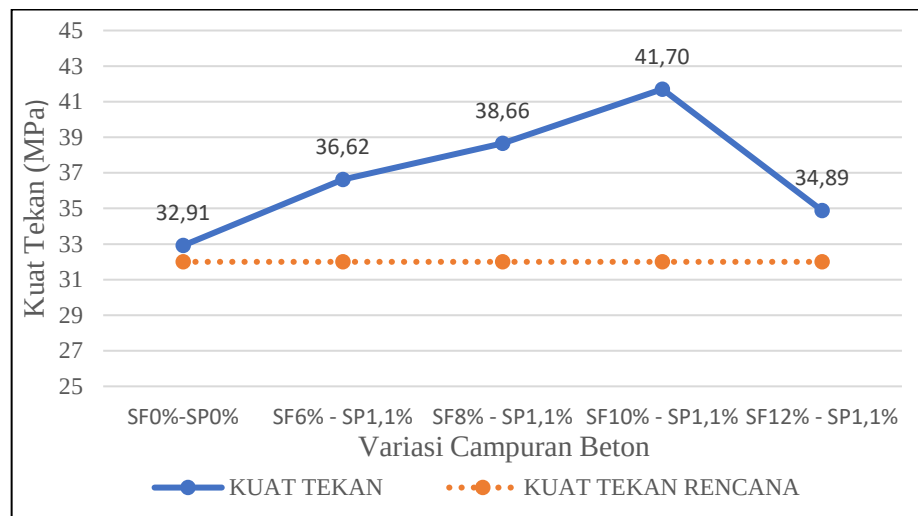
Nilai rata-rata kuat tekan beton sampel setiap variasi campuran beserta persentase perubahannya dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Kuat Tekan Beton Sampel

Variasi Campuran	Rata-rata Kuat Tekan (Mpa)	Persentase Perubahan (%)
SF0% - SP0%	32,91	0%
SF6% - SP1,1%	36,62	11%
SF8% - SP1,1%	38,66	17%
SF10% - SP1,1%	41,70	27%
SF12% - SP1,1%	34,89	6%

Keterangan: Nilai persentase perubahan *slump* menggunakan tolak ukur sampel beton normal.

Grafik nilai rata-rata kuat tekan beton sampel pada setiap variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Kuat Tekan Beton Setiap Variasi Penambahan

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Gambar 5.2 di atas, dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya kadar *SikaFume* pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga maksimum pada variasi SF10% - SP1,1% sebesar 27% dengan kuat tekan sebesar 41,70 Mpa. Hal tersebut terjadi karena sifat *pozzolan* dari bahan *silica fume* yang bereaksi menyatu dengan semen. Selain itu juga, karena keuntungan fisik yang diperoleh dari partikel halus *silica fume*. Menurut Subakti (1994), keuntungan tersebut yakni mampu menempati antara ruang sempit pada pori permukaan agregat dengan semen yang dapat mencegah menyatunya semen dengan permukaan agregat. Bagian tersebut diisi oleh partikel yang sangat halus dari *silica fume* sehingga volume pori pada permukaan agregat berkurang. Kandungan silika oksida (SiO_2) yang terdapat pada *SikaFume* bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) hasil hidrasi antara air dan semen. Reaksi dari SiO_2 dan Ca(OH)_2 ini membentuk kalsium silikat (C-S-H) yang mampu memperkuat ikatan antara agregat dengan semen sehingga dapat meningkatkan kuat tekan beton. *SikaFume* memiliki sifat menyerap air sehingga mengurangi tingkat kelecakan pada campuran beton. Pemakaian bahan *ViscoCrete* 1003 sebesar 1,1% pada variasi campuran dapat membantu meningkatkan kelecakan pasta semen sehingga mampu menjaga nilai *slump*. Hal itu lah yang mengakibatkan penggunaan kedua bahan tambah tersebut dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton.

Namun, kuat tekan beton kemudian mengalami penurunan pada variasi SF12% - SP1,1 % yakni memiliki persentase perubahan sebesar 6%. Hal tersebut terjadi akibat dari kadar *SikaFume* yang terlalu banyak menimbulkan sisa karena kandungan silika yang berlebih tidak dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membuat kalsium hidrat sehingga akan menjadi residu yang mempengaruhi kinerja beton. Selain itu juga kadar *SikaFume* yang berlebihan membuat penyerapan air yang lebih tinggi, dibuktikan dari nilai *slump* terendah pada variasi campuran tersebut. Penelitian sebelumnya oleh Pramuditha dkk (2017) menemukan bahwa adanya penurunan kuat tekan beton yang dihasilkan pada saat penambahan suatu kadar tertentu disebabkan karena *sika fume* memiliki sifat yang dapat menyerap air sehingga kandungan air yang terdapat dalam campuran beton menjadi berkurang. Akan tetapi, kuat tekan beton pada variasi campuran tersebut melebihi target kuat tekan beton normal sehingga penggunaan *SikaFume* 12% dan *ViscoCrete* 1,1% dapat dinilai tidak efektif.

5.7 Modulus Elastisitas Beton Sampel

Nilai modulus elastisitas beton sampel serta persentase perubahannya dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Modulus Elastisitas Aktual Beton Sampel

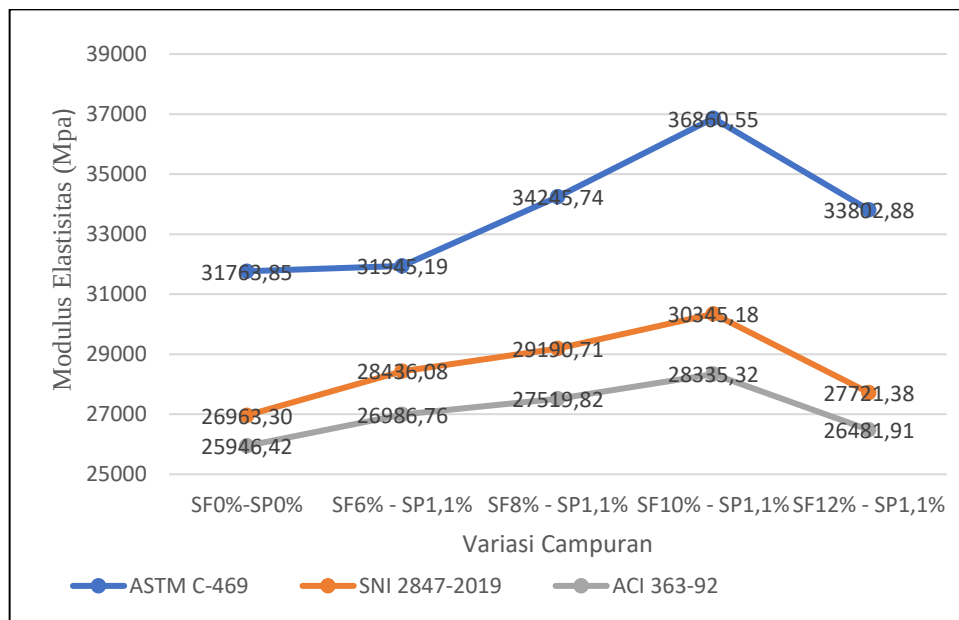
Metode		Variasi Campuran	Rata-rata Modulus Elastisitas (Mpa)	Persentase Perubahan (%)
Pengujian Aktual	ASTM C-469	SF0%-SP0%	31763,85	0,0%
		SF6% - SP1,1%	31945,19	0,6%
		SF8% - SP1,1%	34245,74	7,8%
		SF10% - SP1,1%	36860,55	16,0%
		SF12% - SP1,1%	33802,88	6,4%

Keterangan: Nilai persentase perubahan modulus elastisitas menggunakan tolak ukur sampel beton normal.

Tabel 5. 6 Modulus Elastisitas Teoritis Beton Sampel

Metode		Variasi Campuran	Rata-rata Modulus Elastisitas (Mpa)	Selisih Terhadap Pengujian Aktual (%)
Teoritis	SNI 2847-2019	SF0%-SP0%	26963,30	-15,1%
		SF6% - SP1,1%	28436,08	-11,0%
		SF8% - SP1,1%	29190,71	-14,8%
		SF10% - SP1,1%	30345,18	-17,7%
		SF12% - SP1,1%	27721,38	-18,0%
	ACI 363-92	SF0%-SP0%	25946,42	-18,3%
		SF6% - SP1,1%	26986,76	-15,5%
		SF8% - SP1,1%	27519,82	-19,6%
		SF10% - SP1,1%	28335,32	-23,1%
		SF12% - SP1,1%	26481,91	-21,7%

Grafik rata-rata nilai modulus elastisitas pengujian dan teoritis dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 Modulus Elastisitas Beton Setiap Variasi Campuran

Modulus elastisitas yang didapatkan meningkat seiring dengan penambahan kadar *SikaFume*. Berdasarkan Tabel 5.5 dan Gambar 5.3 di atas, dapat diketahui

bahwa hasil pengujian modulus elastisitas beton memiliki pola perubahan yang relatif sama dengan hasil pengujian kuat tekan beton. Nilai modulus elastisitas maksimum pada variasi SF10% - SP1,1% meningkat sebesar 16% kemudian mengalami penurunan pada variasi SF12% - SP1,1% dengan peningkatan sebesar 6,4%. Peningkatan nilai modulus elastisitas terjadi karena *SikaFume* mampu memperkuat ikatan antara agregat dengan semen sehingga beton mampu menerima beban yang besar dengan regangan yang minimum. Meningkatnya modulus elastisitas beton menunjukkan kemampuan beton dalam menerima beban dengan nilai regangan yang kecil, artinya beton mampu menahan kuat tekan yang besar dengan regangan yang kecil. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin kecil regangan yang terjadi pada beton atau beton lebih kaku, sedangkan semakin rendah nilai modulus elastisitas maka beton semakin tinggi regangan yang terjadi sehingga menjadi getas dan mudah hancur. Kemudian penurunan yang terjadi pada variasi SF12% - SP1,1% terjadi akibat dari kadar *SikaFume* terlalu banyak yang dapat mengurangi ikatan antar semen dengan agregat sehingga mengalami peningkatan yang tidak optimal.

Berdasarkan Tabel 5.6 dapat dilihat bahwa modulus teoritis berdasarkan SNI 2847-2019 memiliki selisih terhadap pengujian aktual sebesar -18% pada variasi SF12% - SP1,1%, sedangkan metode ACI 363-92 memiliki selisih sebesar -23,1% pada variasi SF10% - SP1,1%. Nilai modulus elastisitas beton yang diperoleh dari metode ASTM C-469 memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih besar dari metode SNI 2847-2019 dan ACI 363-92, hal ini terjadi karena nilai modulus elastisitas yang diperoleh dengan metode ASTM C-469 merupakan nilai yang diperoleh dari kondisi secara aktual pada benda uji saat proses pengujian, dengan data tegangan regangan yang didapat pada benda uji sehingga nilai modulus elastisitas yang didapatkan lebih akurat. Sedangkan metode SNI 2847-2019 dan ACI 363-92, nilai modulus elastisitas beton diperoleh dengan pendekatan rumus empiris menggunakan nilai kuat tekan beton. SNI 2847-2019 menyatakan bahwa selisih nilai modulus elastisitas hasil pengujian dengan modulus elastisitas teoritis sebesar $\pm 20\%$.

5.8 Kuat Tarik Belah Beton Sampel

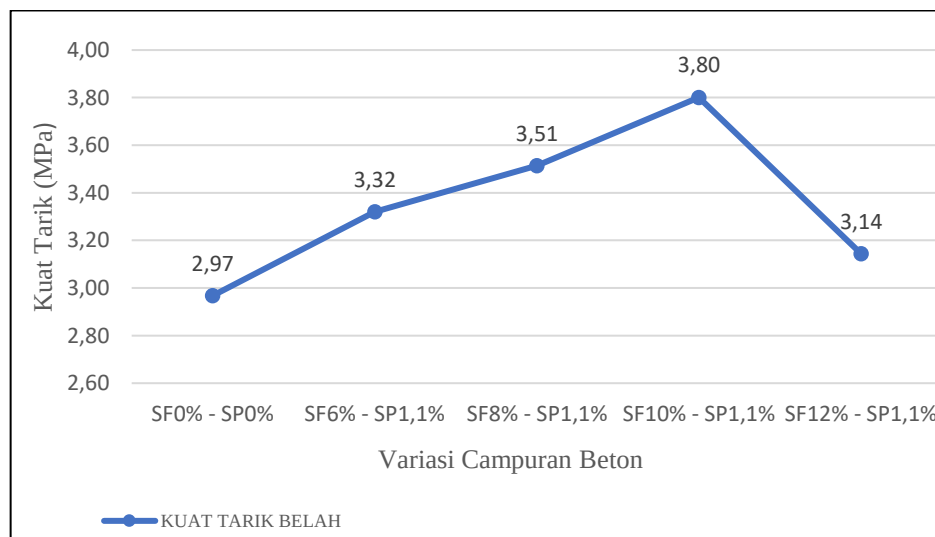
Nilai rata-rata kuat tarik belah beton sampel pada setiap variasi campuran serta persentase perubahan dan korelasinya terhadap kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Kuat Tarik Belah Beton Sampel

Variasi Campuran	Rata-rata Kuat Tarik Belah (Mpa)	Persentase Perubahan (%)	Persentase Terhadap Kuat Tekan (%)
SF0% - SP0%	2,97	0%	9,02%
SF6% - SP1,1%	3,32	12%	9,07%
SF8% - SP1,1%	3,51	18%	9,09%
SF10% - SP1,1%	3,80	28%	9,11%
SF12% - SP1,1%	3,14	6%	9,01%

Keterangan: Nilai persentase perubahan kuat tarik belah menggunakan tolak ukur sampel beton normal.

Grafik nilai rata-rata kuat tarik belah beton pada setiap variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5. 4 Kuat Tarik Belah Beton Setiap Variasi Campuran

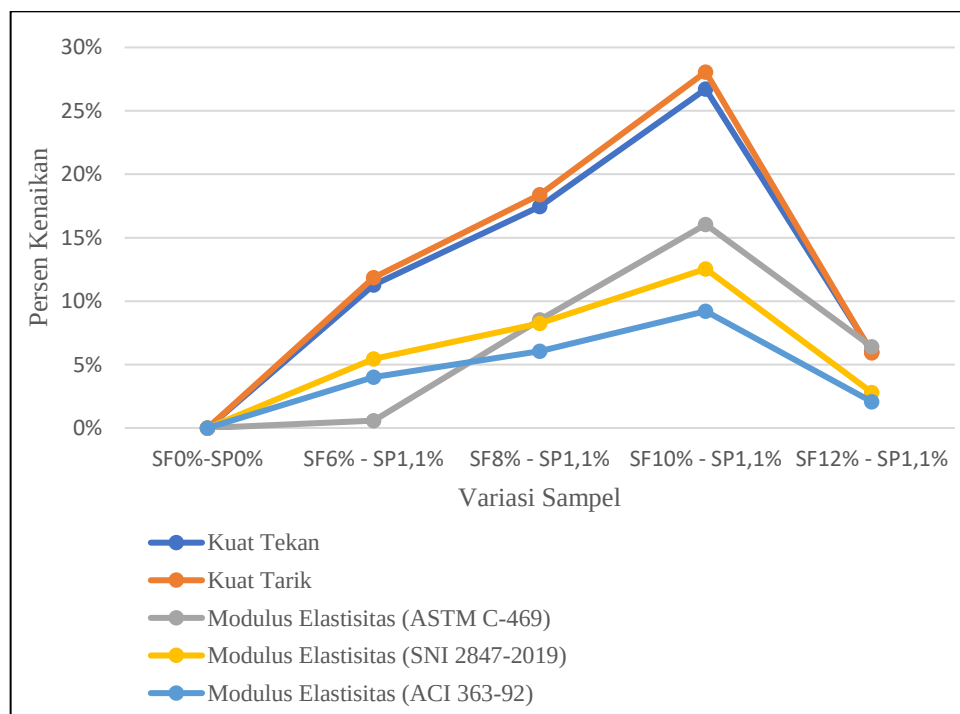
Berdasarkan Tabel 5.7 dan Gambar 5.4 di atas, dapat dilihat bahwa penambahan *SikaFume* dan *ViscoCrete 1003* pada campuran beton dapat

meningkatkan kuat tarik belah beton. Namun, maksimum pada variasi campuran *SikaFume* sebesar 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1% dengan nilai kuat tarik sebesar 3,80 MPa meningkat sebesar 9,11%. Sama halnya pada pembahasan pengujian kuat tekan sebelumnya, penambahan *SikaFume* dan *ViscoCrete* 1003 juga dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Hal ini membuktikan bahwa nilai kuat tarik belah beton berbanding lurus dengan nilai kuat tekan beton. Semakin tinggi kuat tekan beton maka akan semakin tinggi pula nilai kuat tarik belah beton.

Persentase perbandingan kuat tarik belah terhadap kuat tekan dapat juga dilihat pada Tabel 5.7. Terdapat nilai perbandingan tersebut sebesar 9,02%, 9,07%, 9,09%, 9,11%, 9,01% setiap variasi campuran secara berurutan. Hal tersebut sesuai dengan Dipohusodo (1999) yang menyatakan bahwa nilai kuat tarik belah beton normal memiliki nilai rasio 9-15% dari nilai kuat tekannya.

