

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERBUK KACA SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DAN SILICA FUME
SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN PADA CAMPURAN
BETON NORMAL**

***(THE EFFECT OF GLASS POWDER COMPOSITION AS A PARTIAL
SUBSTITUTE OF FINE AGGREGATE AND SILICA FUME AS A
PARTIAL SUBSTITUTE OF CEMENT ON NORMAL
STRENGTH CONCRETE)***

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



**KISNA HAFIZH JAMAALUDDIN
18511079**

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

2022

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI SERBUK KACA SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS DAN SILICA FUME
SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN PADA CAMPURAN
BETON NORMAL**

***(THE EFFECT OF GLASS POWDER COMPOSITION AS A PARTIAL
SUBSTITUTE OF FINE AGGREGATE AND SILICA FUME AS A PARTIAL
SUBSTITUTE OF CEMENT ON NORMAL
STRENGTH CONCRETE)***

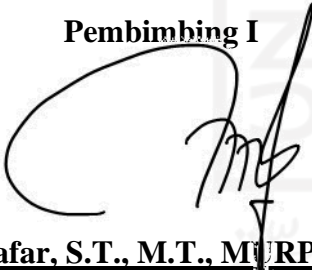
Disusun oleh

**Kisna Hafizh Jamaaluddin
18511079**

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

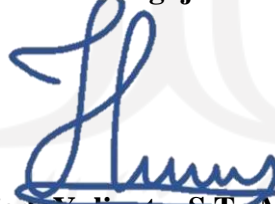
Diuji pada tanggal 04 Agustus 2022
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I



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

Penguji I



Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIK: 155111305

Penguji II



Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.
NIK: 155111306

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun, sebagai syarat penyelesaian program Sarjana dalam Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil penulisan karya sendiri. Namun, terdapat beberapa bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang dikutip dari karya tulis orang lain, sudah disertakan sumbernya dengan jelas sesuai dengan norma, pedoman, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ada ditemukan sebagian atau seluruh penulisan laporan atau terdapat adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima resiko, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 18 Agustus 2022

Yang Membuat Pernyataan



Kisna Hafizh Jamaaluddin

(18511079)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur atas Kehadirat Allah SWT karena atas Rahmat dan Hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Variasi Komposisi Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Dan Silica Fume Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Normal*. Tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak akan berjalan dengan baik tanpa adanya saran, kritik, dan dukungan semangat dari berbagai pihak. Berkaitan dengan hal tersebut, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Jafar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang sudah memberikan bimbingan, arahan, nasihat, kritik, saran, dan dorongan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng. dan Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji yang sudah banyak memberikan pengetahuan, masukan, dan saran ketika menguji penulis sehingga dapat memperbaiki Tugas Akhir ini.
4. Bapak Darussalam dan Suwarno selaku Laboran Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang sudah banyak membantu penulis selama melaksanakan persiapan dan pengujian.
5. Bapak Sukisna, S.Pd. dan Ibu Sri Hartini, S.S. selaku orang tua penulis yang selalu memberikan semangat dan dorongan tanpa kenal lelah kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Dian Puspita Wati yang selalu menyemangati dan mengapresiasi progres ketika penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.

7. Ilham, Fariza, Bang Radit, Hauzan, Fadhil, Irfan, Adlu, Haris, dan teman-teman penulis yang ikut membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini.
8. Bagus, Bima, Ismail, Aziz, dan Indah selaku teman magang yang sudah banyak sekali memberikan semangat dan membantu meringankan pekerjaan penulis di tempat magang selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman Teknik Sipil 2018 yang juga turut memberikan sapaan dan semangat ketika bertemu penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini masih jauh apabila dikatakan sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Terima kasih.

Yogyakarta, 18 Agustus 2022

Penulis,



Kisna Hafizh Jamaaluddin

(18511079)

DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
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	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Penggunaan Serbuk Kaca	5
2.2.2 Penggunaan <i>Silica Fume</i>	6
2.3 Perbandingan Penelitian	6

2.4 Keaslian Penelitian	10
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Tinjauan Umum	11
3.2 Material Penyusun Beton	12
3.2.1 Agregat	12
3.2.2 Semen Portland (PC)	17
3.2.3 Air	19
3.3 Bahan Tambah (admixture)	19
3.3.1 Serbuk Kaca	19
3.3.2 Silica Fume	20
3.4 Perencanaan Campuran Beton Normal	21
3.5 Pengujian Benda Uji	33
3.5.1 Kuat Tekan Beton	33
3.5.2 Kuat Tarik Belah Beton	34
3.5.3 Kuat Lentur Beton	34
3.5.4 Modulus Elastisitas Beton	35
BAB IV METODE PENELITIAN	38
4.1 Tinjauan Umum	38
4.2 Lokasi Penelitian	38
4.3 Sampel Penelitian	39
4.4 Alat dan Material	39
4.4.1 Material	39
4.4.2 Alat yang Dipakai	40
4.5 Tahap Persiapan Penelitian	45
4.5.1 Tahap Persiapan Material	45

4.5.2	Tahap Pengujian Agregat	46
4.6	Tahapan Penelitian	50
4.6.1	Persiapan Benda Uji	51
4.6.2	Tahapan Perencanaan Campuran Beton (Mix Design)	52
4.6.3	Tahapan Pembuatan Campuran Beton (Mixing)	52
4.6.4	Pengujian Workability Beton	52
4.6.5	Perawatan Sampel	52
4.6.6	Pengujian Sampel	52
4.6.7	Analisis Pengujian Benda Uji	54
4.6.8	Kerangka Konsep Penelitian	54
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		56
5.1	Tinjauan Umum	56
5.2	Hasil Pengujian Material	56
5.2.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	56
5.2.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	62
5.2.3	Hasil Pengujian Serbuk Kaca	67
5.3	Perhitungan Rencana Campuran Beton (Trial Mix Design)	72
5.4	Proporsi Campuran Beton	77
5.5	Pengujian Beton	79
5.5.1	Pengujian Nilai Slump	79
5.5.2	Pengujian Kuat Tekan Beton	80
5.5.3	Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	83
5.5.4	Pengujian Kuat Lentur	86
5.5.5	Pengujian Modulus Elastisitas	89
5.6	Pembahasan	99

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	102
6.1 Kesimpulan	102
6.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian	7
Tabel 3.1 Senyawa Penyusun Semen <i>Portland</i>	18
Tabel 3.2 Jenis Semen <i>Portland</i>	18
Tabel 3.3 Kandungan dalam Serbuk Kaca	20
Tabel 3.4 Komposisi Fisika <i>Silica Fume</i>	20
Tabel 3.5 Komposisi Kimia <i>Silica Fume</i>	21
Tabel 3.6 Deviasi Standar	22
Tabel 3.7 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	23
Tabel 3.8 Syarat Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan yang Khusus	25
Tabel 3.9 Ketentuan untuk Kondisi Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat	26
Tabel 3.10 Ketentuan Minimum untuk Kondisi Beton Bertulang Dalam Air	27
Tabel 3.11 Nilai <i>Slump</i>	28
Tabel 3.12 Batas Ukuran Butiran Agregat Kasar	29
Tabel 3.13 Perkiraan Kebutuhan Air / m ³ Beton	29
Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji Silinder	51
Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji Balok	51
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	57
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	58
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	59
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	59

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	60
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	62
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	63
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	64
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	64
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	65
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	65
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kaca	68
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kaca	69
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Serbuk Kaca	71
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Serbuk Kaca	71
Tabel 5.16 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen 0,5 dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia	73
Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton Benda Uji Silinder	78
Tabel 5.18 Proporsi Campuran Beton Benda Uji Balok	78
Tabel 5.19 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Satu Kali <i>Mixing</i>	78
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	79
Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan	81
Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah	84
Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengujian Kuat Lentur	87
Tabel 5.24 Perbandingan Antara Kuat Lentur dengan Kuat Tekan	88
Tabel 5.25 Tegangan-Regangan BN 4	90
Tabel 5.26 Tegangan – Regangan Setelah Koreksi	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-rata dengan Faktor Air Semen (Benda Uji Silinder)	24
Gambar 3.2 Kerucut Abram	27
Gambar 3.3 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 10 mm	30
Gambar 3.4 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 20 mm	31
Gambar 3.5 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 40 mm	31
Gambar 3.6 Perkiraan Berat Isi Beton yang Sudah Didapatkan	32
Gambar 3.7 Tegangan Regangan Beton	36
Gambar 3.8 Modulus <i>Sekan</i> dan Modulus <i>Tangen</i> Beton	37
Gambar 4.1 Semen	39
Gambar 4.2 Bahan Tambah	40
Gambar 4.3 Agregat	40
Gambar 4.4 Bekisting	41
Gambar 4.5 Timbangan	41
Gambar 4.6 Alat Ukur	42
Gambar 4.7 Piknometer	42
Gambar 4.8 <i>Sieve Shaker</i>	42
Gambar 4.9 Kerucut Abram	43
Gambar 4.10 <i>Mixer</i>	43
Gambar 4.11 Oven	44

Gambar 4.12 Ember	44
Gambar 4.13 <i>Compression Testing Machine</i>	44
Gambar 4.14 <i>Ultimate Testing Machines</i>	45
Gambar 4.15 Bagan Alir	55
Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1	61
Gambar 5.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2	61
Gambar 5.3 Gradasi Agregat Kasar Sampel 1	66
Gambar 5.4 Gradasi Agregat Kasar Sampel 2	67
Gambar 5.5 Gradasi Serbuk Kaca	69
Gambar 5.6 Perbandingan Berat Volume	72
Gambar 5.7 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total	74
Gambar 5.8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	75
Gambar 5.9 Contoh Pengujian Nilai <i>Slump</i>	79
Gambar 5.10 Hasil Pengujian Nilai <i>Slump</i>	80
Gambar 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan	81
Gambar 5.12 Pengujian Kuat Tekan	83
Gambar 5.13 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan	83
Gambar 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	84
Gambar 5.15 Pengujian Kuat Tarik Belah	85
Gambar 5.16 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah	86
Gambar 5.17 Pengujian Kuat Lentur Tiap Variasi	87
Gambar 5.18 Pengujian Kuat Lentur	88
Gambar 5.19 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Lentur	88
Gambar 5.20 Pengujian Modulus Elastisitas	89

Gambar 5.21 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan	95
Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Nilai Modulus Berdasarkan Pengujian	97
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Nilai Modulus Berdasarkan Teoritis	98
Gambar 5.24 Perbandingan Hasil Uji Tekan	100



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: ALAT DAN BAHAN

LAMPIRAN 2: PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN

LAMPIRAN 3 : HASIL PENGUJIAN



ABSTRAK

Perkembangan pembangunan yang pesat dan semakin maju tidak selalu diimbangi dengan penanganan limbah yang dihasilkan oleh industri rumahan ataupun industri dengan skala besar. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dan pemanfaatan limbah sebagai salah satu campuran beton. Salah satu limbah yang dapat dengan mudah dijumpai adalah limbah dengan bahan dasar kaca. Kaca tidak dapat terurai secara alami akan tetapi bisa dimanfaatkan. Salah satu bentuk pemanfaatan tersebut adalah sebagai campuran dalam beton. Limbah kaca harus dalam berbentuk serbuk untuk dapat digunakan sebagai pengganti sebagian pasir. Pada penelitian ini, serbuk kaca yang digunakan sebesar 5%, 10%, 15%, 20% dari berat pasir. Selain pasir, material penyusun beton lainnya adalah semen. Semen merupakan material yang kurang ramah lingkungan. Oleh karena itu, digunakan *silica fume* sebesar 10% dari berat semen sebagai substitusi sebagian untuk mengurangi penggunaan semen. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas beton, dan mengetahui pengaruh penambahan serbuk kaca dan *silica fume* pada campuran beton dengan umur 28 hari. SNI 2834-2000 digunakan sebagai acuan dalam perencanaan perhitungan campuran beton. Hasil penelitian menunjukkan hasil tertinggi didapatkan pada keseluruhan pengujian pada beton dengan 5% serbuk kaca dan 10% *silica fume*. Pada pengujian kuat tekan diperoleh nilai tertinggi sebesar 29,42 MPa, kuat tarik belah sebesar 2,78 MPa, kuat lentur sebesar 4,38 MPa, dan modulus elastisitas sebesar 25224,36 MPa. Campuran beton normal mencapai 25,78 MPa pada pengujian kuat tekan, 2,53 MPa pada pengujian kuat tarik, 3,70 MPa pada pengujian kuat lentur, dan 23485,05 MPa pada pengujian modulus elastisitas.

Kata kunci: Serbuk kaca, *Silica fume*, Kuat tekan, Kuat tarik belah, Kuat lentur, Modulus elastisitas

ABSTRACT

The rapid and increasing advanced development is not always balanced with the waste treatment generated by home industries or large-scale industries. Therefore, it is necessary to innovate and utilize waste as an additional material in concrete mixtures. One of the wastes that can be easily found is waste with glass-based materials. Glass waste cannot be decomposed naturally but can be used as an addition of concrete mixture. Glass waste must be in powder form to be used as a partial replacement of sand. In this study, the glass powder used was 5%, 10%, 15%, 20% of the weight of the sand. In addition to sand, another concrete constituent material is cement. Cement is a less environmentally friendly material. Therefore, silica fume of 10% by weight of cement is used as a partial substitution to reduce the use of cement. The research experiment was conducted to determine the value of compressive strength, split tensile strength, flexural strength, modulus of elasticity, and to determine the effect of adding glass powder and silica fume to the concrete mixture when the age of concrete reached 28 days. SNI 2834-2000 is used as a reference in planning the calculation of the concrete mixture. The research showed that the highest results were obtained in the overall test on concrete with 5% glass powder and 10% silica fume. The compressive strength, the highest value was 29,42 MPa, tensile strength was 2,78 MPa, flexural strength of 4,38 MPa, and modulus of elasticity was 25224,36 MPa. The control mixture reached 25,78 MPa in compressive strength, 2,53 MPa in tensile strength, 3,70 MPa in flexural strength, and 23485,05 MPa in modulus of elasticity.

Keywords: *Glass powder, Silica fume, Compressive strength, Tensile strength, Flexural strength, Modulus of elasticity*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan yang begitu pesat terjadi di Indonesia terutama pada bidang konstruksi. Salah satu material yang banyak dipakai dalam proyek konstruksi adalah Beton. Menurut SNI 2847-2019, beton terbentuk dari campuran antara agregat kasar, agregat halus, semen *portland* maupun semen hidrolis dan air, baik itu dengan ataupun tanpa bahan tambah (*admixture*) lainnya.

Perkembangan pembangunan yang pesat dan semakin maju tidak selalu diimbangi dengan penanganan limbah yang dihasilkan oleh industri rumahan maupun industri dengan skala besar (Aryawan & Satriohadi, 2001). Permasalahan sampah dan limbah di Indonesia menjadi hal yang harus diperhatikan karena menimbulkan permasalahan yang serius. Terlebih di kota-kota besar yang jumlah penduduknya sudah sangat banyak dan melampaui batas. Apabila tidak tersedia tempat pembuangan yang memadai, permasalahan tersebut dapat menyebabkan pencemaran air, tanah, udara, dan suara. Dengan adanya teknologi yang tepat guna, permasalahan sampah yang dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan berbagai penyakit bisa diubah menjadi barang baru yang memiliki nilai tinggi dan bermanfaat.

Salah satu limbah yang dapat dengan mudah dijumpai adalah limbah dengan bahan dasar kaca. Kaca tidak dapat terurai secara alami akan tetapi bisa dimanfaatkan. Kaca memiliki kandungan SiO_2 lebih dari 60%. Kandungan tersebut dapat meningkatkan kuat tekan pada beton yang memiliki pengaruh positif terhadap struktur bangunan. Serpihan atau pecahan kaca dihancurkan sampai berbentuk seperti butiran halus disebut dengan serbuk kaca. Serbuk kaca tersebut tidak bersifat porous dan bersifat pozolanik (Hanafiah, 2011). Kaca memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , dan Fe_2O_3 (Setiawan, 2006).

Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang dapat dipakai ulang (*re-use*) salah satunya yaitu sebagai material pengganti sebagian agregat halus. Dalam beberapa tahun terakhir, sudah dilakukan penelitian dalam mengembangkan dan memanfaatkan limbah sebagai material tambahan pada campuran beton. Bentuk pemanfaatan tersebut yaitu dengan memanfaatkan limbah kaca yang sudah melalui penggilingan sehingga berbentuk serbuk (*powder*). Penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi parsial agregat halus dapat meningkatkan kekuatan beton seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Putratama (2018) dan Sejati & Gunawan (2019). Penggunaan serbuk kaca dalam campuran beton tersebut dapat dijadikan alternatif pemanfaatan limbah berbahan dasar kaca.

Serbuk kaca digunakan sebagai substitusi agregat halus dikarenakan memiliki potensi yang menguntungkan karena kaca tidak mengandung lumpur seperti agregat alam dan serbuk kaca memiliki sifat *pozzoland* yang dapat meningkatkan kuat tekan beton (Nurhidayat, 2021). Kandungan silika dalam limbah kaca cukup tinggi sehingga dapat digunakan sebagai opsi bahan tambah dalam campuran beton. Kaca tahan terhadap cuaca, bahan kimia, dan abrasi yang baik (Punusingon, dkk., 2019).

Selain agregat halus, salah satu bahan penyusun beton lainnya adalah semen. Menurut Malhotra (1999) yang dikutip dari Waani (2017), produksi emisi gas CO₂ di alam sebesar 7% berasal dari produksi semen. Setiap pengurangan 1 ton produksi semen dapat mengurangi 1 ton emisi gas CO₂. Untuk itu, diperlukan material alternatif yang bersifat layaknya semen (bersifat *pozzoland*) namun ramah lingkungan. Salah satu material berbahan *pozzolan* tersebut adalah *silica fume*. *Silica fume* biasa digunakan pada campuran pembuatan beton. *Silica fume* dapat meningkatkan kekerasan beton karena sifat *pozzolan* yang dapat terbentuk seperti perekat layaknya semen akibat reaksi antara *Silica Dioksida* (SiO₂) dengan *Calcium Hidroksida* (Ca(OH)₂) dari hidrasi semen (Novianto, 2005). Penelitian yang dilakukan oleh Zai (2014) dan Sudiby, dkk (2021), didapatkan hasil dengan ditambahkan *silica fume* pada beton, nilai kuat tekan beton meningkat. Proporsi optimum *silica fume* yang dapat digunakan sebagai substitusi parsial sebesar 10% terhadap persentase berat semen.

Berdasarkan penjelasan tersebut, diharapkan penelitian ini dengan pemanfaatan serbuk kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus dan *silica fume* sebagai substitusi sebagian semen dapat mengatasi permasalahan yang sudah disebutkan dalam paragraf diatas. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat tarik belah beton?
3. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat lentur beton?
4. Bagaimana pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap modulus elastisitas beton?
5. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk kaca dan *silica fume* pada campuran beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat tarik beton.
3. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap kuat lentur beton.
4. Mengetahui pengaruh penambahan komposisi variasi serbuk kaca dan *silica fume* terhadap modulus elastisitas beton.
5. Untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk kaca dan *silica fume* pada campuran beton

1.4 Manfaat Penelitian

Besar harapan penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh penambahan serbuk kaca dan *silica fume* pada campuran beton terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas beton. Hasil penelitian juga diharapkan dapat digunakan dan diterapkan dalam kegiatan konstruksi.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian terfokus dan tidak melebar, batasan masalah diperlukan. Batasan masalah tersebut sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton yang direncanakan $f'_c = 25$ MPa.
2. Serbuk kaca sebagai variabel bebas 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari volume agregat halus dengan kondisi tidak terkontrol.
3. *Silica fume* produksi PT. Sika Indonesia dengan persentase 10% dari berat semen.
4. Agregat halus berasal dari Sungai Progo.
5. Agregat kasar berasal dari Clereng. Ukuran maksimal agregat sebesar 20 mm.
6. Limbah kaca yang digunakan adalah kaca lampu bening.
7. *Mix design* menggunakan ketentuan dari metode SNI 03-2834-2000.
8. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas masing-masing variasi digunakan benda uji silinder berdimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berjumlah 9 buah.
9. Pengujian kuat lentur dengan pembebanan 2 titik masing-masing variasi digunakan benda uji balok berdimensi panjang 600 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 150 mm berjumlah 3 buah.
10. Pengujian akan dilakukan ketika beton mencapai umur 28 hari.
11. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton dalam pemanfaatannya, diterapkan dalam banyak kondisi seperti konstruksi gedung (untuk pondasi, balok, pelat, dan kolom), konstruksi bangunan air (drainase, bendung, dan bendungan) serta konstruksi struktur jalan (*rigid pavement*). Oleh karena itu, segala aspek ilmu teknik sipil ada kaitannya dengan penggunaan beton tersebut. Menurut SNI 2847:2019, beton terbentuk dari campuran antara agregat kasar, agregat halus, semen *portland* maupun semen hidrolis dan air, baik itu dengan ataupun tanpa bahan tambah (*admixture*) lainnya.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dengan permasalahan atau topik yang sesuai untuk mendapatkan informasi mengenai penelitian sejenis yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai berikut.

2.2.1 Penggunaan Serbuk Kaca

Penelitian yang dilakukan oleh Putratama (2018) memiliki tujuan untuk mengetahui besaran nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat tarik belah pada beton dengan serbuk kaca 3% sebagai bahan pengisi, variasi serbuk kaca 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%, serta 5% *silica fume* untuk beton 28 hari. Kuat tekan yang direncanakan sebesar 20 MPa. Kenaikan nilai kuat tekan terbesar pada variasi 10% serbuk kaca dan 5% *silica fume* sebesar 23,68 MPa dengan kuat tekan beton normal sebesar 17,29 MPa. Nilai modulus elastisitas dengan campuran serbuk kaca cenderung lebih rendah dari beton normal. Kenaikan nilai kuat tarik belah terbesar pada variasi serbuk kaca 10% dan *silica fume* 5% sebesar 3,16 MPa.

Penelitian yang dilakukan oleh Sejati & Gunawan (2019) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada beton normal dengan kuat tekan rencana f'_c 20 MPa. Bahan tambah yang digunakan yaitu serbuk kaca dengan variasi 0%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari. Hasil yang diperoleh yaitu kenaikan nilai kuat tekan terbesar pada variasi serbuk kaca 15% sebesar 27 MPa. Sedangkan beton normal hanya diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 22,54 MPa. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh kesimpulan serbuk kaca dapat meningkatkan kuat tekan beton.

2.2.2 Penggunaan Silica Fume

Penelitian yang dilakukan oleh Zai (2014) memiliki tujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton mutu tinggi (f'_c 70 MPa) dengan campuran *silica fume* variasi 5%, 10%, 15%, dan 20% dan *superplastisizer* 2% dari berat semen pada beton umur 7, 14, 21, dan 28 hari. Hasil yang diperoleh kuat tekan beton normal umur 28 hari sebesar 74,73 MPa. Sedangkan nilai kuat tekan beton optimum diperoleh pada variasi *silica fume* 10% dan *superplasticizer* 2% dengan nilai kuat tekan sebesar 81,76 MPa serta nilai *slump* berkisar 3,63 cm pada pengujian beton umur 28 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudibyo, dkk (2021) memiliki tujuan untuk mengetahui nilai kuat desak beton pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah batu laterit sebesar 20% dan variabel bebas *silica fume* dengan variasi 0%, 5%, 7,5%, 10%, dan 12,5%. Hasil penelitian diperoleh kuat tekan beton normal berumur 28 hari sebesar 26,26 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi pada beton umur 28 hari dengan variasi batu laterit 20% dan *silica fume* 10% sebesar 26,47 MPa.

2.3 Perbandingan Penelitian

Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilaksanakan seperti pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

No.	Peneliti	Zai (2014)	Putratama, J. (2018)	Sejati & Gunawan (2019)	Sudiby, dkk (2021)	Jamaaluddin (2021)
1.	Topik	Pengaruh Penambahan <i>Silica Fume</i> dan <i>Superplasticizer</i> Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Metode Aci (American Concrete Institute).	Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Dan Sebagai Filler Dengan Bahan Tambah <i>Silica Fume</i> Terhadap Sifat Mekanik Beton	Pengaruh Penggunaan <i>Silica Fume</i> dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Penggunaan <i>Silica Fume</i> dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton	Pengaruh Variasi Komposisi Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Dan <i>Silica Fume</i> Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Normal
2.	Batasan Masalah	<ol style="list-style-type: none"> f'_c 70 MPa. <i>Silica Fume</i> sebagai variabel bebas (5, 10, 15, dan 20% dari berat semen). Variabel terikat <i>superplasticiser</i> sebesar 2% terhadap berat semen. 	<ol style="list-style-type: none"> f'_c beton normal 20 MPa. Serbuk kaca sebagai variabel bebas (0, 10, 20, 30, dan 40% dari berat agregat halus) dan 3% sebagai <i>filler</i> dari berat semen. 	<ol style="list-style-type: none"> f'_c beton normal 20 MPa. Serbuk kaca sebagai variabel bebas (0, 15, 20, 25, dan 30% sebagai substitusi agregat halus). 	<ol style="list-style-type: none"> f'_c beton normal 25 MPa. <i>Silica fume</i> sebagai variabel bebas (0, 5, 7,5, 10, dan 12,5% dari berat semen). 	<ol style="list-style-type: none"> f'_c beton normal 25 MPa. Serbuk kaca sebagai variabel bebas (0, 5, 10, 15, dan 20% dari berat agregat halus).

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

No.	Peneliti	Zai (2014)	Putratama, J. (2018)	Sejati & Gunawan (2019)	Sudiby, dkk (2021)	Jamaaluddin (2021)
		4. Pengujian dilakukan saat beton berumur 7, 14, 21, dan 28 hari.	3. <i>Silica fume sebagai variabel terikat (5% terhadap berat semen).</i>	3. Pengujian dilakukan ketika beton berumur 28 hari.	3. Variabel terikat batu laterit sebesar 20% sebagai substitusi agregat kasar. 4. Umur pengujian 7, 14, 28 dan 56 hari..	3. Silica fume sebagai variabel terikat (10% terhadap berat semen). 4. Beton diuji pada umur 28 hari.
3..	Pengujian	1. Kuat Tekan. 2. Uji <i>Slump</i> .	1. Kuat Tekan. 2. Kuat Tarik . 3. Modulus Elastisitas.	1. Kuat Tekan.	1. Kuat Tekan	1. Kuat Tekan. 2. Kuat Tarik Belah 3. Kuat Lentur 4. Modulus Elastisitas.
4.	Hasil	1. Kuat tekan terbesar pada variasi 10% <i>silica fume</i> dan 2% <i>superplasticizer</i> pada beton yang berumur 28 hari sebesar 81,76 MPa..	1. Nilai kuat tekan terbesar pada variasi serbuk kaca 10% dan <i>silica fume</i> 5% sebesar 23,68 MPa.	1. Kuat tekan terbesar pada variasi serbuk kaca 15% sebesar 27 MPa.	1. Pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari dengan kuat tekan terbesar pada variasi <i>silica fume</i> 10% dan batu laterit 20% sebesar 26,47 MPa.	-

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

No.	Peneliti	Zai (2014)	Putratama, J. (2018)	Sejati & Gunawan (2019)	Sudibyo, dkk (2021)	Jamaaluddin (2021)
			<ol style="list-style-type: none">2. Beton dengan campuran serbuk kaca, nilai modulus elastisitasnya lebih rendah daripada beton normal.3. Kuat tarik terbesar terdapat pada beton dengan serbuk kaca 10% dan silica fume 5% sebesar 3,16 MPa.			-

2.4 Keaslian Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dan penelitian terdahulu memiliki perbedaan. Penelitian ini akan menguji mengenai kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas pada beton. Serbuk kaca sebagai variabel bebas (0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap volume agregat halus). *Silica fume* sebagai variabel terikat (10% terhadap berat semen). Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari. Berdasarkan uraian sebelumnya, penelitian dapat dipertanggungjawabkan.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Menurut SNI 2847-2019, beton merupakan campuran dari semen *portland* maupun semen hidrolis lainnya, air, agregat kasar dan halus, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) lainnya. Perhitungan seperti jumlah bahan atau material yang digunakan dengan kondisi tertentu harus direncanakan dengan tepat karena akan memengaruhi kekuatan beton.

Kuat tekan pada beton memiliki nilai yang tinggi namun kuat tarik belah beton nilainya rendah. Besaran kuat tarik belah hanya sekitar 9% – 15% dari kuat tekan. Nilai kuat tarik belah dapat lebih tinggi apabila beton ditambah tulangan sesuai dengan perencanaan kebutuhan (Gideon, dkk., 1993).

Terdapat banyak kelebihan dan kekurangan dari beton tersebut (Mulyono, 2004). Adapun kelebihan beton sebagai berikut.

1. Beton mudah untuk dicetak sesuai dengan bentuk yang dibutuhkan.
2. Beton tahan terhadap air, karat, api, dan pembusukan dari lingkungan.
3. Biaya perawatan rendah.
4. Beton memiliki daya tahan terhadap suhu yang tinggi.

Adapun kekurangan beton dapat dilihat sebagai berikut.

1. Ketika mengeras, bentuk sulit diubah tanpa adanya kerusakan.
2. Dibutuhkan ketelitian yang tinggi dalam proses pembuatannya.
3. Daya pantul besar terhadap suara .
4. Beton memiliki massa yang berat.

Menurut Joni (2017), agar mendapatkan mutu beton yang sesuai dengan perencanaan, proses pembuatannya harus mempertimbangkan hal-hal yang memengaruhi mutu beton. Faktor-faktor yang memengaruhi kualitas pada beton sebagai berikut.

1. Gradasi agregat.
2. Faktor air semen.
3. Jumlah semen setiap m³ beton.
4. Mutu material (agregat, semen, dan bahan tambah).
5. Proses pembuatan.
6. Proses pencetakan.
7. Proses pemeliharaan.
8. Umur beton.

3.2 Material Penyusun Beton

Dalam memenuhi kebutuhan kondisi tertentu, campuran beton dapat diberikan bahan tambah (*admixture*). Material atau bahan penyusun beton sebagai berikut.

3.2.1 Agregat

Menurut SNI 2847:2019, agregat adalah material yang memiliki butiran seperti slag tanur (sebagai pengganti sebagian semen), batu pecah, kerikil, dan pasir, yang digunakan dengan media perekat pada campuran beton. Agregat terbagi menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus dengan penjelasan sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Agregat halus merupakan material yang berasal dari proses alami seperti pelapukan batu ataupun proses buatan (*industry*). Ukuran maksimum untuk agregat halus yaitu 4,8 mm. Menurut PBI 1971, persyaratan agregat halus sebagai berikut.

- a. Kadar lumpur tidak boleh > 5% dari berat kering. Apabila melebihi, agregat harus dibersihkan terlebih dahulu.
- b. Memiliki bentuk butiran tajam dan kuat

- c. Ketika terkena panas dan/atau hujan, agregat tidak mudah hancur
- d. Agregat halus harus memiliki butiran beragam.