5.9 Pembahasan Menyeluruh

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, didapatkan persentase perubahan masing-masing pengujian yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 5 Persentase Kenaikan Hasil Pengujian Keseluruhan

Dari Gambar 5.5 di atas, terbukti bahwa hasil pengujian kuat tekan berbanding lurus dengan pengujian kuat tarik belah. Meskipun seluruh pengujian mengalami penurunan pada kadar penambahan *SikaFume* 12% dan *ViscoCrete* 1,1%, persentase kenaikan kuat tarik belah dan kuat tekan beton dengan bahan tambah cenderung meningkat terhadap beton normal dengan kata lain tidak mengurangi mutu beton target.

Hasil pengujian modulus elastisitas secara aktual dengan metode ASTM C-469 menunjukkan persentase kenaikan pada kadar penambahan *SikaFume* 6% dan *ViscoCrete* 1003 1,1% lebih rendah dibandingkan secara teoritis dengan SNI 2847-2019 dan ACI 363-92. Namun, persentase perubahannya cenderung berada diatas perhitungan secara teoritis ketika dilakukan penambahan *SikaFume* 8%, 10%, dan 12% serta *ViscoCrete* 1003 1,1%. Hal tersebut membuktikan bahwa modulus elastisitas tidak selalu berbanding lurus dengan kuat tekan beton.

Pada penelitian ini, ditemukan bahwa kadar penambahan *Silica fume* yang optimum digunakan adalah 10% yang diiringi dengan *Superplasticizer* sebesar 1,1%. Hal ini juga sesuai dengan tujuan penelitian yaitu penambahan *Silica fume* dan *Superplasticizer*, dapat meningkatkan kinerja beton $f'_c = 32$ Mpa sehingga mencapai syarat beton mutu tinggi sesuai dengan SNI 03-6468- 2000 yang menyatakan beton mutu tinggi adalah beton dengan kuat tekan minimal 41,4 MPa. Akan tetapi, nilai kuat tekan yang dihasilkan pada penelitian ini masih mendekati syarat minimal.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengaruh *silica fume* dan *superplasticizier* sebagai bahan tambah pada campuran beton adalah sebagai berikut:
 - a. Penambahan *silica fume* dan *superplasticizier* dapat meningkatkan kuat tekan beton dengan nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 41,70 MPa meningkat sebesar 27% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%.
 - b. Penambahan *silica fume* dan *superplasticizier* dapat meningkatkan kuat tarik belah beton dengan nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 3,8 MPa meningkat sebesar 28% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%.
 - c. Penambahan *silica fume* dan *superplasticizier* dapat meningkatkan modulus elastisitas beton. Berdasarkan pengujian secara aktual dengan metode ASTM C-469, nilai rerata maksimal yang didapatkan sebesar 36860,55 Mpa dengan meningkat sebesar 12,5% pada kadar penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%.
2. Penambahan *silica fume* dan *superplasticizier* pada campuran beton dapat meningkatkan kinerja pada beton $f'_c = 32$ MPa sehingga mencapai syarat kuat tekan beton mutu tinggi sesuai dengan SNI 6468-2000, pada penambahan *SikaFume* 10% dan *ViscoCrete* 1003 1,1%.
3. Kadar optimum penambahan *SikaFume* yang didapatkan sebesar 10%.

6.2 Saran

Dari pembahasan dan kesimpulan yang telah didapatkan, masih terdapat kekurangan dan perlu adanya pengembangan dari penelitian selanjutnya agar dapat hasil yang lebih baik. Terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dikembangkan penggunaan kadar diantara 10% - 12% untuk mengetahui lebih lanjut kadar optimum penambahan *silica fume*.
2. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu kuat tekan, kuat Tarik belah, dan modulus elastisitas. Untuk penelitian selanjutnya, perlu dicoba pengaruh penambahan *silica fume* dan *superplasticizer* terhadap kuat lentur beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Almufid, A. (2020). Perencanaan Beton Mutu Tinggi (Kuat Tekan Besar) dengan bahan Tambahan. *Jurnal Teknik*, 1(2).
- ACI Committee 363R-92., (1997). State of the Art Report on High Strength Concrete: *An ACI Standard: Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 363R 92), an ACI Report.*American Concrete Institute
- ASTM C-125-1995. (1995) *American Society for Testing Material. Annual Book of Standard.*
- ASTM C 469-02. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression . *United States : Association of Standard Testing Materials.*
- ASTM C 618-86. Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan For Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. *American Society for Testing and Materials.*
- ASTM C 494-01. Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *ASTM International. United States.*
- Badan Standardisasi Nasional. (1989): SK SNI S-04-1989-F. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam). Bandung
- Badan Standar Nasional. (1990): Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal, SK SNI T-15-1990-3, Badan Standarisasi Nasional, Yayasan LPMB, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. (1998): SNI 03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat. BSN.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990): SNI 03-1969-1990 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. BSN.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990):SNI 03-1970-1990 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. BSN.go.id.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000): SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran beton Normal. BSN.go.id.
- Badan Standar Nasional. (2000): SNI 03-6468-2000. Tata Perencanaan Campuran Tinggi dengan Semen Portland dengan Abuterbang. BSN.go.id

- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *BSN. Jakarta*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002): SNI 03-2491-2002. Metode pengujian kuat tarik belah beton. *Jakarta*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008): SNI 1972-2008 Cara Uji Slump Beton. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011): SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656-2012 Tata Cara Pemeliharaan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa. *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136-2012 Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar (ASTM C 136-06, IDT). *BSN.go.id*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 2847:2013 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. *Jakarta: Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. *BSN. Jakarta*
- Davendra, V. (2022). Pengaruh *Silica fume* Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Beton Mutu Tinggi. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 5(2), 1-8.
- Dipohusodo, I (1999). Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. *Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama*.
- F.X., Supartono, (1998). Beton Berkinerja Tinggi, Keunggulan dan Permasalahannya, *Seminar HAKI, Jakarta*.
- Ghali, A dan Neville, AM, 1990, Analisa Struktur, *Edisi kedua, Erlangga, Jakarta*.
- Hapsari, S. P. (2017). Kajian Pengaruh Variasi Komposisi *Silica fume* terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri dengan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi.
- Isa, I., Elfidiyah, E., & Martini, S. (2024). Variasi Persentase Pozzolan Silica Fume Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Performa Kuat Tekan Beton. *Prosiding Semnastek*.
- Ihza Mahendra, A., Rochmah, N., & Widhiarto, H. (2023). Pengaruh Penggunaan *Silica fume* Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Alir. *Student Scientific Creativity Journal*, 1(4), 117-126.
- Irianto, I., Fauzan, H., Franky, E. L., Miswar, T., Mansyur, M., Mabui, D. S., ... & Hamkah, H. (2022). *Teknologi Beton*.

- Larrad, De. (1990). A Method For Proportioning High Strength Concrete. *Cemen Concrete and Agregate*. Vol.12 No.2. PP.47-52.
- Ma, Jianxin dan Jorg Dietz. (2002). Ultra High Performance Self Compacting Concrete. *Institut Fur Massivbau Und Baust off technologie. Universitat Leipzig*.
- Mindess, S., Young, J.F., dan Darwin, D. (2003). Concrete second edition. London: *Pearson Education Ltd*.
- Mulyono, Tri. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta
- Nawy, E.G., 1985, Beton bertulang suatu pendekatan dasar, *PT.Refika aditama, Bandung*.
- Nst, M. A. R. (2017). Pengaruh Penambahan *Silica fume* dan Superplasticizer pada Self Compacting Concrete (SCC).
- NR, Y. M. S., Nisumanti, S., & Chandra, D. (2023). Pengaruh Penambahan *Silica fume* Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25. *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, 5(1), 1-6.
- PUSJATAN. (2019). Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.
- Pramudhita, S., Safitri, E., dan Wibowo. 2017. Kajian Pengaruh Variasi Komposisi *Silica fume* Terhadap Parameter Beton Memadat Mandiri Dengan kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Ramadhan, A. D. (2023). Pengaruh Variasi Penambahan Sika Fume Terhadap Beton Self Compacting Concrete dengan Variasi Penggunaan Superplasticizer (*ViscoCrete 3115N*) (*Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia*).
- Smith dan Andres, (1989), *Material of Construction, McGrawhill International, Singapura*.
- Subakti, A., (1994), *Teknologi Beton Dalam Praktek, Jurusan Teknik Sipil FTSP, ITS, Surabaya*.
- Sutikno, (2003), *Panduan Praktek Beton, Universitas Negeri Surabaya*.
- SNI PD-T-04-2004-C. *Tata Cara Pembuatan dan Pelaksanaan Beton Berkekuatan Tinggi*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah
- Somayaji, Shan. (2001). *Civil Engineering Materials. Prentice Hall. New Jersey*
- Tjokrodimuljo, K. (1992). *Teknologi Beton*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajahmada, Yogyakarta.
- Tjokrodimuljo, K., (1995). *Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.

Tjokrodimuljo, K. (1996): Teknologi Beton. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajahmada, Yogyakarta.

Tjokrodimuljo, K., (2007), Teknologi Beton, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gajahmada, Yogyakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan dan Keterangan Bebas Laboratorium



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN
Gedung KH. Moh. Hatta
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirejo km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftspi@uii.ac.id
W. ftspi.uii.ac.id

Nomor : 098/Sek. Prodi PSTS/20/TA/V/2024
Hal : Permohonan Izin Peminjaman Laboratorium

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

Acc
19/6/24
Koordinator
dyn Laborn
terkait Mat
Maula Mueshafa
Kalah BKT

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh,

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

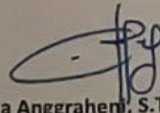
Nama : Ilham Khoiri
NIM : 19511184
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Silica Fume Dan Superplasticizer Pada Campuran Beton Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik, Dan Modulus Elastisitas Beton

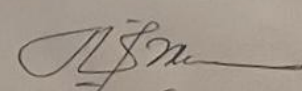
Melalui surat ini, kami mohon bantuan untuk dapat mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

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

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Sek.Prodi Teknik Sipil – Program Sarjana,


Dina Anggraheni, S.T., M. Eng

eg Dina
Yogyakarta, Mei 2024
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

SURAT KETERANGAN BEBAS TANGGUNGAN LABORATORIUM

Nomor : 130/Ka.Lab/60/LBKT/X/2024

Bismillahirrohmanirrohiim

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIK : 165111301
Jabatan Struktural : Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik JTS FTSP UII

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : ILHAM KHOIRI
N I M : 19511184
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA : Ir. Helmy Akbar Bale, M.T.
Instansi : Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian / Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan judul Tugas Akhir **"PENGARUH SILICAFUME DAN SUPERPLASTICIZER PADA CAMPURAN BETON TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON"** serta sudah menyelesaikan semua administrasinya¹.

Demikian surat keterangan ini dibuat semoga bisa digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 16 Oktober 2024

Diperiksa oleh :
Kepala Laboratorium BKT,

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

Di data oleh :
PLP/Teknisi

Zahwa Imnahosa Puty Pramadi, S.Tr.T.

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

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

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	493	494	493,5
Berat pasir kondisi (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	985	980	982,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	675	672	673,5
Berat Jenis Curah $Bk / (B + 500 - Bt)$	2,595	2,573	2,584
Berat Jenis jenuh (SSD) $500 / (B + 500 - Bt)$	2,632	2,604	2,618
Berat Jenis semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,694	2,656	2,675
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	1,420%	1,215%	1,317%

Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	15	0,75	0,75	99,25
2,40	231	11,55	12,30	87,70
1,20	494	24,70	37,00	63,00
0,60	468	23,40	60,40	39,60
0,30	314	15,70	76,10	23,90
0,15	252	12,60	88,70	11,30
Sisa	226	11,300	100,000	0
Jumlah	2000	100	275,250	324,750

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{275,250}{100}$$

$$= 2,752$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 2,752 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 1,5 - 3,8 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan			
	Daerah I (kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	70-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-10

Sumber : SNI 03-2384-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

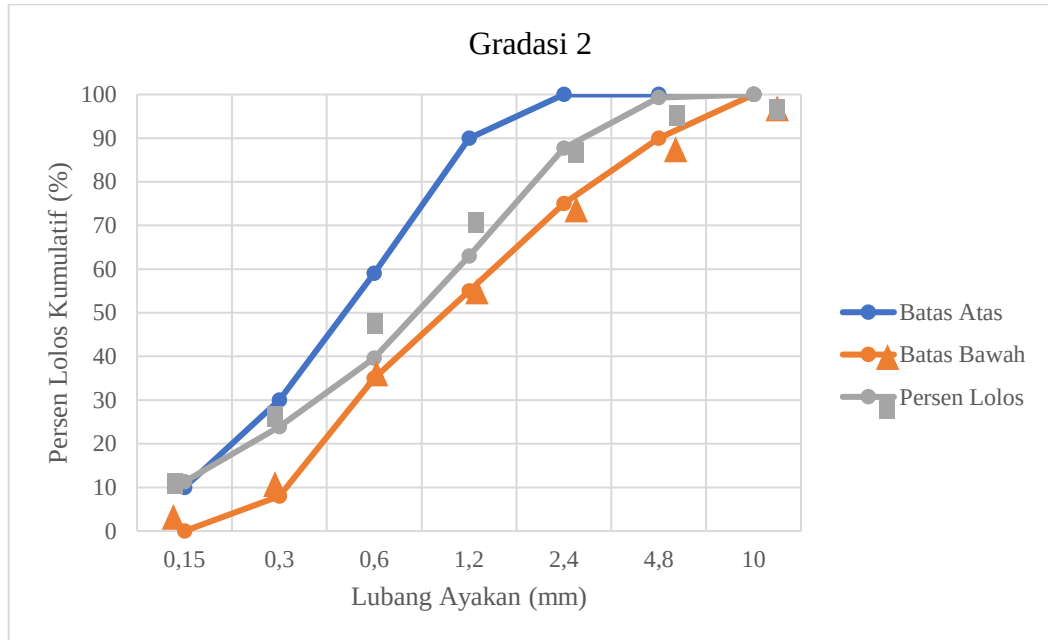
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	9	0,45	0,45	99,55
2,40	250	12,50	12,95	87,05
1,20	406	20,30	33,25	66,75
0,60	459	22,95	56,20	43,80
0,30	371	18,55	74,75	25,25
0,15	306	15,30	90,05	9,95
Sisa	199	9,950	100,000	0
Jumlah	2000	100	267,650	332,350

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{267,650}{100} \\ &= 2,677\end{aligned}$$

Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 2,677 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 1,5 - 3,8 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan			
	Daerah I (kasar)	Daerah II (Agak Kasar)	Daerah III (Agak Halus)	Daerah IV (Halus)
10	100	100	100	100
4,80	90-100	90-100	90-100	95-100
2,40	60-95	75-100	85-100	95-100
1,20	30-70	55-90	75-100	90-100
0,60	15-34	35-59	70-79	80-100
0,30	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-10

Sumber : SNI 03-2384-2000

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

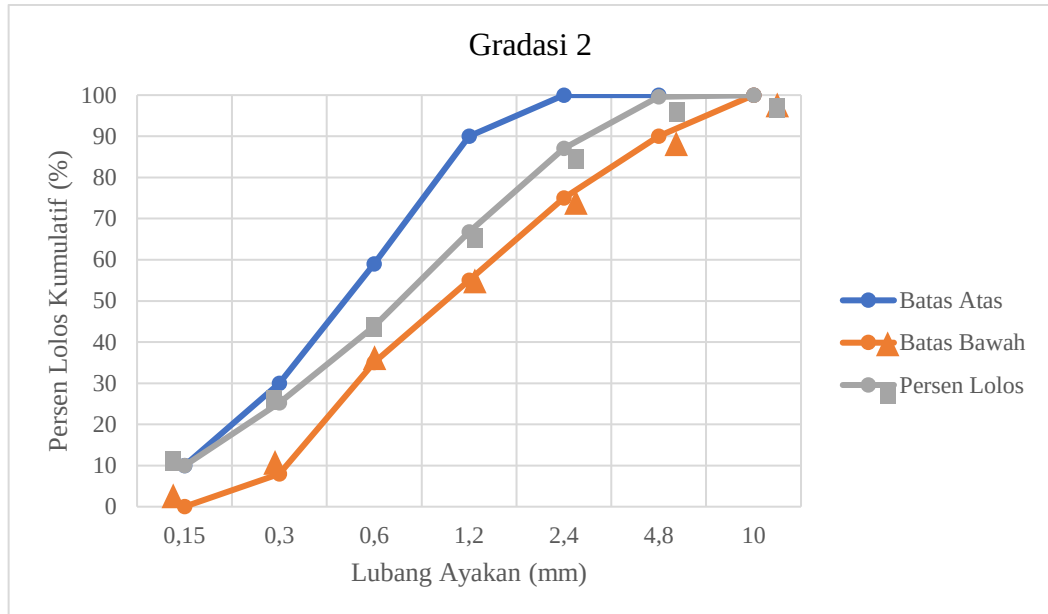
Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisis Saringan:

Pasir masuk daerah : Daerah 2

Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Pasir	Merapi
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	Satuan
Berat Kering Awal (W1)	500	500	gram
Berat Kering Setelah Dicuci (W2)	482	485	gram
Kadar Lumpur	3,60	3,00	%
Kadar Lumpur rata-rata	3,30		%

Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19670	19702	gram
Berat Agregat (W3)	8338	8335	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,1	30,10	cm
Volume Tabung (V)	5283,71	5283,71	cm ³
Berat Volume Gembur	1,578	1,577	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,578		gram/cm ³

Diperiksa oleh:
 Laboran

Yogyakarta, November 2024
 Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT HALUS
(SNI 03-4804-1998)

Asal Pasir	Merapi
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	21092	21018	gram
Berat Agregat (W3)	9760	9651	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,10	30,10	cm
Volume Tabung (V)	5283,71	5283,71	cm ³
Berat Volume Gembur	1,847	1,827	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,837		gram/cm ³

Diperiksa oleh:
 Laboran

Yogyakarta, November 2024
 Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel		Rata-rata
	1	2	
Berat Kerikil Kering Mutlak (Bk), gram	4926	4927	4926,5
Berat Kerikil (SSD), gram	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3078	3090	3084
Berat Jenis Curah BK/(5000-Ba)	2,563	2,580	2,571
Berat Jenis jenuh (SSD) 5000/ (5000-Ba)	2,601	2,618	2,610
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,666	2,682	2,674
Penyerapan Air (5000-Bk)/Bk x 100%	1,50%	1,48%	1,492%

Diperiksa oleh:
 Laboran

Yogyakarta, November 2024
 Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	36	0,72	0,72	99,28
10,00	3606	72,12	72,84	27,16
4,80	1293	25,86	98,70	1,30
2,40	30	0,60	99,30	0,70
1,20	5	0,10	99,40	0,60
0,60	0	0	99,40	0,60
0,30	0	0	99,40	0,60
0,15	0	0	99,40	0,60
Sisa	30	0,60	100	0,00
Jumlah	5000	100	669,160	230,84

$$\begin{aligned}\text{Modulus Halus Butir} &= \frac{669,160}{100} \\ &= 6,691\end{aligned}$$

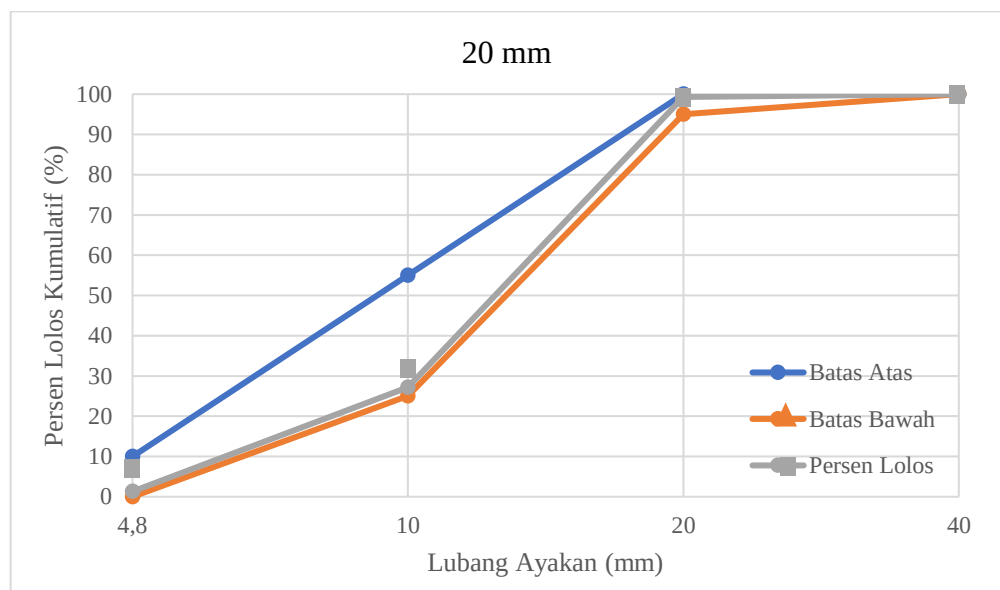
Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 6,691 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 6 – 7,1 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	37-70	95-100
10	10-40	30-60
4,8	0-5	0-10

Sumber : SNI 03-2384-2000

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

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

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	18	0,36	0,36	99,64
10,00	3390	67,81	68,17	31,83
4,80	1255	25,11	93,28	6,72
2,40	253	5,06	98,34	1,66
1,20	30	0,60	98,94	1,06
0,60	0	0	98,94	1,06
0,30	0	0	98,94	1,06
0,15	0	0	98,94	1,06
Sisa	53	1,06	100	0,00
Jumlah	4999	100	655,911	244,09

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{655,911}{100}$$

$$= 6,559$$

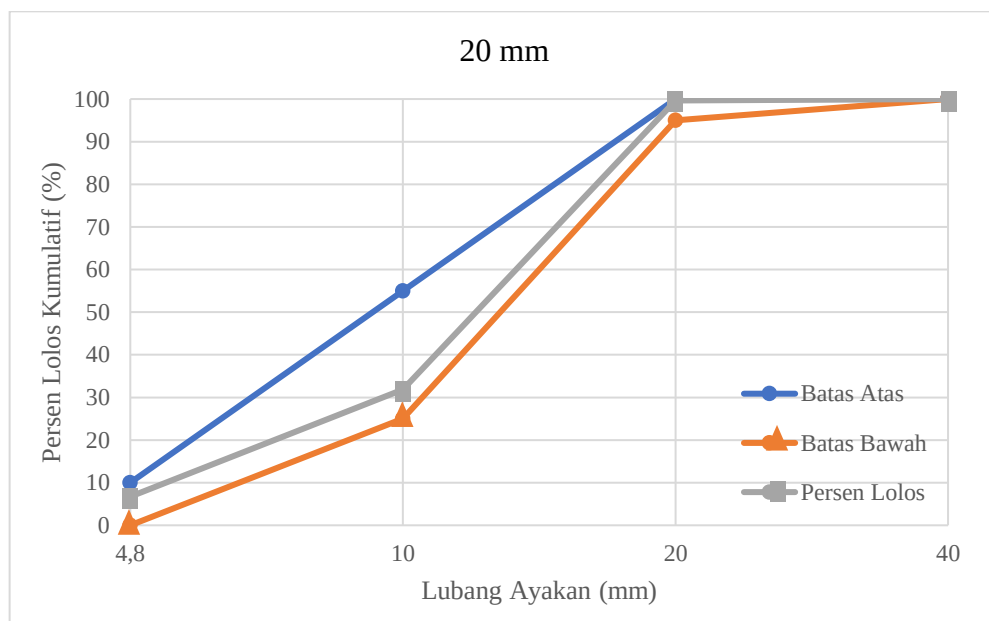
Nilai MHB yang didapatkan adalah sebesar 6,559 dan masih masuk ke dalam syarat yaitu 6 – 7,1 (SNI 03-1968-1990).

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butiran yang Lolos Ayakan	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	37-70	95-100
10	10-40	30-60
4,8	0-5	0-10

Sumber : SNI 03-2384-2000

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Diperiksa oleh:
Laboran

Yogyakarta, November 2024
Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17898	18102	gram
Berat Agregat (W3)	6566	6735	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	cm
Volume Tabung (V)	5285,46	5285,46	cm ³
Berat Volume Gembur	1,242	1,274	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,258		gram/cm ³

Diperiksa oleh:
 Laboran

Yogyakarta, November 2024
 Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT KASAR
(SNI 03-4804-1998)

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Tabung (W1)	11332	11367	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18947	18979	gram
Berat Agregat (W3)	7615	7612	gram
Diameter Tabung (d)	14,95	14,95	cm
Tinggi Tabung (t)	30,11	30,11	cm
Volume Tabung (V)	5285,46	5285,46	cm ³
Berat Volume Gembur	1,441	1,440	gram/cm ³
Rata-rata Berat Volume Gembur	1,4405		gram/cm ³

Diperiksa oleh:
 Laboran

Yogyakarta, November 2024
 Dikerjakan oleh:

(.....)

(Ilham Khoiri)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran Beton

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat Tekan Beton yang disyaratkan ($F'c$)	32	
2	Deviasi Standar (s)	-	
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	
4	Kuat Tekan Beton yang ditargetkan	44	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe 1	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu Pecah	
7	Jenis Agregat Halus	Batu Alam	
8	Faktor air semen	0,44	
9	Slump	60-180	mm
10	Ukuran Agregat Maksimum	20	mm
11	Kadar Air Bebas	205,00	kg/m ³
12	Kadar Semen	465,909	kg
13	Kadar Semen Maksimum	-	
14	Kadar Semen Minimum	275	Kg
15	Susunan Besar Butir Agregat Halus	2	
16	Berat Jenis Agregat Halus	2,618	
17	Berat Jenis Agregat Kasar	2,610	
18	Persen Agregat Halus	40,25	%
19	Berat Jenis relatif Agregat Gabungan	2,613	
20	Berat Isi Beton	2350	kg/m ³
21	Kadar Agregat Gabungan	1679,09	kg/m ³
22	Kadar agregat halus	675,834	kg/m ³
23	Kadar Agregat Kasar	1003,26	kg/m ³
24	Kadar Semen digunakan	465,909	kg/m ³
25	Kadar Air digunakan	205,00	kg/m ³

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Variasi		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban Maksimal (Kn)	Kuat Tekan Beton (Mpa)	Rata-rata (MPa)
SF0%-SP0%	1	150,60	305,40	17813,11	12408	586,9	32,95	32,91
	2	149,80	303,65	17624,37	12393	579,4	32,87	
	3	151,20	302,50	17955,33	12408	584,1	32,53	
	4	150,00	302,45	17671,46	12282	585,1	33,11	
	5	151,75	301,30	18086,20	12402	598,6	33,10	
SF6% - SP1,1%	1	149,00	304,20	17436,62	12612	684,6	39,26	36,62
	2	154,50	303,40	18747,65	12631	677,2	36,12	
	3	151,35	304,80	17990,98	12790	677,8	37,67	
	4	150,00	300,60	17671,46	12657	610,9	34,57	
	5	150,30	300,37	17742,22	12744	629,7	35,49	
SF8% - SP1,1%	1	150,90	304,00	17884,15	12592	740,4	41,40	38,66
	2	150,20	305,30	17718,61	12553	755,1	42,62	
	3	151,00	301,60	17907,86	12549	603,9	33,72	
	4	150,00	304,50	17671,46	12423	615,8	34,85	
	5	150,00	301,70	17671,46	12590	719,6	40,72	
SF10% - SP1,1%	1	150,30	302,35	17742,22	12738	753,6	42,47	41,70
	2	150,10	302,45	17695,03	12600	764,6	43,21	
	3	150,65	303,00	17824,94	12660	757,0	42,47	
	4	149,50	302,10	17553,85	12629	671,1	38,23	
	5	149,60	301,40	17577,34	12733	740,7	42,14	
SF12% - SP1,1%	1	151,10	305,60	17931,59	12256	618,8	34,51	34,89
	2	150,20	304,10	17718,61	12234	506,0	28,56	
	3	150,00	303,20	17671,46	12219	690,3	39,06	
	4	149,00	306,00	17436,62	12140	601,6	34,50	
	5	151,40	304,00	18002,87	12371	680,6	37,81	

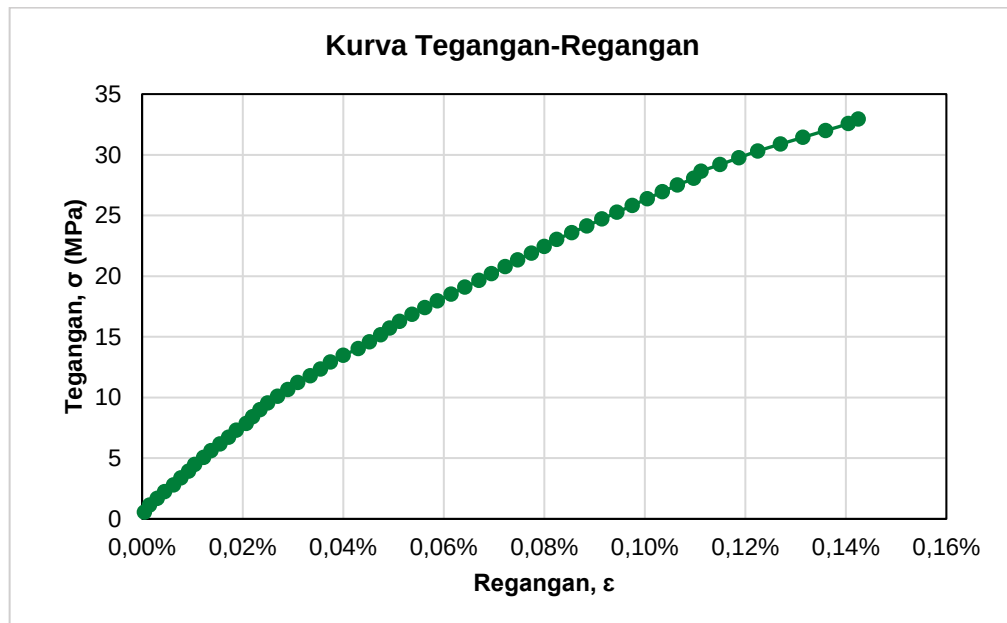
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Modulus Elastisitas Beton BN-1

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	32,95
Luas	17813,113 mm ²
Lo	200 mm
0,4(Pu)	234,76 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	6	0,003	0,000015	1,12
30	30000	12	0,006	0,000030	1,68
40	40000	18	0,009	0,000045	2,25
50	50000	25	0,013	0,000063	2,81
60	60000	31	0,016	0,000078	3,37
70	70000	37	0,019	0,000093	3,93
80	80000	42	0,021	0,000105	4,49
90	90000	49	0,025	0,000123	5,05
100	100000	55	0,028	0,000138	5,61
110	110000	62	0,031	0,000155	6,18
120	120000	69	0,035	0,000173	6,74
130	130000	75	0,038	0,000188	7,30
140	140000	83	0,042	0,000208	7,86
150	150000	88	0,044	0,000220	8,42
160	160000	94	0,047	0,000235	8,98
170	170000	100	0,050	0,000250	9,54
180	180000	108	0,054	0,000270	10,10
190	190000	116	0,058	0,000290	10,67
200	200000	124	0,062	0,000310	11,23
210	210000	134	0,067	0,000335	11,79
220	220000	142	0,071	0,000355	12,35
230	230000	150	0,075	0,000375	12,91
240	240000	160	0,080	0,000400	13,47

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



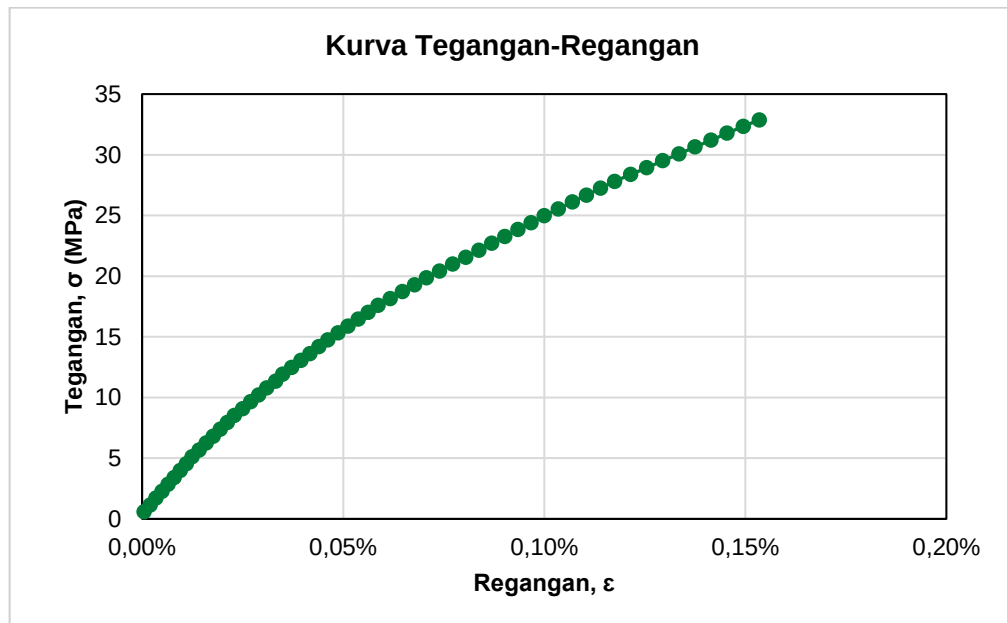
Modulus Elastisitas	
E Uji	31977,21 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	26978,02 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	25956,81 Mpa

Modulus Elastisitas Beton BN-2

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	32,87
Luas	17624,366
Lo	200 mm
0,4(Pu)	231,76

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	14	0,007	0,000035	1,70
40	40000	20	0,010	0,000050	2,27
50	50000	26	0,013	0,000065	2,84
60	60000	32	0,016	0,000080	3,40
70	70000	38	0,019	0,000095	3,97
80	80000	44	0,022	0,000110	4,54
90	90000	50	0,025	0,000125	5,11
100	100000	57	0,029	0,000143	5,67
110	110000	64	0,032	0,000160	6,24
120	120000	71	0,036	0,000178	6,81
130	130000	78	0,039	0,000195	7,38
140	140000	85	0,043	0,000213	7,94
150	150000	92	0,046	0,000230	8,51
160	160000	100	0,050	0,000250	9,08
170	170000	108	0,054	0,000270	9,65
180	180000	116	0,058	0,000290	10,21
190	190000	124	0,062	0,000310	10,78
200	200000	133	0,067	0,000333	11,35
210	210000	140	0,070	0,000350	11,92
220	220000	149	0,075	0,000373	12,48
230	230000	158	0,079	0,000395	13,05
240	240000	167	0,084	0,000418	13,62

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



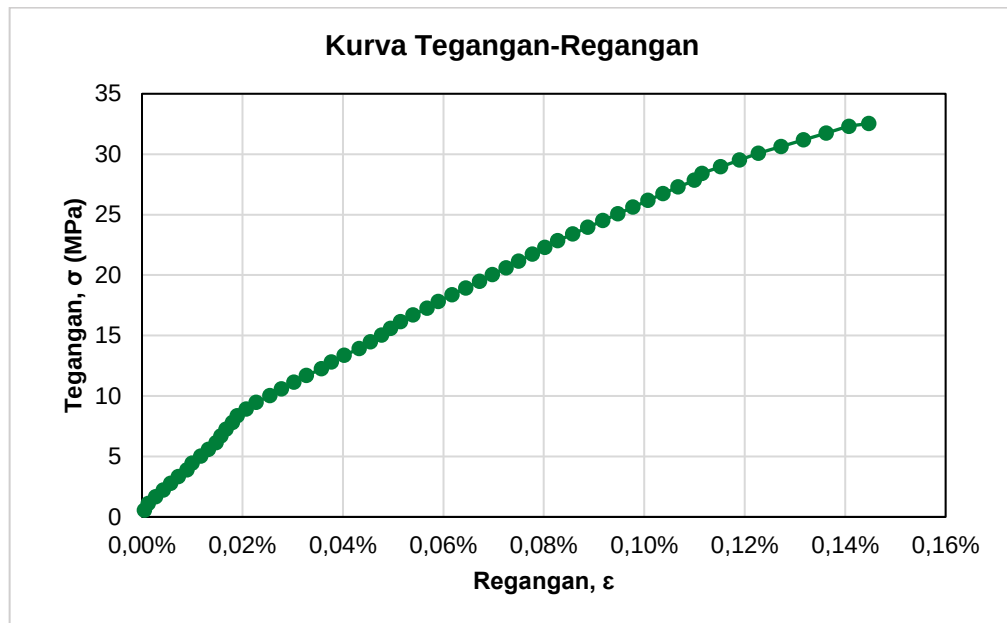
Modulus Elastisitas	
E Uji	31179,48 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	26948,24 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	25935,78 Mpa

Modulus Elastisitas Beton BN-3

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	32,53 Mpa
Luas	17955,333
Lo	200 mm
0,4(Pu)	233,64 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	5	0,003	0,000013	1,11
30	30000	11	0,006	0,000028	1,67
40	40000	17	0,009	0,000043	2,23
50	50000	23	0,012	0,000058	2,78
60	60000	29	0,015	0,000073	3,34
70	70000	36	0,018	0,000090	3,90
80	80000	40	0,020	0,000100	4,46
90	90000	47	0,024	0,000118	5,01
100	100000	53	0,027	0,000133	5,57
110	110000	59	0,030	0,000148	6,13
120	120000	63	0,032	0,000158	6,68
130	130000	67	0,034	0,000168	7,24
140	140000	72	0,036	0,000180	7,80
150	150000	76	0,038	0,000190	8,35
160	160000	83	0,042	0,000208	8,91
170	170000	91	0,046	0,000228	9,47
180	180000	102	0,051	0,000255	10,02
190	190000	111	0,056	0,000278	10,58
200	200000	121	0,061	0,000303	11,14
210	210000	131	0,066	0,000328	11,70
220	220000	143	0,072	0,000358	12,25
230	230000	151	0,076	0,000378	12,81
240	240000	161	0,081	0,000403	13,37

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



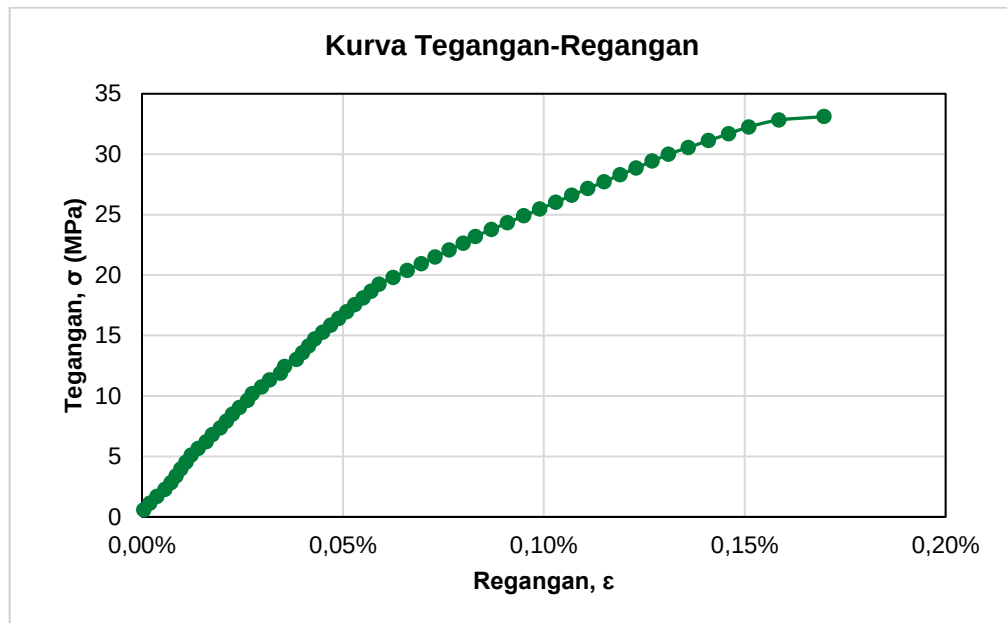
Modulus Elastisitas	
E Uji	31212,33 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	26806,78 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	25835,86 Mpa

Modulus Elastisitas Beton BN-4

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	33,11 Mpa
Luas	17671,459
Lo	200 mm
0,4(Pu)	234,4 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	15	0,008	0,000038	1,70
40	40000	23	0,012	0,000058	2,26
50	50000	29	0,015	0,000073	2,83
60	60000	34	0,017	0,000085	3,40
70	70000	39	0,020	0,000098	3,96
80	80000	44	0,022	0,000110	4,53
90	90000	49	0,025	0,000123	5,09
100	100000	56	0,028	0,000140	5,66
110	110000	64	0,032	0,000160	6,22
120	120000	70	0,035	0,000175	6,79
130	130000	78	0,039	0,000195	7,36
140	140000	84	0,042	0,000210	7,92
150	150000	90	0,045	0,000225	8,49
160	160000	97	0,049	0,000243	9,05
170	170000	105	0,053	0,000263	9,62
180	180000	110	0,055	0,000275	10,19
190	190000	119	0,060	0,000298	10,75
200	200000	127	0,064	0,000318	11,32
210	210000	138	0,069	0,000345	11,88
220	220000	142	0,071	0,000355	12,45
230	230000	154	0,077	0,000385	13,02
240	240000	160	0,080	0,000400	13,58

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



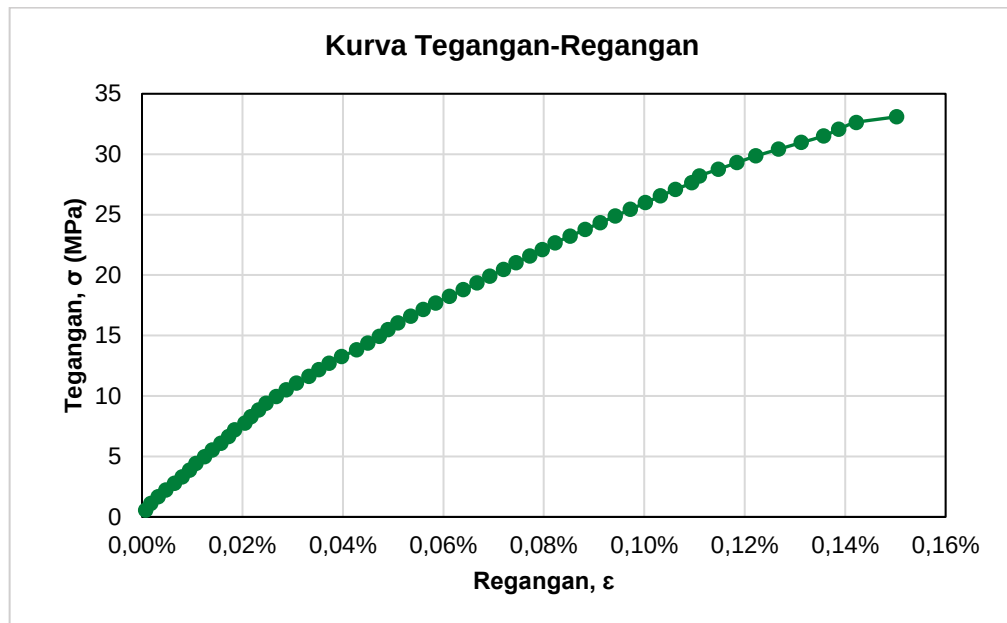
Modulus Elastisitas	
E Uji	32817,17 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27044,26 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26003,68 Mpa

Modulus Elastisitas Beton BN-5

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	33,10 Mpa
Luas	18086,198
Lo	200
0,4(Pu)	239,44 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,55
20	20000	7	0,004	0,000018	1,11
30	30000	13	0,007	0,000033	1,66
40	40000	19	0,010	0,000048	2,21
50	50000	26	0,013	0,000065	2,76
60	60000	32	0,016	0,000080	3,32
70	70000	38	0,019	0,000095	3,87
80	80000	43	0,022	0,000108	4,42
90	90000	50	0,025	0,000125	4,98
100	100000	56	0,028	0,000140	5,53
110	110000	63	0,032	0,000158	6,08
120	120000	69	0,035	0,000173	6,63
130	130000	74	0,037	0,000185	7,19
140	140000	82	0,041	0,000205	7,74
150	150000	87	0,044	0,000218	8,29
160	160000	93	0,047	0,000233	8,85
170	170000	99	0,050	0,000248	9,40
180	180000	107	0,054	0,000268	9,95
190	190000	115	0,058	0,000288	10,51
200	200000	123	0,062	0,000308	11,06
210	210000	133	0,067	0,000333	11,61
220	220000	141	0,071	0,000353	12,16
230	230000	149	0,075	0,000373	12,72
240	240000	159	0,080	0,000398	13,27

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



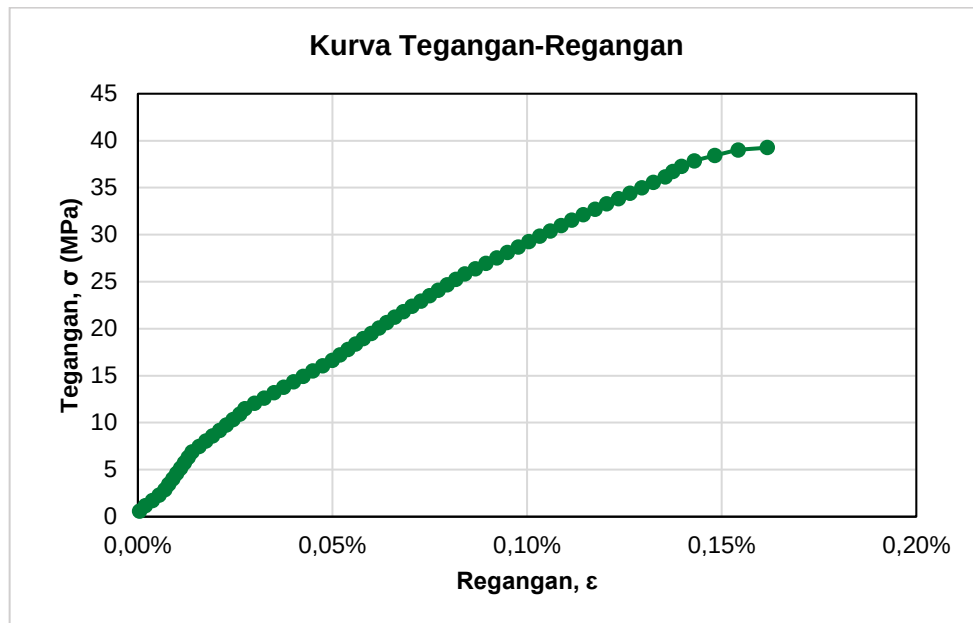
Modulus Elastisitas	
E Uji	31633,07 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27039,12 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	25999,98 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF6-1

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	6%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	39,26 Mpa
Luas	17436,625
Lo	200
0,4(Pu)	273,84

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,15
30	30000	15	0,008	0,000038	1,72
40	40000	22	0,011	0,000055	2,29
50	50000	28	0,014	0,000070	2,87
60	60000	32	0,016	0,000080	3,44
70	70000	36	0,018	0,000090	4,01
80	80000	40	0,020	0,000100	4,59
90	90000	44	0,022	0,000110	5,16
100	100000	48	0,024	0,000120	5,74
110	110000	52	0,026	0,000130	6,31
120	120000	56	0,028	0,000140	6,88
130	130000	63	0,032	0,000158	7,46
140	140000	70	0,035	0,000175	8,03
150	150000	77	0,039	0,000193	8,60
160	160000	84	0,042	0,000210	9,18
170	170000	91	0,046	0,000228	9,75
180	180000	98	0,049	0,000245	10,32
190	190000	105	0,053	0,000263	10,90
200	200000	110	0,055	0,000275	11,47
210	210000	120	0,060	0,000300	12,04
220	220000	130	0,065	0,000325	12,62
230	230000	140	0,070	0,000350	13,19
240	240000	150	0,075	0,000375	13,76
250	250000	160	0,080	0,000400	14,34
260	260000	170	0,085	0,000425	14,91
270	270000	180	0,090	0,000450	15,48
280	280000	190	0,095	0,000475	16,06

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



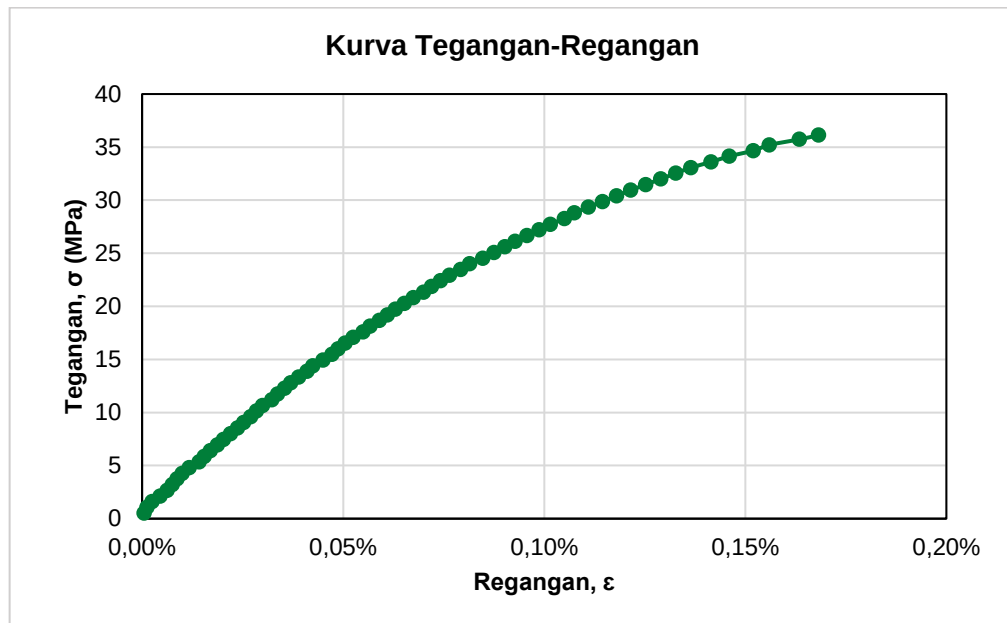
Modulus Elastisitas	
E Uji	32950,07 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	29449,99 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	27702,97 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF6-2

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	6%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	36,12 Mpa
Luas	18748,651 Mpa
Lo	200
0,4(Pu)	270,88kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,53
20	20000	5	0,003	0,000013	1,07
30	30000	10	0,005	0,000025	1,60
40	40000	18	0,009	0,000045	2,13
50	50000	25	0,013	0,000063	2,67
60	60000	30	0,015	0,000075	3,20
70	70000	35	0,018	0,000088	3,73
80	80000	40	0,020	0,000100	4,27
90	90000	47	0,024	0,000118	4,80
100	100000	57	0,029	0,000143	5,33
110	110000	62	0,031	0,000155	5,87
120	120000	68	0,034	0,000170	6,40
130	130000	75	0,038	0,000188	6,93
140	140000	81	0,041	0,000203	7,47
150	150000	88	0,044	0,000220	8,00
160	160000	95	0,048	0,000238	8,53
170	170000	101	0,051	0,000253	9,07
180	180000	108	0,054	0,000270	9,60
190	190000	114	0,057	0,000285	10,13
200	200000	120	0,060	0,000300	10,67
210	210000	129	0,065	0,000323	11,20
220	220000	135	0,068	0,000338	11,73
230	230000	142	0,071	0,000355	12,27
240	240000	148	0,074	0,000370	12,80
250	250000	156	0,078	0,000390	13,34
260	260000	164	0,082	0,000410	13,87
270	270000	170	0,085	0,000425	14,40
280	280000	180	0,090	0,000450	14,94