Agregat halus berasal dari Sungai Progo. Pengujian agregat halus dilakukan sebelum dimulainya pembuatan beton agar kualitas agregat yang akan digunakan pada campuran beton dapat diketahui. Tahapan pengujian sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis dan penyerapan air sebelum direncakannya *mix design*. Adapun jenis dan perhitungan dari pengujian ini sebagai berikut.

1) Berat jenis mutlak (*bulk specific gravity*).

Berat jenis mutlak merupakan perbandingan berat agregat kering dengan air suling dengan jumlah yang sama seperti isi agregat pada kondisi jenuh dengan temperatur tertentu. Perhitungan pengujian ini dapat dilihat pada Persamaan 3.1 berikut.

$$\text{Berat jenis mutlak} = \frac{Bk}{B - Bt + 500} \quad (3.1)$$

2) Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry / SSD*).

Berat jenis kering permukaan (*SSD*) merupakan perbandingan antara berat agregat dalam keadaan *SSD* dan berat air suling yang jumlah atau isinya sama dengan isi agregat dalam kondisi jenuh pada suhu tertentu. Perhitungan atau analisis berat jenis kering permukaan (*SSD*) dapat dilihat pada Persamaan 3.2 berikut.

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{B - Bt + 500} \quad (3.2)$$

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

Perbandingan berat agregat kering dan air suling dengan jumlah yang sama seperti isi agregat pada kondisi kering dan temperatur tertentu disebut berat jenis semu. Analisis pengujian menggunakan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \quad (3.3)$$

4) Penyerapan air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air terserap oleh pori dengan berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen. Analisis pengujian menggunakan Persamaan 3.4 sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

keterangan:

- 1) Bk = berat kering mutlak benda uji (gram),
- 2) Bt = berat benda uji + air + piknometer (gram), dan
- 3) B = berat piknometer ditambah dengan air (gram).

b. Pengujian Berat Isi Padat.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat volume padat agregat halus yang membandingkan dari massa agregat dengan volume (silinder) pada keadaan padat. Perhitungan pengujian ini menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

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

keterangan:

- 1) W = massa agregat (gram),
- 2) V = volume benda uji silinder (cm³).

c. Pengujian Analisa Saringan.

Pengujian ini memiliki tujuan untuk menentukan sebaran butir (gradasi) benda uji berdasarkan saringan. Analisis pengujian ini menggunakan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

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

$$\text{Modulus halus butir} = \frac{\Sigma(\% \text{ kumulatif}) - 100}{100} \quad (3.7)$$

dengan:

- 1) a = massa agregat dengan kondisi sebelum diayak (gram),
- 2) b = massa agregat dengan kondisi setelah diayak (gram), dan
- 3) $\Sigma(\% \text{ kumulatif})$ = berat tertinggal kumulatif (%).

d. Pengujian Lolos Saringan No.200.

Bertujuan untuk mengetahui banyaknya agregat yang lolos pada saringan No.200 (0,075 mm) yang dilakukan setelah agregat dicuci sampai jernih. Selain itu, kadar lumpur yang masih dapat melewati saringan No.200 dapat diketahui. Menurut PBI 1971, kadar lumpur yang diperbolehkan sebagai syarat yaitu maksimum 5%. Apabila melebihi batas maksimum dapat mengganggu ikatan antara semen dengan agregat halus. Perhitungan pengujian ini menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3.8)$$

dengan:

- 1) W_1 = massa benda uji dalam keadaan kering mutlak (gram),
- 2) W_2 = massa benda uji dalam keadaan kering mutlak setelah dicuci (gram).

2. Agregat Kasar

Agregat kasar menurut SNI 03-2847-2002 merupakan salah satu material penyusun beton yang terbentuk secara alami maupun secara buatan (dengan pemecahan batuan). Ukuran butiran agregat kasar berada pada rentang 5 mm sampai 150 mm. Ukuran maksimum agregat menurut SNI 2847-2019 tidak boleh melebihi 3/4 dari jarak bersih antar tulangan beserta cetakan. Selain itu, tidak boleh melebihi 1/3 kali dari tebal pelat. Menurut PBI 1971, persyaratan agregat kasar sebagai berikut.

- a. Kandungan lumpur tidak boleh > 1%. Apabila melebihi, agregat terlebih dahulu harus dibersihkan.
- b. Tidak boleh terdapat kandungan zat reaktif atau zat perusak beton.
- c. Butiran dalam agregat kasar harus beragam.

Sebelum dilakukan pembuatan campuran beton, pengujian agregat kasar harus dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui mutu material yang akan

dipakai pada campuran beton. Langkah pengujian yang akan dilakukan sebagai berikut..

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air sebelum direncanakannya *mix design*. Adapun jenis dan perhitungan dari pengujian ini sebagai berikut.

1) Berat jenis mutlak (*bulk specific gravity*).

Perbandingan dari berat agregat kering dengan air suling dengan jumlah yang sama seperti isi agregat pada kondisi jenuh dan temperatur tertentu disebut dengan berat jenis mutlak. Pengujian ini menggunakan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis mutlak} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (3.9)$$

2) Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry / SSD*).

Berat jenis kering permukaan (*SSD*) merupakan perbandingan antara berat agregat dalam keadaan *SSD* dan berat air suling yang jumlah atau isinya sama dengan isi agregat dalam kondisi jenuh pada suhu tertentu. Perhitungan atau analisis berat jenis kering permukaan (*SSD*) dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (3.10)$$

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

Berat jenis semu merupakan perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang jumlah atau isinya sama dengan isi agregat dalam kondisi kering pada suhu tertentu. Perhitungan atau analisis berat jenis semu dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (3.11)$$

4) Penyerapan air

Penyerapan air merupakan perbandingan berat air terserap oleh pori dengan berat agregat kering yang dinyatakan dalam persen. Perhitungan atau analisis dari penyerapan air dapat dilihat pada Persamaan 3.12 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.12)$$

keterangan:

- 1) B_k = berat kering mutlak benda uji (gram),
- 2) B_j = berat kering permukaan jenuh (*SSD*) benda uji (gram)
- 3) B_a = berat kering permukaan jenuh benda uji di dalam air (gram)

2. Pengujian berat isi padat.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat dari isi padat agregat kasar dengan perbandingan antara berat agregat dan volume (silinder) pada keadaan padat. Perhitungan atau analisis berat isi padat dapat dilihat pada Persamaan 3.5.

3. Pengujian analisa saringan

Untuk mengetahui sebaran atau pembagian butir (gradasi) agregat kasar berdasarkan ukuran saringan dilakukan pengujian ini. Perhitungan pengujian ini dapat dilihat pada Persamaan 3.6 dan 3.7.

3.2.2 Semen *Portland* (PC)

Semen dapat dikatakan sebagai tulang punggung beton karena merupakan bahan yang menyatukan butir pasir dan kerikil menjadi satu, yang disebut dengan beton. Semen yang bernilai tinggi akan menyebabkan kuat tekan beton menjadi lebih tinggi (Joni, 2017).

Semen *Portland* adalah bahan ikat yang bersifat hidrolis. Sifat hidrolis pada semen yaitu dapat mengalami pengerasan apabila tercampur dengan air. Ketika tercampur dengan air, semen dapat mengikat material menjadi satu. Semen akan menjadi pasta ketika tercampur dengan air. Ketika semen dicampur dengan air dan ditambah pasir akan menjadi adonan semen (mortar). Ketika mortar semen

ditambah dengan kerikil, beton akan terbentuk (Tjokrodinuljo, 2018). Senyawa kimia penyusun semen diantaranya yaitu CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Senyawa kimia yang menyusun semen seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Senyawa Penyusun Semen *Portland*

Senyawa Penyusun	Komposisi (dalam %)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO_2)	20 – 25
Oksida Besi (Fe_2O_3)	7 – 12
Alumina (Al_2O_3)	7 – 12

Sumber: Mulyono (2004)

Dalam penelitian ini, digunakan semen tipe I. Menurut SNI 2049-2004, terdapat tipe semen jenis berbeda yang disesuaikan dengan tujuan penggunaannya. Tipe tersebut terbagi menjadi 5 kategori yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Jenis Semen *Portland*

Tipe	Fungsi
Tipe I	Digunakan untuk konstruksi bangunan umum tanpa persyaratan khusus.
Tipe II	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan ketahanan sulfat.
Tipe III	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang membutuhkan kekuatan awal tinggi.
Tipe IV	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang terdapat panas hidrasi tinggi,
Tipe V	Digunakan untuk konstruksi bangunan yang diharuskan tahan terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air dalam campuran beton memegang peranan penting dikarenakan tanpa adanya air, keseluruhan material tidak dapat tercampur menjadi satu. Pada campuran beton, dapat menggunakan air laut, tawar (seperti air yang berasal dari sungai, telaga, danau, dan lain sebagainya), dan limbah dengan syarat memenuhi persyaratan serta mutu yang ada (Mulyono, 2004).

Menurut American Concrete Institute (1990), yang dikutip dari Mulyono (2004), pembuatan campuran beton harus menggunakan air yang bersih. Air tidak boleh mengandung hal-hal berikut:

1. asam,
2. minyak,
3. alkali, dan
4. zat organis dan/atau bahan lain merusak beton.

3.3 Bahan Tambah (*admixture*)

Menurut Tjokrodimuljo (2018), bahan tambah merupakan bahan yang digunakan dalam campuran pembuatan beton guna memperbaiki atau mengubah sifat tertentu pada beton. Bahan tambah yang dipakai adalah serbuk kaca dan *silica fume* dengan rincian sebagai berikut.

3.3.1 Serbuk Kaca

Kaca merupakan benda yang dengan mudah dijumpai. Kaca memiliki sifat yang khas daripada golongan keramik yang lain. Sifat khas kaca tersebut disebabkan oleh proses pembentukannya yang mengandung silika (Sayyidina, 2019). Kaca tahan terhadap abrasi, cuaca dan zat kimia dikarenakan kaca mengandung silika (Apriwelni & Wirawan, 2020). Kandungan serbuk kaca dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Kandungan dalam Serbuk Kaca

Penyusun	Persentase (%)
SiO ₂	61,27
Al ₂ O ₃	3,45
CaO	2,59
Fe ₂ O ₃	0,18

Sumber: Hanafiah (2011)

3.3.2 Silica Fume

Silica fume atau dikenal juga dengan nama *mikrosilika* merupakan *admixture* yang berupa pozzolan halus. Kandungan paling tinggi pada *silica fume* yaitu unsur silika (SiO₂). Kekuatan beton dapat bertambah dengan kandungan tersebut apabila ditambahkan dalam campuran pembuatan beton (Sayyidina, 2019).

Kandungan SiO₂ dalam *silica fume* mencapai lebih dari 90% dengan ukuran butiran yang halus (0,1–1 mikron, dimana ukuran butirannya lebih kecil daripada semen yang memiliki ukuran 5–50 mikron). Kuat tekan beton yang tinggi dapat dihasilkan dengan menggunakan bahan tambah *silica fume* (Zai, 2014). Komposisi fisika dan kimia dari *silica fume* ditunjukkan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Komposisi Fisika Silica Fume

Kimia	Nilai
Berat jenis	2,02
Ukuran partikel rata-rata	0,1 mikron
Lolos ayakan no.325	99,00%
Tingkat PH (10% kandungan air pada campuran)	7,3

Sumber: Mulyono (2004)

Tabel 3.5 Komposisi Kimia Silica Fume

Kimia	Persentase
Silika (SiO ₂)	92 – 94 %
Karbon	3 – 5 %
Biji besi (Fe ₂ O ₃)	0,1 – 0,5 %
Alumina (Al ₂ O ₃)	0,2 – 0,3 %
Magnesia (MgO)	0,1 – 0,2 %
Kalsium Oksida (CaO)	0,1 – 0,15 %
Kalium Oksida (K ₂ O)	0,1 %
Sodium Oksida (Na ₂ O)	0,1 %
Mangan Dioksida (MnO)	0,008 %

Sumber: Mulyono (2004)

3.4 Perencanaan Campuran Beton Normal

SNI 03-2834-2000 merupakan acuan yang digunakan dalam penelitian ini. Perencanaan campuran beton (*mix design*) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan yang sesuai dengan perencanaan. Berikut ini merupakan tahapan dalam perencanaan campuran beton.

1. Kuat Tekan yang Ditetapkan

Langkah pertama yaitu menentukan kuat tekan rencana (f'_c). Kuat tekan yang direncanakan merupakan kuat tekan pada beton yang berumur 28 hari, yang selanjutnya digunakan dalam perencanaan struktur.

2. Nilai Tambah

Persamaan 3.13 digunakan untuk menghitung nilai tambah sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times S_r \quad (3.13)$$

dengan:

- M = nilai tambah,
- 1,64 = ketetapan statistik yang nilainya berdasarkan persentase dari hasil uji yang gagal yang tidak boleh lebih dari 5%, dan
- S_r = nilai deviasi standar.

Nilai deviasi standar ditentukan berdasarkan data yang sudah ada atau diambil berdasarkan tingkat pengendalian mutu pekerjaan seperti pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Deviasi Standar

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

3. Kuat Tekan Rencana Rata-rata (f_{cr})

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan rencana rata-rata, digunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$f_{cr} = f'_c + M \quad (3.14)$$

keterangan:

- f_{cr} = rata-rata nilai kuat tekan (MPa)
- f'_c = nilai kuat tekan rencana (MPa)
- M = *margin* atau nilai tambah (MPa)

4. Faktor Air Semen

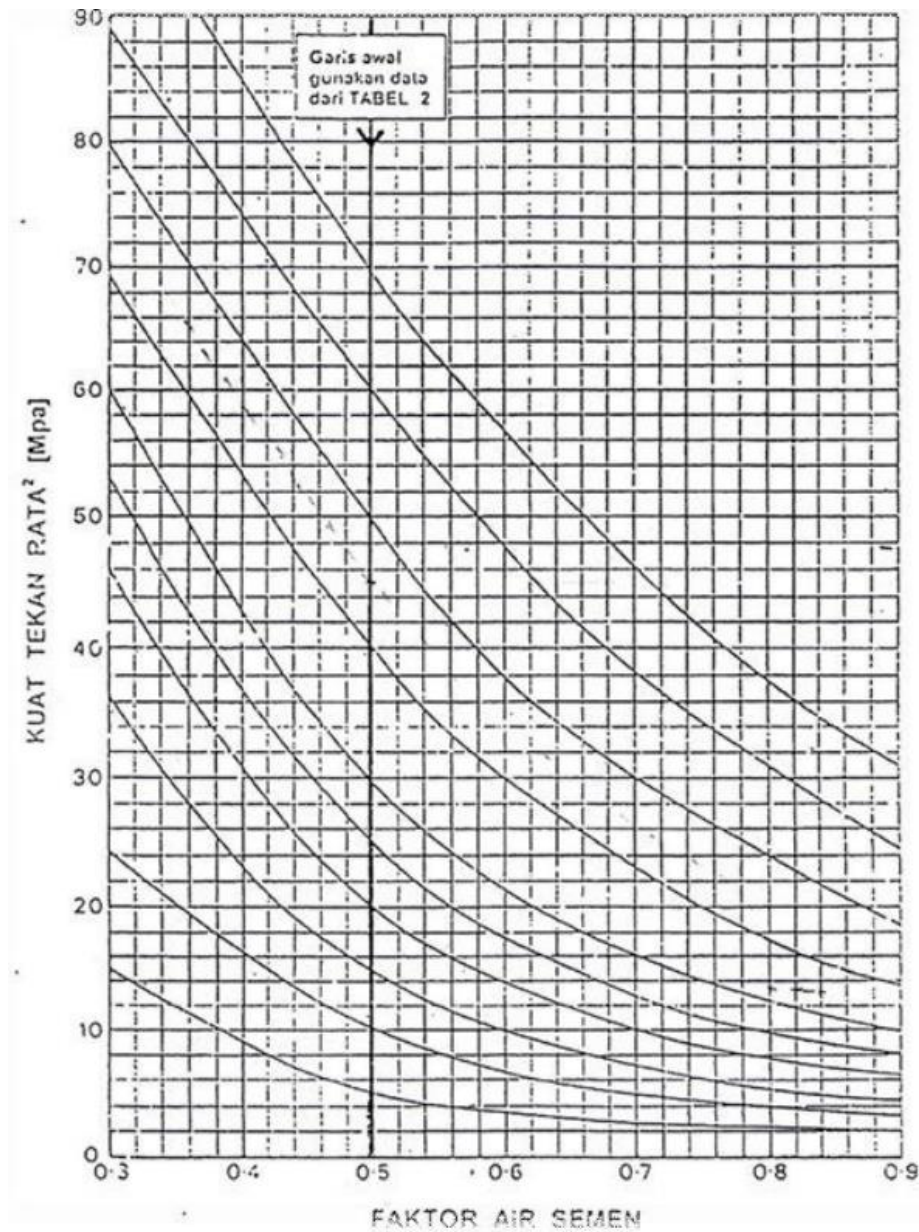
Supaya nilai rata-rata kuat tekan mencapai apa yang sudah direncanakan, dibutuhkan pemilihan faktor air berdasarkan grafik pada Gambar 3.1. Selain grafik, pemilihan faktor air semen juga seperti pada Tabel 3.7 sebagai acuan awal untuk menentukan faktor air semen sebagai berikut.

Tabel 3.7 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

Tipe Semen	Tipe Agregat Kasar	Kuat Tekan Beton (MPa)				Bentuk
		Umur (hari)				
		3	7	28	91	
Semen <i>Portland</i> (I) atau Semen Tahan Sulfat (II, V)	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen <i>Portland</i> (III)	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen <i>Portland</i> (III)	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Apabila nilai perkiraan kuat tekan sudah ditetapkan berdasarkan Tabel 3.7, dilakukan pencarian faktor air semen dengan perencanaan melalui Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan Rata-rata dengan Faktor Air Semen (Benda Uji Silinder)

Sumber: SNI 03-2834-2000

Apabila faktor air semen sudah diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai maksimum dari faktor air semen dengan menggunakan Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Syarat Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan yang Khusus

Tipe Beton	Semen Minimum / m ³ beton (kg)	Faktor air semen maksimum
Beton yang berada di dalam ruang		
a. kondisi sekeliling non-korosif	275	0,6
b. kondisi sekeliling korosif dikarenakan kondensasi dan/atau dikarenakan uap korosif	325	0,52
Beton yang berada di luar ruangan		
a. keadaan tak terlindung hujan dan terik matahari langsung	325	0,6
b. keadaan terlindung hujan dan terik matahari langsung	275	0,6
Beton yang masuk ke dalam tanah		
a. keadaan mengalami kondisi basah dan kering yang berganti-ganti	325	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah sekitar		Lihat Tabel 3.9
Beton yang kondisinya berhubungan terus-menerus dengan air tawar dan air laut		Lihat Tabel 3.10

Sumber: SNI 03-2834-2000

Perencanaan beton yang ada kaitannya dengan air tanah dengan kandungan sulfat dan perencanaan beton di dalam air dapat dilihat pada Tabel 3.9 Tabel 3.10 sebagai berikut.

Tabel 3.9 Ketentuan untuk Kondisi Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Kadar sulfat	Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Tipe Semen	Kandungan semen minimum dalam ukuran normal agregat maksimum ($\frac{kg}{m^3}$)			Faktor air semen (fas)
	Dalam tanah		SO ₃ pada air tanah ($\frac{g}{L}$)		40 mm	20 mm	10 mm	
	Total SO ₃ (%)	SO ₃ pada campuran air : tanah (2:1) ($\frac{g}{L}$)						
1	< 0,2	< 1,0	< 0,3	Type I dengan/tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	300	350	0,5
2	0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,4 – 1,2	Type I dengan/tanpa Pozzolan (15 – 40%)	290	330	350	0,5
				Type I Pozzolan (15 – 40%) / Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0,55
				Type II / Tipe V	270	310	360	0,55
3	0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Type I Pozzolan (15 – 40%) / Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0,45
				Type II / Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Type II / Tipe V	330	370	420	0,45
5	> 20	> 5,6	> 5,0	Type II / Tipe V dan Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Sumber: SNI 03-2834-2000

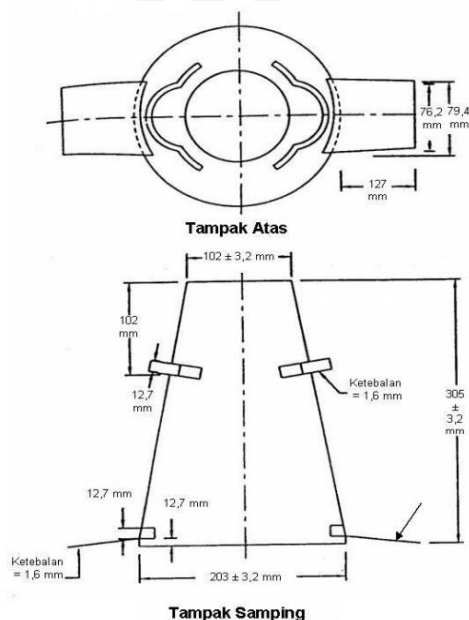
Tabel 3.10 Ketentuan Minimum untuk Kondisi Beton Bertulang Dalam Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan Sekitar	Faktor air semen maksimum (fas)	Tipe Semen yang Digunakan	Kandungan Semen Minimum (kg/m^3)	
				Ukuran Nominal Maksimum Agregat (mm)	
				40 mm	20 mm
Bertulang / Pra tegang	Air Tawar	0,50	Tipe V	280	300
	Air Payau	0,45	Tipe I Pozzolan (15 – 40%) / Semen Portland Pozzolan	340	380
	Air Laut	0,50	Tipe II V	330	370

Sumber: SNI 03-2834-2000

5. Nilai *Slump*

Untuk mengetahui kelecakan suatu beton segar, diperlukan pengujian *slump*. SNI 1972-2008 merupakan acuan dalam pengujian ini. Kerucut Abram merupakan alat yang digunakan dalam pengujian seperti pada Gambar 3.2 berikut.

**Gambar 3.2 Kerucut Abram**

Sumber: SNI 1972-2008

Nilai *slump* ditentukan berdasarkan kegunaan dari beton itu sendiri. Nilai tersebut berbeda-beda sesuai dengan kategorinya. Nilai *slump* berdasarkan kategori dapat dilihat pada Tabel 3.11 sebagai berikut.

Tabel 3.11 Nilai *Slump*

No	Elemen Struktur	<i>Slump</i> Maksimal (cm)	<i>Slump</i> Minimal (cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Pondasi telapak tak bertulang, kaisan, dan konstruksi di bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat (lantai), balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

Sumber: PBI 1971

6. Ukuran Butiran Maksimum Agregat

Ukuran butiran agregat dapat memengaruhi tingkat kemudahan pekerjaan dan kekuatan beton. Dalam SNI 2847-2019, ukuran butiran maksimum agregat tidak boleh melebihi dari uraian berikut.

- a. Tidak boleh lebih dari $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang samping cetakan.
- b. Tidak boleh lebih dari $\frac{1}{5}$ tebal pelat.
- c. Tidak boleh lebih dari $\frac{3}{4}$ dari jarak bersih minimum antara batang atau berkas tulangan.

Batas ukuran agregat tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Batas Ukuran Butiran Agregat Kasar

Ukuran mata ayakan (mm)	Persentase berat lolos saringan		
	Ukuran maksimum agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
38,1	95-100	100	100
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

sumber: SNI 03-2834-2000

7. Kadar Air Bebas

Penentuan kadar air bebas dapat menggunakan Tabel 3.13 dan dilanjutkan dengan perhitungan menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.15)$$

keterangan:

- W_h = jumlah air yang digunakan untuk agregat halus (perkiraan),
- W_k = jumlah air yang digunakan untuk agregat kasar (perkiraan).

Tabel 3.13 Perkiraan Kebutuhan Air / m³ Beton

Ukuran Agregat Maksimum (mm)	Jenis Batuan	<i>Slump</i> (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

8. Kebutuhan Semen

Analisis untuk mengetahui kebutuhan air semen menggunakan tahapan sebagai berikut.

a. Menghitung kebutuhan semen

Dihitung dengan menggunakan perbandingan antara kebutuhan air dan faktor air semen maksimum seperti pada Persamaan 3.16 berikut

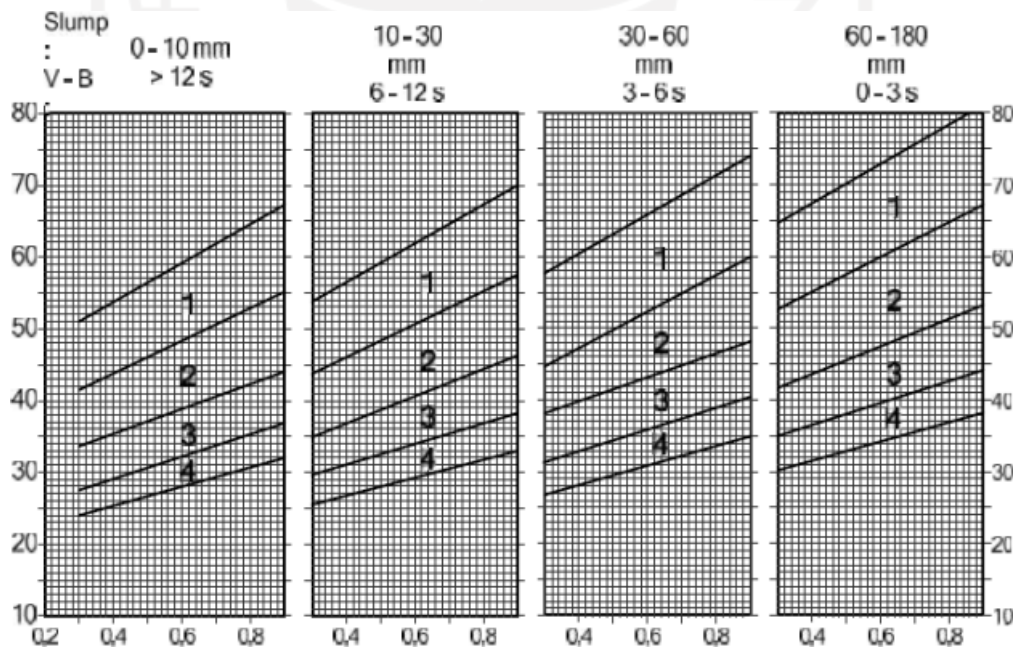
$$W_{\text{semen}} = \frac{W_{\text{air}}}{fas} \quad (3.16)$$

b. Menghitung kebutuhan semen minimum

Diperoleh menurut Tabel 3.9, dan Tabel 3.10. Apabila kebutuhan semen minimum dengan menggunakan langkah (a) besarnya kurang dari langkah (b), maka dipakai nilai terbesar diantara keduanya.

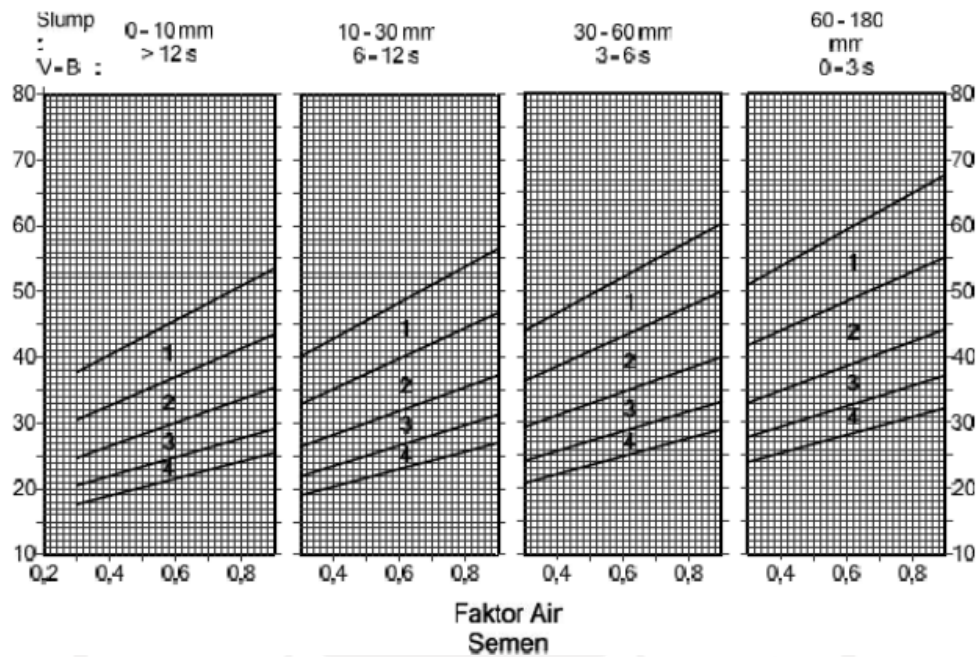
9. Jumlah Persentase Agregat Halus

Persentase jumlah dari agregat halus dapat ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat kasar, besaran nilai *slump*, faktor air semen (*fas*), dan gradasi agregat halus. Untuk menentukannya, dapat dilihat pada Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5 berikut.