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



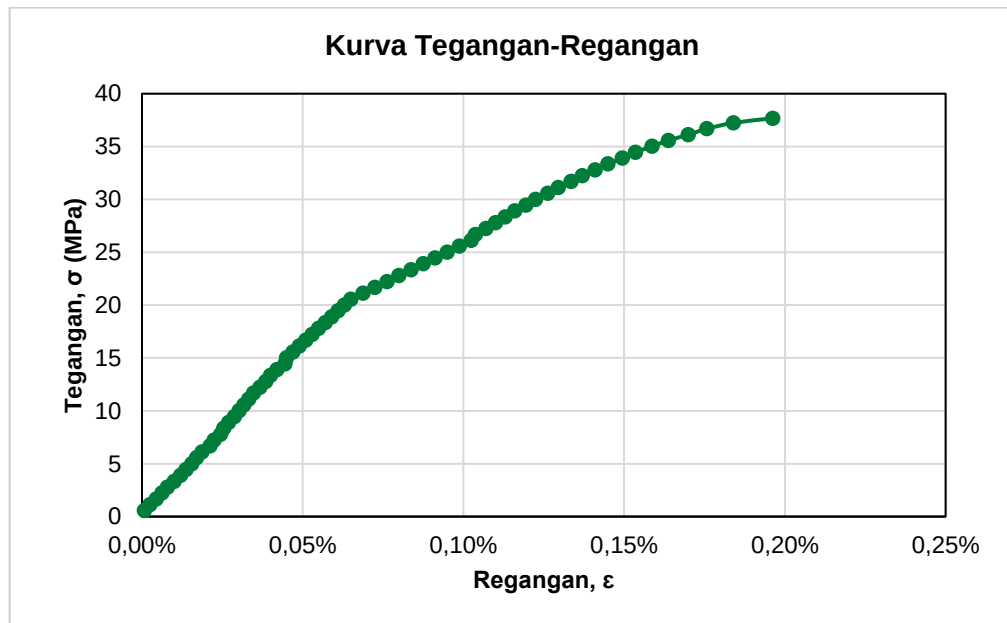
Modulus Elastisitas	
E Uji	32244,81 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	28247,69 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26853,69 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF6-3

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	6%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	37,67 Mpa
Luas	17990,976 Mpa
Lo	200
0,4(Pu)	271,12 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,11
30	30000	18	0,009	0,000045	1,67
40	40000	25	0,013	0,000063	2,22
50	50000	32	0,016	0,000080	2,78
60	60000	40	0,020	0,000100	3,34
70	70000	48	0,024	0,000120	3,89
80	80000	55	0,028	0,000138	4,45
90	90000	62	0,031	0,000155	5,00
100	100000	68	0,034	0,000170	5,56
110	110000	75	0,038	0,000188	6,11
120	120000	85	0,043	0,000213	6,67
130	130000	90	0,045	0,000225	7,23
140	140000	98	0,049	0,000245	7,78
150	150000	102	0,051	0,000255	8,34
160	160000	108	0,054	0,000270	8,89
170	170000	115	0,058	0,000288	9,45
180	180000	121	0,061	0,000303	10,01
190	190000	127	0,064	0,000318	10,56
200	200000	133	0,067	0,000333	11,12
210	210000	139	0,070	0,000348	11,67
220	220000	147	0,074	0,000368	12,23
230	230000	154	0,077	0,000385	12,78
240	240000	160	0,080	0,000400	13,34
250	250000	168	0,084	0,000420	13,90
260	260000	178	0,089	0,000445	14,45
270	270000	180	0,090	0,000450	15,01
280	280000	188	0,094	0,000470	15,56

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



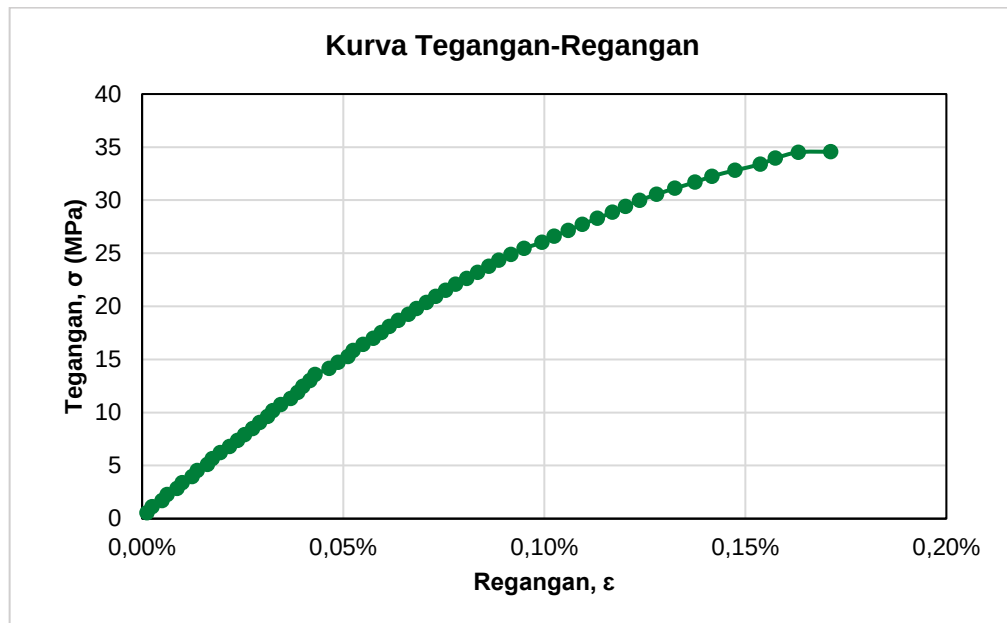
Modulus Elastisitas	
E Uji	32924,29 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	28848,37 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	27278,00 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF6-4

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	6%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	34,57 Mpa
Luas	17671,459
Lo	200 mm
0,4(Pu)	244,36 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	5	0,003	0,0000125	0,57
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	20	0,010	0,000050	1,70
40	40000	25	0,013	0,000063	2,26
50	50000	35	0,018	0,000088	2,83
60	60000	40	0,020	0,000100	3,40
70	70000	50	0,025	0,000125	3,96
80	80000	55	0,028	0,000138	4,53
90	90000	65	0,033	0,000163	5,09
100	100000	70	0,035	0,000175	5,66
110	110000	78	0,039	0,000195	6,22
120	120000	87	0,044	0,000218	6,79
130	130000	95	0,048	0,000238	7,36
140	140000	102	0,051	0,000255	7,92
150	150000	110	0,055	0,000275	8,49
160	160000	117	0,059	0,000293	9,05
170	170000	125	0,063	0,000313	9,62
180	180000	130	0,065	0,000325	10,19
190	190000	138	0,069	0,000345	10,75
200	200000	148	0,074	0,000370	11,32
210	210000	155	0,078	0,000388	11,88
220	220000	160	0,080	0,000400	12,45
230	230000	167	0,084	0,000418	13,02
240	240000	172	0,086	0,000430	13,58
250	250000	186	0,093	0,000465	14,15

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



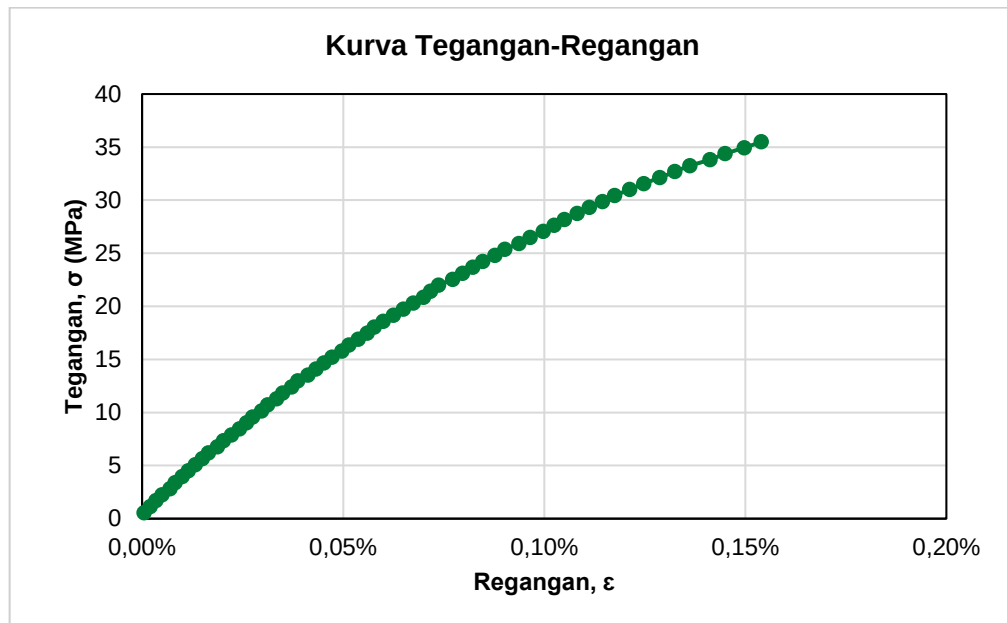
Modulus Elastisitas	
E Uji	30689,41 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27634,19 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26420,32 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF6-5

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	6%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	35,49 Mpa
Luas	17742,215
Lo	200 mm
0,4(Pu)	251,88 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	14	0,007	0,000035	1,69
40	40000	20	0,010	0,000050	2,25
50	50000	28	0,014	0,000070	2,82
60	60000	33	0,017	0,000083	3,38
70	70000	40	0,020	0,000100	3,95
80	80000	46	0,023	0,000115	4,51
90	90000	53	0,027	0,000133	5,07
100	100000	60	0,030	0,000150	5,64
110	110000	66	0,033	0,000165	6,20
120	120000	75	0,038	0,000188	6,76
130	130000	81	0,041	0,000203	7,33
140	140000	89	0,045	0,000223	7,89
150	150000	97	0,049	0,000243	8,45
160	160000	104	0,052	0,000260	9,02
170	170000	110	0,055	0,000275	9,58
180	180000	119	0,060	0,000298	10,15
190	190000	125	0,063	0,000313	10,71
200	200000	134	0,067	0,000335	11,27
210	210000	140	0,070	0,000350	11,84
220	220000	149	0,075	0,000373	12,40
230	230000	155	0,078	0,000388	12,96
240	240000	165	0,083	0,000413	13,53
250	250000	173	0,087	0,000433	14,09
260	260000	181	0,091	0,000453	14,65

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



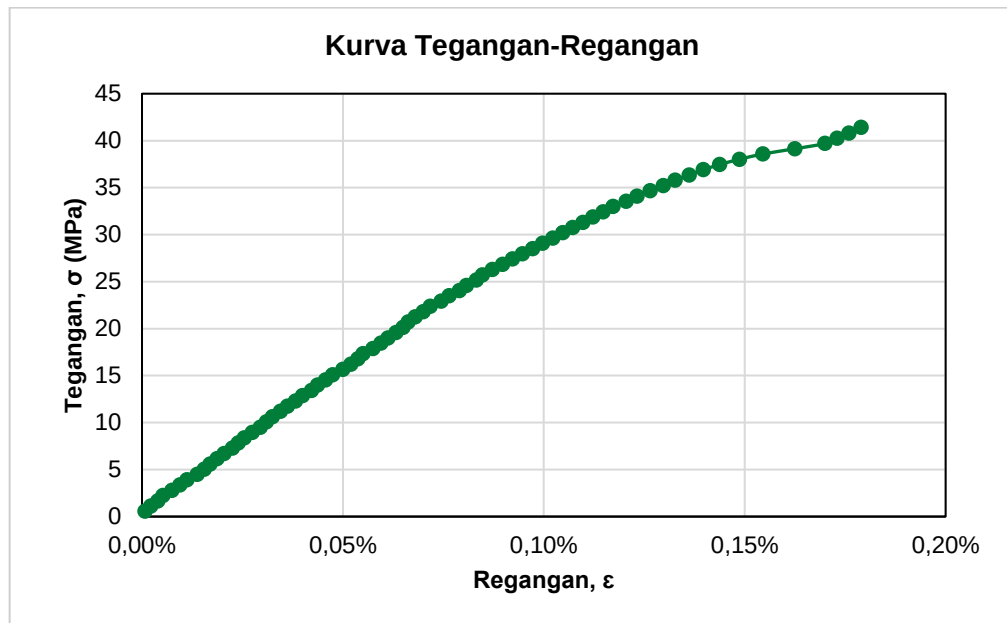
Modulus Elastisitas	
E Uji	30917,36 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	28000,18 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26678,85 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF8-1

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	8%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	41,40 Mpa
Luas	17884,152
Lo	200 mm
0,4(Pu)	296,16 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	9	0,005	0,000023	1,12
30	30000	16	0,008	0,000040	1,68
40	40000	21	0,011	0,000053	2,24
50	50000	30	0,015	0,000075	2,80
60	60000	38	0,019	0,000095	3,35
70	70000	45	0,023	0,000113	3,91
80	80000	55	0,028	0,000138	4,47
90	90000	62	0,031	0,000155	5,03
100	100000	68	0,034	0,000170	5,59
110	110000	75	0,038	0,000188	6,15
120	120000	82	0,041	0,000205	6,71
130	130000	90	0,045	0,000225	7,27
140	140000	96	0,048	0,000240	7,83
150	150000	102	0,051	0,000255	8,39
160	160000	110	0,055	0,000275	8,95
170	170000	118	0,059	0,000295	9,51
180	180000	124	0,062	0,000310	10,06
190	190000	130	0,065	0,000325	10,62
200	200000	138	0,069	0,000345	11,18
210	210000	145	0,073	0,000363	11,74
220	220000	153	0,077	0,000383	12,30
230	230000	160	0,080	0,000400	12,86
240	240000	169	0,085	0,000423	13,42
250	250000	175	0,088	0,000438	13,98
260	260000	183	0,092	0,000458	14,54
270	270000	190	0,095	0,000475	15,10
280	280000	200	0,100	0,000500	15,66
290	290000	208	0,104	0,000520	16,22
300	300000	215	0,108	0,000538	16,77

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



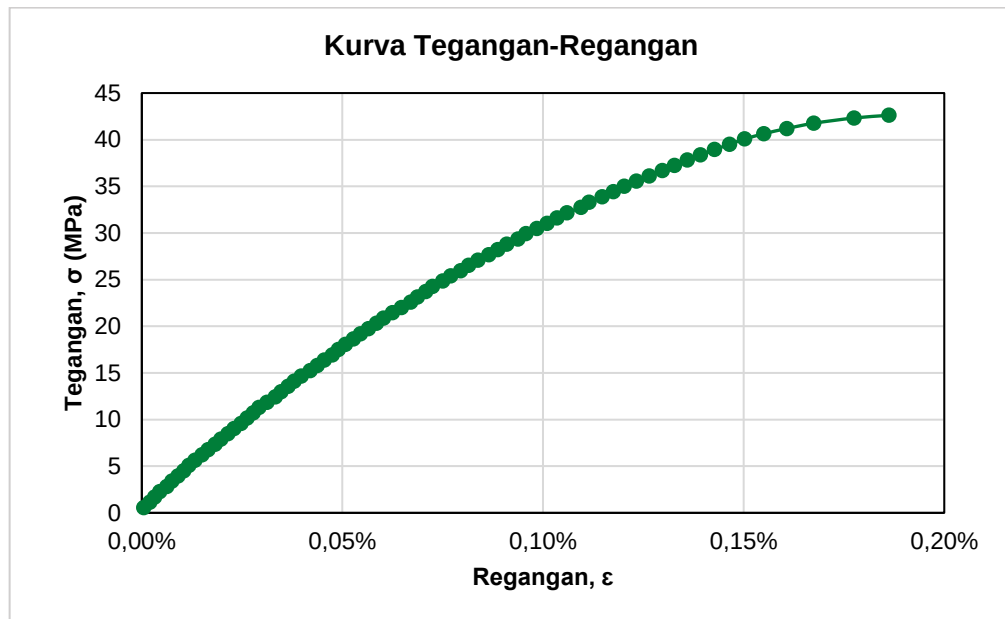
Modulus Elastisitas	
E Uji	35357,18 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30241,05 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28261,76 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF8-2

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	8%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	42,62 Mpa
Luas	17718,614
0,4(Pu)	302,04 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	13	0,007	0,000033	1,69
40	40000	18	0,009	0,000045	2,26
50	50000	25	0,013	0,000063	2,82
60	60000	30	0,015	0,000075	3,39
70	70000	36	0,018	0,000090	3,95
80	80000	42	0,021	0,000105	4,52
90	90000	47	0,024	0,000118	5,08
100	100000	53	0,027	0,000133	5,64
110	110000	60	0,030	0,000150	6,21
120	120000	66	0,033	0,000165	6,77
130	130000	73	0,037	0,000183	7,34
140	140000	79	0,040	0,000198	7,90
150	150000	86	0,043	0,000215	8,47
160	160000	92	0,046	0,000230	9,03
170	170000	99	0,050	0,000248	9,59
180	180000	105	0,053	0,000263	10,16
190	190000	111	0,056	0,000278	10,72
200	200000	117	0,059	0,000293	11,29
210	210000	125	0,063	0,000313	11,85
220	220000	133	0,067	0,000333	12,42
230	230000	139	0,070	0,000348	12,98
240	240000	146	0,073	0,000365	13,55
250	250000	152	0,076	0,000380	14,11
260	260000	159	0,080	0,000398	14,67
270	270000	168	0,084	0,000420	15,24
280	280000	175	0,088	0,000438	15,80
290	290000	182	0,091	0,000455	16,37
300	300000	190	0,095	0,000475	16,93
310	310000	196	0,098	0,000490	17,50

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



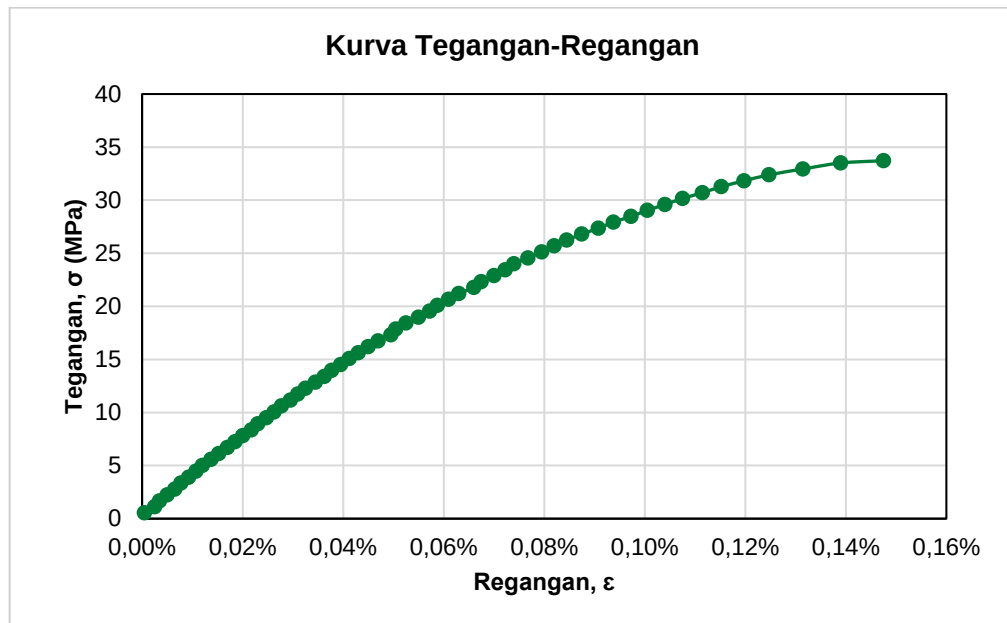
Modulus Elastisitas	
E Uji	34172,12 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30682,11 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28573,32 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF8-3

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	8%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	33,72 Mpa
Luas	17907,864
Lo	200 mm
0,4(Pu)	241,56 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,12
30	30000	14	0,007	0,000035	1,68
40	40000	20	0,010	0,000050	2,23
50	50000	26	0,013	0,000065	2,79
60	60000	31	0,016	0,000078	3,35
70	70000	37	0,019	0,000093	3,91
80	80000	43	0,022	0,000108	4,47
90	90000	48	0,024	0,000120	5,03
100	100000	55	0,028	0,000138	5,58
110	110000	61	0,031	0,000153	6,14
120	120000	68	0,034	0,000170	6,70
130	130000	74	0,037	0,000185	7,26
140	140000	80	0,040	0,000200	7,82
150	150000	87	0,044	0,000218	8,38
160	160000	92	0,046	0,000230	8,93
170	170000	99	0,050	0,000248	9,49
180	180000	105	0,053	0,000263	10,05
190	190000	111	0,056	0,000278	10,61
200	200000	118	0,059	0,000295	11,17
210	210000	124	0,062	0,000310	11,73
220	220000	130	0,065	0,000325	12,29
230	230000	138	0,069	0,000345	12,84
240	240000	145	0,073	0,000363	13,40
250	250000	151	0,076	0,000378	13,96

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



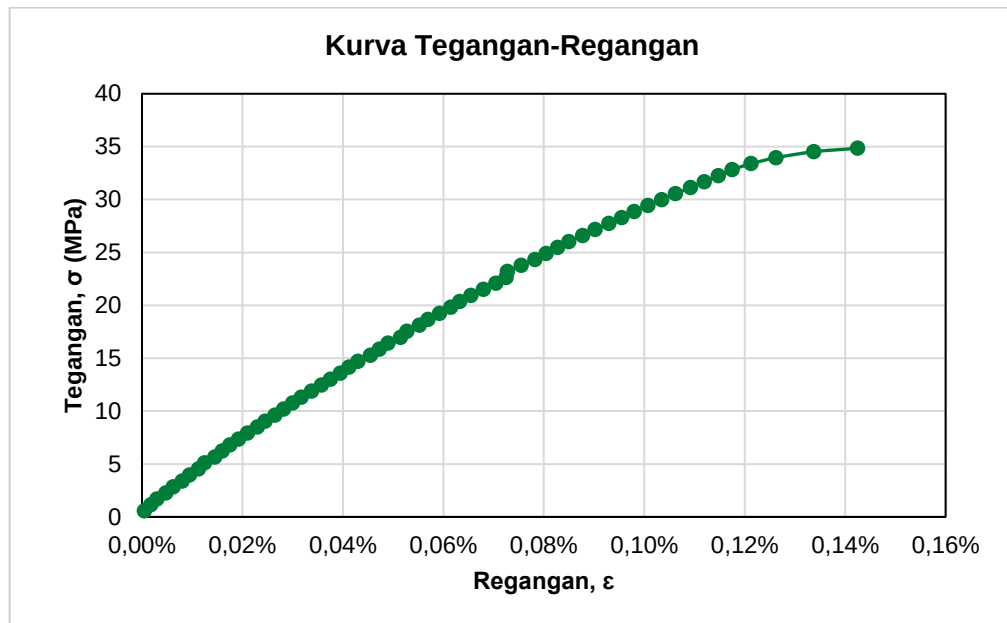
Modulus Elastisitas	
E Uji	35749,56 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27293,45 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26179,63 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF8-4

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	8%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	34,85 Mpa
Luas	17671,459
Lo	200 mm
0,4(Pu)	246,32 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	7	0,004	0,000018	1,13
30	30000	12	0,006	0,000030	1,70
40	40000	19	0,010	0,000048	2,26
50	50000	25	0,013	0,000063	2,83
60	60000	32	0,016	0,000080	3,40
70	70000	38	0,019	0,000095	3,96
80	80000	45	0,023	0,000113	4,53
90	90000	50	0,025	0,000125	5,09
100	100000	58	0,029	0,000145	5,66
110	110000	64	0,032	0,000160	6,22
120	120000	70	0,035	0,000175	6,79
130	130000	77	0,039	0,000193	7,36
140	140000	84	0,042	0,000210	7,92
150	150000	92	0,046	0,000230	8,49
160	160000	98	0,049	0,000245	9,05
170	170000	106	0,053	0,000265	9,62
180	180000	113	0,057	0,000283	10,19
190	190000	120	0,060	0,000300	10,75
200	200000	127	0,064	0,000318	11,32
210	210000	135	0,068	0,000338	11,88
220	220000	143	0,072	0,000358	12,45
230	230000	150	0,075	0,000375	13,02
240	240000	158	0,079	0,000395	13,58
250	250000	165	0,083	0,000413	14,15

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



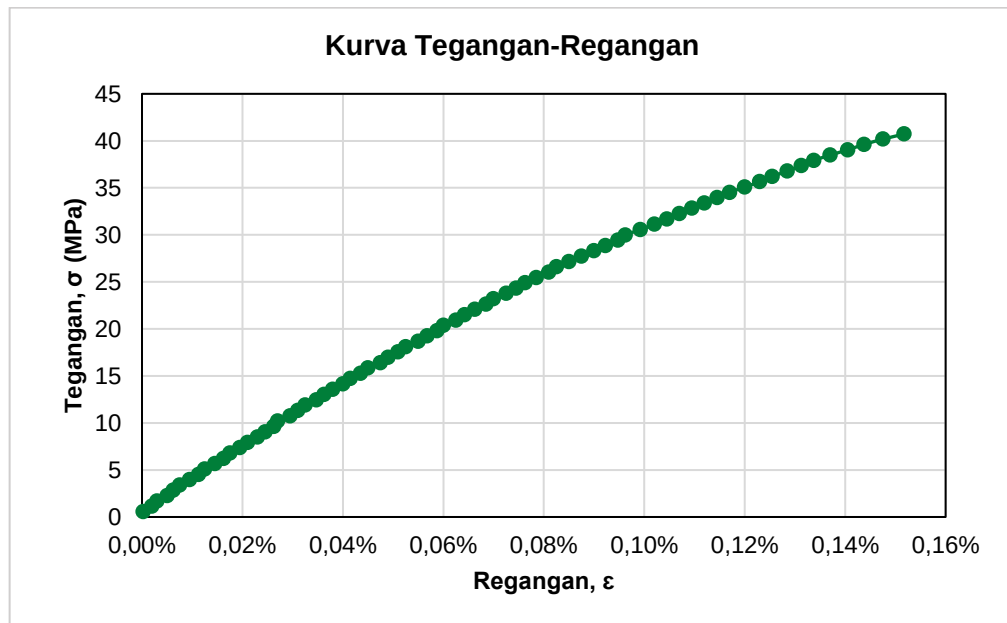
Modulus Elastisitas	
E Uji	32525,44 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27744,79 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26498,45 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF8-5

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	8%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	40,72
Luas	17671,459
Lo	200 mm
0,4(Pu)	287,84 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0,001	0,0000025	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	12	0,006	0,000030	1,70
40	40000	20	0,010	0,000050	2,26
50	50000	25	0,013	0,000063	2,83
60	60000	30	0,015	0,000075	3,40
70	70000	38	0,019	0,000095	3,96
80	80000	45	0,023	0,000113	4,53
90	90000	50	0,025	0,000125	5,09
100	100000	58	0,029	0,000145	5,66
110	110000	65	0,033	0,000163	6,22
120	120000	70	0,035	0,000175	6,79
130	130000	78	0,039	0,000195	7,36
140	140000	84	0,042	0,000210	7,92
150	150000	92	0,046	0,000230	8,49
160	160000	98	0,049	0,000245	9,05
170	170000	105	0,053	0,000263	9,62
180	180000	108	0,054	0,000270	10,19
190	190000	118	0,059	0,000295	10,75
200	200000	124	0,062	0,000310	11,32
210	210000	130	0,065	0,000325	11,88
220	220000	139	0,070	0,000348	12,45
230	230000	145	0,073	0,000363	13,02
240	240000	152	0,076	0,000380	13,58
250	250000	160	0,080	0,000400	14,15
260	260000	166	0,083	0,000415	14,71
270	270000	174	0,087	0,000435	15,28
280	280000	180	0,090	0,000450	15,84
290	290000	190	0,095	0,000475	16,41

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



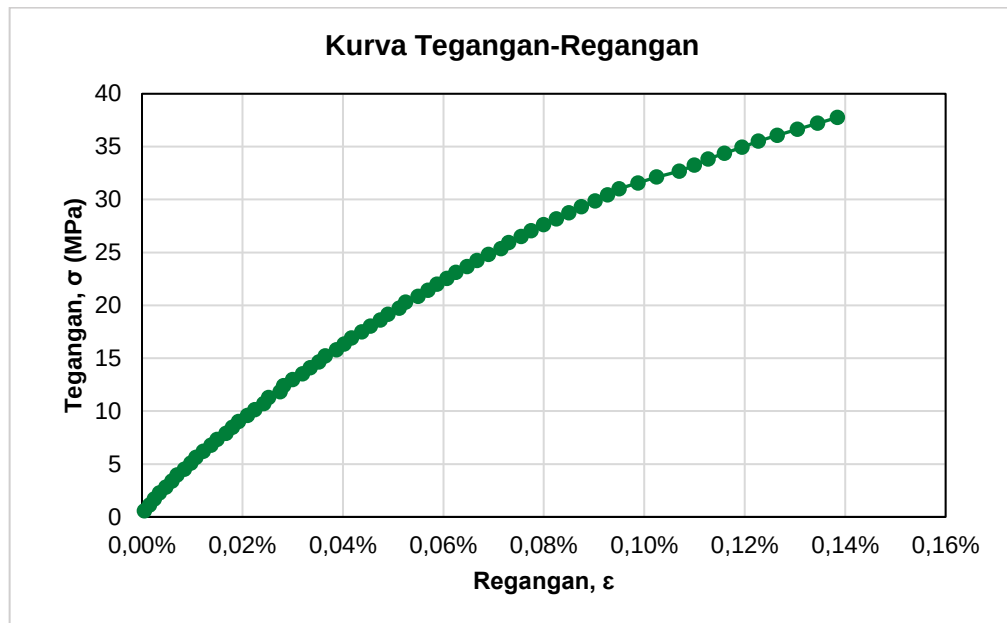
Modulus Elastisitas	
E Uji	33424,39 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	29992,12 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28085,93 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF10-1

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	10%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	42,47 Mpa
Luas	17742,215
0,4(Pu)	301,44

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,56
20	20000	6	0,003	0,000015	1,13
30	30000	10	0,005	0,000025	1,69
40	40000	14	0,007	0,000035	2,25
50	50000	19	0,010	0,000048	2,82
60	60000	24	0,012	0,000060	3,38
70	70000	28	0,014	0,000070	3,95
80	80000	34	0,017	0,000085	4,51
90	90000	39	0,020	0,000098	5,07
100	100000	43	0,022	0,000108	5,64
110	110000	49	0,025	0,000123	6,20
120	120000	55	0,028	0,000138	6,76
130	130000	60	0,030	0,000150	7,33
140	140000	67	0,034	0,000168	7,89
150	150000	72	0,036	0,000180	8,45
160	160000	77	0,039	0,000193	9,02
170	170000	84	0,042	0,000210	9,58
180	180000	90	0,045	0,000225	10,15
190	190000	97	0,049	0,000243	10,71
200	200000	101	0,051	0,000253	11,27
210	210000	110	0,055	0,000275	11,84
220	220000	113	0,057	0,000283	12,40
230	230000	120	0,060	0,000300	12,96
240	240000	128	0,064	0,000320	13,53
250	250000	134	0,067	0,000335	14,09
260	260000	141	0,071	0,000353	14,65
270	270000	146	0,073	0,000365	15,22
280	280000	155	0,078	0,000388	15,78
290	290000	161	0,081	0,000403	16,35
300	300000	167	0,084	0,000418	16,91
310	310000	175	0,088	0,000438	17,47

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



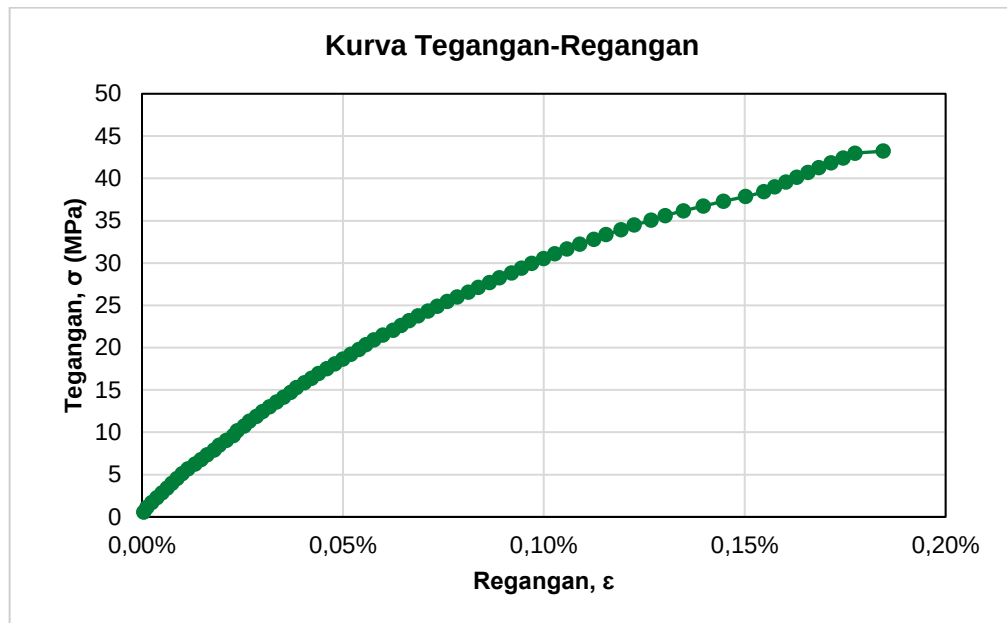
Modulus Elastisitas	
E Uji	37502,12 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30631,23 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28537,38 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF10-2