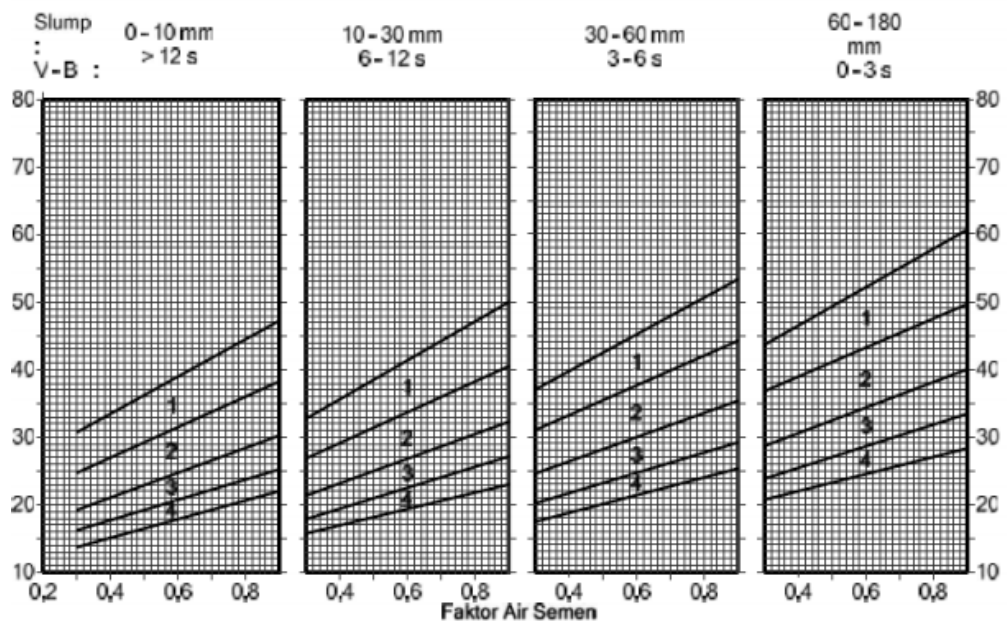
Gambar 3.3 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 10 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.4 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 20 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000



Gambar 3.5 Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir dengan Nilai Maksimum 40 mm

Sumber: SNI 03-2834-2000

10. Berat Relatif Gabungan

Berat jenis relatif gabungan diantara agregat kasar dan agregat halus dapat ditentukan atau dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

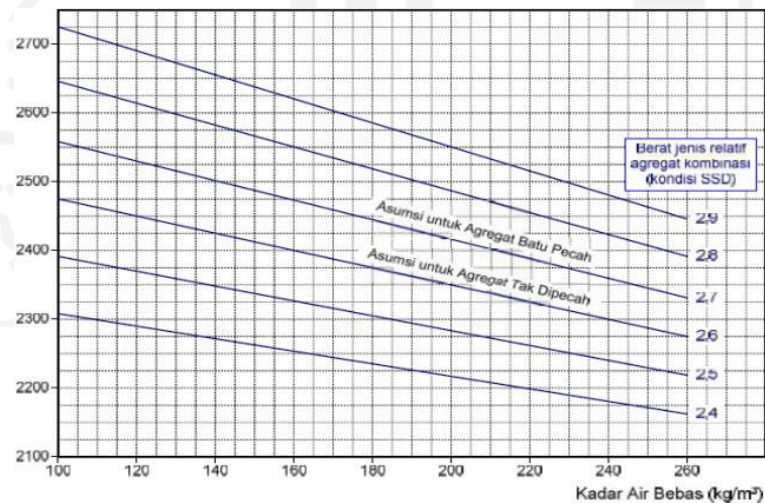
$$Bj_{gabungan} = \% AH \times Bj_{halus} + \% AK \times Bj_{kasar} \quad (3.17)$$

dengan:

- $Bj_{gabungan}$ = berat jenis dari agregat gabungan,
- Bj_{kasar} = berat jenis dari agregat kasar
- Bj_{halus} = berat jenis dari agregat halus

11. Berat Jenis Beton

Berat beton merupakan berat gabungan dari seluruh campuran yang tersusun atas semen, agregat kasar, agregat halus, dan pasir dalam satuan kilogram per meter kubik. Penentuan berat beton dapat dilakukan dengan data berat jenis gabungan (agregat kasar dan halus) dengan kadar air bebas ke dalam Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Perkiraan Berat Isi Beton yang Sudah Didapatkan

Sumber: SNI 03-2834-2000

12. Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran beton terdiri dari air, semen, agregat halus, dan agregat kasar. Proporsi campuran beton perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu sebelum dilakukannya pencampuran material. Perhitungan proporsi campuran beton dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.18 dan Persamaan 3.19 berikut.

$$W_{halus} = (W_{isibeton} - W_{semen} - W_{air}) \times \% AH \quad (3.18)$$

$$W_{kasar} = (W_{isibeton} - W_{semen} - W_{air}) \times \% AK \quad (3.19)$$

dengan:

- a. $W_{isibeton}$ = berat isi beton
- b. W_{semen} = berat isi semen
- c. W_{air} = berat air
- d. $\% AH$ = persen dari agregat halus
- e. $\% AK$ = persen dari agregat kasar

3.5 Pengujian Benda Uji

Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

3.5.1 Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 03-1974-1990 kuat tekan merupakan besaran beban maksimum dibagi dengan luas yang dapat menyebabkan benda uji akan hancur apabila diberikan gaya tekan dengan nilai tertentu.

Nilai kuat tekan menurut SNI 1974-2011 diperoleh dengan melakukan uji laboratorium menggunakan mesin tekan. Perhitungan kuat tekan dapat menggunakan Persamaan 3.20 sebagai berikut.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (3.20)$$

dengan:

- a. f_c' = kuat tekan (MPa)

- b. P = gaya tekan maksimum (N)
- c. A = luas penampang silinder (mm^2)

3.5.2 Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kuat tarik belah pada beton dengan benda uji silinder yang diberikan beban. Pembebanan dilakukan dengan meletakkan benda uji secara mendatar pada permukaan meja (SNI 03-2491-2002).

Perhitungan analisis pengujian menggunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$f_{ct} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times L} \quad (3.21)$$

dengan:

1. f_{ct} = nilai kuat tarik belah (MPa)
2. P = gaya maksimum (N)
3. D = diameter benda uji (mm)
4. L = tinggi benda uji (mm)

3.5.3 Kuat Lentur Beton

Pengujian ini menggunakan benda uji balok. Kemampuan balok menahan gaya searah tegak lurus dengan sumbu benda uji dari dua peletakkan alat uji disebut dengan kuat lentur. Pemberian beban pada balok tersebut dilakukan hingga sampel patah dan didapatkan nilai besaran kuat lentur (MPa) (SNI 4154-2014). Pengujian dilaksanakan ketika beton berumur 28 hari.

Perhitungan pengujian dengan sistem pembebanan dua titik sesuai dengan SNI 4431-2011 dibedakan menjadi 3 kondisi sebagai berikut.

1. Apabila saat pengujian, letak patahan nya berada di daerah pusat di 1/3 jarak titik dari perletakan di bagian tarik pada beton dapat menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$f_{lt} = \frac{P \times L}{b \times h^2} \quad (3.22)$$

2. Jika patah diluar pusat dan jarak patahan antar titik dengan pusat beban $< 5\%$ dari titik peletakkan, maka perhitungan menggunakan Persamaan 3.23 berikut.

$$f_{lt} = \frac{3 \times P \times c}{b \times h^2} \quad (3.23)$$

3. Apabila patahan yang terjadi saat pengujian terletak di bagian luar pusat dan $> 5\%$ dari titik peletakkan, hasil pengujian tidak valid dan tidak dapat digunakan.

dengan:

1. f_{lt} = Kuat lentur (MPa)
2. P = Beban maksimum (N)
3. L = Panjang bentang (mm)
4. b = lebar rata-rata tampang runtuh (mm)
5. h = tinggi rata-rata tampang runtuh (mm)
6. c = Jarak rata-rata antara tampang melintang patah dan tumpuan terdekat, diukur pada empat tempat pada sisi titik dari bentang.

3.5.4 Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas menurut SNI 2826-2008 perbandingan antara tegangan dan regangan aksial pada deformasi yang elastis dengan *output* dinyatakan dalam satuan MPa.

Berdasarkan ASTM C469-94, modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.24 berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3.24)$$

dengan:

1. E_c = nilai modulus elastisitas.
2. S_1 = nilai tegangan ketika regangan sebesar 0,00005 (MPa).
3. S_2 = nilai tegangan ketika mencapai 40% dari besarnya tegangan batas (MPa).

4. ε_2 = regangan longitudinal akibat tegangan sebesar S_2 .

Modulus elastisitas pada beton normal dengan berat volume berkisar 1400 sampai 2560 kg/m³ menurut SNI 2847-2019 pasal 19.2.2 dapat menggunakan Persamaan 3.25 dan Persamaan 3.26 berikut.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.25)$$

$$E_c = W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \quad (3.26)$$

dengan:

$$\sqrt{f'_c} = \text{Kuat tekan beton (MPa)}$$

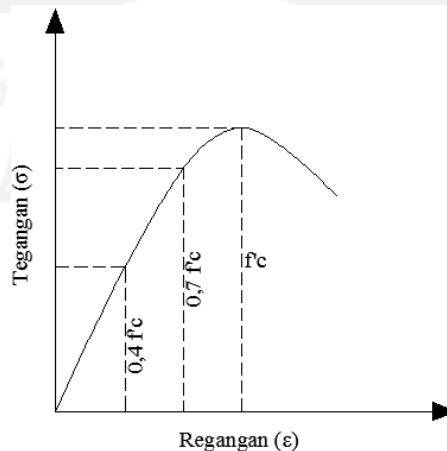
$$W_c^{1,5} = \text{Berat volume beton (kg/m}^3\text{)}$$

Menurut Nawy (1990), apabila nilai tegangan sudah mencapai $0,4 \times f'_c$ maksimum kurva tegangan-regangan masih linear seperti Gambar 3.7 dan Gambar 3,8, analisis menggunakan Persamaan 3.27 sebagai berikut.

$$E_c = \frac{0,4 \times f'_c}{\varepsilon_{0,4}} \quad (3.27)$$

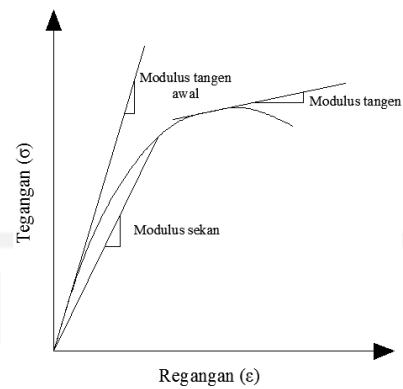
dengan:

1. f'_c = tegangan tekan maksimum (MPa)
2. $\varepsilon_{0,4}$ = regangan ketika tegangan tekan sudah mencapai nilai 0,4 dari tegangan tekan maksimumnya.



Gambar 3.7 Tegangan Regangan Beton

Sumber: Nawy (1990)



Gambar 3.8 Modulus Sekan dan Modulus Tangen Beton

Sumber: Nawy (1990)

Menurut SNI 2826-2008, modulus *sekan* adalah nilai dari modulus elastisitas yang dihitung berdasarkan pada tegangan di posisi 0% sampai dengan 50% dari tegangan maksimum. Modulus *tangen* merupakan nilai dari modulus elastisitas yang dihitung berdasarkan garis linear dan kurva tegangan-regangan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Suatu langkah ilmiah untuk pengumpulan data dengan tujuan tertentu disebut dengan metode penelitian. Langkah ilmiah tersebut merupakan kegiatan penelitian dengan dasar prinsip keilmuan seperti rasional, sistematis, dan empiris (Darmadi, 2013). Secara umum, tahapan penelitian dapat dirincikan sebagai berikut.

1. Tahap persiapan yang meliputi lokasi dan sampel penelitian, serta alat dan bahan penelitian yang disesuaikan dengan standar yang digunakan.
2. Tahap pelaksanaan penelitian yang meliputi pembuatan benda uji (masing-masing variasi menggunakan 9 benda uji silinder dan 3 benda uji balok) dan pengujian nilai *slump* pada beton.
3. Tahapan pengujian yang dilakukan setelah sampel benda uji selesai dibuat dan dicetak serta telah melalui proses perawatan. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengujian karakteristik beton seperti berikut.
 - a. kuat tekan,
 - b. kuat tarik belah,
 - c. kuat lentur, dan
 - d. modulus elastisitas,
4. Tahapan setelah uji laboratorium selesai dilakukan, pengumpulan data dan hasil pengujian dapat dilakukan.
5. Tahapan pengolahan data yang meliputi pengolahan data hasil pengujian.

4.2 Lokasi Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.3 Sampel Penelitian

Sampel penelitian berupa benda uji berbentuk silinder dan balok. Pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas menggunakan benda uji silinder. Uji kuat lentur menggunakan benda uji balok.

Benda uji silinder berdimensi diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji balok berdimensi panjang 600 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 150 mm. Direncanakan mutu beton f'_c 25 MPa dengan 5 variasi serbuk kaca sebagai variabel bebas (0, 5, 10, 15, dan 20% dari berat agregat halus) dan *silica fume* sebagai variabel terikat 10% dari berat semen. Masing-masing variasi menggunakan benda uji sebanyak 12 silinder dan 3 balok.

4.4 Alat dan Material

Alat dan material yang digunakan sebagai berikut.

4.4.1 Material

1. Semen *Portland*

Penelitian ini menggunakan *Portland Composite Cement* (PCC) tipe I. Semen harus disimpan pada tempat yang teduh dan kering agar kualitasnya tetap terjaga.



Gambar 4.1 Semen

2. Bahan Tambah

Bahan tambah yang dipakai yaitu serbuk kaca (*powder glass*) dan *silica fume* dari PT. Sika Indonesia. Serbuk kaca sebagai variabel bebas (variasi 0, 5, 10, 15, dan 20% terhadap agregat halus). Bahan tambah lainnya yaitu *silica fume* dengan kadar 10% dari berat semen.



(a)

(b)

Gambar 4.2 Bahan Tambah

(a) *Silica Fume*, (b) Serbuk Kaca

3. Air
Air berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Islam Indonesia.
4. Agregat
Agregat kasar (kerikil) dari Clereng dan agregat halus (pasir) dari Sungai Progo.



(a)

(b)

Gambar 4.3 Agregat

(a) Kerikil, (b) Pasir

4.4.2 Alat yang Dipakai

Agar didapatkan hasil penelitian sesuai dengan data sesungguhnya (valid), diperlukan peralatan-peralatan pendukung dengan kondisi yang baik pada saat pembuatan hingga pengujian sampel. Berikut daftar alat yang dipakai.

1. Cetakan Benda Uji

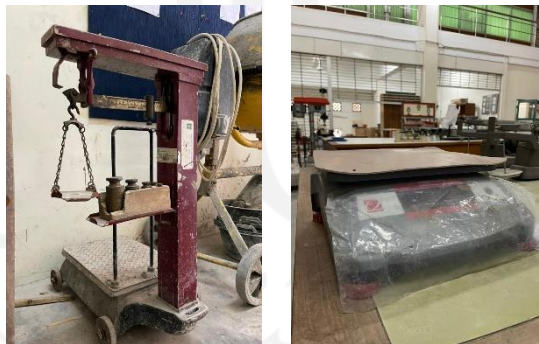
Cetakan benda uji beton yang berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 15 cm serta benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.



Gambar 4.4 Bekisting

2. Timbangan

Timbangan digital dengan kapasitas maksimal 30 kg dan timbangan konvensional digunakan untuk menimbang berat kebutuhan material pada saat pembuatan beton dan untuk menimbang berat dari benda uji yang telah dibuat.



Gambar 4.5 Timbangan

3. Alat Ukur

Alat ukur berupa penggaris dan kaliper digunakan sebagai alat untuk mengukur dimensi meliputi panjang, lebar, tinggi, dan diameter.



Gambar 4.6 Alat Ukur

4. **Piknometer**

Piknometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur nilai massa jenis atau densitas dari fluida. Alat ini dapat digunakan dalam pengujian berat jenis agregat halus dan kadar lumpur.



Gambar 4.7 Piknometer

5. **Sieve Shaker**

Sieve shaker merupakan alat yang berguna untuk memisahkan ukuran agregat sesuai dengan ukuran ayakan dalam pengujian analisa lolos saringan dan modulus halus butir.



Gambar 4.8 Sieve Shaker

6. Kerucut Abram

Kerucut Abram digunakan untuk mendapatkan atau mengetahui nilai *slump* beton segar sebelum dicetak.



Gambar 4.9 Kerucut Abram

7. *Mixer*

Mixer merupakan alat yang berfungsi sebagai mesin pengaduk dengan kapasitas 0,5 m³ yang sumber energinya berasal dari listrik.



Gambar 4.10 Mixer

8. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sampel dengan kondisi temperatur tertentu.



Gambar 4.11 Oven

9. Ember

Ember berfungsi sebagai tempat atau wadah untuk menampung material dan berfungsi sebagai alat bantu untuk memasukkan material ke dalam *mixer*.



Gambar 4.12 Ember

10. *Compression Testing Machine (CTM)*

Alat ini akan digunakan dalam uji kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Akan tetapi, dalam pengujian modulus elastisitas diperlukan alat tambah berupa kompresometer yang dipasang pada benda uji.



Gambar 4.13 *Compression Testing Machine*

11. *Ultimate Testing Machines*

Pengujian kuat lentur beton menggunakan alat ini.



Gambar 4.14 *Ultimate Testing Machines*

4.5 Tahap Persiapan Penelitian

Agar penelitian berjalan dan mendapatkan hasil yang terbaik, diperlukan prosedur atau tahapan dalam persiapan yang harus dilakukan dengan sistematis. Tahapan tersebut harus dilakukan agar sesuai dengan batasan masalah dalam penelitian.

4.5.1 Tahap Persiapan Material

Sebelum dimulainya penelitian, alat dan bahan harus disiapkan dengan baik. Persiapan tersebut diantaranya yaitu menyediakan bahan dengan mutu yang baik sesuai dengan rencana. Selain itu, agar mendapatkan hasil maksimal dalam penelitian, alat dan bahan harus dibersihkan dari kotoran atau debu yang menempel. Tahapan persiapan yang dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Persiapan

Persiapan material antara lain agregat kasar, agregat halus, air, semen, dan bahan tambah yang digunakan yaitu serbuk kaca dan *silica fume*. Peralatan yang digunakan juga disiapkan untuk pengujian material maupun benda uji.

2. Pembersihan

Pembersihan material ditujukan pada material padat yaitu agregat kasar. Tujuan dari pembersihan tersebut untuk membersihkan kotoran seperti lumpur atau pasir yang menempel pada material agar sesuai dengan syarat untuk campuran beton. Peralatan dibersihkan juga agar tidak ada kotoran

yang menempel yang dapat memengaruhi kualitas pada saat pembuatan dan pengujian yang dilakukan.

4.5.2 Tahap Pengujian Agregat

Sebelum benda uji dibuat, uji agregat harus dilakukan terlebih dahulu. Tahapan pengujian agregat dapat dilihat sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Terdapat beberapa pengujian dengan penjelasan sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Tahapan dalam pengujian sebagai berikut.

- 1) Mengeringkan agregat dengan oven pada temperatur $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hingga berat agregat dalam keadaan tetap.
- 2) Langkah selanjutnya adalah mendinginkan agregat dengan temperatur ruangan yang dilanjutkan dengan proses perendaman selama kurang lebih 24 ± 4 jam.
- 3) Setelah langkah pertama sudah selesai, air yang digunakan untuk merendam dibuang (agregat tidak boleh ikut terbuang, lakukan dengan hati-hati). Apabila air sudah dibuang, agregat diratakan dalam nampan atau talam lalu membalik-balikkan agregat di udara panas agar kering sampai permukaan agregat pada kondisi kering jenuh (*SSD*).
- 4) Selanjutnya agregat diisi ke dalam kerucut terpancung dan ditumbuk sebanyak 25 kali agar padat dan rata permukaannya. Hal ini dilakukan untuk pemeriksaan kondisi *SSD* yang dapat tercapai ketika keadaan agregat mengalami keruntuhan namun keadaannya masih tercetak pada saat kerucut terpancung diangkat.
- 5) Penjelasan pada poin 1), 2), 3) dan 4) merupakan langkah analisa pengecekan kondisi agregat dalam kondisi *SSD*. Langkah selanjutnya yaitu mengisi piknometer dengan agregat sebanyak 500 gram dan air suling hingga mencapai 90% dari isi piknometer.

Piknometer kemudian diguncangkan hingga gelembung udara yang terperangkap didalamnya tidak terlihat lagi.

- 6) Penambahan air dilakukan hingga mencapai batas volume tersebut yang kemudian ditimbang dan dicatat.
- 7) Piknometer yang berisi agregat dan air hingga ketelitian 0,1 gram selanjutnya ditimbang (*Bt*).
- 8) Agregat dikeluarkan dari piknometer, diletakkan pada nampan, lalu dikeringkan dalam oven hingga berat tetap dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Dilakukan juga pendinginan dalam desikator.
- 9) Agregat ditimbang ketika sudah dingin (*Bk*).
- 10) Menimbang piknometer + air penuh ditimbang (*B*). Suhu airnya juga dilakukan pengukuran sebagai penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar yaitu 25°C .

b. Pengujian Berat Isi Padat

Tahapan dalam pengujian ini sebagai berikut.

- 1) Agregat halus harus dalam kondisi keadaan jenuh kering permukaan (*SSD*).
- 2) Kemudian alat yang digunakan yaitu silinder. Silinder ditempatkan pada permukaan yang datar (tidak bergelombang). Pengujian dilakukan dengan cara memasukkan agregat per 1/3 bagian. Setiap 1/3 bagian harus ditumbuk sebanyak 25 kali secara merata yang kemudian diratakan dan dikerjakan hingga volume penuh.
- 3) Apabila sudah selesai, silinder + agregat dan silinder kosong ditimbang lalu dicatat beratnya.

c. Pengujian Analisa Saringan

Tahapan pengujian sebagai berikut.

- 1) Agregat halus harus beratnya dalam konsisi tetap. Kondisi tersebut didapatkan dengan cara mengeringkan agregat dalam oven dengan temperatur $110 \pm 5^\circ\text{C}$ sebanyak 2 kali pengujian agar mendapatkan hasil yang teliti.

- 2) Agregat halus lalu dikeluarkan dan didinginkan dalam suhu ruangan selama kurang lebih 1 sampai 3 jam.
 - 3) Point 1) dan 2) adalah proses pengkondisian agregat pada keadaan kering oven. Setelah agregat kering, dilakukan penimbangan sampel uji sebanyak 2000 gram.
 - 4) Langkah selanjutnya yaitu menyusun saringan mulai dari lubang yang terbesar pada bagian atas hingga lubang yang terkecil pada bagian bawah ayakan (tidak boleh terbalik). Apabila sudah disusun, agregat kemudian disaring atau diayak dengan bantuan mesin penggoyan selama kurun waktu 10-15 menit.
 - 5) Ketika proses penyaringan sudah selesai digunakan, agregat dikeluarkan pada masing-masing talam (tidak boleh tercecer) dan ditimbang. Berat agregat tertahan dicatat berdasarkan masing-masing ukuran saringan.
 - 6) Jika sudah selesai digunakan, lalu saringan dibersihkan. Lubang yang besar menggunakan sikat dan lubang yang kecil menggunakan kuas.
- d. Pengujian Lolos Saringan No. 200
- Tahapan pengujian sebagai berikut.
- 1) Benda uji yang dipakai adalah agregat halus dengan keadaan kering oven.
 - 2) Agregat diletakkan dalam saringan dan di bagian atasnya dialirkan air hingga bagian halus lolos saringan dan hanya bagian kasar yang tertinggal.
 - 3) Poin 1) dan 2) diulangi hingga air jernih.
 - 4) Apabila air sudah jernih, agregat dikeluarkan dan diletakkan dalam nampan.
 - 5) Agregat tersebut lalu dikeringkan dengan menggunakan oven pada temperatur $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hingga berat tetap yang kemudian ditimbang dan dicatat.

2. Agregat Kasar

Terdapat beberapa pengujian dengan penjelasan sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Tahapan pengujian sebagai berikut.

- 1) Agregat kasar dicuci agar debu dan kotoran yang melekat pada permukaan hilang.
- 2) Agregat lalu dikeringkan pada oven hingga berat tetap.
- 3) Agregat dikeluarkan dan didinginkan dengan suhu ruang selama 1 sampai 3 jam dan ditimbang.
- 4) Agregat direndam dengan suhu ruang selama kurang lebih 24 ± 4 jam.
- 5) Apabila sudah melewati waktunya, agregat dikeluarkan dan dilap dengan kain atau lap sehingga air pada permukaan dapat mengering (hilang). Pada butiran berukuran besar, langkah ini dilakukan satu-persatu.
- 6) Point 1) sampai 5) adalah proses pengkondisian agregat pada keadaan jenuh kering permukaan (*SSD*). Apabila agregat sudah dalam kondisi *SSD*, agregat ditimbang sebagai benda uji *SSD* (*Bj*).
- 7) Langkah selanjutnya yaitu meletakkan agregat pada keranjang air dan digoncangkan agar udara yang terperangkap dapat keluar dan berat di dalam air ditimbang (*Ba*). Suhu air juga diukur untuk penyesuaian perhitungan suhu standar yaitu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 8) Apabila sudah selesai, agregat dimasukkan kedalam talam dikeringkan menggunakan oven selama kurang lebih 24 ± 4 jam serta dilakukan penimbangan dengan ketelitian 0,5 gram (*Bk*).

b. Pengujian Berat Isi Padat

Tahapan pengujian sebagai berikut.

- 1) Benda uji yang dipakai adalah agregat kasar dengan keadaan jenuh kering permukaan (*SSD*).
- 2) Silinder ukur ditempatkan pada permukaan datar (tidak bergelombang). Langkah pengujian ini yaitu dengan memasukkan

agregat $\frac{1}{3}$ bagian dengan setiap bagian ditumbuk sebanyak 25 kali hingga merata dan diratakan. Langkah tersebut diulangi hingga volume penuh.

- 3) Apabila sudah penuh, berat silinder + agregat ditimbang dan dicatat beratnya.
- 4) Volume silinder yang dipakai dihitung.

c. Pengujian Analisa Saringan

Tahapan pengujian sebagai berikut.

- 1) Agregat dikeringkan pada oven hingga berat tetap dengan dilakukannya minimal 2 kali pengujian agar mendapatkan hasil dengan tingkat ketelitian yang tinggi.
- 2) Setelah berat tetap, keluarkan agregat dari oven dan mendinginkannya dengan suhu ruangan 1 sampai 3 jam.
- 3) Point 1) dan 2) merupakan proses pengkondisian agregat pada keadaan kering oven. Setelah itu, agregat ditimbang untuk sampel uji sebanyak 5000 gram.
- 4) Saringan disusun dengan urutan lubang terbesar di bagian atas dan lubang terkecil di bagian bawah (tidak boleh terbalik). Apabila sudah tersusun, agregat dimasukkan dan diayak. Apabila saringan dan alat mesin pengguncang tidak ada yang dapat menampung kapasitas yang besar, maka dilakukan secara manual.
- 5) Jika sudah disaring, agregat dikeluarkan dari masing-masing saringan dan diletakkan pada nampan atau talam.
- 6) Langkah terakhir yaitu menimbang dan mencatat berat agregat tertahan masing-masing pada ukuran saringan. Sikat kawat digunakan untuk memebersihkan lubang yang besar dan untuk luang yang kecil menggunakan kuas.

4.6 Tahapan Penelitian

Setelah tahapan persiapan selesai dilakukan, dalam pelaksanaan penelitian juga harus mengikuti tahapan-tahapan dengan penjelasan sebagai berikut.

4.6.1 Persiapan Benda Uji

Balok dan silinder merupakan bentuk benda uji yang akan digunakan. Jumlah minimum benda uji menurut SNI 2493-2011 pada masing-masing kondisi dan umur pengujian berjumlah tiga (3) buah. Pengujian akan dilakukan ketika beton berumur 28 hari. Pembuatan benda uji dengan rincian Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji Silinder

Mutu Beton	Variasi Bahan Tambah (%)		Jumlah Benda Uji	Kode Benda Uji	Jenis Pengujian
	Serbuk Kaca	<i>Silica Fume</i>			
25 MPa	0	0	9	BN	Kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan modulus elastisitas beton
	5	10	9	BSK5	
	10	10	9	BSK10	
	15	10	9	BSK15	
	20	10	9	BSK20	

Tabel 4.2 Jumlah Benda Uji Balok

Mutu Beton	Variasi Bahan Tambah (%)		Jumlah Benda Uji	Kode Benda Uji	Jenis Pengujian
	Serbuk Kaca	<i>Silica Fume</i>			
25 MPa	0	0	3	BN	Kuat lentur
	5	10	3	BSK5	
	10	10	3	BSK10	
	15	10	3	BSK15	
	20	10	3	BSK20	

Keterangan:

1. BN = Beton normal
2. BSK5 = Beton dengan serbuk kaca 5% dan *silica fume* 10%
3. BSK10 = Beton dengan serbuk kaca 10% dan *silica fume* 10%
4. BSK15 = Beton dengan serbuk kaca 15% dan *silica fume* 10%
5. BSK20 = Beton dengan serbuk kaca 20% dan *silica fume* 10%

4.6.2 Tahapan Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan acuan SNI 2834-2000 dengan perhitungan secara detail yang dapat dilihat pada bagian pembahasan bab V.

4.6.3 Tahapan Pembuatan Campuran Beton (*Mixing*)

Tahapan dalam pembuatan campuran beton (*mixing*) menggunakan komposisi material yang sudah diperoleh dari tahapan perencanaan campuran beton (*mix design*). Material tersebut dicampur dengan *concrete mixer* sehingga menjadi sebuah campuran beton segar.

4.6.4 Pengujian *Workability* Beton

Proses pengujian *workability* campuran beton dilakukan sebelum campuran beton segar dimasukkan ke dalam cetakan. Campuran beton tersebut harus melalui proses pengujian *workability* untuk mencari tingkat kelacakan campuran dengan menggunakan kerucut Abram. Langkahnya yaitu memasukkan campuran beton segar dengan proporsi yang sudah ditentukan sebanyak 1/3 tinggi yang ditumbuk secara merata sebanyak kurang lebih 25 kali dan diulangi hingga kerucut Abram penuh. Kemudian, kerucut Abram diangkat secara vertikal dan dilihat kondisi campuran betonnya serta dilakukan pengukuran apakah nilai *slump* memenuhi yang sudah disyaratkan atau belum. Nilai *slump* didapat dengan cara mengukur tinggi kerucut Abram yang dibalik terhadap titik tertinggi campuran beton segar. Setelah pengujian *slump* dilaksanakan, kemudian beton segar dimasukkan kedalam bekisting untuk dicetak.

4.6.5 Perawatan Sampel

Proses perawatan sampel benda uji berlandaskan pada SNI 2493-2011. Perendaman dalam air merupakan metode perawatan setelah sampel dikeluarkan dari cetakan. Perendaman dilaksanakan sampai beton mencapai umur rencana.

4.6.6 Pengujian Sampel

Keseluruhan pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari. Berikut tahapan pengujian sampel.

1. Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk menentukan kuat tekan beton (*compressive strength*) dengan sampel berbentuk silinder, Adapun langkah-langkah pengujian dari kuat tekan beton sebagai berikut.

- a. Menyiapkan sampel dengan mengeluarkannya dari tempat perendaman (proses *curing*) satu (1) hari sebelum dilakukannya uji laboratorium. Jika terdapat kotoran pada permukaan, harus dibersihkan terlebih dahulu.
- b. Benda uji ditimbang beratnya dan diukur dimensinya.
- c. Melakukan pelapisan menggunakan belerang di bagian atasnya.
- d. Benda uji diletakkan tepat ditengah mesin tekan.
- e. Setelah diletakkan, mesin dijalankan. Penambahan beban dilakukan secara konstan sebesar $2 - 4 \text{ kg/cm}^2$ per-detik.
- f. Penambahan beban dilakukan sampai hancur. Ketika hancur, nilai beban yang muncul adalah beban maksimum dan dicatat.

2. Kuat Tarik Belah

Bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik yang dimiliki beton. Tahapan pengujian sebagai berikut.

- a. Menyiapkan benda uji berupa silinder.
- b. Mengukur dimensi dan berat benda uji.
- c. Silinder direbahkan pada saat diletakkan pada mesin uji.
- d. Mesin uji dinyalakan dan melakukan pembebanan.
- e. Ketika silinder hancur, berat maksimum dicatat.

3. Kuat Lentur

Bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur yang dimiliki oleh beton. Tahapan pengujian sebagai berikut.

- a. Menyiapkan peralatan dan sampel yang berbentuk balok.
- b. Mengukur dimensi dan berat benda uji kemudian dicatat.
- c. Setelah itu, garis-garis melintang dibuat sebagai acuan titik peletakan dan pembebanan serta gambar titik sejauh 5% dari garis bentang diluar titik pembebanan.

- d. Memasang tumpuan di bagian bawah pada kedua sisi benda yang sudah ditentukan.
- e. Menempatkan benda uji di posisi pusat tumpuan. Benda uji yang akan dilakukan pengujian harus sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda garis pada point c dan d.
- f. Apabila posisi sudah sesuai (titik beban uji sudah berada pada tengah balok), mesin dinyalakan dan pengujian dilakukan dengan sebaik mungkin agar beban kejut tidak muncul.
- g. Kecepatan pembebanan pada mesin diharuskan kontinu. Kecepatan dikurangi pada saat benda uji akan patah dengan ditandai oleh jarum yang bergerak dengan lambat pada skala beban.
- h. Pengujian dihentikan dan dicatat beban maksimumnya.

4. Modulus Elastisitas Beton

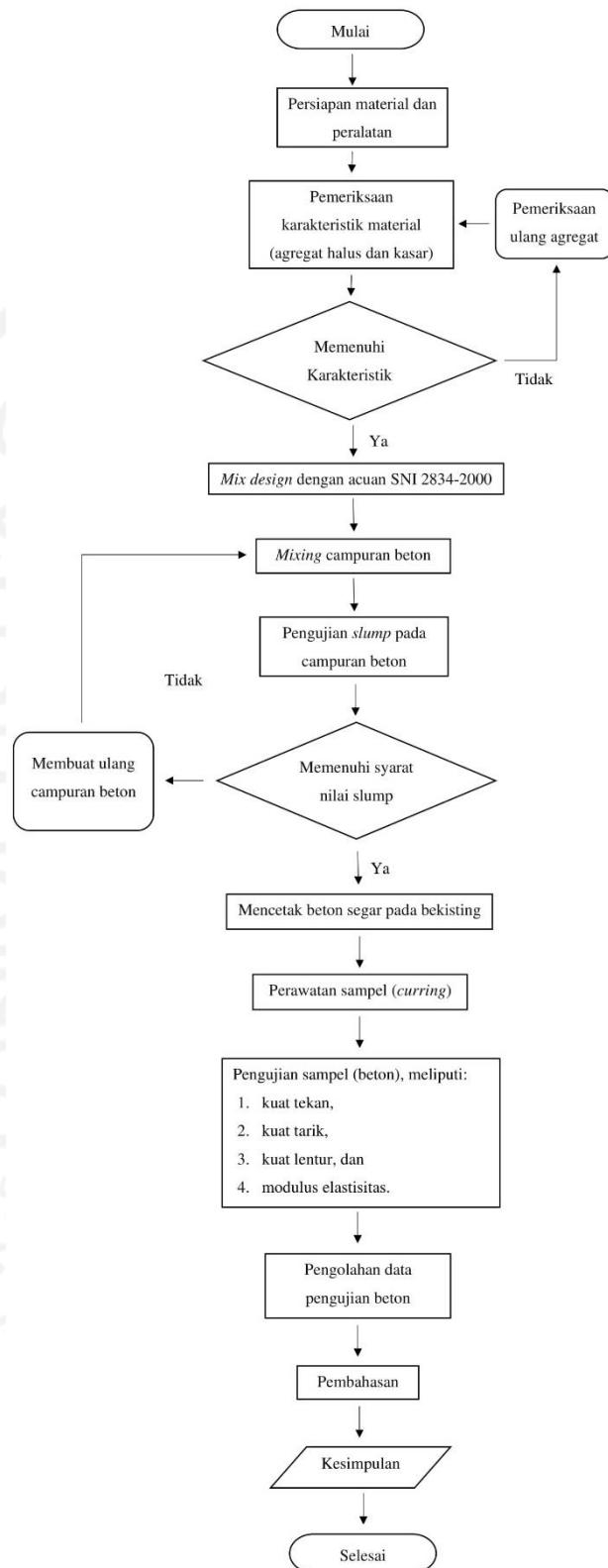
Hubungan antara tegangan dengan regangan yang linear disebut dengan modulus elastisitas (Raharja, dkk., 2013). Untuk keperluan perencanaan, pengujian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui besarnya modulus elastisitas yang dimiliki oleh beton. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan karena saling berhubungan satu sama lain. Benda uji pada saat pengujian dipasang alat *dial* yang berfungsi untuk membaca perbedaan kondisi (perpendekan) beton ketika diberi beban.

4.6.7 Analisis Pengujian Benda Uji

Data yang sudah didapatkan pada pengujian selanjutnya dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan menggunakan perbandingan sebab akibat yang berkaitan dengan pengujian yang dilakukan seperti kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas.

4.6.8 Kerangka Konsep Penelitian

Berdasarkan penjelasan tersebut, kerangka konsep penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Bagan Alir

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Data hasil penelitian kemudian dilakukan analisis dan dibuat pembahasan agar mengetahui hasil dari tujuan yang sudah direncanakan.

5.2 Hasil Pengujian Material

Pengujian material yang dilakukan untuk campuran beton mencakup pengujian agregat halus dan kasar. Adapun penjelasan rinci mengenai pengujian tersebut seperti berikut.

5.2.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Hasil dari pengujian agregat halus yang dilakukan seperti berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan Persamaan 3.1 sampai 3.4 sebagai berikut:

$$\text{a. Berat jenis curah sampel 1} = \frac{496}{838 + 500 - 1148} = 2,6105$$

$$\text{b. Berat jenis curah sampel 2} = \frac{495}{707 + 500 - 1017} = 2,6053$$

$$\text{c. Berat jenis (SSD) sampel 1} = \frac{500}{838 + 500 - 1148} = 2,6316$$

$$\text{d. Berat jenis (SSD) sampel 2} = \frac{500}{707 + 500 - 1017} = 2,6316$$

$$\text{e. Berat jenis semu sampel 1} = \frac{496}{838 + 496 - 1148} = 2,6667$$

$$\text{f. Berat jenis semu sampel 2} = \frac{495}{707 + 495 - 1017} = 2,6757$$

$$\text{g. Penyerapan air sampel 1} = \frac{500 - 496}{496} \times 100\% = 0,81\%$$

$$h. \text{ Penyerapan air sampel 2} = \frac{500 - 495}{495} \times 100\% = 1,01\%$$

Berdasarkan dua sampel tersebut, kemudian dirata-rata sebagai berikut:

$$a. \text{ Berat jenis curah rata-rata} = \frac{2,6105 + 2,6053}{2} = 2,608$$

$$b. \text{ Berat jenis (SSD) rata-rata} = \frac{2,6316 + 2,6316}{2} = 2,6316$$

$$c. \text{ Berat jenis semu rata-rata} = \frac{2,6667 + 2,6757}{2} = 2,671$$

$$d. \text{ Penyerapan air rata-rata} = \frac{0,81 + 1,01}{2} \% = 0,91\%$$

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

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) (gram)	496	495	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (gram)	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) (gram)	1148	1017	
Berat piknometer berisi air (B) (gram)	838	707	
Berat jenis curah	2,6105	2,6053	2,608
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6316	2,6316	2,632
Berat jenis semu	2,6667	2,6757	2,671
Penyerapan Air (%) (%)	0,81%	1,01%	0,91%

Berdasarkan pengujian material, diperoleh berat jenis SSD untuk agregat halus sebesar 2,632 dan penyerapan air sebesar 0.91%. Menurut Tjokrodinuljo (2018), berat jenis SSD pada umumnya terletak diantara nilai 2,4 – 2,7. Hasil pengujian berat jenis untuk agregat halus sudah memenuhi syarat dan dapat digunakan untuk bahan campuran beton.

2. Pengujian Berat Volume

Pengujian berat volume terdapat dua jenis, berat volume gembur dan berat volume padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

- a. Berat volume padat sampel 1 $= \frac{8390}{5193,14} = 1,616 \text{ gram/cm}^3$
- b. Berat volume padat sampel 2 $= \frac{8315}{5193,14} = 1,601 \text{ gram/cm}^3$
- c. Berat volume gembur sampel 1 $= \frac{7193}{5193,14} = 1,385 \text{ gram/cm}^3$
- d. Berat volume gembur sampel 2 $= \frac{6929}{5193,14} = 1,334 \text{ gram/cm}^3$
- e. Berat volume padat rata-rata $= \frac{1,616+1,601}{2} = 1,608 \text{ gram/cm}^3$
- f. Berat volume gembur rata-rata $= \frac{1,385+1,334}{2} = 1,360 \text{ gram/cm}^3$

Hasil pengujian berat volume dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	29,92	
Tinggi (cm)	14,87	
Berat tabung (gram)	10720	
Berat tabung + agregat kering tungku (w2) (gram)	17913	17649
Berat agregat (w3) (gram)	7193	6929
Volume tabung (v) (cm ³)	5193,143	
Berat volume gembur (gram/cm ³)	1,385	1,334
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,360	

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	29,92	
Tinggi (cm)	14,87	
Berat tabung (gram)	10720	
Berat tabung + agregat kering tungku (w2) (gram)	19110	19035
Berat agregat (w3) (gram)	8390	8315
Volume tabung (v) (cm ³)	5193,143	
Berat volume padat (gram/cm ³)	1,616	1,601
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,608	

3. Pengujian Analisa Saringan

Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat seperti pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
3	4,80	51	2,55%	2,55%	97,45%	90%	100%
4	2,40	77	3,85%	6,41%	93,59%	75%	100%
5	1,20	139	6,96%	13,36%	86,64%	55%	90%
6	0,60	554	27,73%	41,09%	58,91%	30%	59%
7	0,30	660	33,03%	74,12%	25,88%	8%	30%
8	0,15	376	18,82%	92,94%	7,06%	0%	10%
8	Sisa	141	7,06%	100,00%	0,00%	0%	0%
9	Jumlah	1998	100,00%	330,48%			

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
3	4,80	63	3,15%	3,15%	96,85%	90%	100%
4	2,40	81	4,05%	7,21%	92,79%	75%	100%
5	1,20	139	6,96%	14,16%	85,84%	55%	90%
6	0,60	550	27,53%	41,69%	58,31%	30%	59%
7	0,30	649	32,48%	74,17%	25,83%	8%	30%
8	0,15	384	19,22%	93,39%	6,61%	0%	10%
8	Sisa	132	6,61%	100,00%	0,00%	0%	0%
9	Jumlah	1998	100,00%	333,78%			

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5, diperoleh perhitungan persen berat yang tertinggal dan modulus halus butir dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7 sebagai berikut.

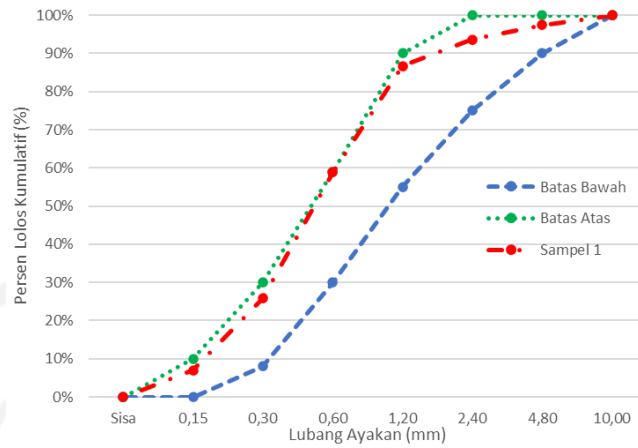
a. Persentase berat yang hilang sampel 1 = $\frac{2000 - 1998}{2000} \times 100\% = 0,1\%$

b. Persentase berat yang hilang sampel 2 = $\frac{2000 - 1998}{2000} \times 100\% = 0,1\%$

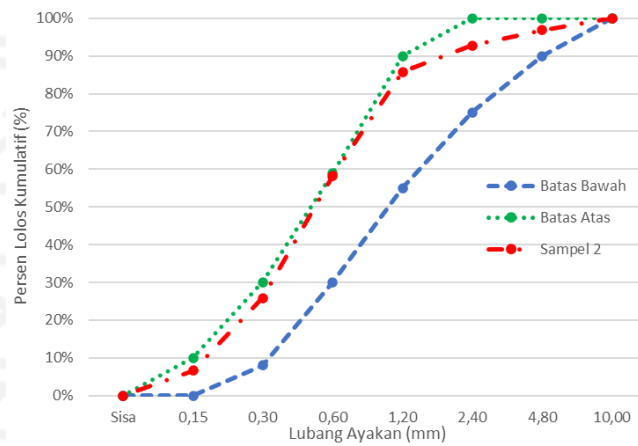
c. Modulus halus butir sampel 1 = $\frac{330,48 - 100}{100} = 2,3048$

d. Modulus halus butir sampel 2 = $\frac{333,78 - 100}{100} = 2,3378$

Berdasarkan data tersebut, persentase agregat halus yang hilang sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan ASTM C.33 (1997) yaitu < 1%. Modulus kehalusan yang dicapai juga memenuhi persyaratan menurut SNI 03-1750-1990. Agregat halus yang dipakai termasuk dalam gradasi II berdasarkan batas dalam buku yang ditulis oleh Mulyono (2004), sesuai dengan Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar 5.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200

Perhitungan dalam pengujian ini menggunakan Persamaan 3.8 sebagai berikut.

a. Kadar lumpur sampel 1 = $\frac{500 - 494}{500} \times 100\% = 1,20\%$

b. Kadar lumpur sampel 2 = $\frac{500 - 492}{500} \times 100\% = 1,60\%$

c. Kadar lumpur rata-rata = $\frac{1,20 + 1,60}{2} = 1,40\%$

Data lebih lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Berat agregat kering oven (w1) (gram)	500	500
Berat agregat kering oven setelah di cuci (W20) (gram)	494	492
Berat yang lolos ayakan no. 200 (%)	1,20	1,60

5.2.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil dari pengujian agregat halus yang dilakukan seperti berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan Persamaan 3.9 sampai 3.12 sebagai berikut:

- a. Berat jenis curah sampel 1 = $\frac{4918}{5000 - 3136} = 2,638$
- b. Berat jenis curah sampel 2 = $\frac{4922}{5000 - 3147} = 2,656$
- c. Berat jenis (SSD) sampel 1 = $\frac{5000}{5000 - 3136} = 2,682$
- d. Berat jenis (SSD) sampel 2 = $\frac{5000}{5000 - 3147} = 2,698$
- e. Berat jenis semu sampel 1 = $\frac{4918}{4918 - 3136} = 2,760$
- f. Berat jenis semu sampel 2 = $\frac{4922}{4922 - 3147} = 2,773$
- g. Penyerapan air sampel 1 = $\frac{5000 - 4918}{4918} \times 100\% = 1,67\%$
- h. Penyerapan air sampel 2 = $\frac{5000 - 4922}{4922} \times 100\% = 1,58\%$

Berdasarkan dua sampel tersebut, kemudian dirata-rata sebagai berikut:

- a. Berat jenis curah rata-rata = $\frac{2,638 + 2,656}{2} = 2,647$
- b. Berat jenis (SSD) rata-rata = $\frac{2,682 + 2,698}{2} = 2,690$

$$c. \text{ Berat jenis semu rata-rata} = \frac{2,760 + 2,773}{2} = 2,766$$

$$d. \text{ Penyerapan air rata-rata} = \frac{1,67 + 1,58}{2} \% = 1,63\%$$

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

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk) (gram)	4918	4922	
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj) (gram)	5000	5000	
Berat kerikil dalam air (Ba) (gram)	3136	3147	
Berat jenis curah	2,6384	2,6562	2,647
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6824	2,983	2,690
Berat jenis semu	2,7598	2,7730	2,766
Penyerapan Air (%)	1,67%	1,58%	1,63%

2. Pengujian Berat Volume

Pengujian berat volume terdapat dua jenis, berat volume gembur dan berat volume padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$a. \text{ Berat volume padat sampel 1} = \frac{8412}{5280,007} = 1,593 \text{ gram/cm}^3$$

$$b. \text{ Berat volume padat sampel 2} = \frac{8468}{5280,007} = 1,604 \text{ gram/cm}^3$$

$$c. \text{ Berat volume gembur sampel 1} = \frac{7495}{5280,007} = 1,420 \text{ gram/cm}^3$$

$$d. \text{ Berat volume gembur sampel 2} = \frac{7532}{5280,007} = 1,427 \text{ gram/cm}^3$$

$$e. \text{ Berat volume padat rata-rata} = \frac{1,593+1,604}{2} = 1,598 \text{ gram/cm}^3$$

$$f. \text{ Berat volume gembur rata-rata} = \frac{1,420+1,427}{2} = 1,423 \text{ gram/cm}^3$$

Hasil pengujian berat volume dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	30.20	
Tinggi (cm)	14.92	
Berat tabung (gram)	10725	
Berat tabung + agregat (w2) (gram)	19137	19193
Berat agregat (w3) (gram)	8412	8468
Volume tabung (v) (cm ³)	5280,007	
Berat volume gembur (gram/cm ³)	1,593	1,604
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,598	

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	30.20	
Tinggi (cm)	14.92	
Berat tabung (gram)	10725	
Berat tabung + agregat (w2) (gram)	18220	18257
Berat agregat (w3) (gram)	7495	7532
Volume tabung (v) (cm ³)	5280,007	
Berat volume padat (gram/cm ³)	1,420	1,427
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,423	

3. Pengujian Analisa Saringan

Hasil pengujian analisa saringan seperti pada Tabel 5.10 dan 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1	40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	20,00	64	1,28%	1,28%	98,72%
3	10,00	4479	89,62%	90,90%	9,10%
4	4,80	395	7,90%	98,80%	1,20%
5	2,40	0	0,00%	98,80%	1,20%
6	1,20	0	0,00%	98,80%	1,20%
7	0,60	0	0,00%	98,80%	1,20%
8	0,30	0	0,00%	98,80%	1,20%
9	0,15	0	0,00%	98,80%	1,20%
10	Sisa	60	1,20%	100,00%	0,00%
	Jumlah	4998	100,00%	784,97%	

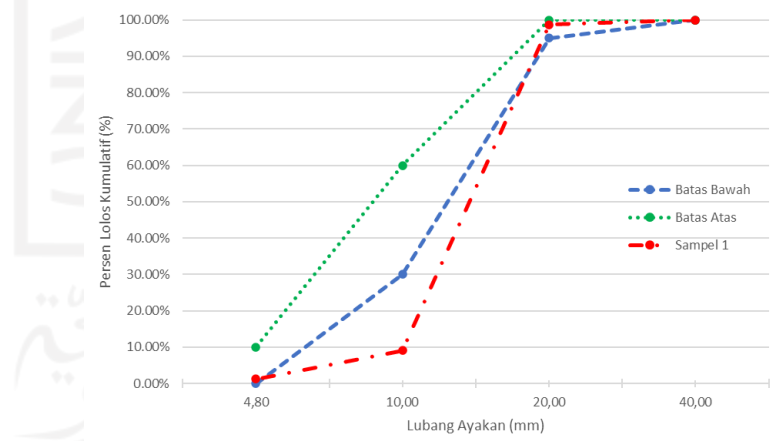
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1	40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	20,00	15	0,30%	0,30%	99,70%
3	10,00	4574	91,52%	91,82%	8,18%
4	4,80	391	7,82%	99,64%	0,36%
5	2,40	0	0,00%	99,64%	0,36%
6	1,20	0	0,00%	99,64%	0,36%
7	0,60	0	0,00%	99,64%	0,36%
8	0,30	0	0,00%	99,64%	0,36%
9	0,15	0	0,00%	99,64%	0,36%
10	Sisa	18	0,36%	100,00%	0,00%
	Jumlah	4998	100,00%	789,96%	

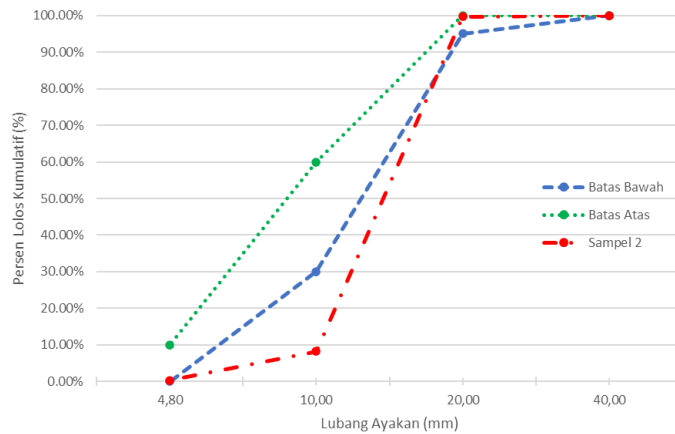
Berdasarkan Tabel 5.10 dan Tabel 5.11, diperoleh perhitungan persen berat yang tertinggal dan modulus halus butir dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

- a. Persentase berat yang hilang sampel 1 = $\frac{5000 - 4998}{5000} \times 100\% = 0,04\%$
- b. Persentase berat yang hilang sampel 2 = $\frac{5000 - 4998}{5000} \times 100\% = 0,04\%$
- c. Modulus halus butir sampel 1 = $\frac{784,97 - 100}{100} = 6,8497$
- d. Modulus halus butir sampel 2 = $\frac{789,96 - 100}{100} = 6,8996$

Menurut (Tjokrodimuljo, 2018), umumnya modulus halus butir agregat kasar bernilai antara 6,0 – 7,0. Hasil menunjukkan nilai modulus halus butir sebesar 6,8746 dan sudah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Akan tetapi, terdapat salah satu persen lolos kumulatif yang tidak memenuhi batas yaitu pada ukuran 10 mm yang menyebabkan bertambahnya potensi timbulnya pori beton. Adapun batas tersebut sesuai dengan Tabel 3.12. Grafik gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.3 Gradasi Agregat Kasar Sampel 1



Gambar 5.4 Gradasi Agregat Kasar Sampel 2

5.2.3 Hasil Pengujian Serbuk Kaca

Hasil dari pengujian serbuk kaca yang dilakukan seperti berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan air berdasarkan Persamaan

3.1 sampai 3.4 sebagai berikut:

a. Berat jenis curah sampel 1 = $\frac{490}{715 + 500 - 1002} = 2,3005$

b. Berat jenis curah sampel 2 = $\frac{486}{828 + 500 - 1118} = 2,3143$

c. Berat jenis (SSD) sampel 1 = $\frac{500}{715 + 500 - 1002} = 2,3474$

d. Berat jenis (SSD) sampel 2 = $\frac{500}{828 + 500 - 1118} = 2,3810$

e. Berat jenis semu sampel 1 = $\frac{490}{715 + 490 - 1002} = 2,4138$

f. Berat jenis semu sampel 2 = $\frac{486}{828 + 486 - 1118} = 2,4796$

g. Penyerapan air sampel 1 = $\frac{500 - 490}{490} \times 100\% = 2,04\%$

$$h. \text{ Penyerapan air sampel 2} = \frac{500 - 486}{486} \times 100\% = 2,88\%$$

Berdasarkan dua sampel tersebut, kemudian dirata-rata sebagai berikut:

$$a. \text{ Berat jenis curah rata-rata} = \frac{2,3005 + 2,3143}{2} = 2,307$$

$$b. \text{ Berat jenis (SSD) rata-rata} = \frac{2,3474 + 2,3810}{2} = 2,364$$

$$c. \text{ Berat jenis semu rata-rata} = \frac{2,4138 + 2,4796}{2} = 2,447$$

$$d. \text{ Penyerapan air rata-rata} = \frac{2,04 + 2,88}{2} \% = 2,46\%$$

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada serbuk kaca dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat serbuk kaca kering mutlak (Bk) (gram)	490	486	
Berat serbuk kaca kondisi jenuh kering muka (SSD) (gram)	500	500	
Berat piknometer berisi serbuk kaca dan air (Bt) (gram)	1002	1118	
Berat piknometer berisi air (B) (gram)	715	828	
Berat jenis curah	2,3005	2,3143	2,307
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,3474	2,3810	2,364
Berat jenis semu	2,4138	2,4796	2,447
Penyerapan Air (%) (%)	2,04%	2,88%	2,46%

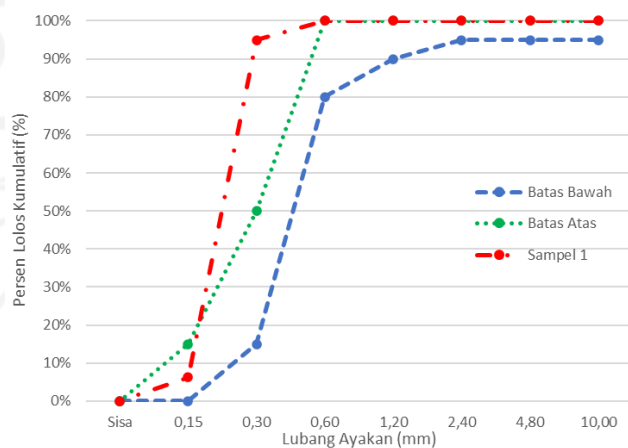
Berat jenis serbuk kaca yang didapatkan nilainya lebih kecil daripada berat jenis agregat halus. Nilai berat jenis tersebut lebih kecil dibandingkan dengan ukuran berat jenis agregat normal pada umumnya. Selain itu, penyerapan air pada serbuk kaca nilainya lebih tinggi dibandingkan penyerapan air pada agregat halus.

2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan serbuk kaca dilakukan dengan alat *sieve shaker* dan diperoleh hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan grafik pada Gambar 5.5 berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kaca

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
3	4,80	0	0,00%	0,00%	100,00%
4	2,40	0	0,00%	0,00%	100,00%
5	1,20	0	0,00%	0,00%	100,00%
6	0,60	0	0,00%	0,00%	100,00%
7	0,30	101	5,06%	5,06%	94,94%
8	0,15	1771	88,68%	93,74%	6,26%
9	Sisa	125	6,26%	100,00%	0,00%
10	Jumlah	1997	100,00%	198,80%	
	20,00	0	0,00%	0,00%	



Gambar 5.5 Gradasi Serbuk Kaca

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan, serbuk kaca yang digunakan termasuk dalam kategori agregat dengan butiran halus. Serbuk kaca yang digunakan dapat dikategorikan sebagai agregat halus. Menurut SNI 6371-2015, ukuran agregat halus (pasir) yaitu butiran batuan yang lolos ayakan No 4 (4,75 mm) dan tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm). Gradasi serbuk kaca yang diperoleh tidak masuk dalam kategori gradasi IV dikarenakan jumlah persen lolos kumulatif pada saringan 0,30 mm terlalu besar. Ukuran serbuk kaca yang digunakan ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus.

5. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat volume terdapat dua jenis, berat volume gembur dan berat volume padat. Perhitungan berat volume menggunakan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat volume padat sampel 1} &= \frac{1971}{1673,309} = 1,178 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{b. Berat volume padat sampel 2} &= \frac{2001}{1673,309} = 1,196 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{c. Berat volume gembur sampel 1} &= \frac{1719}{1673,309} = 1,027 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{d. Berat volume gembur sampel 2} &= \frac{1730}{1673,309} = 1,034 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{e. Berat volume padat rata-rata} &= \frac{1,178 + 1,196}{2} = 1,187 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{f. Berat volume gembur rata-rata} &= \frac{1,027 + 1,034}{2} = 1,031 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian berat volume dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 sebagai berikut.

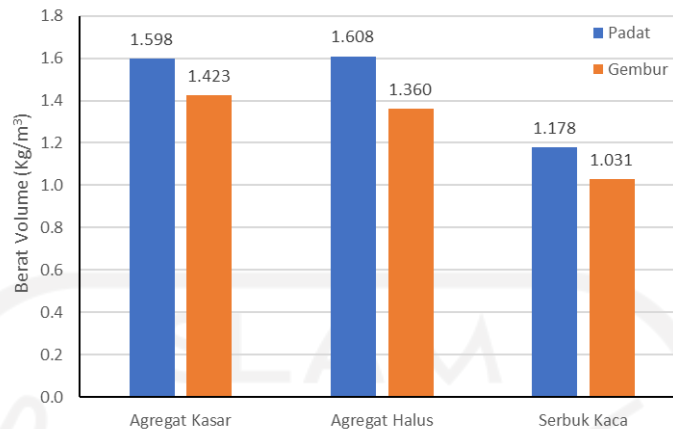
Tabel 5.14 Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Serbuk Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	10,34	
Tinggi (cm)	19,94	
Berat Tabung (gram)	5172	
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2) (gram)	6891	6902
Berat Agregat (W3) (gram)	1719	1730
Volume Tabung (V) (cm ³)	1673,309	
Berat Volume Gembur (gram/cm ³)	1,027	1,034
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,031	

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Berat Isi Padat Serbuk Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	10,34	
Tinggi (cm)	19,94	
Berat Tabung (gram)	5172	
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2) (gram)	7143	7173
Berat Agregat (W3) (gram)	1971.0	2001
Volume Tabung (V) (cm ³)	1673,309	
Berat Volume Padat (gram/cm ³)	1,178	1,196
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,187	

Berat volume serbuk kaca tersebut lebih kecil dibandingkan dengan berat volume agregat halus dan agregat kasar. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6 Berikut.



Gambar 5.6 Perbandingan Berat Volume

Nilai berat volume padat lebih besar dibandingkan berat volume gembur dikarenakan pada saat pengujian berat volume padat dilakukan pemadatan setiap 1/3 bagian sebanyak 25 kali tumbukan.

5.3 Perhitungan Rencana Campuran Beton (*Trial Mix Design*)

Perhitungan rencana campuran beton (*trial mix design*) menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Langkah dan keterangan lengkap dapat dilihat pada sub-bab 3.4. Berikut merupakan hasil perhitungan *mix design*.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) sebesar 25 MPa dengan benda uji silinder dan balok.
2. Semen yang digunakan adalah Semen Gresik.
3. Agregat kasar yang digunakan menurut hasil pengujian analisis saringan memiliki ukuran maksimal sebesar 20 mm yang berasal dari Clereng.
4. Agregat halus yang digunakan menurut hasil pengujian analisis saringan agregat halus termasuk dalam daerah gradasi no.2.
5. Sampel yang akan dibuat berjumlah 60 buah dengan 45 buah berbentuk silinder dan 15 buah berbentuk balok.
6. Nilai standar deviasi S_r sebesar 7 dikarenakan belum memiliki pengalaman sebelumnya sesuai dengan Tabel 3.6.
7. Kuat tekan rencana rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) diperoleh dari Persamaan 3.14.

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f'_c + 1,64 \times S_r \\
 &= 25 + 1,64 \times 7 \\
 &= 37 \text{ MPa.}
 \end{aligned}$$

8. Menentukan faktor air semen (f_{as}).

Faktor air semen ditentukan berdasarkan Tabel 5.16 dan sebagai berikut

Tabel 5.16 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Beton dengan Faktor Air Semen 0,5 dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

Digunakan semen *portland* tipe I, jenis agregat kasar batu pecah, dan benda uji berbentuk silinder dengan kuat tekan pada umur 28 hari sehingga dapat diperoleh nilai f_{as} sebesar 0,5 untuk beton 37 MPa.

9. Nilai *slump* yang direncanakan berada pada rentang 6 – 18 cm.

10. Kadar air bebas.

Nilai kadar air bebas dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 dan data berdasarkan Tabel 3.13 pada ukuran agregat maksimum 20 mm dan *slump* 60 – 180 mm dengan rincian sebagai berikut.

- a. Batu tak dipecahkan = 195 kg/m³
- b. Batu pecah = 225 kg/m³

$$\begin{aligned}
 \text{c. Kadar air bebas (W)} &= \frac{2}{3} \times 195 + \frac{1}{3} \times 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

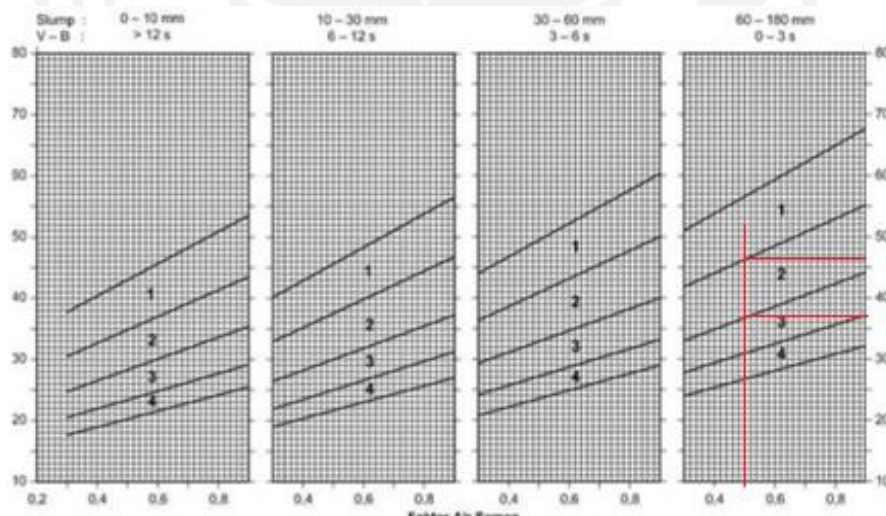
11. Kadar semen.

Kebutuhan semen dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.16 dengan rincian sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{\text{semen}} &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

12. Persentase agregat.

Dengan nilai *slump* rencana 60 – 180 mm, faktor air semen sebesar 0,5, dan gradasi agregat halus pada gradasi 2, persentase agregat halus terhadap kadar agregat total dapat dilihat pada Gambar 5.7 sebagai berikut.



Gambar 5.7 Persentase Agregat Halus Terhadap Kadar Agregat Total
(SNI 03-2834-2000)

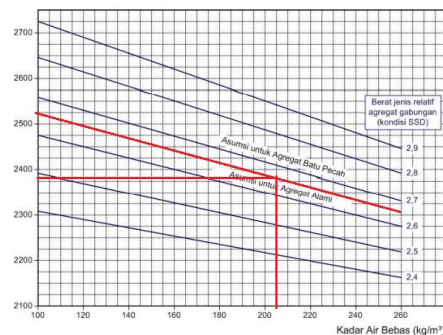
Berdasarkan Gambar 5.7 tersebut, diperoleh batas bawah dengan nilai 37% dan batas atas dengan nilai 46%. Diperoleh nilai rata-rata sebesar 41,5% untuk agregat halus dan persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{persen agregat halus} \\
 &= 100\% - 41,5\% \\
 &= 58,5\%
 \end{aligned}$$

13. Penentuan berat jenis gabungan dengan menggunakan data berat jenis agregat halus sebesar 2,632 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,69 yang dihitung dengan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 B_{j_{gabungan}} &= 41,5\% \times 2,632 + 58,5\% \times 2,69 \\
 &= 2,666 \text{ gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

14. Berat isi beton didapatkan nilai sebesar 2380 kg/m³ dari penarikan garis melalui grafik seperti pada Gambar 5.8 dengan berat jenis gabungan 2,666 dan kadar air bebas 205 kg/m³ sebagai berikut.



Gambar 5.8 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

15. Kadar agregat halus dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.18 dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{halus} &= (2380 - 410 - 205) \times 41,5\% \\
 &= 732,475 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

16. Kadar agregat kasar dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3.19 dengan data yang sudah diperoleh sebelumnya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W_{halus} &= (2380 - 410 - 205) \times 58,5\% \\
 &= 1032,525 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

17. Proporsi campuran teoritis tiap 1 m³ diperoleh berdasarkan perhitungan pada poin sebelumnya (dibulatkan) dengan rincian sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 733 kg
- d. Agregat kasar = 1033 kg

18. Angka penyusutan ditentukan sebesar 20% dari setiap proporsi campuran teoritis setiap 1 m³ dengan rincian sebagai berikut.

- a. Semen = 410×1,2
= 492 kg
- b. Air = 205×1,2
= 246 kg
- c. Agregat halus = 733×1,2
= 880 kg
- d. Agregat kasar = 1033×1,2
= 1240 kg

19. Setiap variasi yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 9 buah silinder dan 3 buah balok dengan rincian volume sebagai berikut.

- a. Volume silinder (9 buah)

$$\begin{aligned} V_s &= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times t \\ &= 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0477 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- b. Volume balok (3 buah)

$$\begin{aligned} V_s &= 3 \times p \times l \times t \\ &= 3 \times 0,6 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,0405 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Volume total} &= (a) + (b) \\
 &= 0,0477 + 0,0405 \\
 &= 0,0882 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan diketahuinya volume total, dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan bahan masing-masing variasi dengan rincian sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Semen} &= V_{kebutuhan} \times V_{total} \\
 &= 492 \times 0,0882 \\
 &= 43,4 \text{ kg} \\
 \text{b. Air} &= V_{kebutuhan} \times V_{total} \\
 &= 246 \times 0,0882 \\
 &= 21,7 \text{ kg} \\
 \text{c. Agregat Halus} &= V_{kebutuhan} \times V_{total} \\
 &= 880 \times 0,0882 \\
 &= 77,63 \text{ kg} \\
 \text{d. Agregat Kasar} &= V_{kebutuhan} \times V_{total} \\
 &= 1240 \times 0,0882 \\
 &= 109,384 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5.4 Proporsi Campuran Beton

Dalam penelitian ini digunakan serbuk kaca sebagai substitusi parsial agregat halus dan *silica fume* sebagai substitusi parsial semen. Serbuk kaca yang digunakan yaitu limbah kaca lampu masing-masing 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap berat agregat halus. Sementara itu, *silica fume* yang digunakan sebesar 10% dari berat semen. Adapun proporsi campuran beton benda uji silinder dan balok satu kali *mixing* masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.17 Proporsi Campuran Beton Benda Uji Silinder

Variasi	Serbuk Kaca	<i>Silica Fume</i>	Silinder						
			Jumlah Sampel	Semen	<i>Silica Fume</i>	Air	Agregat Halus	Serbuk Kaca	Agregat Kasar
			(buah)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
BN	0%	0%	9	23,475	0,000	11,737	41,987	0,000	59,164
BSK 5	5%	10%	9	21,127	2,347	11,737	39,888	2,099	59,164
BSK 10	10%	10%	9	21,127	2,347	11,737	37,789	4,199	59,164
BSK 15	15%	10%	9	21,127	2,347	11,737	35,689	6,298	59,164
BSK 20	20%	10%	9	21,127	2,347	11,737	33,590	8,397	59,164
Total (kg)				107,984	9,390	58,687	188,943	20,994	295,820
Pembulatan (kg)				108,00	9,40	58,70	189,00	21,00	295,90

Tabel 5.18 Proporsi Campuran Beton Benda Uji Balok

Variasi	Serbuk Kaca	<i>Silica Fume</i>	Balok						
			Jumlah Sampel	Semen	<i>Silica Fume</i>	Air	Agregat Halus	Serbuk Kaca	Agregat Kasar
			(buah)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
BN	0%	0%	3	19,926	0,000	9,963	35,640	0,000	50,220
BSK 5	5%	10%	3	17,933	1,993	9,963	33,858	1,782	50,220
BSK 10	10%	10%	3	17,933	1,993	9,963	32,076	3,564	50,220
BSK 15	15%	10%	3	17,933	1,993	9,963	30,294	5,346	50,220
BSK 20	20%	10%	3	17,933	1,993	9,963	28,512	7,128	50,220
Total (kg)				91,660	7,970	49,815	160,380	17,820	251,100
Pembulatan (kg)				91,70	8,00	49,90	160,40	17,90	251,10

Dari dua perhitungan proporsi campuran beton benda uji silinder dan balok, dapat dihitung untuk kebutuhan material satu kali *mixing* masing-masing variasi. Dalam satu variasi tersebut, terdapat 12 benda uji dengan rincian 9 benda uji silinder dan 3 benda uji balok. Rekapitulasi proporsi campuran beton satu kali *mixing* dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Satu Kali *Mixing*

Variasi	Serbuk Kaca	<i>Silica Fume</i>	Kebutuhan Material						
			Jumlah Sampel	Semen	<i>Silica Fume</i>	Air	Agregat Halus	Serbuk Kaca	Agregat Kasar
			(buah)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
BN	0%	0%	12	43,401	0,000	21,700	77,627	0,000	109,384
BSK5	5%	10%	12	39,061	4,340	21,700	73,746	3,881	109,384
BSK10	10%	10%	12	39,061	4,340	21,700	69,865	7,763	109,384
BSK15	15%	10%	12	39,061	4,340	21,700	65,983	11,644	109,384
BSK20	20%	10%	12	39,061	4,340	21,700	62,102	15,525	109,384
Total untuk <i>mixing</i> 9 silinder dan 3 balok (kg)				199,644	17,360	108,502	349,323	38,814	546,920
Pembulatan (kg)				199,70	17,40	108,60	349,40	38,90	547,00

5.5 Pengujian Beton

5.5.1 Pengujian Nilai *Slump*

Nilai *slump* ditentukan saat proses pencampuran bahan dengan mesin pengaduk (*mixer*) sebelum dituang ke dalam cetakan. Nilai *slump* memiliki fungsi untuk mengetahui tingkatan dari *workability* pada campuran beton. Nilai *slump* berpengaruh pada kelecakan. Semakin lecek suatu adonan beton akan semakin mudah beton tersebut dikerjakan (Tjokrodimuljo, 2018).

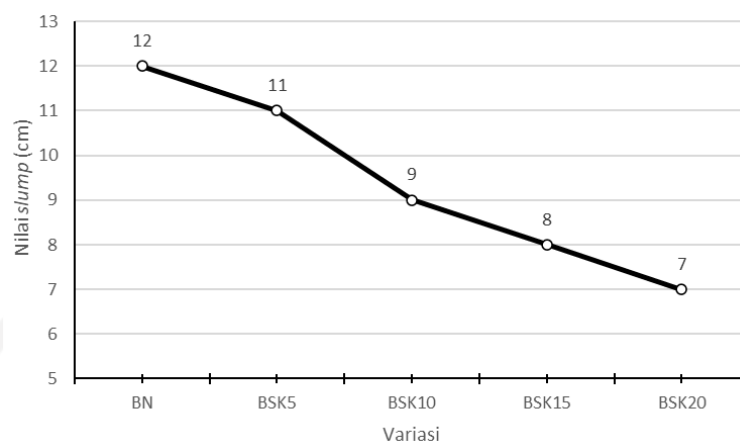
Proses dan hasil pengujian nilai *slump* dapat dilihat pada Tabel 5.20, Gambar 5.9, dan Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.9 Contoh Pengujian Nilai *Slump*

Tabel 5.20 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi <i>Slump</i> (cm)	Keterangan Syarat Nilai <i>Slump</i> (60-180mm)
	Serbuk Kaca (%)	<i>Silica</i> <i>Fume</i> (%)		
BN	0	0	12	Memenuhi
BSK5	5	10	11	Memenuhi
BSK10	10	10	9	Memenuhi
BSK15	15	10	8	Memenuhi
BSK20	20	10	7	Memenuhi



Gambar 5.10 Hasil Pengujian Nilai Slump

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10, nilai *slump* telah memenuhi rencana dikarenakan berada pada rentang 60 – 180 mm. Nilai *slump* tertinggi terdapat pada variasi beton normal yang kemudian setiap bertambah variasi serbuk kaca dan *silica fume* nilai *slump*-nya semakin berkurang. Berdasarkan pengujian material, serbuk kaca memiliki penyerapan air yang lebih besar dibandingkan pasir. Ukuran serbuk kaca yang digunakan lebih halus dibandingkan pasir sehingga memerlukan air yang lebih banyak. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Aliabdo, dkk (2016), semakin banyak jumlah serbuk kaca, semakin menurunkan nilai *slump*. Selain serbuk kaca, *silica fume* juga menurunkan nilai *slump* sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Setyo & Intang (2005), semakin banyak *silica fume* semakin menurunkan nilai *slump*.

5.5.2 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada beton yang sudah berumur 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan untuk mengetahui nilai beban maksimum yang dapat ditahan melalui alat uji tekan. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan benda uji terlebih dahulu diberikan lapisan belerang agar permukaan benda uji menjadi rata (proses *capping*). Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 benda uji untuk masing-masing variasi. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.20 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.11 berikut.

1. Perhitungan

Silinder 6 BN (beton normal)

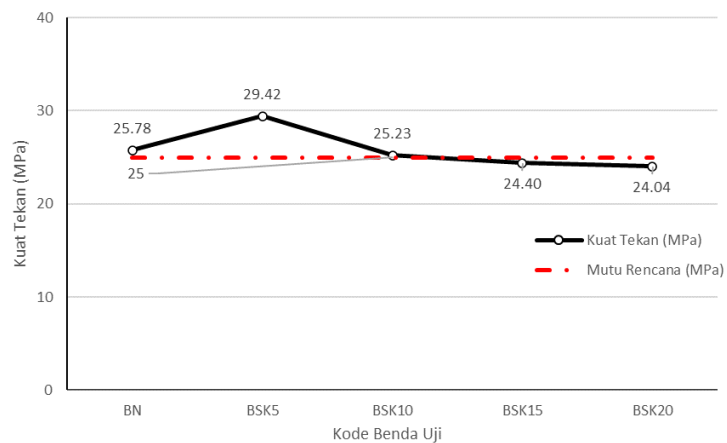
$$f'_c = \frac{440 \times 10^3}{\frac{1}{4} \times \pi \times 14,94^2}$$

$$= 25,11 \text{ MPa}$$

2. Rekapitulasi hasil pengujian

Tabel 5.21 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Beban Maksimum	Luas Penampang	Kuat Desak	Kuat Desak Rata-rata
	(N)	(mm ²)	(MPa)	
BN	461000	17813,11	25,88	25,78
	466000	17679,31	26,36	
	440000	17522,55	25,11	
BSK5	535000	18034,59	29,67	29,42
	530000	17868,35	29,66	
	540000	18666,84	28,93	
BSK10	432000	17593,01	24,56	25,23
	470000	17876,25	26,29	
	440000	17710,75	24,84	
BSK15	440000	17687,17	24,88	24,40
	435000	17750,09	24,51	
	420000	17640,06	23,81	
BSK20	430000	17718,61	24,27	24,04
	420000	17923,68	23,43	
	440000	18026,65	24,41	

**Gambar 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tekan**

Nilai kuat tekan dapat berbeda antara satu dengan yang lainnya karena dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Tjokrodinuljo (2018), nilai kuat tekan beton bergantung pada 3 (tiga) hal yaitu kekuatan pasta, daya rekat antara pasta dan agregat, dan kuat tekan agregat. Apabila dirincikan lebih lanjut, nilai kuat tekan beton tersebut dipengaruhi oleh umur beton, faktor air semen, kepadatan, jumlah semen, ataupun sifat agregat.

Berdasarkan Tabel 5.21 dan Gambar 5.10, diperoleh nilai kuat tekan beton kontrol atau normal sebesar 25,78 MPa dan sudah mencapai kuat rencana yaitu 25 MPa. Kuat tekan tertinggi berada pada variasi BSK5 dengan serbuk kaca 5% dan *silica fume* 10% sebesar 29,42 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah berada pada variasi BSK20 dengan serbuk kaca 20% dan *silica fume* 10% sebesar 24,04 MPa. Dengan adanya serbuk kaca dan *silica fume*, kekuatan tertinggi bertambah sebesar 14,10% terhadap beton normal.

Merujuk penelitian yang dilakukan oleh Putratama (2018), nilai kuat tekan beton normal sebesar 17,29. Kuat tekan kemudian meningkat drastis pada variasi serbuk kaca 10% sebesar 23,68 MPa namun turun kembali pada variasi serbuk kaca 20% sebesar 18,81 MPa. Nilai kuat tekan tertinggi tersebut berbeda dikarenakan komposisi variasi serbuk kaca yang diuji berbeda, jenis agregat yang digunakan berbeda, banyaknya *silica fume* yang digunakan berbeda, dan kuat tekan rencana yang berbeda. Akan tetapi, nilai kuat tekan terendah sama-sama berada pada variasi serbuk kaca 20%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sudjati dkk. (2014), nilai kuat tekan beton menurun akibat penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus dikarenakan ukuran butir serbuk kaca yang lebih kecil dari agregat halus. Dalam hal ini, terdapat kesamaan penggunaan ukuran serbuk kaca yang terlalu halus sehingga hasil kuat tekan semakin menurun. Dalam penelitian yang dilakukan, *silica fume* dapat berpengaruh pada peningkatan nilai kuat tekan beton dengan hasil kuat tekan beton tertinggi sebesar 29,42 MPa dan terendah sebesar 24,04 MPa. Berdasarkan pengamatan selama penelitian, faktor yang memengaruhi nilai kuat tekan beton yaitu kesempurnaan bentuk benda uji, dimensi benda uji, dan

proses pembuatan benda uji. Pada variasi BSK5 dan BSK10 mengalami penurunan yang cukup drastis dikarenakan bentuk benda uji BSK5 dari segi tampilan jauh lebih baik daripada BSK10, BSK15, dan BSK20.

Pengujian kuat tekan dan benda uji setelah di uji tekan dapat dilihat pada Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.12 Pengujian Kuat Tekan



Gambar 5.13 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan

5.5.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Beton yang sudah berumur 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat tarik belah untuk mengetahui beban yang dapat diterima oleh beton dengan posisi tegak lurus terhadap alat uji tekan (posisi mendatar). Posisi beton yang mendatar harus diberikan bantalan agar tidak bergerak saat diberikan beban. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 (tiga) benda uji untuk masing-masing variasi dengan mesin CTM. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.21 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.14 berikut.

1. Perhitungan

Silinder 4 BN (beton normal)

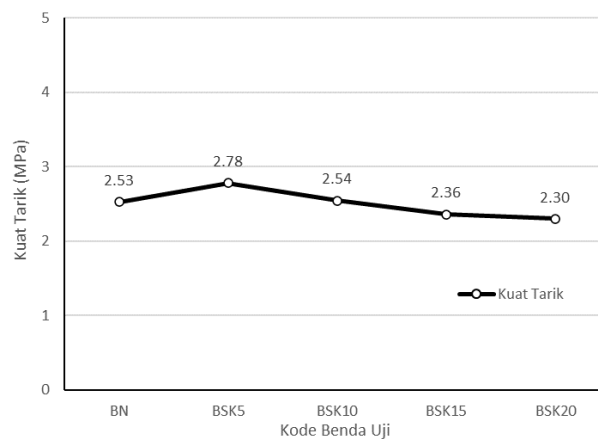
$$f_{ct} = \frac{2 \times 180 \times 10^3}{142457,50}$$

$$= 2,53 \text{ MPa}$$

2. Rekapitulasi hasil pengujian

Tabel 5.22 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Belah

Kode Benda Uji	Beban Maksimum	Luas Penampang	Kuat Tarik	Kuat Tarik Rata-rata	Korelasi dengan Kuat Tekan
	(N)	(mm ²)	(MPa)		(%)
BN	180000,00	142457,50	2,53	2,53	9,81
	185000,00	142662,51	2,59		
	175000,00	142046,19	2,46		
BSK5	200000,00	143985,94	2,78	2,78	9,45
	196000,00	144101,84	2,72		
	202000,00	142175,53	2,84		
BSK10	179000,00	143942,53	2,49	2,54	10,07
	183000,00	144091,45	2,54		
	187000,00	143989,94	2,60		
BSK15	166000,00	145006,49	2,29	2,36	9,66
	173000,00	143038,96	2,42		
	168000,00	142056,52	2,37		
BSK20	169000,00	144115,93	2,35	2,30	9,56
	168000,00	145151,29	2,31		
	160000,00	143145,85	2,24		

**Gambar 5.14 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah**

Kuat tarik belah beton merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan tarik belah. Beton memiliki sifat yang getas, dimana kuat tekannya tinggi namun kuat tariknya rendah (Tjokrodinuljo, 2018). Umumnya, nilai kuat tarik belah beton berada pada rentang 8 – 15 % dari kuat tekannya (Nasution, 2009). Nilai korelasi antara kuat tarik belah beton dengan kuat tekan sudah berada pada rentang nilai kuat tarik pada umumnya. Berdasarkan Gambar 5.14, diperoleh nilai kuat tarik belah beton normal sebesar 2,53 MPa dan nilai tertinggi pada variasi BSK5 sebesar 2,78 MPa. Pada variasi BSK10, nilai kuat tarik belah beton menurun sampai dengan variasi BSK20.

Penurunan tersebut disebabkan oleh tingkat kelecakan campuran yang rendah seiring dengan bertambahnya komposisi serbuk kaca. Proporsi air yang digunakan pada beton variasi seiring bertambahnya serbuk kaca dan *silica fume* semakin banyak. Meskipun nilai *slump*-nya rendah, jumlah air pada campuran beton tersebut lebih banyak. Hal tersebut yang mengakibatkan sulitnya proses pemadatan dan penurunan kekuatan beton dikarenakan kerekatan antara material satu dengan yang lainnya kurang baik. Bentuk butiran serbuk kaca juga berpengaruh karena ukurannya yang lebih kecil daripada pasir, sehingga membutuhkan lebih banyak semen dikarenakan permukaan agregat yang semakin banyak. Berdasarkan pengamatan, serbuk kaca tidak sepenuhnya menempel pada campuran beton dan tidak terikat sempurna ketika benda uji terbelah.

Contoh pengujian dan hasil setelah pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar 5.16 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah

5.5.4 Pengujian Kuat Lentur

Benda uji balok yang sudah berumur 28 hari kemudian dilakukan pengujian kuat lentur dengan pembebanan dua titik sesuai dengan metode SNI 4431-2011. Beban tegak lurus terhadap sumbu benda uji diberikan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji. Perhitungan kuat lentur menggunakan Persamaan 3.22 dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Gambar 5.17 sebagai berikut.

1. Perhitungan

Balok 1 BN (beton normal)

$$f_{lt} = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

$$P = 2650 \text{ kgf}$$

$$= 2650 \times 9,81$$

$$= 25996,5 \text{ N}$$

$$f_{lt} = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

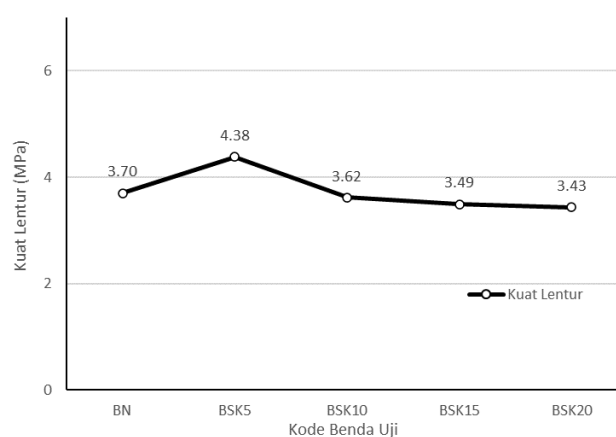
$$= \frac{25996,5 \times 510}{151,3 \times 154,0^2}$$

$$= 3,69 \text{ MPa}$$

2. Hasil Rekapitulasi

Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengujian Kuat Lentur

Kuat Lentur Rata-rata	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Lentur	Kuat Lentur Rata-rata	Kuat Tekan	Koef
		(MPa)			
BN	2650	3,69	3,70	25,78	0,728
	2590	3,64			
	2670	3,76			
BSK5	2900	4,13	4,38	29,42	0,808
	3270	4,64			
	3050	4,38			
BSK10	2620	3,64	3,62	25,23	0,720
	2570	3,58			
	2550	3,62			
BSK15	2510	3,52	3,49	24,40	0,706
	2520	3,50			
	2460	3,45			
BSK20	2420	3,47	3,43	24,04	0,700
	2430	3,37			
	2390	3,45			

**Gambar 5.17 Pengujian Kuat Lentur Tiap Variasi**

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan gaya tekan tegak lurus terhadap benda uji. Berdasarkan Gambar 5.17, diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 3,70 MPa dan nilai kuat lentur tertinggi sebesar 4,38 MPa pada variasi beton serbuk kaca 5% dan *silica fume* 10%. Pada variasi BSK5, nilai kuat lentur meningkat sebesar 18,60% terhadap beton normal. Kenaikan nilai kuat lentur hanya pada variasi BSK5 saja, selanjutnya terjadi penurunan hingga variasi BSK20. Contoh pengujian dan hasil setelah pengujian kuat lentur beton dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.18 Pengujian Kuat Lentur



Gambar 5.19 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Lentur

Jika dibandingkan dengan kuat tekan, korelasi antara kuat lentur dan kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Perbandingan Antara Kuat Lentur dengan Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Kuat Lentur Rata-rata (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)	$\sqrt{f'_c}$	$\frac{f_r}{\sqrt{f'_c}}$
BN	3,70	25,78	5,08	0,73
BSK5	4,38	29,42	5,42	0,81
BSK10	3,62	25,23	5,02	0,72
BSK15	3,49	24,40	4,94	0,71
BSK20	3,43	24,04	4,90	0,70

Berdasarkan Tabel 5.24 tersebut, diperoleh rentang $f_r/\sqrt{f'_c}$ sebesar 0,70 sampai 0,81 sedangkan dalam SNI 2847-2019 memiliki nilai 0,62. Nilai tersebut memiliki selisih 0,08 hingga 0,19 terhadap hasil penelitian. Rentang nilai f_r sebagai berikut.

$$0,70\sqrt{f'_c} < f_r < 0,81\sqrt{f'_c}$$

Korelasi nilai kuat lentur dengan nilai kuat tekan berdasarkan penelitian Pane & Tanudjaja (2015), yang menguji kuat lentur dengan variasi nilai kuat tekan yang berbeda, dihasilkan rentang nilai korelasi sebagai berikut.

$$0,81\sqrt{f'_c} < f_r < 0,83\sqrt{f'_c}$$

Terdapat perbedaan nilai sekitar 0,1 yang dapat disebabkan oleh berbagai macam faktor seperti perbedaan jenis agregat yang digunakan, cara pelaksanaan dalam pembuatan beton, dan faktor-faktor lainnya.

5.5.5 Pengujian Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas dilakukan dalam satu waktu yang sama dengan kuat tekan. Hanya saja dipasangkan alat untuk pembacaan dial (*dial gauge*) yang menampilkan nilai penurunan beton ketika diberikan beban hingga mencapai beban maksimum. Nilai regangan beton tersebut didapatkan berdasarkan perubahan panjang dari beton tersebut dibagi dengan panjang beton awal. Pembacaan dial menggunakan alat yang sudah secara otomatis menampilkan data pembacaan dial yang selanjutnya dilakukan perhitungan agar mendapatkan nilai modulus elastisitas. Pengujian modulus elastisitas menggunakan alat bantu seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



Gambar 5.20 Pengujian Modulus Elastisitas

Perhitungan pengujian modulus elastisitas dilakukan dengan dua metode, berdasarkan teori dan berdasarkan hasil pengujian. Perhitungan menggunakan Persamaan 3.24 sampai Persamaan 3.27 menggunakan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

1. Perhitungan

Digunakan data BN silinder 4.

Perhitungan menggunakan data yang dapat dilihat pada Tabel 5.25 Sebagai berikut.

Tabel 5.25 Tegangan-Regangan BN 4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	10	0,0050	0,00003	0,5646
20	20000	17,5	0,0088	0,00004	1,1293
30	30000	27	0,0135	0,00007	1,6939
40	40000	33,5	0,0168	0,00008	2,2585
50	50000	42	0,0210	0,00011	2,8231
60	60000	49	0,0245	0,00012	3,3878
70	70000	56,5	0,0283	0,00014	3,9524
80	80000	63	0,0315	0,00016	4,5170
90	90000	71,5	0,0358	0,00018	5,0817
100	100000	82,5	0,0413	0,00021	5,6463
110	110000	90,9	0,0455	0,00023	6,2109
120	120000	99,4	0,0497	0,00025	6,7755
130	130000	108,4	0,0542	0,00027	7,3402
140	140000	116,9	0,0585	0,00029	7,9048
150	150000	124,4	0,0622	0,00031	8,4694
160	160000	133,9	0,0670	0,00033	9,0341
170	170000	143,9	0,0720	0,00036	9,5987
180	180000	152,4	0,0762	0,00038	10,1633
190	190000	161,4	0,0807	0,00040	10,7279
200	200000	170,4	0,0852	0,00043	11,2926
210	210000	184,4	0,0922	0,00046	11,8572
220	220000	190,9	0,0955	0,00048	12,4218
230	230000	199,4	0,0997	0,00050	12,9865
240	240000	208,4	0,1042	0,00052	13,5511
250	250000	221,4	0,1107	0,00055	14,1157

Lanjutan Tabel 5.25 Tegangan-Regangan BN 4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
260	260000	228,4	0,1142	0,00057	14,6803
270	270000	236,9	0,1185	0,00059	15,2450
280	280000	247,4	0,1237	0,00062	15,8096
290	290000	258,8	0,1294	0,00065	16,3742
300	300000	271,3	0,1357	0,00068	16,9389
310	310000	281,3	0,1407	0,00070	17,5035
320	320000	294,3	0,1472	0,00074	18,0681
330	330000	305,8	0,1529	0,00076	18,6328
340	340000	318,8	0,1594	0,00080	19,1974
350	350000	329,3	0,1647	0,00082	19,7620
360	360000	341,8	0,1709	0,00085	20,3266
370	370000	354,8	0,1774	0,00089	20,8913
380	380000	371,8	0,1859	0,00093	21,4559
390	390000	383,8	0,1919	0,00096	22,0205
400	400000	401,8	0,2009	0,00100	22,5852
410	410000	416,7	0,2084	0,00104	23,1498
420	420000	434,2	0,2171	0,00109	23,7144
430	430000	451,7	0,2259	0,00113	24,2790
440	440000	462,2	0,2311	0,00116	24,8437
450	450000	501,7	0,2509	0,00125	25,4083
460	460000	521,7	0,2609	0,00130	25,9729
470	470000	548,2	0,2741	0,00137	26,5376
480	480000	571,7	0,2859	0,00143	27,1022
490	490000	594,6	0,2973	0,00149	27,6668
500	500000	625,1	0,3126	0,00156	28,2314
510	510000	685,6	0,3428	0,00171	28,7961
500	500000	786,6	0,3933	0,00197	28,2314
490	490000	946,9	0,4735	0,00237	27,6668
480	480000	1053,9	0,5270	0,00263	27,1022
470	470000	1116,3	0,5582	0,00279	26,5376

Keterangan:



teg 2'

teg 1'

a. ASTM C469-94

Pengolahan data dibantu dengan menggunakan aplikasi AutoCAD dengan melakukan plotting data tegangan-regangan. Setelah itu, dilakukan penarikan garis linear dari titik beban 40% dari nilai maksimum yang menyentuh beberapa titik dibawahnya, lalu dibuat garis lurus hingga sumbu x . Nantinya, terdapat perbedaan panjang dari ujung garis tersebut terhadap titik 0 yang nilainya sama dengan nilai koreksi (x) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} &= \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2 \pm x} \\ \frac{11,2926 - 8,4694}{0,00043 - 0,00031} &= \frac{11,9296}{0,00043 \pm x} \\ 24549,079 &= \frac{11,9296}{0,00043 \pm x} \\ x &= -0,000034 \end{aligned}$$

Hasil tersebut sama dengan perbedaan di AutoCAD yaitu $0,34 \times 10^{-4}$.

Koreksi tersebut berguna untuk membetulkan nilai regangan sehingga diperoleh data tegangan-regangan terkoreksi yang dapat dilihat pada Tabel 5.26 Sebagai berikut.

Tabel 5.26 Tegangan – Regangan Setelah Koreksi

Beban		Regangan (ε)	Tegangan (σ)	Regangan Terkoreksi (ε)
KN	N	-	MPa	-
10	10000	0.00003	0.5646	0.0001
20	20000	0.00004	1.1293	0.0001
30	30000	0.00007	1.6939	0.0001
40	40000	0.00008	2.2585	0.0001
50	50000	0.00011	2.8231	0.0001
60	60000	0.00012	3.3878	0.0002
70	70000	0.00014	3.9524	0.0002
80	80000	0.00016	4.5170	0.0002
90	90000	0.00018	5.0817	0.0002

Lanjutan Tabel 5.26 Tegangan – Regangan Setelah Koreksi

Beban		Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)	Regangan Terkoreksi (ϵ)
KN	N	-	MPa	-
100	100000	0.00021	5.6463	0.0002
110	110000	0.00023	6.2109	0.0003
120	120000	0.00025	6.7755	0.0003
130	130000	0.00027	7.3402	0.0003
140	140000	0.00029	7.9048	0.0003
150	150000	0.00031	8.4694	0.0003
160	160000	0.00033	9.0341	0.0004
170	170000	0.00036	9.5987	0.0004
180	180000	0.00038	10.1633	0.0004
190	190000	0.00040	10.7279	0.0004
200	200000	0.00043	11.2926	0.0005
210	210000	0.00046	11.8572	0.0005
220	220000	0.00048	12.4218	0.0005
230	230000	0.00050	12.9865	0.0005
240	240000	0.00052	13.5511	0.0006
250	250000	0.00055	14.1157	0.0006
260	260000	0.00057	14.6803	0.0006
270	270000	0.00059	15.2450	0.0006
280	280000	0.00062	15.8096	0.0007
290	290000	0.00065	16.3742	0.0007
300	300000	0.00068	16.9389	0.0007
310	310000	0.00070	17.5035	0.0007
320	320000	0.00074	18.0681	0.0008
330	330000	0.00076	18.6328	0.0008
340	340000	0.00080	19.1974	0.0008
350	350000	0.00082	19.7620	0.0009
360	360000	0.00085	20.3266	0.0009
370	370000	0.00089	20.8913	0.0009
380	380000	0.00093	21.4559	0.0010
390	390000	0.00096	22.0205	0.0010
400	400000	0.00100	22.5852	0.0010
410	410000	0.00104	23.1498	0.0011
420	420000	0.00109	23.7144	0.0011
430	430000	0.00113	24.2790	0.0012
440	440000	0.00116	24.8437	0.0012

Lanjutan Tabel 5.26 Tegangan – Regangan Setelah Koreksi

Beban		Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)	Regangan Terkoreksi (ϵ)
KN	N	-	MPa	-
450	450000	0.00125	25.4083	0.0013
460	460000	0.00130	25.9729	0.0013
470	470000	0.00137	26.5376	0.0014
480	480000	0.00143	27.1022	0.0015
490	490000	0.00149	27.6668	0.0015
500	500000	0.00156	28.2314	0.0016
510	510000	0.00171	28.7961	0.0017
500	500000	0.00197	28.2314	0.0020
490	490000	0.00237	27.6668	0.0024
480	480000	0.00263	27.1022	0.0027
470	470000	0.00279	26.5376	0.0028

Keterangan:  teg 2'
 teg 1'

Langkah selanjutnya yaitu menggeser garis linear tersebut menuju titik 0, dan menarik garis 0,00005 dari sumbu x tegak lurus hingga bersinggungan dengan garis. Garis singgung tersebut lalu ditarik garis horizontal hingga menyentuh sumbu y dan dibaca nilainya. Dari AutoCAD didapatkan hasil σ_1 sebesar 1,2275 yang kemudian dilakukan rekap nilai untuk dilakukan perhitungan nilai modulus sebagai berikut.

- 1) $S_2 = 11,2926$
- 2) $S_1 = 1,2275$ (dari pembacaan AutoCAD)
- 3) $\epsilon_2 = 0,00046$
- 4) $\epsilon_1 = 0,00005$

Perhitungan nilai modulus menggunakan Persamaan 3.26 sehingga diperoleh nilainya sebagai berikut.

$$E_c = \frac{11,2926 - 1,2275}{0,00046 - 0,00005}$$

$$= 24548,967 \text{ MPa}$$

b. SNI 2847-2019

Menurut SNI, terdapat dua cara perhitungan nilai modulus elastisitas yaitu dengan menggunakan Persamaan 3.27 dan Persamaan 3.28 sebagai berikut.

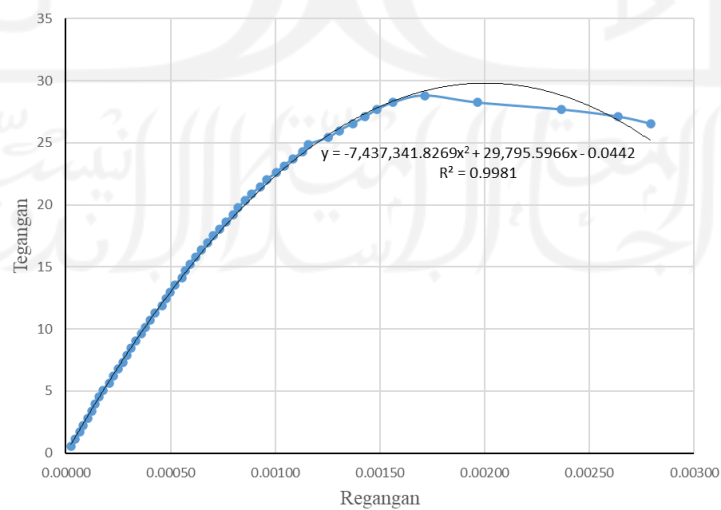
$$\begin{aligned} 1) \ E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{28,796} \\ &= 25221,126 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \ E_c &= W_c^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 2429,74^{1,5} \times 0,043 \times \sqrt{28,796} \\ &= 27635,97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Persamaan 3.28 dapat digunakan dikarenakan berat volume dari benda uji terletak diantara 1400 – 2560 kg/m³.

c. Persamaan Linear

Hasil analisa yang terdapat pada Tabel 5.26, dapat dibuat grafik mengenai hubungan antara tegangan dan regangan dan dimunculkan persamaan kuadratnya seperti pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan Tegangan-Regangan

Berdasarkan hasil grafik hubungan tersebut, diperoleh persamaan *polynomial* pangkat 2 (dua) dengan bantuan *Microsoft excel*. Analisis modulus elastisitas sebagai berikut.

$$y = -7.437.341.8269x^2 + 29.795,5966x - 0,0442 \quad (5.1)$$

Kemudian persamaan tersebut diturunkan agar mendapatkan nilai x .

$$\frac{d_y}{d_x} = 0$$

$$\frac{d_y}{d_x} = -14.874.684x + 29.795,597$$

$$0 = -14.874.684x + 29.795,597$$

$$x = 0,00203031$$

Kemudian nilai x dimasukkan kedalam Persamaan 5.1.

$$y = -7.437.341.827 \times (2,03 \times 10^3)^2 + 30.301,34 \times (2,03 \times 10^3) - 1,066$$

$$\sigma_{maks} = 29,7977 \text{ MPa}$$

Lalu dihitung 40% dari σ_{maks} sebagai berikut.

$$\sigma_{40\%} = 29,7977 \times 40\%$$

$$= 11,919 \text{ MPa}$$

Apabila sudah mendapatkan nilai $\sigma_{40\%}$, langkah selanjutnya adalah mencari nilai modulus elastisitas dengan cara nilai $\sigma_{40\%}$ dibagi dengan nilai regangan saat tegangan 40% dari nilai maksimum sebagai berikut.

$$E_c = \frac{11,919}{0,00046}$$

$$= 25911,042 \text{ MPa}$$

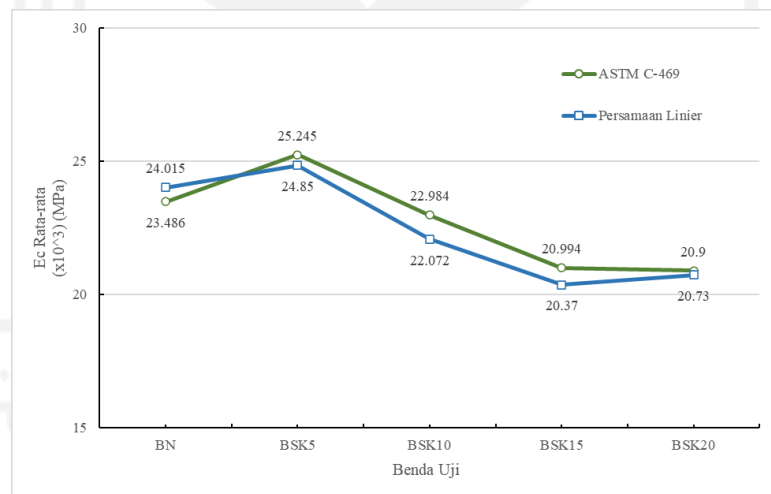
2. Rekapitulasi hasil perhitungan

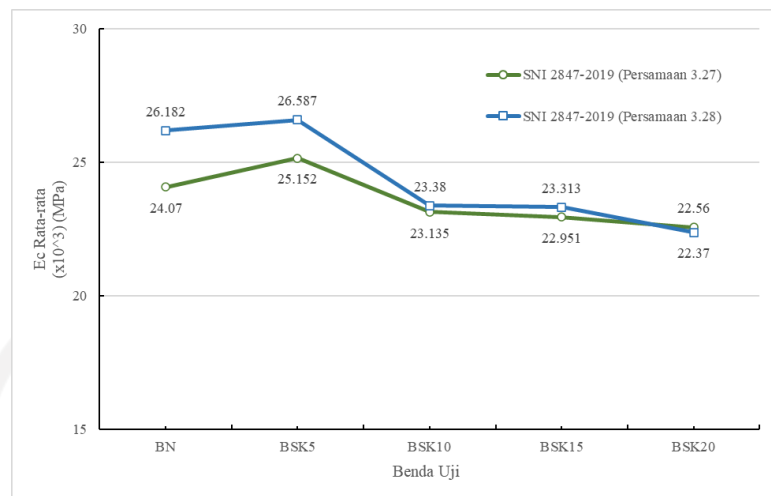
Dengan langkah perhitungan yang sama seperti pada poin 1, dapat diperoleh nilai modulus elastisitas beton. Hasil rekapitulasi perhitungan nilai modulus elastisitas dapat dilihat pada Tabel 5.27 sebagai berikut.

Tabel 5.27 Perbandingan Nilai Modulus Elastisitas

Kode Benda Uji	Berat Volume (kg/m ³)	Kuat Tekan (MPa)	ASTM C-469		Nawy (1990)		SNI 2847-2019			
			$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$		Persamaan Linier		$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c}$		$f'_c^{1.5} \times 0,043 \times \sqrt{f'_c}$	
			Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)	Nilai Ec (MPa)	Rata-Rata (MPa)
BN	2429,74	28,80	24548,97	23485,05	25911,04	24014,94	25221,13	24069,94	25911,04	24014,94
	2416,61	25,11	23779,00		23761,71		23551,88		23761,71	
	2406,24	24,87	22127,19		22372,08		23436,81		22372,08	
BSK5	2371,48	30,78	27882,32	25244,36	26049,72	24849,55	26203,15	25151,05	26049,72	24849,55
	2378,73	29,53	25893,00		24993,34		26091,32		24993,34	
	2366,45	24,28	21957,76		23505,60		23158,67		23505,60	
BSK10	2314,36	23,47	23734,55	22983,89	22635,59	22071,05	22771,54	23134,78	22635,59	22071,05
	2285,60	25,00	21683,12		21066,58		23499,10		21066,58	
	2306,80	24,23	23534,01		22510,98		23133,71		22510,98	
BSK15	2337,24	23,81	20649,00	20993,60	20649,00	20369,35	22933,61	22950,92	20649,00	20369,35
	2332,57	24,79	22686,39		20636,76		23400,44		20636,76	
	2315,04	22,96	19645,41		19822,29		22518,71		19822,29	
BSK20	2321,63	22,78	19805,97	20897,55	19520,85	20722,05	22430,81	22553,71	19520,85	20722,05
	2230,89	23,72	23859,42		23634,40		22889,38		23634,40	
	2323,41	22,59	19027,28		19010,91		22340,93		19010,91	

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan, grafik hubungan modulus elastisitas berdasarkan hasil pengujian dan hasil teoritis yang dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 sebagai berikut.

**Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Nilai Modulus Berdasarkan Pengujian**



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Nilai Modulus Berdasarkan Teoritis

Berdasarkan Tabel 5.27, terdapat perbedaan nilai antara metode ASTM C-469-94, SNI 2847-2019, dan persamaan linear. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan metode ASTM C-469-94 dan persamaan linear menggunakan data yang terjadi pada saat pengujian, sedangkan metode SNI 2847-2019 menggunakan pendekatan kuat tekan dan berat volume beton. Tingginya nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa beton dapat dengan mudah kembali ke bentuk awalnya ketika diberikan beban. Sementara itu, rendahnya nilai modulus elastisitas menunjukkan bahwa beton bersifat getas dan mudah retak.

Penelitian yang dilakukan oleh Putratama (2018) memperoleh hasil nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada beton normal, berbeda dengan penelitian yang dilakukan dimana hasil nilai modulus elastisitas tertinggi berada pada variasi BSK5 di semua metode perhitungan. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai modulus yaitu pemberian beban apakah konstan dan secara bertahap atau tidak, ketelitian dalam pembacaan nilai *dial*, kondisi fisik beton, dan lain-lain. Jika pemberian beban dilakukan secara tidak konstan, dapat menimbulkan kemungkinan nilai modulus elastisitas nantinya tidak akurat.

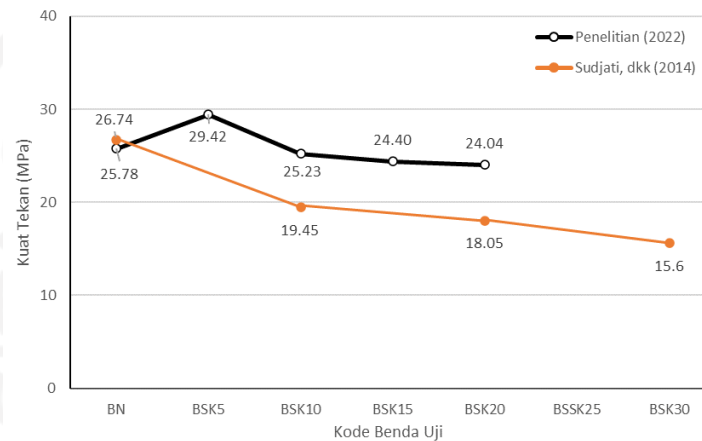
5.6 Pembahasan

Pada pengujian nilai *slump*, didapati penurunan *slump* seiring dengan penambahan serbuk kaca dan *silica fume*. Penelitian yang dilakukan oleh Aliabdo, dkk (2016) menunjukkan penurunan *slump* seiring dengan bertambahnya serbuk kaca. Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyo & Intang (2005) dan Zulkarnain & Kamil (2021) menunjukkan penurunan nilai *slump* seiring dengan bertambahnya *silica fume*. Berdasarkan uji material, diperoleh berat jenis serbuk kaca nilainya lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis agregat halus. Penyerapan air pada serbuk kaca didapatkan nilai 2,46%, lebih besar dibandingkan dengan penyerapan air agregat halus. Serbuk kaca yang digunakan juga ukurannya lebih kecil atau lebih halus dibandingkan dengan agregat halus sehingga diperlukan air yang lebih banyak. Oleh karena itu, nilai *slump* semakin bertambahnya serbuk kaca nilainya semakin menurun.

Nilai *slump* berpengaruh pada kemudahan dalam pembuatan beton, semakin tinggi nilai *slump*, maka tingkat kelecakan campuran beton tersebut semakin tinggi dan semakin mudah dikerjakan. Pada variasi beton dengan kode BN dan BSK5, proses pemadatan beton dapat dilakukan dengan mudah karena nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton dengan kode BSK10, BSK15, dan BSK20. Pada tiga variasi terakhir nilai *slump*-nya rendah sehingga proses pemadatan cukup sulit dan beton yang dihasilkan timbul pori. Menurut Tjokrodinuljo (2018), semakin encer beton segar maka semakin mudah beton segar tersebut dikerjakan.

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan serbuk kaca didapat variasi optimum yang beragam. Penelitian yang dilakukan oleh Putratama (2018) diperoleh variasi optimum serbuk kaca pada variasi 10% sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Sejati & Gunawan (2019) diperoleh variasi optimum serbuk kaca pada variasi 15%. Berkaitan dengan hal tersebut, komposisi variasi serbuk kaca dalam penelitian ini menggunakan interval 5% dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Akan tetapi, pada pengujian yang dilakukan oleh Sudjati, dkk (2014) dengan mutu rencana 25 MPa, penggunaan serbuk kaca justru menurunkan kekuatan beton. Perbandingan antara penelitian yang telah dilakukan dengan penelitian oleh Sudjati, dkk (2014) dapat dilihat pada Gambar 5.24 Sebagai berikut.



Gambar 5.24 Perbandingan Hasil Uji Tekan

Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh hasil penelitian serbuk kaca dengan *silica fume* dapat meningkatkan kekuatan beton. Ukuran butir serbuk kaca yang halus memengaruhi kekuatan beton tersebut. Serbuk kaca dengan ukuran yang halus memerlukan air dan jumlah semen yang lebih banyak untuk dapat terikat dengan baik satu sama lain.

Pada pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas, dan kuat lentur mendapatkan hasil yang berbeda dari penelitian yang sudah dilakukan. Nilai dari hasil yang paling tinggi terdapat pada variasi BSK5 yang kemudian mengalami penurunan dari mulai BSK10, BSK15, dan BSK20.

Berdasarkan pembahasan yang ada dalam poin-poin sebelumnya, diperoleh hasil tertinggi terdapat pada beton dengan substitusi sebagian serbuk kaca 5% terhadap agregat halus dan substitusi sebagian *silica fume* 10% terhadap berat semen pada seluruh pengujian. Penggunaan serbuk kaca dan *silica fume* dapat meningkatkan mutu beton yang sudah direncanakan berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan.

Perbedaan hasil pengujian tersebut bisa terjadi dikarenakan perbedaan material yang digunakan baik agregat, bahan tambah, hingga semen. Menurut penelitian oleh Habibi (2016) yang membandingkan pengaruh perbedaan penggunaan agregat halus terhadap kuat tekan, diperoleh hasil nilai kuat tekan beton yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan penggunaan material dalam campuran beton dapat memengaruhi mutu beton yang direncanakan. Selain perbedaan material, berdasarkan pengamatan selama penelitian menunjukkan bahwa kesempurnaan bentuk benda uji juga memengaruhi mutu beton.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Nilai kuat tekan beton tertinggi terdapat pada beton variasi 1 (BSK5) sebesar 29,42 MPa dan nilai terendah terdapat pada beton variasi 4 (BSK20) sebesar 24,04 MPa.
2. Nilai kuat tarik belah beton tertinggi terdapat pada beton variasi 1 (BSK5) sebesar 2,78 MPa dan nilai terendah terdapat pada beton variasi 4 (BSK20) sebesar 2,30 MPa.
3. Nilai kuat lentur beton tertinggi terdapat pada beton variasi 1 (BSK5) sebesar 4,38 MPa dan nilai terendah terdapat pada beton variasi 4 (BSK20) sebesar 3,43 MPa.
4. Nilai modulus elastisitas beton menggunakan perhitungan dengan 4 (empat) metode perhitungan, 2 (dua) perhitungan teoritis dan 2 (dua) perhitungan hasil langsung. Hasil perhitungan teoritis menunjukkan nilai tertinggi pada beton variasi 1 (BSK5) 25151,05 untuk metode SNI 2847-2019 Persamaan 3.27 dan 26586,75 MPa untuk metode SNI 2847-2019 Persamaan 3.28. Sedangkan untuk perhitungan dengan data langsung sebesar 25224,36 MPa untuk metode ASTM C-469-94 dan 24849,55 MPa dengan metode persamaan linear.
5. Penggunaan *silica fume* sebagai bahan pengganti semen berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan beton yang ditambahkan serbuk kaca. Meskipun variasi serbuk kaca 10%, 15%, dan 20% kekuatan betonnya dibawah kekuatan beton normal, beton tersebut masih dapat digunakan karena masih termasuk dalam kategori beton mutu sedang.

6.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, berikut saran dengan harapan dapat membantu dan bermanfaat untuk penelitian di kemudian hari. Saran yang dapat dipertimbangkan dalam penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Diperlukan *trial mixing* terlebih dahulu untuk menentukan *fas* yang tepat untuk mendapatkan kekuatan beton yang telah direncanakan.
2. Penelitian hanya sebatas pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas saja, perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai penyerapan air, keawetan, porositas, dan pengujian lainnya.
3. Diperlukan penelitian lanjutan dengan ukuran agregat kasar yang lebih merata dan masuk dalam persyaratan agregat kasar agar tidak timbul pori.
4. Dilakukan penelitian sejenis dengan ,enggunakan serbuk kaca dari limbah dengan bahan kaca *pyrex* dan ukuran serbuk kaca yang memiliki ukuran setara dengan agregat halus yang digunakan.
5. Diperlukan pengujian beton dengan 0% serbuk kaca + 10% *silica fume* untuk mengetahui pengaruh penambahan *silica fume* dalam campuran beton.
6. Diperlukan ketelitian yang tinggi dalam proses pembuatan mulai dari persiapan material, persiapan alat, proses pemadatan, proses perawatan, hingga proses pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aliabdo, A. A., Elmoaty, M. A., & Aboshama, A. Y. (2016). *Utilization of Waste Glass Powder in The Production of Cement and Concrete*.
- American Concrete Institute. (1990). *ACI 318-89 : Building Code Requirements for Reinforce Concrete, Part II, Material Concrete Quality*. PCA.
- Apriwelni, S., & Wirawan, N. B. (2020). Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Memanfaatkan Fly Ash dan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengisi. *Jurnal Saintis*, 20(01), 61–68. [https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20\(01\).4846](https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20(01).4846)
- Aryawan, W., & Satriohadi, B. (2001). *Pengaruh Tepung Kaca Terhadap Kuat Desak dan Kuat Lentur Balok Beton*.
- ASTM C469-94. (1995). *Metode Uji Standar Untuk Modulus Statis Elastisitas Dan Rasio Beton Poisson Dalam Kompresi*. ASTM Internasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1974-1990 : Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000 : Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2002a). *SNI 03-2491-2002: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2002b). *SNI 2847-2002 : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *SNI 15-2049-2004 : Semen Portland*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *SNI 1972-2008 : Cara Uji Slump Beton*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2008b). *SNI 2826-2008 : Cara Uji Modulus Elastisitas Batu dengan Tekanan Sumbu Tunggal*. In *Sni:2826* (pp. 1–12). Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011a). *SNI 1974-2011 : Kuat Tekan Beton dengan*

- Benda Uji Silinder yang Dicetak*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011b). *SNI 2493-2011 : Tata Cara Pembuatan Dan Perawatan Beton Uji Di Laboratorium*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011c). *SNI 4431-2011 : Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). *SNI 4154-2014 : Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (Menggunakan Balok Sederhana dengan Beban Terpusat di Tengah Bentang)*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 6371-2015 : Tata Cara Pengklasifikasian Tanah untuk Keperluan Teknik Dengan Sistem Klasifikasi Unifikasi Tanah*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 03-2847-2019 : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Darmadi, H. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Dan Sosial*. Alfabeta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PBI)*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Gideon, K., Kole, P., & Sagel, R. (1993). *Pedoman Pengerjaan Beton (CUR-2)*. Erlangga.
- Habibi, T. (2016). *Kajian Perbandingan Kuat Tekan Beton Terhadap Jenis Pasir di Yogyakarta*.
- Hanafiah, N. (2011). *Pengaruh Penambahan Bubuk Kaca sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap Kuat Tekan dan Nilai Slump*. Juli.
- Joni, I. G. P. (2017). *Faktor Yang Mempengaruhi Mutu Beton*. Universitas Udayana.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi Publishing.
- Nasution, A. (2009). *Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang*. ITB.
- Nawy. (1990). *Beton Bertulang - Suatu Pendekatan Dasar*. Erlangga.
- Novianto, A. (2005). *Pengaruh Penambahan Silica Fume Dan Superplasticizer*

Terhadap Kuat Desak Beton.

- Nurhidayat, I. (2021). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Pada Beton*. Universitas Siliwangi.
- Pane, F. P., & Tanudjaja, H. (2015). *Pengujian Kuat Terik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton*.
- Punusingon, M. A., Handono, B. D., & Ronny, P. (2019). Uji Eksperimental Kuat Tekan Beton Daur Ulang dengan Bahan Tambah Abu Terbang (Fly Ash) dan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 7(1), 57–66.
- Putratama, J. (2018). *Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Dan Sebagai Filler Dengan Bahan Tambah Silica Fume Terhadap Sifat Mekanik Beton*.
- Raharja, S., As'ad, S., & Sunarmasto. (2013). Pengaruh Penggunaan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Kinerja Tinggi. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 503–510.
- Sayyidina, R. U. A.-A. (2019). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca dan Silica Fume Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Beton Memadat Sendiri (SCC)*.
- Sejati, S. S., & Gunawan, L. I. (2019). *Serbuk Kaca Sebagai Bahan Tambah Pembuatan Beton Normal Berdasarkan Gradasi Pasir Zona 3*.
- Setiawan, B. (2006). *Pengaruh Penggunaan Agregat Kaca Pada Beton Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Shrinkage*.
- Setyo, H., & Intang, N. (2005). *Pengaruh Variasisilica Fumedan Perubahan Faktor Air Semen Terhadap Modulus Elastisitas Beton*.
- Sudibyjo, A., Alwi, S., & Indirwana, A. P. (2021). *Pengaruh Penggunaan Silica Fume Dengan Material Batu Laterit Sebagai Substitusi Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton*.
- Sudjati, J. J., Yuliyanti, T., & Rikardus. (2014). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Sifat Mekanik Beton*.
- Tjokrodimuljo, K. (2018). *Teknologi Beton* (Cetakan IV). Biro Penerbit KMTS

UGM.

V.M. Malhotra. (1999). *Making Concrete Greener with Fly Ash, Concrete International*.

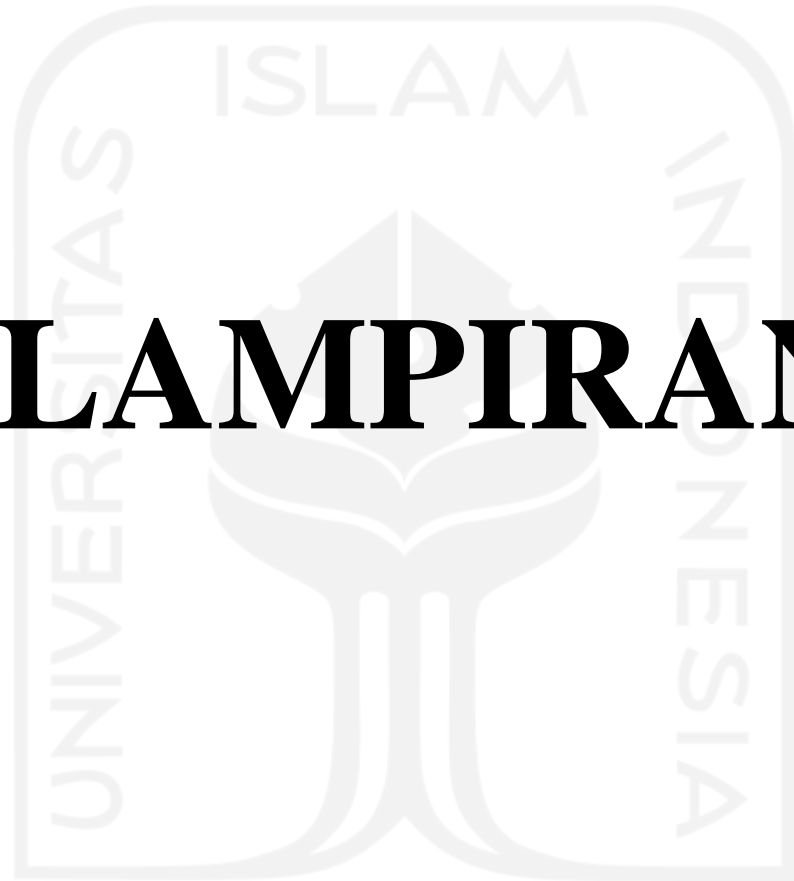
Waani, J. E., & Elisabeth, L. (2017). *Substitusi Material Pozolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen*.

Zai, K. A. (2014). *Pengaruh Penambahan Silica fume dan Superplasticizer terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Metode ACI (American Concrete Institute)*.

Zulkarnain, F., & Kamil, B. (2021). *Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sica Fume Pada Perendaman Air Laut*.



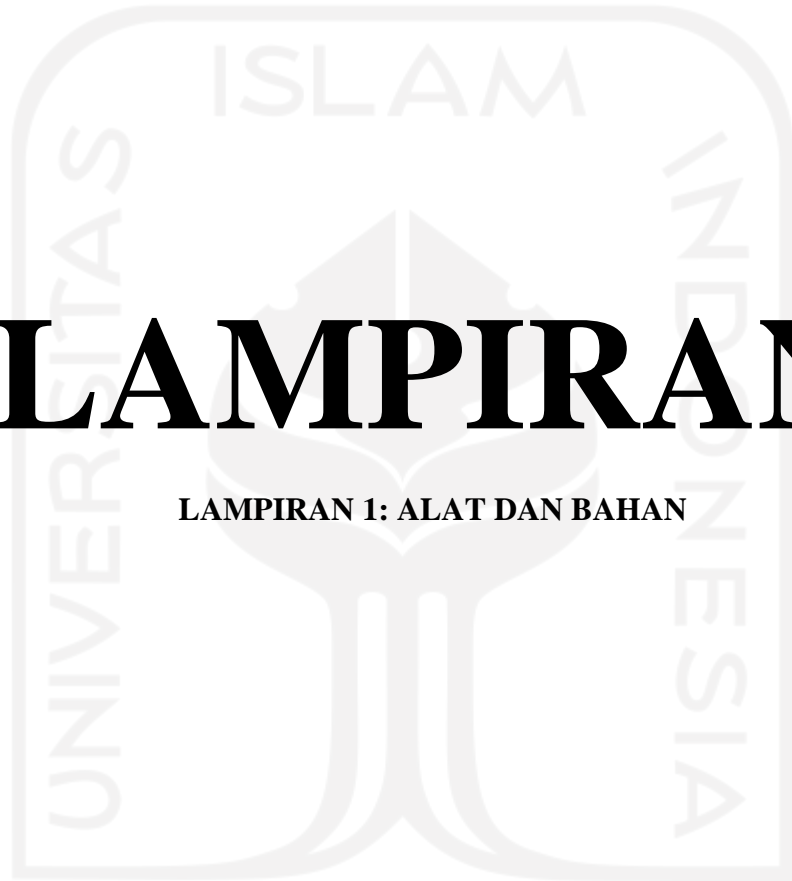
LAMPIRAN



الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: ALAT DAN BAHAN

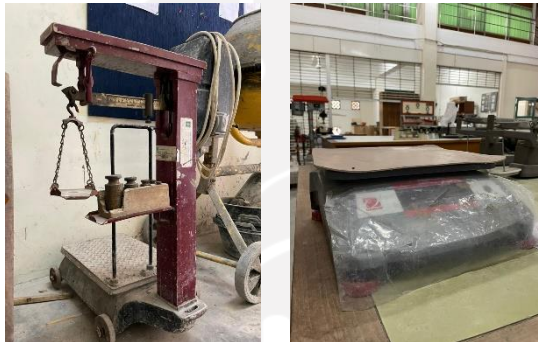


الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

1. Alat



Gambar L-1.1 Bekisting



Gambar L-1.2 Timbangan



Gambar L-1.3 Alat Ukur



Gambar L-1.4 Piknometer



Gambar L-1.5 Sieve Shaker



Gambar L-1.6 Kerucut Abram



Gambar L-1.7 Mixer



Gambar L-1.8 Oven



Gambar L-1.9 Ember



Gambar L-1.10 *Compression Testing Machine*



Gambar L-1.11 *Ultimate Testing Machines*

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

2. Bahan



Gambar L-1.12 Agregat Kasar



Gambar L-1.13 Agregat Halus



Gambar L-1.14 Semen



Gambar L-1.15 Silica Fume



Gambar L-1.16 Serbuk Kaca

LAMPIRAN

LAMPIRAN 2: PROSES PEMBUATAN DAN PENGUJIAN

الجمعة الإسلامية
الاستاذة الأندونيسية

1. Proses Pembuatan



Gambar L-2.1 Proses Pencucian Agregat Kasar



Gambar L-2.2 Proses Penyaringan Agregat Halus



Gambar L-2.3 Agregat Kasar yang Sudah Dicuci



Gambar L-2.4 Agregat Halus yang Sudah Disaring



Gambar L-2.5 Mempersiapkan Cetakan



Gambar L-2.6 Proses Pembuatan Campuran Beton



Gambar L-2.7 Proses Uji *Slump*



Gambar L-2.8 Proses Pematatan Campuran Beton Pada Cetakan



Gambar L-2.9 Proses Perendaman Benda Uji

2. Proses Pengujian



Gambar L-2.10 Proses Pengukuran dan Penamaan Benda Uji



Gambar L-2.11 Proses *Capping* Benda Uji



Gambar L-2.12 Proses Pengujian Benda Uji



Gambar L-2.13 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas



Gambar L-2.14 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tarik Belah



Gambar L-2.15 Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Lentur

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

The image features a large, faint watermark of the Universitas Islam Indonesia logo in the background. The logo is a shield-shaped emblem with a stylized tree or plant in the center. The text 'UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA' is written around the perimeter of the shield. Below the shield, there is Arabic calligraphy. The main title 'LAMPIRAN' is centered over the logo in a large, bold, black serif font.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 3 : HASIL PENGUJIAN

1. Pengujian Material

Tabel L-3.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) (gram)	496	495	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (gram)	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) (gram)	1148	1017	
Berat piknometer berisi air (B) (gram)	838	707	
Berat jenis curah	2,6105	2,6053	2,608
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6316	2,6316	2,632
Berat jenis semu	2,6667	2,6757	2,671
Penyerapan Air (%) (%)	0,81%	1,01%	0,91%

Tabel L-3.2 Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	29,92	
Tinggi (cm)	14,87	
Berat tabung (gram)	10720	
Berat tabung + agregat kering tungku (w2) (gram)	17913	17649
Berat agregat (w3) (gram)	7193	6929
Volume tabung (v) (cm ³)	5193,143	
Berat volume gembur (gram/cm ³)	1,385	1,334
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,360	

Tabel L-3.3 Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

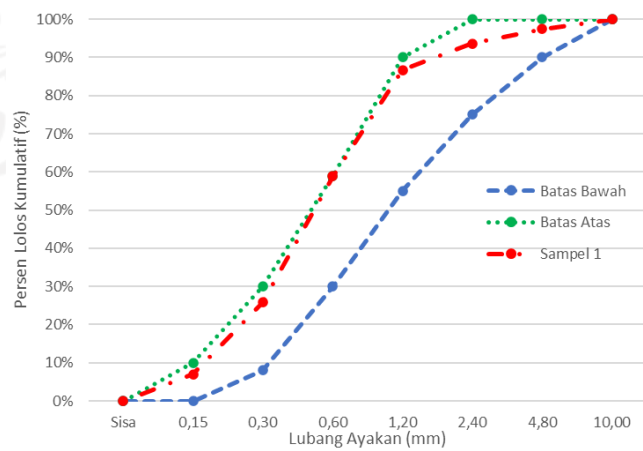
Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	29,92	
Tinggi (cm)	14,87	
Berat tabung (gram)	10720	
Berat tabung + agregat kering tungku (w2) (gram)	19110	19035
Berat agregat (w3) (gram)	8390	8315
Volume tabung (v) (cm ³)	5193,143	
Berat volume padat (gram/cm ³)	1,616	1,601
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,608	

Tabel L-3.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

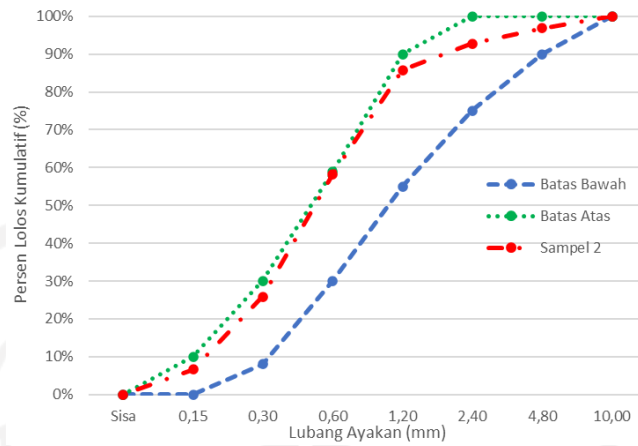
No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
3	4,80	51	2,55%	2,55%	97,45%	90%	100%
4	2,40	77	3,85%	6,41%	93,59%	75%	100%
5	1,20	139	6,96%	13,36%	86,64%	55%	90%
6	0,60	554	27,73%	41,09%	58,91%	30%	59%
7	0,30	660	33,03%	74,12%	25,88%	8%	30%
8	0,15	376	18,82%	92,94%	7,06%	0%	10%
8	Sisa	141	7,06%	100,00%	0,00%	0%	0%
9	Jumlah	1998	100,00%	330,48%			

Tabel L-3.5 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	100%	100%
3	4,80	63	3,15%	3,15%	96,85%	90%	100%
4	2,40	81	4,05%	7,21%	92,79%	75%	100%
5	1,20	139	6,96%	14,16%	85,84%	55%	90%
6	0,60	550	27,53%	41,69%	58,31%	30%	59%
7	0,30	649	32,48%	74,17%	25,83%	8%	30%
8	0,15	384	19,22%	93,39%	6,61%	0%	10%
8	Sisa	132	6,61%	100,00%	0,00%	0%	0%
9	Jumlah	1998	100,00%	333,78%			



Gambar L-3.1 Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar L-3.2 Gradasi Agregat Halus Sampel 2

Tabel L-3.6 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian		Hasil Pengamatan	
		Sampel 1	Sampel 2
Berat Agregat Kering Oven (W1)	(gram)	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W20)	(gram)	494	492
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	(%)	1,20%	1,60%

Tabel L-3.7 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat kerikil kering mutlak, gram (Bk)	4918	4922	
Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	
Berat kerikil dalam air (Ba)	3136	3147	
Berat jenis curah	2,6384	2,6562	2,647
Berat jenis jenuh kering muka (SSD)	2,6824	2,983	2,690
Berat jenis semu	2,7598	2,7730	2,766
Penyerapan Air (%)	1,67%	1,58%	1,63%

Tabel L-3.8 Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	30.20	
Tinggi (cm)	14.92	
Berat tabung (gram)	10725	
Berat tabung + agregat (w2) (gram)	19137	19193
Berat agregat (w3) (gram)	8412	8468
Volume tabung (v) (cm ³)	5280,007	
Berat volume gembur (gram/cm ³)	1,593	1,604
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,598	

Tabel L-3.9 Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

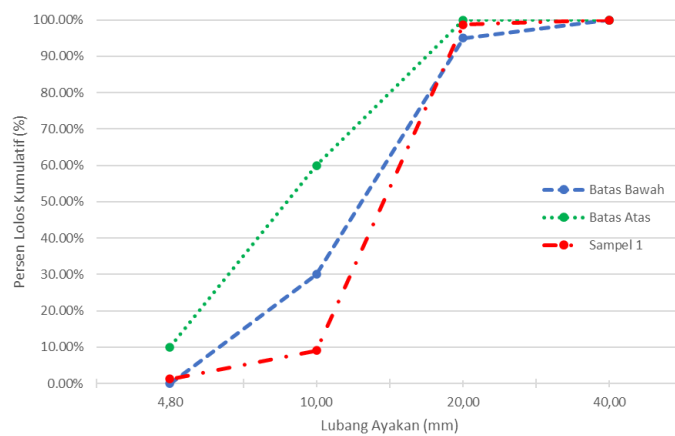
Uraian	Hasil Pengamatan	
	Sampel 1	Sampel 2
Diameter (cm)	30.20	
Tinggi (cm)	14.92	
Berat tabung (gram)	10725	
Berat tabung + agregat (w2) (gram)	18220	18257
Berat agregat (w3) (gram)	7495	7532
Volume tabung (v) (cm ³)	5280,007	
Berat volume padat (gram/cm ³)	1,420	1,427
Rata-rata berat volume (gram/cm ³)	1,423	

Tabel L-3.10 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

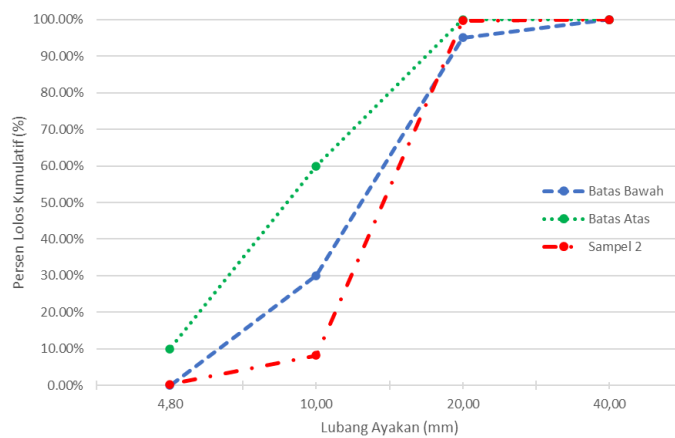
No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1	40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	20,00	64	1,28%	1,28%	98,72%
3	10,00	4479	89,62%	90,90%	9,10%
4	4,80	395	7,90%	98,80%	1,20%
5	2,40	0	0,00%	98,80%	1,20%
6	1,20	0	0,00%	98,80%	1,20%
7	0,60	0	0,00%	98,80%	1,20%
8	0,30	0	0,00%	98,80%	1,20%
9	0,15	0	0,00%	98,80%	1,20%
10	Sisa	60	1,20%	100,00%	0,00%
	Jumlah	4998	100,00%	784,97%	

Tabel L-3.11 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
1	40,00	0	0,00%	0,00%	100,00%
2	20,00	15	0,30%	0,30%	99,70%
3	10,00	4574	91,52%	91,82%	8,18%
4	4,80	391	7,82%	99,64%	0,36%
5	2,40	0	0,00%	99,64%	0,36%
6	1,20	0	0,00%	99,64%	0,36%
7	0,60	0	0,00%	99,64%	0,36%
8	0,30	0	0,00%	99,64%	0,36%
9	0,15	0	0,00%	99,64%	0,36%
10	Sisa	18	0,36%	100,00%	0,00%
	Jumlah	4998	100,00%	789,96%	



Gambar L-3.3 Gradasi Agregat Halus Sampel 1



Gambar L-3.4 Gradasi Agregat Halus Sampel 2

Tabel L-3.12 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Serbuk Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-rata
	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) (gram)	490	486	
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) (gram)	500	500	
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) (gram)	1002	1118	
Berat piknometer berisi air (B) (gram)	715	828	
Berat Jenis Curah	2,3005	2,3143	2,307
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD)	2,3474	2,3810	2,364
Berat Jenis semu	2,4138	2,4796	2,447
Penyerapan Air (%)	2,04%	2,88%	2,46%

Tabel L-3.13 Pengujian Berat Volume Gembur Serbuk Kaca

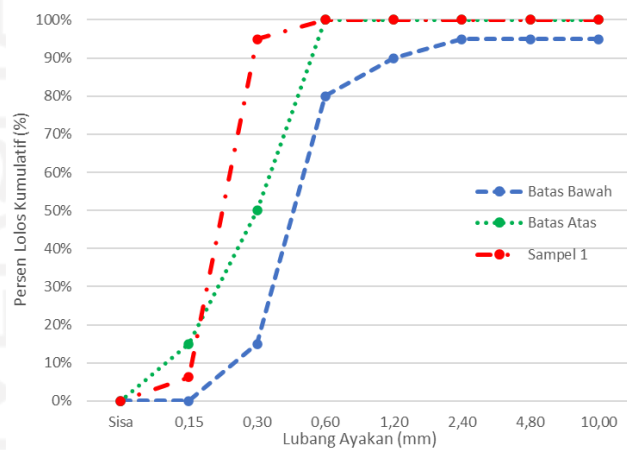
Uraian	Hasil Pengamatan	
	Benda Uji 1	Benda Uji 2
Diameter (cm)	10,34	
Tinggi (cm)	19,94	
Berat Tabung (gram)	5172	
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2) (gram)	6891	6902
Berat Agregat (W3) (gram)	1719	1730
Volume Tabung (V) (cm ³)	1673,309	
Berat Volume Gembur (gram/cm ³)	1,027	1,304
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,304	

Tabel L-3.14 Pengujian Berat Volume Padat Serbuk Kaca

Uraian	Hasil Pengamatan	
	Benda Uji 1	Benda Uji 2
Diameter (cm)	10,34	
Tinggi (cm)	19,94	
Berat Tabung (gram)	5172	
Berat Tabung + Agregat Kering Tungku (W2) (gram)	7143	7173
Berat Agregat (W3) (gram)	1971	2001
Volume Tabung (V) (cm ³)	1673,309	
Berat Volume Padat (gram/cm ³)	1,178	1,196
Rata-rata Berat Volume (gram/cm ³)	1,187	

Tabel L-3.15 Pengujian Analisa Saringan Serbuk Kaca

No	Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)	Batas Bawah	Batas Atas
1	20,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	95%	100%
2	10,00	0	0,00%	0,00%	100,00%	95%	100%
3	4,80	0	0,00%	0,00%	100,00%	95%	100%
4	2,40	0	0,00%	0,00%	100,00%	95%	100%
5	1,20	0	0,00%	0,00%	100,00%	90%	100%
6	0,60	0	0,00%	0,00%	100,00%	80%	100%
7	0,30	101	5,06%	5,06%	94,94%	15%	50%
8	0,15	1771	88,68%	93,74%	6,26%	0%	15%
8	Sisa	125	6,26%	100,00%	0,00%	0%	0%
9	Jumlah	1997	100,00%	198,80%			



Gambar L-3.5 Gradasi Serbuk Kaca

2. Pengujian Benda Uji

a. Slump

Benda Uji	Komposisi Campuran		Tinggi <i>Slump</i> (cm)	Keterangan Syarat Nilai <i>Slump</i> (60-180 mm)
	Serbuk Kaca (%)	<i>Silica Fume</i> (%)		
BN	0	0	12	Memenuhi
BSK5	5	10	11	Memenuhi
BSK10	10	10	9	Memenuhi
BSK15	15	10	8	Memenuhi
BSK20	20	10	7	Memenuhi

b. Kuat Tekan

Kode Benda Uji	Beban Maksimum	Luas Penampang	Kuat Desak	Kuat Desak Rata-rata
	(N)	(mm ²)	(MPa)	
BN	461000	17813,11	25,88	25,78
	466000	17679,31	26,36	
	440000	17522,55	25,11	
BSK5	535000	18034,59	29,67	29,42
	530000	17868,35	29,66	
	540000	18666,84	28,93	
BSK10	432000	17593,01	24,56	25,23
	470000	17876,25	26,29	
	440000	17710,75	24,84	
BSK15	440000	17687,17	24,88	24,40
	435000	17750,09	24,51	
	420000	17640,06	23,81	
BSK20	430000	17718,61	24,27	24,04
	420000	17923,68	23,43	
	440000	18026,65	24,41	

c. Kuat Tarik Belah

Kode Benda Uji	Beban Maksimum	Luas Penampang	Kuat Tarik	Kuat Tarik Rata-rata	Korelasi dengan Kuat Tekan
	(N)	(mm ²)	(MPa)		(%)
BN	180000,00	142457,50	2,53	2,53	9,81
	185000,00	142662,51	2,59		
	175000,00	142046,19	2,46		
BSK5	200000,00	143985,94	2,78	2,78	9,45
	196000,00	144101,84	2,72		
	202000,00	142175,53	2,84		
BSK10	179000,00	143942,53	2,49	2,54	10,07
	183000,00	144091,45	2,54		
	187000,00	143989,94	2,60		
BSK15	166000,00	145006,49	2,29	2,36	9,66
	173000,00	143038,96	2,42		
	168000,00	142056,52	2,37		
BSK20	169000,00	144115,93	2,35	2,30	9,56
	168000,00	145151,29	2,31		
	160000,00	143145,85	2,24		

d. Kuat Lentur

Kuat Lentur Rata-rata	Beban Maksimum (kgf)	Kuat Lentur	Kuat Lentur Rata-rata	Kuat Tekan	Koef
BN	2650	3,69	3,70	25,78	0,728
	2590	3,64			
	2670	3,76			
BSK5	2900	4,13	4,38	29,42	0,808
	3270	4,64			
	3050	4,38			
BSK10	2620	3,64	3,62	25,23	0,720
	2570	3,58			
	2550	3,62			
BSK15	2510	3,52	3,49	24,40	0,706
	2520	3,50			
	2460	3,45			
BSK20	2420	3,47	3,43	24,04	0,700
	2430	3,37			
	2390	3,45			



e. Modulus Elastisitas

1) BN S4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	10	0,0050	0,00003	0,5646
20	20000	17,5	0,0088	0,00004	1,1293
30	30000	27	0,0135	0,00007	1,6939
40	40000	33,5	0,0168	0,00008	2,2585
50	50000	42	0,0210	0,00011	2,8231
60	60000	49	0,0245	0,00012	3,3878
70	70000	56,5	0,0283	0,00014	3,9524
80	80000	63	0,0315	0,00016	4,5170
90	90000	71,5	0,0358	0,00018	5,0817
100	100000	82,5	0,0413	0,00021	5,6463
110	110000	90,9	0,0455	0,00023	6,2109
120	120000	99,4	0,0497	0,00025	6,7755
130	130000	108,4	0,0542	0,00027	7,3402
140	140000	116,9	0,0585	0,00029	7,9048
150	150000	124,4	0,0622	0,00031	8,4694
160	160000	133,9	0,0670	0,00033	9,0341
170	170000	143,9	0,0720	0,00036	9,5987
180	180000	152,4	0,0762	0,00038	10,1633
190	190000	161,4	0,0807	0,00040	10,7279
200	200000	170,4	0,0852	0,00043	11,2926
210	210000	184,4	0,0922	0,00046	11,8572
220	220000	190,9	0,0955	0,00048	12,4218
230	230000	199,4	0,0997	0,00050	12,9865
240	240000	208,4	0,1042	0,00052	13,5511
250	250000	221,4	0,1107	0,00055	14,1157
260	260000	228,4	0,1142	0,00057	14,6803
270	270000	236,9	0,1185	0,00059	15,2450
280	280000	247,4	0,1237	0,00062	15,8096
290	290000	258,8	0,1294	0,00065	16,3742
300	300000	271,3	0,1357	0,00068	16,9389
310	310000	281,3	0,1407	0,00070	17,5035
320	320000	294,3	0,1472	0,00074	18,0681
330	330000	305,8	0,1529	0,00076	18,6328
340	340000	318,8	0,1594	0,00080	19,1974
350	350000	329,3	0,1647	0,00082	19,7620
360	360000	341,8	0,1709	0,00085	20,3266
370	370000	354,8	0,1774	0,00089	20,8913
380	380000	371,8	0,1859	0,00093	21,4559
390	390000	383,8	0,1919	0,00096	22,0205
400	400000	401,8	0,2009	0,00100	22,5852
410	410000	416,7	0,2084	0,00104	23,1498
420	420000	434,2	0,2171	0,00109	23,7144
430	430000	451,7	0,2259	0,00113	24,2790
440	440000	462,2	0,2311	0,00116	24,8437
450	450000	501,7	0,2509	0,00125	25,4083
460	460000	521,7	0,2609	0,00130	25,9729
470	470000	548,2	0,2741	0,00137	26,5376
480	480000	571,7	0,2859	0,00143	27,1022
490	490000	594,6	0,2973	0,00149	27,6668
500	500000	625,1	0,3126	0,00156	28,2314
510	510000	685,6	0,3428	0,00171	28,7961
500	500000	786,6	0,3933	0,00197	28,2314
490	490000	946,9	0,4735	0,00237	27,6668
480	480000	1053,9	0,5270	0,00263	27,1022
470	470000	1116,3	0,5582	0,00279	26,5376

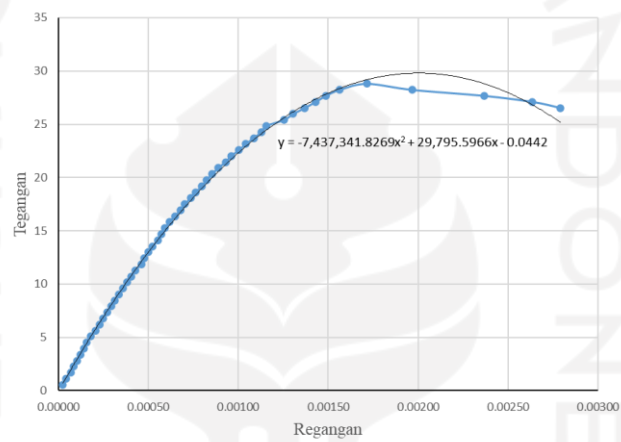
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	150,17	mm
Tinggi	301,40	mm
Luas	17710,75	mm ²
Beban Maks	510	KN
Kuat Tekan	28,79607	Mpa
Berat Volume	2429,74	gram/m ³

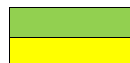


الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

2) BN S5

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	6,5	0,00325	0,00001625	0,5707
20	20000	11,5	0,00575	0,00002875	1,1414
30	30000	19	0,0095	0,0000475	1,7121
40	40000	26,5	0,01325	0,00006625	2,2828
50	50000	33	0,0165	0,0000825	2,8535
60	60000	43	0,0215	0,0001075	3,4242
70	70000	51,5	0,02575	0,00012875	3,9949
80	80000	60,5	0,03025	0,00015125	4,5655
90	90000	68	0,034	0,00017	5,1362
100	100000	78	0,039	0,000195	5,7069
110	110000	89,4	0,0447	0,0002235	6,2776
120	120000	99,4	0,0497	0,0002485	6,8483
130	130000	111,4	0,0557	0,0002785	7,4190
140	140000	119,9	0,05995	0,00029975	7,9897
150	150000	129,9	0,06495	0,00032475	8,5604
160	160000	138,9	0,06945	0,00034725	9,1311
170	170000	143,9	0,07195	0,00035975	9,7018
180	180000	154,4	0,0772	0,00039	10,2725
190	190000	163,4	0,0817	0,0004085	10,8432
200	200000	179,4	0,0897	0,0004485	11,4139
210	210000	189,9	0,09495	0,00047475	11,9846
220	220000	200,9	0,10045	0,00050225	12,5553
230	230000	211,4	0,1057	0,0005285	13,1259
240	240000	223,4	0,1117	0,0005585	13,6966
250	250000	234,4	0,1172	0,000586	14,2673
260	260000	247,9	0,12395	0,00061975	14,8380
270	270000	252,3	0,12615	0,00063075	15,4087
280	280000	267,8	0,1339	0,0006695	15,9794
290	290000	288,8	0,1444	0,000722	16,5501
300	300000	313,8	0,1569	0,0007845	17,1208
310	310000	330,4	0,1652	0,000826	17,6915
320	320000	351,8	0,1759	0,0008795	18,2622
330	330000	374,4	0,1872	0,000936	18,8329
340	340000	394,3	0,19715	0,00098575	19,4036
350	350000	417,7	0,20885	0,00104425	19,9743
360	360000	436,7	0,21835	0,00109175	20,5450
370	370000	457,2	0,2286	0,001143	21,1157
380	380000	478,2	0,2391	0,0011955	21,6863
390	390000	503,7	0,25185	0,00125925	22,2570
400	400000	528,2	0,2641	0,0013205	22,8277
410	410000	553,2	0,2766	0,001383	23,3984
420	420000	589,1	0,29455	0,00147275	23,9691
430	430000	642,4	0,3212	0,001606	24,5398
440	440000	716,8	0,3584	0,001792	25,1105
430	430000	824,5	0,41225	0,00206125	24,5398
420	420000	901,4	0,4507	0,0022535	23,9691
410	410000	989	0,4945	0,0024725	23,3984
400	400000	1131,8	0,5659	0,0028295	22,8277

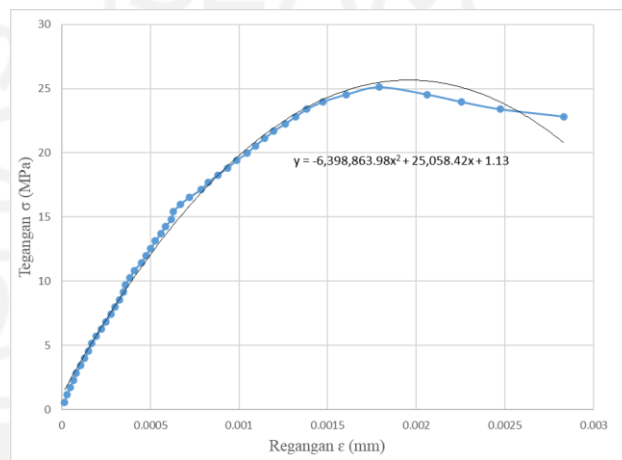
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	149,37	mm
Tinggi	301,33	mm
Luas	17522,548	mm ²
Beban Maks	440	KN
Kuat Tekan	25.11	Mpa
Berat Volume	2416,61	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاستدراك الهندسي

3) BN S6

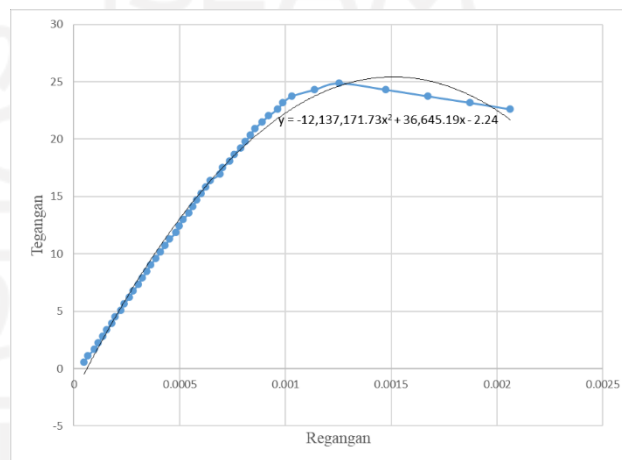
Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	19,5	0,00975	0,00004875	0,5651
20	20000	26,5	0,01325	0,00006625	1,1303
30	30000	38,5	0,01925	0,00009625	1,6954
40	40000	46,5	0,02325	0,00011625	2,2605
50	50000	54	0,027	0,000135	2,8257
60	60000	61,5	0,03075	0,00015375	3,3908
70	70000	71,5	0,03575	0,00017875	3,9559
80	80000	78	0,039	0,000195	4,5210
90	90000	88,4	0,0442	0,000221	5,0862
100	100000	94,9	0,04745	0,00023725	5,6513
110	110000	104,9	0,05245	0,00026225	6,2164
120	120000	112,4	0,0562	0,000281	6,7816
130	130000	121,9	0,06095	0,00030475	7,3467
140	140000	128,9	0,06445	0,00032225	7,9118
150	150000	138,4	0,0692	0,000346	8,4770
160	160000	144,9	0,07245	0,00036225	9,0421
170	170000	154,9	0,07745	0,00038725	9,6072
180	180000	163,4	0,0817	0,00041	10,1723
190	190000	172,4	0,0862	0,000431	10,7375
200	200000	180,9	0,09045	0,00045225	11,3026
210	210000	192,9	0,09645	0,00048225	11,8677
220	220000	199,4	0,0997	0,0004985	12,4329
230	230000	206,9	0,10345	0,00051725	12,9980
240	240000	216,9	0,10845	0,00054225	13,5631
250	250000	224,4	0,1122	0,000561	14,1283
260	260000	231,9	0,11595	0,00057975	14,6934
270	270000	240,4	0,1202	0,000601	15,2585
280	280000	249,8	0,1249	0,0006245	15,8237
290	290000	257,8	0,1289	0,0006445	16,3888
300	300000	276,3	0,13815	0,00069075	16,9539
310	310000	281,3	0,14065	0,00070325	17,5190
320	320000	294,8	0,1474	0,000737	18,0842
330	330000	302,8	0,1514	0,000757	18,6493
340	340000	314,8	0,1574	0,000787	19,2144
350	350000	324,3	0,16215	0,00081075	19,7796
360	360000	333,3	0,16665	0,00083325	20,3447
370	370000	341,8	0,1709	0,0008545	20,9098
380	380000	355,3	0,17765	0,00088825	21,4750
390	390000	368,3	0,18415	0,00092075	22,0401
400	400000	385,3	0,19265	0,00096325	22,6052
410	410000	395,3	0,19765	0,00098825	23,1703
420	420000	412,3	0,20615	0,00103075	23,7355
430	430000	454,4	0,2272	0,001136	24,3006
440	440000	501,5	0,25075	0,00125375	24,8657
430	430000	589,8	0,2949	0,0014745	24,3006
420	420000	668,8	0,3344	0,001672	23,7355
410	410000	748,4	0,3742	0,001871	23,1703
400	400000	824,8	0,4124	0,002062	22,6052

Keterangan:



teg 2'
teg 1'

Diameter	150,10	mm
Tinggi	302,50	mm
Luas	17695,028	mm ²
Beban Maks	440	KN
Kuat Tekan	24,866	Mpa
Berat Volume	2406,24	gram/m ³



UNIVERSITAS ISLAM ESIA
 الجامعة الإسلامية
 البعث الإسلامية
 البعث الإسلامية

4) BSK5 S4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	14	0,007	0,000035	0,5646
20	20000	22	0,011	0,000055	1,1293
30	30000	28,5	0,01425	0,00007125	1,6939
40	40000	40	0,02	0,0001	2,2585
50	50000	48,5	0,02425	0,00012125	2,8231
60	60000	60,5	0,03025	0,00015125	3,3878
70	70000	71	0,0355	0,0001775	3,9524
80	80000	78	0,039	0,000195	4,5170
90	90000	91,4	0,0457	0,0002285	5,0817
100	100000	98,4	0,0492	0,000246	5,6463
110	110000	110,9	0,05545	0,00027725	6,2109
120	120000	119,4	0,0597	0,0002985	6,7755
130	130000	130,4	0,0652	0,000326	7,3402
140	140000	138,9	0,06945	0,00034725	7,9048
150	150000	148,4	0,0742	0,000371	8,4694
160	160000	160,4	0,0802	0,000401	9,0341
170	170000	170,4	0,0852	0,000426	9,5987
180	180000	179,4	0,0897	0,0004485	10,1633
190	190000	188,9	0,09445	0,00047225	10,7279
200	200000	203,9	0,10195	0,00050975	11,2926
210	210000	212,4	0,1062	0,000531	11,8572
220	220000	224,4	0,1122	0,000561	12,4218
230	230000	239,9	0,11995	0,00059975	12,9865
240	240000	249,9	0,12495	0,00062475	13,5511
250	250000	262,3	0,13115	0,00065575	14,1157
260	260000	279,3	0,13965	0,00069825	14,6803
270	270000	291,3	0,14565	0,00072825	15,2450
280	280000	304,3	0,15215	0,00076075	15,8096
290	290000	316,3	0,15815	0,00079075	16,3742
300	300000	337,3	0,16865	0,00084325	16,9389
310	310000	342,8	0,1714	0,000857	17,5035
320	320000	357,8	0,1789	0,0008945	18,0681
330	330000	374,8	0,1874	0,000937	18,6328
340	340000	387,8	0,1939	0,0009695	19,1974
350	350000	407,3	0,20365	0,00101825	19,7620
360	360000	421,2	0,2106	0,001053	20,3266
370	370000	440,7	0,22035	0,00110175	20,8913
380	380000	452,5	0,22625	0,00113125	21,4559
390	390000	466,6	0,2333	0,0011665	22,0205
400	400000	485,6	0,2428	0,001214	22,5852
410	410000	521,8	0,2609	0,0013045	23,1498
420	420000	562,4	0,2812	0,001406	23,7144
430	430000	644,8	0,3224	0,001612	24,2790
420	420000	733,3	0,36665	0,00183325	23,7144
410	410000	784,4	0,3922	0,001961	23,1498
400	400000	822,2	0,4111	0,0020555	22,5852

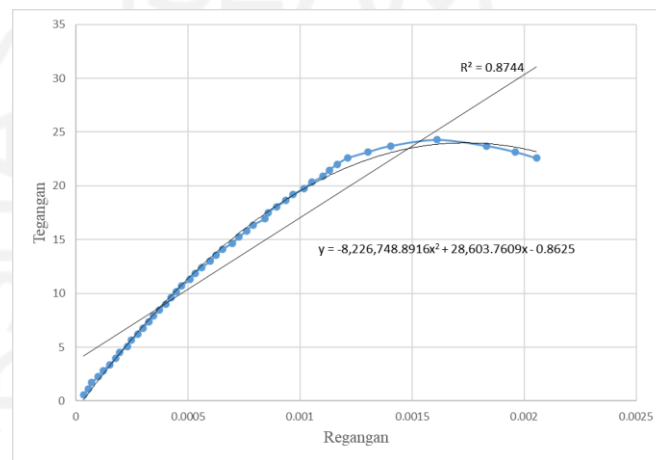
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	150,17	mm
Tinggi	305,40	mm
Luas	17710,75	mm ²
Beban Maks	430,00	KN
Kuat Tekan	24,28	Mpa
Berat Volume	2371,48	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاسلامية
الاسلامية

5) BSK5 S5

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	9,6	0,0048	0,000024	0,571
20	20000	18,6	0,0093	0,0000465	1,141
30	30000	25,6	0,0128	0,000064	1,712
40	40000	37,6	0,0188	0,000094	2,283
50	50000	43,6	0,0218	0,000109	2,853
60	60000	55,5	0,02775	0,00013875	3,424
70	70000	62,6	0,0313	0,0001565	3,995
80	80000	69,8	0,0349	0,0001745	4,566
90	90000	79,6	0,0398	0,000199	5,136
100	100000	88,4	0,0442	0,000221	5,707
110	110000	95,2	0,0476	0,000238	6,278
120	120000	103,4	0,0517	0,0002585	6,848
130	130000	113,6	0,0568	0,000284	7,419
140	140000	122,4	0,0612	0,000306	7,990
150	150000	127,7	0,06385	0,00031925	8,560
160	160000	133,6	0,0668	0,000334	9,131
170	170000	147,6	0,0738	0,000369	9,702
180	180000	155,5	0,07775	0,00038875	10,272
190	190000	167,2	0,0836	0,000418	10,843
200	200000	177,4	0,0887	0,0004435	11,414
210	210000	185,5	0,09275	0,00046375	11,985
220	220000	191,1	0,09555	0,00047775	12,555
230	230000	201,5	0,10075	0,00050375	13,126
240	240000	215,4	0,1077	0,0005385	13,697
250	250000	224,2	0,1121	0,0005605	14,267
260	260000	238,8	0,1194	0,000597	14,838
270	270000	248,9	0,12445	0,00062225	15,409
280	280000	257,7	0,12885	0,00064425	15,979
290	290000	273,2	0,1366	0,000683	16,550
300	300000	288,2	0,1441	0,0007205	17,121
310	310000	299,9	0,14995	0,00074975	17,691
320	320000	307,7	0,15385	0,00076925	18,262
330	330000	317,6	0,1588	0,000794	18,833
340	340000	324,6	0,1623	0,0008115	19,404
350	350000	337,6	0,1688	0,000844	19,974
360	360000	349,6	0,1748	0,000874	20,545
370	370000	364,4	0,1822	0,000911	21,116
380	380000	374,4	0,1872	0,000936	21,686
390	390000	391,4	0,1957	0,0009785	22,257
400	400000	406,4	0,2032	0,001016	22,828
410	410000	421,2	0,2106	0,001053	23,398
420	420000	434,6	0,2173	0,0010865	23,969
430	430000	446,6	0,2233	0,0011165	24,540
440	440000	464,2	0,2321	0,0011605	25,111
450	450000	477,8	0,2389	0,0011945	25,681
460	460000	499,6	0,2498	0,001249	26,252
470	470000	512,4	0,2562	0,001281	26,823
480	480000	539,2	0,2696	0,001348	27,393
490	490000	555,6	0,2778	0,001389	27,964
500	500000	575,5	0,28775	0,00143875	28,535
510	510000	602,4	0,3012	0,001506	29,105
520	520000	633,4	0,3167	0,0015835	29,676
530	530000	655,6	0,3278	0,001639	30,247
540	540000	702,5	0,35125	0,00175625	30,817
530	530000	777,5	0,38875	0,00194375	30,247
520	520000	855,5	0,42775	0,00213875	29,676
510	510000	932,2	0,4661	0,0023305	29,105

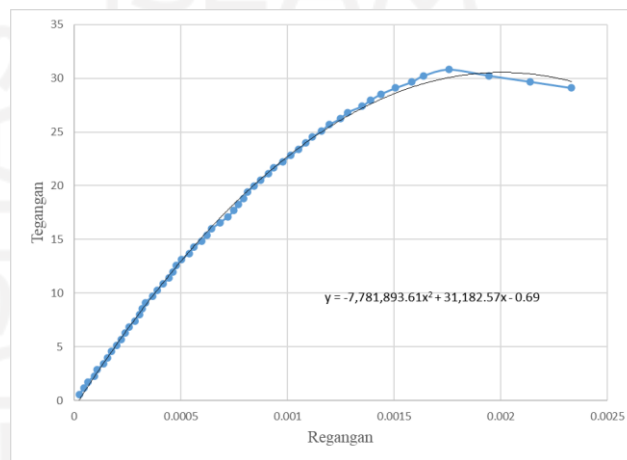
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	149,37	mm
Tinggi	301,33	mm
Luas	17522,55	mm ²
Beban Maks	540,00	KN
Kuat Tekan	30,82	Mpa
Berat Volume	2378,73	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
 البعث الإسلامي
 البعث الإسلامي

6) BSK5 S6

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	8,5	0,00425	0,00002125	0,5651
20	20000	19,5	0,00975	0,00004875	1,1303
30	30000	24,5	0,01225	0,00006125	1,6954
40	40000	38	0,019	0,000095	2,2605
50	50000	44,5	0,02225	0,00011125	2,8257
60	60000	56	0,028	0,00014	3,3908
70	70000	62,5	0,03125	0,00015625	3,9559
80	80000	69,5	0,03475	0,00017375	4,5210
90	90000	81	0,0405	0,0002025	5,0862
100	100000	88,9	0,04445	0,00022225	5,6513
110	110000	94,9	0,04745	0,00023725	6,2164
120	120000	104,4	0,0522	0,000261	6,7816
130	130000	113,9	0,05695	0,00028475	7,3467
140	140000	124,4	0,0622	0,000311	7,9118
150	150000	134,4	0,0672	0,000336	8,4770
160	160000	147,9	0,07395	0,00036975	9,0421
170	170000	154,4	0,0772	0,000386	9,6072
180	180000	167,4	0,0837	0,0004185	10,1723
190	190000	176,4	0,0882	0,000441	10,7375
200	200000	184,9	0,09245	0,00046225	11,3026
210	210000	192,4	0,0962	0,000481	11,8677
220	220000	201,6	0,1008	0,000504	12,4329
230	230000	215,4	0,1077	0,0005385	12,9980
240	240000	225,4	0,1127	0,0005635	13,5631
250	250000	237,9	0,11895	0,00059475	14,1283
260	260000	248,9	0,12445	0,00062225	14,6934
270	270000	261,3	0,13065	0,00065325	15,2585
280	280000	268,3	0,13415	0,00067075	15,8237
290	290000	280,8	0,1404	0,000702	16,3888
300	300000	288,3	0,14415	0,00072075	16,9539
310	310000	298,8	0,1494	0,000747	17,5190
320	320000	306,4	0,1532	0,000766	18,0842
330	330000	316,3	0,15815	0,00079075	18,6493
340	340000	323,8	0,1619	0,0008095	19,2144
350	350000	336,8	0,1684	0,000842	19,7796
360	360000	349,3	0,17465	0,00087325	20,3447
370	370000	363,3	0,18165	0,00090825	20,9098
380	380000	374,3	0,18715	0,00093575	21,4750
390	390000	389,8	0,1949	0,0009745	22,0401
400	400000	405,8	0,2029	0,0010145	22,6052
410	410000	422,7	0,21135	0,00105675	23,1703
420	420000	434,2	0,2171	0,0010855	23,7355
430	430000	453,7	0,22685	0,00113425	24,3006
440	440000	467,7	0,23385	0,00116925	24,8657
450	450000	492,2	0,2461	0,0012305	25,4309
460	460000	509,2	0,2546	0,001273	25,9960
470	470000	539,2	0,2696	0,001348	26,5611
480	480000	553,2	0,2766	0,001383	27,1263
490	490000	575,5	0,28775	0,00143875	27,6914
500	500000	599,1	0,29955	0,00149775	28,2565
510	510000	617,1	0,30855	0,00154275	28,8217
520	520000	636,1	0,31805	0,00159025	29,3868
530	530000	676,4	0,3382	0,001691	29,9519
540	540000	707,4	0,3537	0,0017685	30,5170
550	550000	774,5	0,38725	0,00193625	31,0822
540	540000	948	0,474	0,00237	30,5170
530	530000	1070,8	0,5354	0,002677	29,9519
520	520000	1225	0,6125	0,0030625	29,3868

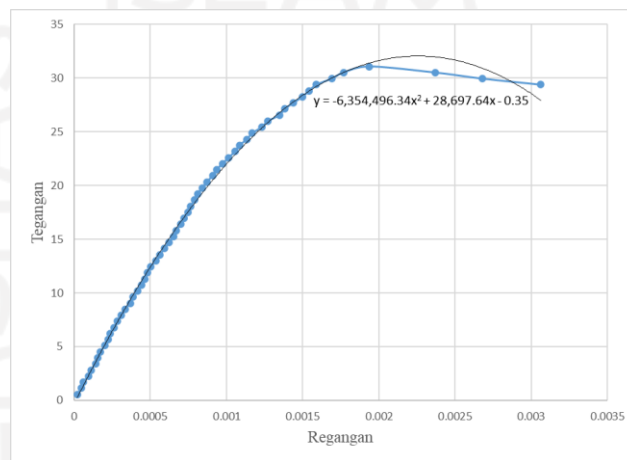
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	150,10	mm
Tinggi	302,50	mm
Luas	17695,03	mm ²
Beban Maks	550,00	KN
Kuat Tekan	31,08	Mpa
Berat Volume	2366,45	gram/m ³



UNIVERSITAS ISLAM ESIA
 الجامعة الإسلامية
 البعثة الإسلامية
 البعثة الإسلامية

7) BSK10 S4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	10	0,005	0,000025	0,5589
20	20000	18,6	0,0093	0,0000465	1,1178
30	30000	26,5	0,01325	0,00006625	1,6767
40	40000	36,7	0,01835	0,00009175	2,2356
50	50000	44,6	0,0223	0,0001115	2,7945
60	60000	58,1	0,02905	0,00014525	3,3534
70	70000	64,6	0,0323	0,0001615	3,9124
80	80000	73,4	0,0367	0,0001835	4,4713
90	90000	83,6	0,0418	0,000209	5,0302
100	100000	94,2	0,0471	0,0002355	5,5891
110	110000	103,4	0,0517	0,0002585	6,1480
120	120000	113,2	0,0566	0,000283	6,7069
130	130000	122,4	0,0612	0,000306	7,2658
140	140000	131,5	0,06575	0,00032875	7,8247
150	150000	137,9	0,06895	0,00034475	8,3836
160	160000	149,4	0,0747	0,0003735	8,9425
170	170000	156,7	0,07835	0,00039175	9,5014
180	180000	166,6	0,0833	0,0004165	10,0603
190	190000	178,8	0,0894	0,000447	10,6192
200	200000	189,9	0,09495	0,00047475	11,1781
210	210000	201,3	0,10065	0,00050325	11,7371
220	220000	216,6	0,1083	0,0005415	12,2960
230	230000	231,1	0,11555	0,00057775	12,8549
240	240000	255,5	0,12775	0,00063875	13,4138
250	250000	271,1	0,13555	0,00067775	13,9727
260	260000	286,6	0,1433	0,0007165	14,5316
270	270000	302,2	0,1511	0,0007555	15,0905
280	280000	333,3	0,16665	0,00083325	15,6494
290	290000	366,8	0,1834	0,000917	16,2083
300	300000	392,2	0,1961	0,0009805	16,7672
310	310000	420,2	0,2101	0,0010505	17,3261
320	320000	444,4	0,2222	0,001111	17,8850
330	330000	474,6	0,2373	0,0011865	18,4439
340	340000	492,2	0,2461	0,0012305	19,0028
350	350000	521,4	0,2607	0,0013035	19,5618
360	360000	539,6	0,2698	0,001349	20,1207
370	370000	563,3	0,28165	0,00140825	20,6796
380	380000	587,7	0,29385	0,00146925	21,2385
390	390000	621,6	0,3108	0,001554	21,7974
400	400000	644,6	0,3223	0,0016115	22,3563
410	410000	676,7	0,33835	0,00169175	22,9152
420	420000	750,5	0,37525	0,00187625	23,4741
410	410000	802,2	0,4011	0,0020055	22,9152
400	400000	862,6	0,4313	0,0021565	22,3563
390	390000	901,1	0,45055	0,00225275	21,7974

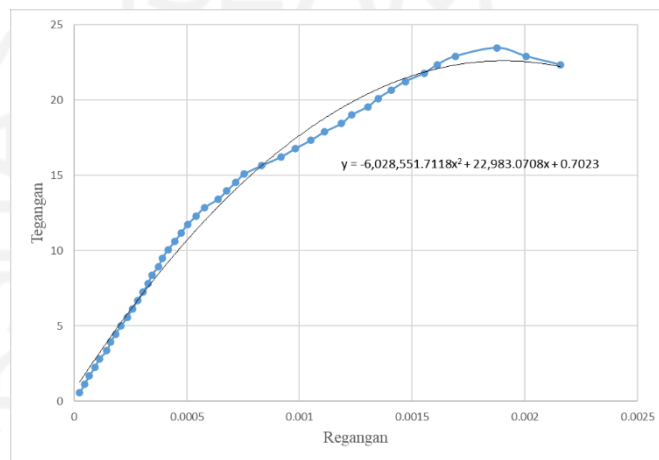
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	150,93	mm
Tinggi	305,03	mm
Luas	17892,05	mm ²
Beban Maks	420	KN
Kuat Tekan	23,47	Mpa
Berat Volume	2314,36	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاستاذ الدكتور

8) BSK10 S5

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	12	0.006	0.00003	0.5434
20	20000	21.5	0.01075	0.00005375	1.0869
30	30000	28.5	0.01425	0.00007125	1.6303
40	40000	39	0.0195	0.0000975	2.1737
50	50000	47.6	0.0238	0.000119	2.7172
60	60000	59.3	0.02965	0.00014825	3.2606
70	70000	69.5	0.03475	0.00017375	3.8041
80	80000	74.6	0.0373	0.0001865	4.3475
90	90000	89.3	0.04465	0.00022325	4.8909
100	100000	97.9	0.04895	0.00024475	5.4344
110	110000	107.2	0.0536	0.000268	5.9778
120	120000	117.2	0.0586	0.000293	6.5212
130	130000	128.6	0.0643	0.0003215	7.0647
140	140000	137.6	0.0688	0.000344	7.6081
150	150000	146.4	0.0732	0.000366	8.1515
160	160000	159.4	0.0797	0.0003985	8.6950
170	170000	169.9	0.08495	0.00042475	9.2384
180	180000	181.5	0.09075	0.00045375	9.7819
190	190000	196.9	0.09845	0.00049225	10.3253
200	200000	218.4	0.1092	0.000546	10.8687
210	210000	230.6	0.1153	0.0005765	11.4122
220	220000	263.8	0.1319	0.0006595	11.9556
230	230000	293.8	0.1469	0.0007345	12.4990
240	240000	326.4	0.1632	0.000816	13.0425
250	250000	346.3	0.17315	0.00086575	13.5859
260	260000	368.8	0.1844	0.000922	14.1294
270	270000	381.2	0.1906	0.000953	14.6728
280	280000	401.7	0.20085	0.00100425	15.2162
290	290000	424.8	0.2124	0.001062	15.7597
300	300000	456.2	0.2281	0.0011405	16.3031
310	310000	481.7	0.24085	0.00120425	16.8465
320	320000	493.6	0.2468	0.001234	17.3900
330	330000	525.6	0.2628	0.001314	17.9334
340	340000	547.6	0.2738	0.001369	18.4768
350	350000	576.1	0.28805	0.00144025	19.0203
360	360000	599.6	0.2998	0.001499	19.5637
370	370000	625.1	0.31255	0.00156275	20.1072
380	380000	654.1	0.32705	0.00163525	20.6506
390	390000	688	0.344	0.00172	21.1940
400	400000	723.4	0.3617	0.0018085	21.7375
410	410000	748.8	0.3744	0.001872	22.2809
420	420000	786.1	0.39305	0.00196525	22.8243
430	430000	824.1	0.41205	0.00206025	23.3678
440	440000	860.8	0.4304	0.002152	23.9112
450	450000	895.5	0.44775	0.00223875	24.4546
460	460000	944.8	0.4724	0.002362	24.9981
450	450000	1041.1	0.52055	0.00260275	24.4546
440	440000	1160.8	0.5804	0.002902	23.9112
430	430000	1254.4	0.6272	0.003136	23.3678

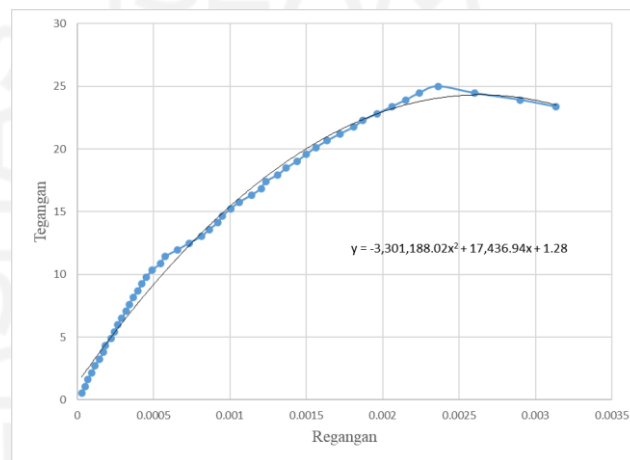
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	153,07	mm
Tinggi	305,43	mm
Luas	18401,4	mm ²
Beban Maks	460	KN
Kuat Tekan	24,998	Mpa
Berat Volume	2285,6	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
 البعث الإسلامي
 البعث الإسلامي

9) BSK10 S6

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,5506
20	20000	18,5	0,00925	0,00004625	1,1012
30	30000	27,6	0,0138	0,000069	1,6518
40	40000	38,7	0,01935	0,00009675	2,2024
50	50000	48	0,024	0,00012	2,7530
60	60000	60,1	0,03005	0,00015025	3,3036
70	70000	68,6	0,0343	0,0001715	3,8543
80	80000	73,5	0,03675	0,00018375	4,4049
90	90000	88,6	0,0443	0,0002215	4,9555
100	100000	96,2	0,0481	0,0002405	5,5061
110	110000	105,6	0,0528	0,000264	6,0567
120	120000	116,4	0,0582	0,000291	6,6073
130	130000	126,4	0,0632	0,000316	7,1579
140	140000	136,4	0,0682	0,000341	7,7085
150	150000	146,4	0,0732	0,000366	8,2591
160	160000	152,4	0,0762	0,000381	8,8097
170	170000	159,8	0,0799	0,0003995	9,3603
180	180000	164,6	0,0823	0,0004115	9,9109
190	190000	182,5	0,09125	0,00045625	10,4615
200	200000	201,1	0,10055	0,00050275	11,0121
210	210000	232,6	0,1163	0,0005815	11,5628
220	220000	266,6	0,1333	0,0006665	12,1134
230	230000	284,8	0,1424	0,000712	12,6640
240	240000	305,8	0,1529	0,0007645	13,2146
250	250000	329,3	0,16465	0,00082325	13,7652
260	260000	343,8	0,1719	0,0008595	14,3158
270	270000	366,8	0,1834	0,000917	14,8664
280	280000	393,3	0,19665	0,00098325	15,4170
290	290000	419,7	0,20985	0,00104925	15,9676
300	300000	440,4	0,2202	0,001101	16,5182
310	310000	473,6	0,2368	0,001184	17,0688
320	320000	493,6	0,2468	0,001234	17,6194
330	330000	519,4	0,2597	0,0012985	18,1700
340	340000	540,6	0,2703	0,0013515	18,7207
350	350000	573,1	0,28655	0,00143275	19,2713
360	360000	599,8	0,2999	0,0014995	19,8219
370	370000	621,6	0,3108	0,001554	20,3725
380	380000	644,6	0,3223	0,0016115	20,9231
390	390000	676,7	0,33835	0,00169175	21,4737
400	400000	701,5	0,35075	0,00175375	22,0243
410	410000	732,8	0,3664	0,001832	22,5749
420	420000	756,6	0,3783	0,0018915	23,1255
430	430000	786,6	0,3933	0,0019665	23,6761
440	440000	864,4	0,4322	0,002161	24,2267
430	430000	964,4	0,4822	0,002411	23,6761
420	420000	1083,4	0,5417	0,0027085	23,1255
410	410000	1160,8	0,5804	0,002902	22,5749

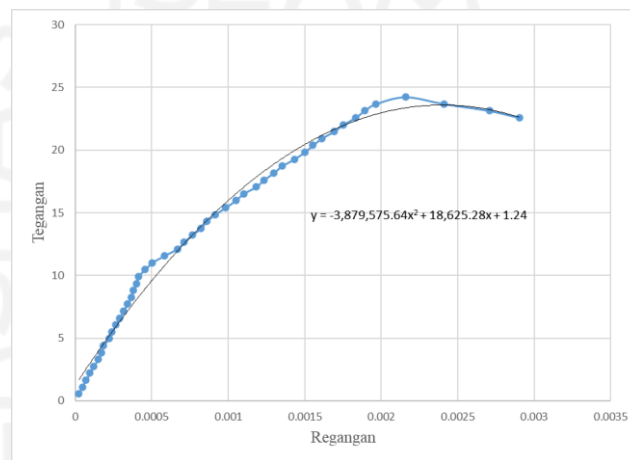
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	152,07	mm
Tinggi	306,17	mm
Luas	18161,8	mm ²
Beban Maks	440	KN
Kuat Tekan	24,227	Mpa
Berat Volume	2306,80	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
 البعث الإسلامي
 البعث الإسلامي

10) BSK15 S4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	10	0,005	0,000025	0,5669
20	20000	18,5	0,00925	0,00004625	1,1338
30	30000	28	0,014	0,00007	1,7007
40	40000	39	0,0195	0,0000975	2,2676
50	50000	44,5	0,02225	0,00011125	2,8345
60	60000	53	0,0265	0,0001325	3,4013
70	70000	63	0,0315	0,0001575	3,9682
80	80000	73,5	0,03675	0,00018375	4,5351
90	90000	81	0,0405	0,0002025	5,1020
100	100000	91,9	0,04595	0,00022975	5,6689
110	110000	98,9	0,04945	0,00024725	6,2358
120	120000	107,9	0,05395	0,00026975	6,8027
130	130000	123,4	0,0617	0,0003085	7,3696
140	140000	133,9	0,06695	0,00033475	7,9365
150	150000	149,4	0,0747	0,0003735	8,5034
160	160000	161,9	0,08095	0,00040475	9,0703
170	170000	171,4	0,0857	0,0004285	9,6372
180	180000	182,4	0,0912	0,000456	10,2040
190	190000	197,9	0,09895	0,00049475	10,7709
200	200000	216,4	0,1082	0,000541	11,3378
210	210000	235,8	0,1179	0,0005895	11,9047
220	220000	248,4	0,1242	0,000621	12,4716
230	230000	262,3	0,13115	0,00065575	13,0385
240	240000	283,8	0,1419	0,0007095	13,6054
250	250000	304,8	0,1524	0,000762	14,1723
260	260000	318,8	0,1594	0,000797	14,7392
270	270000	340,3	0,17015	0,00085075	15,3061
280	280000	365,3	0,18265	0,00091325	15,8730
290	290000	392,3	0,19615	0,00098075	16,4399
300	300000	411,2	0,2056	0,001028	17,0067
310	310000	441,7	0,22085	0,00110425	17,5736
320	320000	463,7	0,23185	0,00115925	18,1405
330	330000	503,7	0,25185	0,00125925	18,7074
340	340000	535,8	0,2679	0,0013395	19,2743
350	350000	571,7	0,28585	0,00142925	19,8412
360	360000	616,6	0,3083	0,0015415	20,4081
370	370000	656,5	0,32825	0,00164125	20,9750
380	380000	684,6	0,3423	0,0017115	21,5419
390	390000	724,6	0,3623	0,0018115	22,1088
400	400000	763,6	0,3818	0,001909	22,6757
410	410000	793,6	0,3968	0,001984	23,2426
420	420000	894,6	0,4473	0,0022365	23,8094
410	410000	1055,8	0,5279	0,0026395	23,2426
400	400000	1178,8	0,5894	0,002947	22,6757
390	390000	1304,8	0,6524	0,003262	22,1088

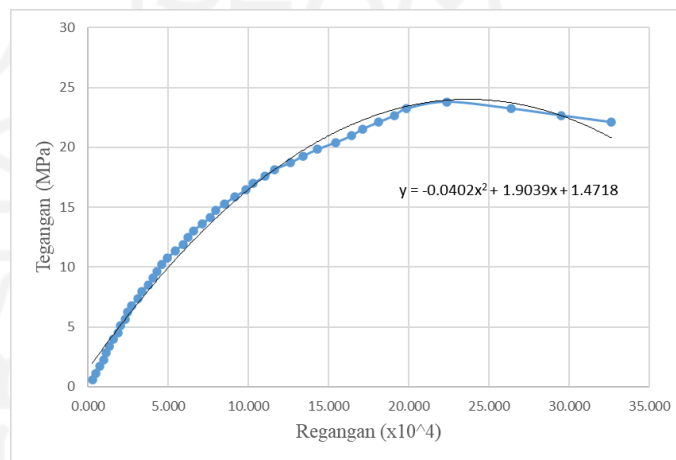
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	149,87	mm
Tinggi	303,23	mm
Luas	17640	mm ²
Beban Maks	420	KN
Kuat Tekan	23,8094	Mpa
Berat Volume	2337,24	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
 الجامعة الإسلامية
 الجامعة الإسلامية

11) BSK15 S5

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	9	0,0045	0,0000225	0,5634
20	20000	18,8	0,0094	0,000047	1,1268
30	30000	27,8	0,0139	0,0000695	1,6901
40	40000	37,4	0,0187	0,0000935	2,2535
50	50000	46,5	0,02325	0,00011625	2,8169
60	60000	56,2	0,0281	0,0001405	3,3803
70	70000	63,7	0,03185	0,00015925	3,9436
80	80000	72,4	0,0362	0,000181	4,5070
90	90000	83	0,0415	0,0002075	5,0704
100	100000	91,4	0,0457	0,0002285	5,6338
110	110000	96,5	0,04825	0,00024125	6,1972
120	120000	105,4	0,0527	0,0002635	6,7605
130	130000	113,7	0,05685	0,00028425	7,3239
140	140000	124,6	0,0623	0,0003115	7,8873
150	150000	135,8	0,0679	0,0003395	8,4507
160	160000	146,9	0,07345	0,00036725	9,0140
170	170000	162,4	0,0812	0,000406	9,5774
180	180000	172,4	0,0862	0,000431	10,1408
190	190000	186,9	0,09345	0,00046725	10,7042
200	200000	196,9	0,09845	0,00049225	11,2676
210	210000	212,4	0,1062	0,000531	11,8309
220	220000	224,9	0,11245	0,00056225	12,3943
230	230000	240,4	0,1202	0,000601	12,9577
240	240000	