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	10%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	43,21
Luas	17695,028
0,4(Pu)	305,84 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10^3 mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	5	0,003	0,000013	1,13
30	30000	10	0,005	0,000025	1,70
40	40000	15	0,008	0,000038	2,26
50	50000	20	0,010	0,000050	2,83
60	60000	25	0,013	0,000063	3,39
70	70000	30	0,015	0,000075	3,96
80	80000	35	0,018	0,000088	4,52
90	90000	40	0,020	0,000100	5,09
100	100000	46	0,023	0,000115	5,65
110	110000	53	0,027	0,000133	6,22
120	120000	59	0,030	0,000148	6,78
130	130000	65	0,033	0,000163	7,35
140	140000	72	0,036	0,000180	7,91
150	150000	77	0,039	0,000193	8,48
160	160000	84	0,042	0,000210	9,04
170	170000	91	0,046	0,000228	9,61
180	180000	95	0,048	0,000238	10,17
190	190000	102	0,051	0,000255	10,74
200	200000	107	0,054	0,000268	11,30
210	210000	114	0,057	0,000285	11,87
220	220000	120	0,060	0,000300	12,43
230	230000	127	0,064	0,000318	13,00
240	240000	134	0,067	0,000335	13,56
250	250000	141	0,071	0,000353	14,13
260	260000	148	0,074	0,000370	14,69
270	270000	154	0,077	0,000385	15,26
280	280000	162	0,081	0,000405	15,82
290	290000	169	0,085	0,000423	16,39
300	300000	176	0,088	0,000440	16,95
310	310000	184	0,092	0,000460	17,52

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



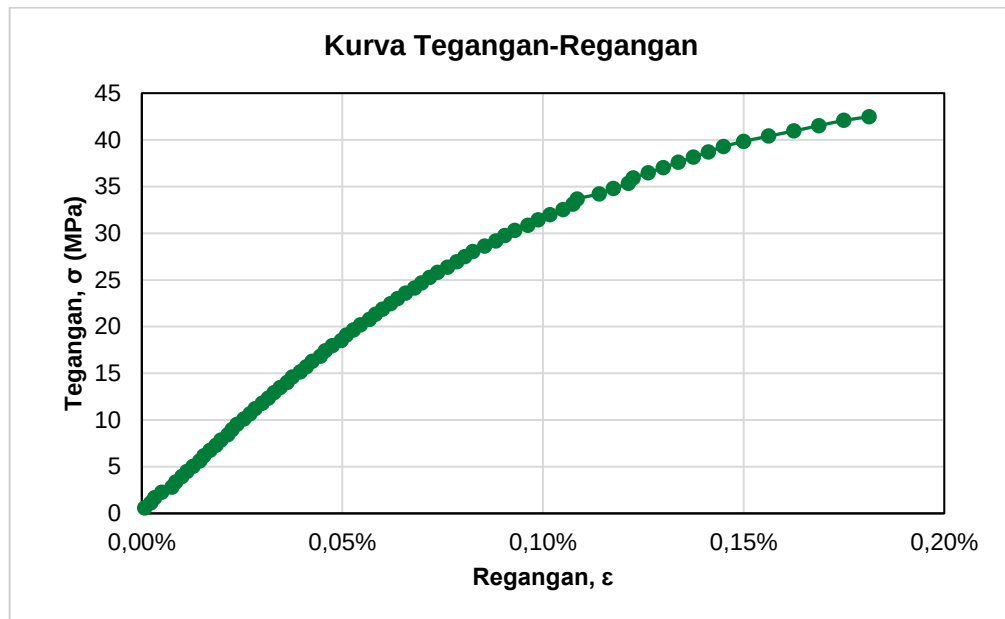
Modulus Elastisitas	
E Uji	35994,57 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30895,08 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28723,,76 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF10-3

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	10%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	42,47 Mpa
Luas	17824,943
0,4(Pu)	302,8 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	9	0,005	0,000023	1,12
30	30000	13	0,007	0,000033	1,68
40	40000	20	0,010	0,000050	2,24
50	50000	30	0,015	0,000075	2,81
60	60000	34	0,017	0,000085	3,37
70	70000	40	0,020	0,000100	3,93
80	80000	45	0,023	0,000113	4,49
90	90000	51	0,026	0,000128	5,05
100	100000	58	0,029	0,000145	5,61
110	110000	62	0,031	0,000155	6,17
120	120000	68	0,034	0,000170	6,73
130	130000	74	0,037	0,000185	7,29
140	140000	79	0,040	0,000198	7,85
150	150000	86	0,043	0,000215	8,42
160	160000	90	0,045	0,000225	8,98
170	170000	95	0,048	0,000238	9,54
180	180000	102	0,051	0,000255	10,10
190	190000	108	0,054	0,000270	10,66
200	200000	113	0,057	0,000283	11,22
210	210000	120	0,060	0,000300	11,78
220	220000	126	0,063	0,000315	12,34
230	230000	132	0,066	0,000330	12,90
240	240000	138	0,069	0,000345	13,46
250	250000	145	0,073	0,000363	14,03
260	260000	150	0,075	0,000375	14,59
270	270000	158	0,079	0,000395	15,15
280	280000	164	0,082	0,000410	15,71
290	290000	170	0,085	0,000425	16,27
300	300000	178	0,089	0,000445	16,83
310	310000	183	0,092	0,000458	17,39

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



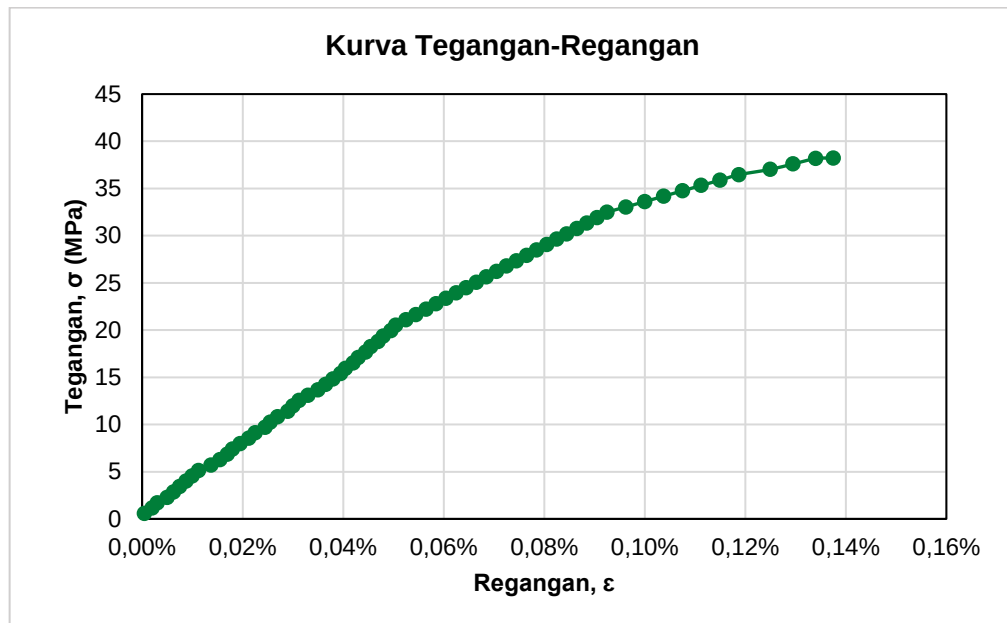
Modulus Elastisitas	
E Uji	36997,20 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30628,92 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28535,75 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF10-4

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	10%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	38,23 Mpa
Luas	17553,845
Lo	200 mm
0,4(Pu)	268,44 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,14
30	30000	12	0,006	0,000030	1,71
40	40000	20	0,010	0,000050	2,28
50	50000	25	0,013	0,000063	2,85
60	60000	30	0,015	0,000075	3,42
70	70000	35	0,018	0,000088	3,99
80	80000	40	0,020	0,000100	4,56
90	90000	45	0,023	0,000113	5,13
100	100000	55	0,028	0,000138	5,70
110	110000	62	0,031	0,000155	6,27
120	120000	68	0,034	0,000170	6,84
130	130000	72	0,036	0,000180	7,41
140	140000	78	0,039	0,000195	7,98
150	150000	85	0,043	0,000213	8,55
160	160000	90	0,045	0,000225	9,11
170	170000	98	0,049	0,000245	9,68
180	180000	102	0,051	0,000255	10,25
190	190000	108	0,054	0,000270	10,82
200	200000	116	0,058	0,000290	11,39
210	210000	120	0,060	0,000300	11,96
220	220000	125	0,063	0,000313	12,53
230	230000	132	0,066	0,000330	13,10
240	240000	140	0,070	0,000350	13,67
250	250000	146	0,073	0,000365	14,24
260	260000	152	0,076	0,000380	14,81
270	270000	158	0,079	0,000395	15,38

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



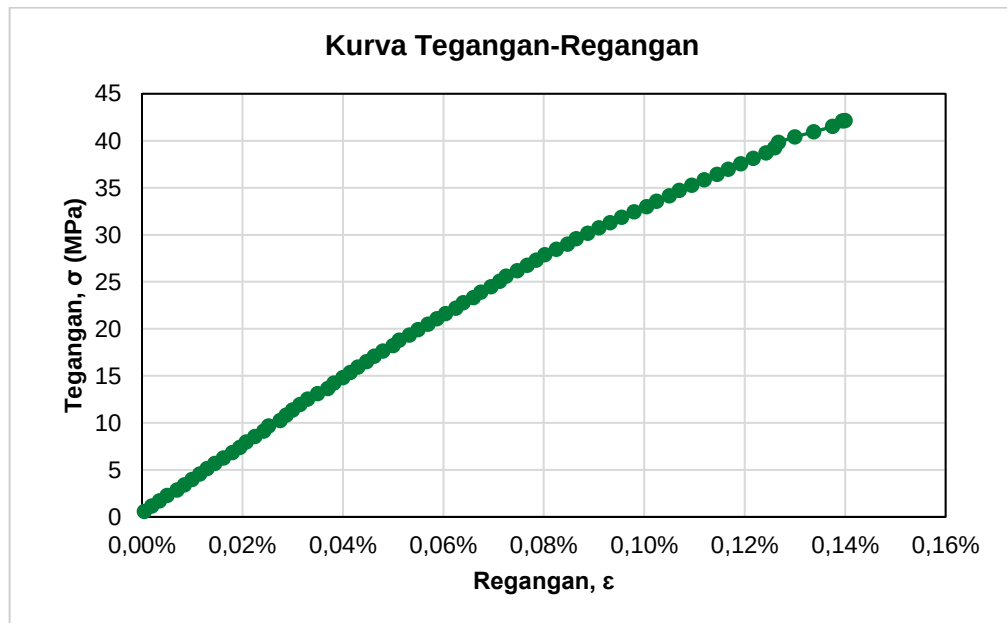
Modulus Elastisitas	
E Uji	37978,38 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	29060,65 MPa
E Teoritis (ACI 363-92)	27427,95 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF10-5

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	0%
Kadar <i>SikaFume</i>	0%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	42,14 Mpa
Luas	17577,337
Lo	200 mm
0,4(Pu)	296,28

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,14
30	30000	14	0,007	0,000035	1,71
40	40000	20	0,010	0,000050	2,28
50	50000	28	0,014	0,000070	2,84
60	60000	34	0,017	0,000085	3,41
70	70000	40	0,020	0,000100	3,98
80	80000	46	0,023	0,000115	4,55
90	90000	52	0,026	0,000130	5,12
100	100000	58	0,029	0,000145	5,69
110	110000	65	0,033	0,000163	6,26
120	120000	72	0,036	0,000180	6,83
130	130000	78	0,039	0,000195	7,40
140	140000	83	0,042	0,000208	7,96
150	150000	90	0,045	0,000225	8,53
160	160000	97	0,049	0,000243	9,10
170	170000	101	0,051	0,000253	9,67
180	180000	110	0,055	0,000275	10,24
190	190000	115	0,058	0,000288	10,81
200	200000	120	0,060	0,000300	11,38
210	210000	126	0,063	0,000315	11,95
220	220000	132	0,066	0,000330	12,52
230	230000	140	0,070	0,000350	13,09
240	240000	148	0,074	0,000370	13,65
250	250000	153	0,077	0,000383	14,22
260	260000	160	0,080	0,000400	14,79
270	270000	166	0,083	0,000415	15,36
280	280000	172	0,086	0,000430	15,93
290	290000	179	0,090	0,000448	16,50
300	300000	185	0,093	0,000463	17,07

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



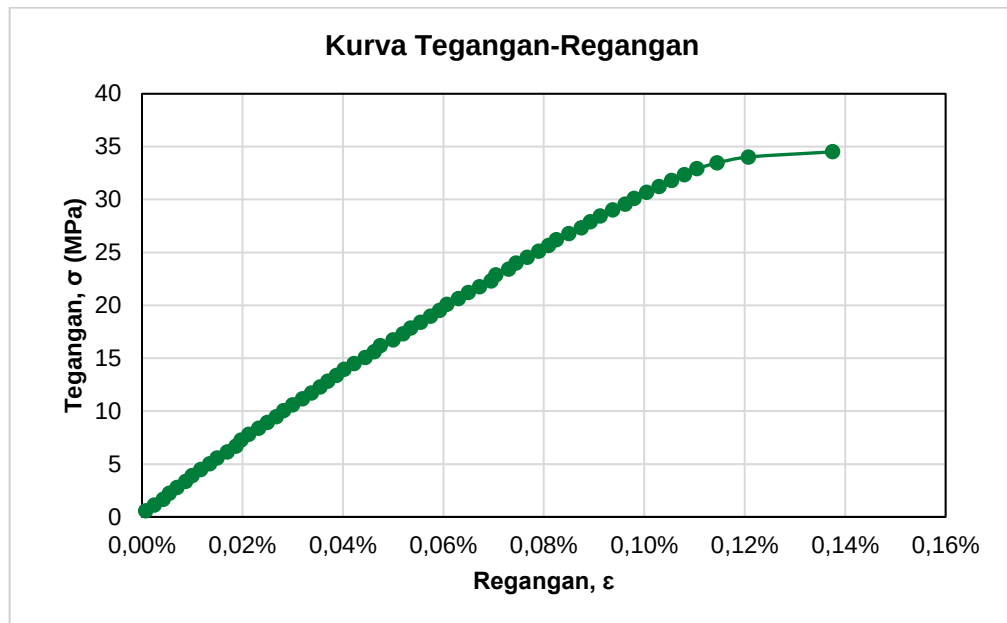
Modulus Elastisitas	
E Uji	35830,48 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	30510,02 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	28451,76 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF12-1

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	12%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	34,51 Mpa
Luas	17931,590
Lo	200 mm
0,4(Pu)	247,52 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,12
30	30000	17	0,009	0,000043	1,67
40	40000	22	0,011	0,000055	2,23
50	50000	28	0,014	0,000070	2,79
60	60000	35	0,018	0,000088	3,35
70	70000	40	0,020	0,000100	3,90
80	80000	47	0,024	0,000118	4,46
90	90000	54	0,027	0,000135	5,02
100	100000	60	0,030	0,000150	5,58
110	110000	68	0,034	0,000170	6,13
120	120000	75	0,038	0,000188	6,69
130	130000	79	0,040	0,000198	7,25
140	140000	85	0,043	0,000213	7,81
150	150000	93	0,047	0,000233	8,37
160	160000	100	0,050	0,000250	8,92
170	170000	107	0,054	0,000268	9,48
180	180000	113	0,057	0,000283	10,04
190	190000	120	0,060	0,000300	10,60
200	200000	128	0,064	0,000320	11,15
210	210000	135	0,068	0,000338	11,71
220	220000	142	0,071	0,000355	12,27
230	230000	148	0,074	0,000370	12,83
240	240000	155	0,078	0,000388	13,38
250	250000	161	0,081	0,000403	13,94

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



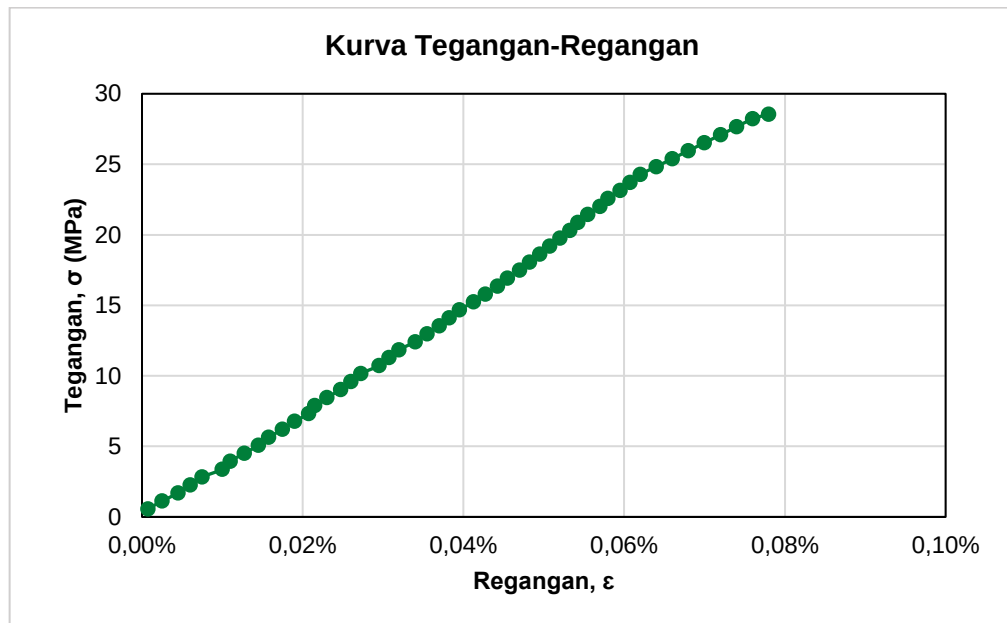
Modulus Elastisitas	
E Uji	33820,82 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27609,82 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26403,11 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF12-2

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	12%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	28,56 Mpa
Luas	17718,614 Mpa
Lo	200 m
0,4(Pu)	202,4 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,13
30	30000	18	0,009	0,000045	1,69
40	40000	24	0,012	0,000060	2,26
50	50000	30	0,015	0,000075	2,82
60	60000	40	0,020	0,000100	3,39
70	70000	44	0,022	0,000110	3,95
80	80000	51	0,026	0,000128	4,52
90	90000	58	0,029	0,000145	5,08
100	100000	63	0,032	0,000158	5,64
110	110000	70	0,035	0,000175	6,21
120	120000	76	0,038	0,000190	6,77
130	130000	83	0,042	0,000208	7,34
140	140000	86	0,043	0,000215	7,90
150	150000	92	0,046	0,000230	8,47
160	160000	99	0,050	0,000248	9,03
170	170000	104	0,052	0,000260	9,59
180	180000	109	0,055	0,000273	10,16
190	190000	118	0,059	0,000295	10,72
200	200000	123	0,062	0,000308	11,29
210	210000	128	0,064	0,000320	11,85

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



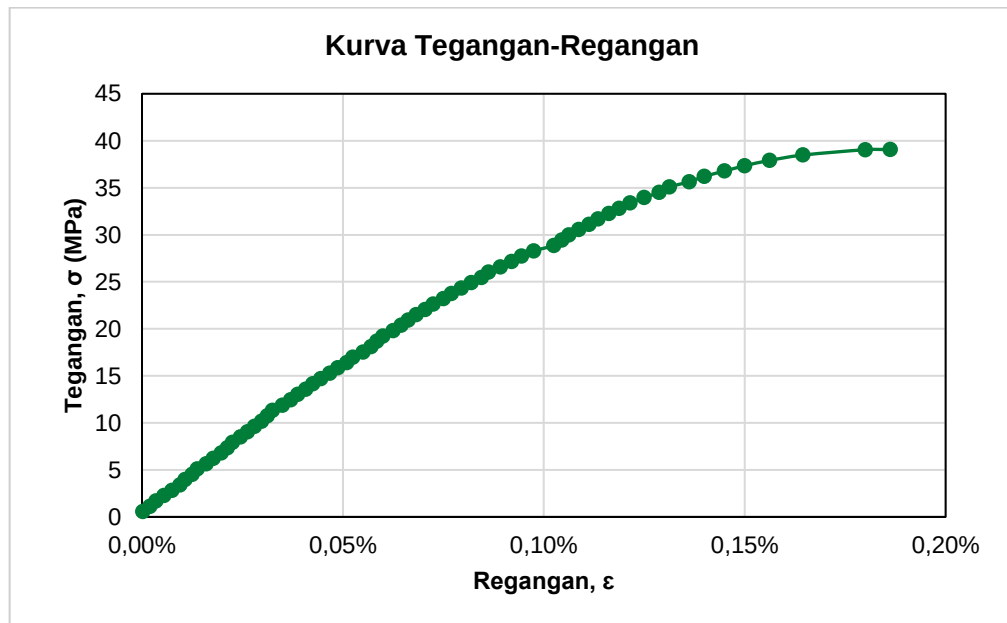
Modulus Elastisitas	
E Uji	36628,62 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	25116,45 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	24641,83 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF12-3

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	12%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	39,06 Mpa
Luas	17671,459 Mpa
Lo	200 mm
0,4(Pu)	276,12

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	1	0,001	0,0000025	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,13
30	30000	14	0,007	0,000035	1,70
40	40000	22	0,011	0,000055	2,26
50	50000	30	0,015	0,000075	2,83
60	60000	38	0,019	0,000095	3,40
70	70000	43	0,022	0,000108	3,96
80	80000	50	0,025	0,000125	4,53
90	90000	55	0,028	0,000138	5,09
100	100000	64	0,032	0,000160	5,66
110	110000	71	0,036	0,000178	6,22
120	120000	79	0,040	0,000198	6,79
130	130000	85	0,043	0,000213	7,36
140	140000	90	0,045	0,000225	7,92
150	150000	98	0,049	0,000245	8,49
160	160000	105	0,053	0,000263	9,05
170	170000	112	0,056	0,000280	9,62
180	180000	119	0,060	0,000298	10,19
190	190000	125	0,063	0,000313	10,75
200	200000	130	0,065	0,000325	11,32
210	210000	140	0,070	0,000350	11,88
220	220000	148	0,074	0,000370	12,45
230	230000	155	0,078	0,000388	13,02
240	240000	163	0,082	0,000408	13,58
250	250000	170	0,085	0,000425	14,15
260	260000	178	0,089	0,000445	14,71
270	270000	187	0,094	0,000468	15,28
280	280000	195	0,098	0,000488	15,84

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



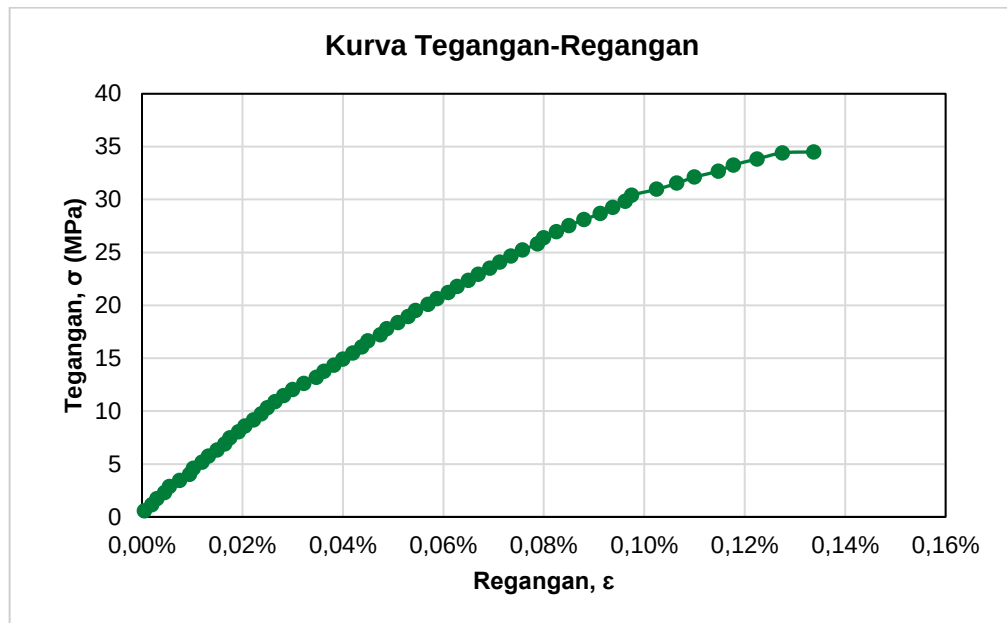
Modulus Elastisitas	
E Uji	31421,63 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27607,09 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	27313,18 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF12-4

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	12%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	34,50 Mpa
Luas	17436,625
Lo	200 mm
0,4(Pu)	240,64 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	2	0,001	0,000005	0,57
20	20000	8	0,004	0,000020	1,15
30	30000	12	0,006	0,000030	1,72
40	40000	18	0,009	0,000045	2,29
50	50000	22	0,011	0,000055	2,87
60	60000	30	0,015	0,000075	3,44
70	70000	38	0,019	0,000095	4,01
80	80000	41	0,021	0,000103	4,59
90	90000	48	0,024	0,000120	5,16
100	100000	53	0,027	0,000133	5,74
110	110000	60	0,030	0,000150	6,31
120	120000	66	0,033	0,000165	6,88
130	130000	70	0,035	0,000175	7,46
140	140000	77	0,039	0,000193	8,03
150	150000	82	0,041	0,000205	8,60
160	160000	89	0,045	0,000223	9,18
170	170000	95	0,048	0,000238	9,75
180	180000	100	0,050	0,000250	10,32
190	190000	106	0,053	0,000265	10,90
200	200000	113	0,057	0,000283	11,47
210	210000	120	0,060	0,000300	12,04
220	220000	129	0,065	0,000323	12,62
230	230000	139	0,070	0,000348	13,19
240	240000	145	0,073	0,000363	13,76
250	250000	153	0,077	0,000383	14,34

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



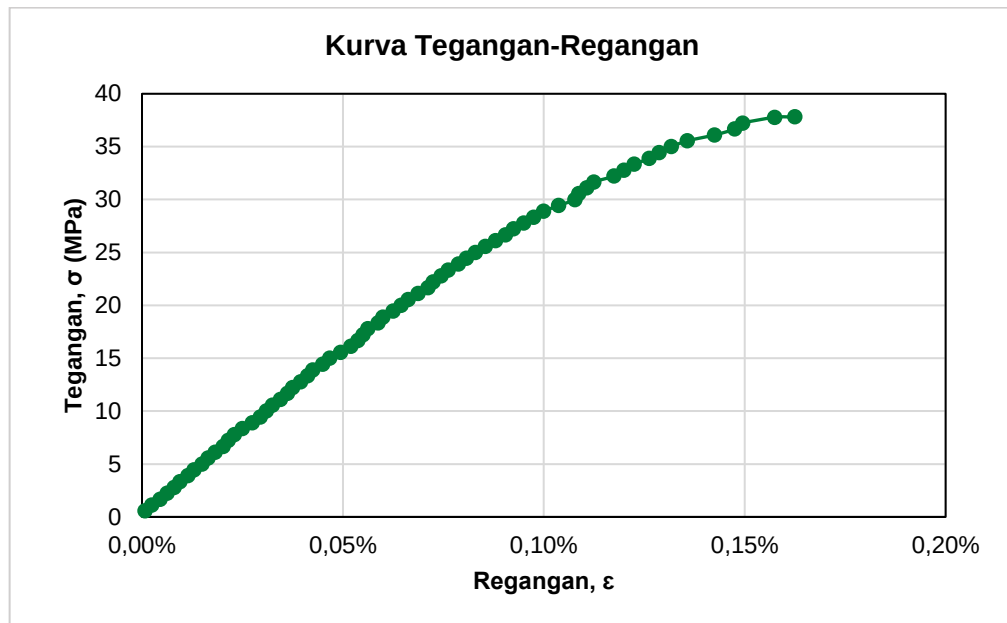
Modulus Elastisitas	
E Uji	35757,73 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	27607,09 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	26401,18 Mpa

Modulus Elastisitas Beton SF12-5

Data Sampel	
Kadar <i>ViscoCrete</i> 1003	1,1%
Kadar <i>SikaFume</i>	12%
Mutu Rencana	32 Mpa
Mutu Hasil Uji	37,81 Mpa
Luas	18002,865 Mpa
Lo	200 mm
0,4(Pu)	272,24 kN

Beban (P)		Ekstensiometer	Deformasi (ΔL)	Regangan (ϵ')	Tegangan (σ)
kN	N	... x 10 ³ mm	mm	%	MPa
10	10000	3	0,002	0,0000075	0,56
20	20000	10	0,005	0,000025	1,11
30	30000	18	0,009	0,000045	1,67
40	40000	25	0,013	0,000063	2,22
50	50000	32	0,016	0,000080	2,78
60	60000	38	0,019	0,000095	3,33
70	70000	46	0,023	0,000115	3,89
80	80000	52	0,026	0,000130	4,44
90	90000	60	0,030	0,000150	5,00
100	100000	66	0,033	0,000165	5,55
110	110000	73	0,037	0,000183	6,11
120	120000	81	0,041	0,000203	6,67
130	130000	86	0,043	0,000215	7,22
140	140000	92	0,046	0,000230	7,78
150	150000	100	0,050	0,000250	8,33
160	160000	110	0,055	0,000275	8,89
170	170000	118	0,059	0,000295	9,44
180	180000	124	0,062	0,000310	10,00
190	190000	130	0,065	0,000325	10,55
200	200000	138	0,069	0,000345	11,11
210	210000	145	0,073	0,000363	11,66
220	220000	150	0,075	0,000375	12,22
230	230000	158	0,079	0,000395	12,78
240	240000	165	0,083	0,000413	13,33
250	250000	170	0,085	0,000425	13,89
260	260000	180	0,090	0,000450	14,44
270	270000	187	0,094	0,000468	15,00
280	280000	198	0,099	0,000495	15,55

Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan



Modulus Elastisitas	
E Uji	31385,85 Mpa
E Teoriris (SNI 2857-2019)	28898,35 Mpa
E Teoritis (ACI 363-92)	27313,30 Mpa

Rekapitulasi Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Variasi Campuran Beton (Umur 28 Hari)		Daimeter (mm)	Tinggi (mm)	Wc (kg/m^3)	F'c (MPa)	ASTM C-469 (MPa)	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 (MPa)	Rerata (MPa)	ACI 363-92 (MPa)	Rerata (MPa)
SF0%-SP0%	1	150,60	305,40	2280,83	32,95	31977,21	31763,85	26978,02	26963,30	25956,81	25946,42
	2	149,80	303,65	2315,74	32,87	31179,48		26948,24		25935,78	
	3	151,20	302,50	2284,46	32,53	31212,33		26806,78		25835,86	
	4	150,00	302,45	2297,96	33,11	32817,17		27044,36		26003,68	
	5	151,75	301,30	2275,86	33,10	31633,07		27039,12		25999,98	
SF6% - SP1,1%	1	149,00	304,20	2377,73	39,26	32950,07	31945,19	29449,99	28436,08	27702,97	26986,76
	2	154,50	303,40	2220,63	36,12	32244,81		28247,69		26853,69	
	3	151,35	304,80	2332,39	37,67	32924,29		28848,37		27278,00	
	4	150,00	300,60	2382,70	34,57	30689,41		27634,19		26420,32	
	5	150,30	300,37	2391,38	35,49	30917,36		28000,18		26678,85	
SF8% - SP1,1%	1	150,90	304,00	2316,08	41,40	36476,05	34469,51	30241,05	29190,71	28261,76	27519,82
	2	150,20	305,30	2320,55	42,62	34172,12		30682,11		28573,32	
	3	151,00	301,60	2323,45	33,72	35749,56		27293,45		26179,63	
	4	150,00	304,50	2308,70	34,85	32525,44		27744,79		26498,45	
	5	150,00	301,70	2361,45	40,72	33424,39		29992,12		28085,93	

Variasi Campuran Beton (Umur 28 Hari)		Daimeter (mm)	Tinggi (mm)	Wc (kg/m ³)	F'c (MPa)	ASTM C-469 (MPa)	Rerata (MPa)	SNI 2847-2019 (MPa)	Rerata (MPa)	ACI 363-92 (MPa)	Rerata (MPa)
SF10% - SP1,1%	1	150,30	302,35	2374,56	42,47	37502,12	36860,55	30631,23	30345,18	28537,38	28335,32
	2	150,10	302,45	2354,32	43,21	35994,57		30895,08		28723,76	
	3	150,65	303,00	2344,03	42,47	36997,20		30628,92		28535,75	
	4	149,50	302,10	2381,47	38,23	37978,38		29060,65		27427,95	
	5	149,60	301,40	2403,45	42,14	35830,48		30510,02		28451,76	
SF12% - SP1,1%	1	151,10	305,60	2236,54	34,51	33820,58	33802,88	27609,82	27721,38	26403,11	26481,91
	2	150,20	304,10	2270,50	28,56	36628,62		25116,45		24641,83	
	3	150,00	303,20	2280,52	39,06	31421,63		29375,18		27650,13	
	4	149,00	306,00	2275,28	34,50	35757,73		27607,09		26401,18	
	5	151,40	304,00	2260,42	37,81	31385,85		28898,35		27313,30	

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Variasi		Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Selimut (mm ²)	Berat Beton (kg)	Beban Maksimal (Kn)	Kuat Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
SF0% - SP0%	1	150,00	304,15	143327,31	12595	214	2,99	2,97
	2	150,80	303,20	143641,66	12476	212	2,95	
	3	149,90	300,75	141630,62	12336	210	2,97	
SF6% - SP1,1%	1	151,10	300,32	142560,30	12816	200	2,81	3,32
	2	151,70	300,15	143042,99	12645	266	3,72	
	3	152,45	300,28	143814,84	12778	247	3,43	
SF8% - SP1,1%	1	150,40	305,45	144323,76	12719	260	3,60	3,51
	2	151,00	305,00	144686,05	12489	237	3,28	
	3	150,60	302,45	143096,31	12573	262	3,66	
SF10% - SP1,1%	1	150,06	304,85	143714,64	12680	265	3,69	3,80
	2	149,30	302,00	141650,01	12707	260	3,67	
	3	149,50	301,20	141464,03	12554	286	4,04	
SF12% - SP1,1%	1	151,30	305,00	144973,51	12440	226	3,04	3,14
	2	151,10	303,00	143832,48	12170	228	3,17	
	3	150,30	303,20	143165,39	12156	225	3,14	

Lampiran 7 Dokumentasi Laboratorium



Gambar L-7. 1 Proses Mixing



Gambar L-7. 2 Pengujian Slump



Gambar L-7. 3 Pencetakan Benda Uji Silinder



Gambar L-7. 4 Benda Uji Silinder Umur 28 Hari



Gambar L-7. 5 Capping Benda Uji Silinder



Gambar L-7. 6 Pemasangan Extensometer



Gambar L-7. 7 Pengujian Kuat tekan dan Modulus Elastisitas Beton



Gambar L-7. 8 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton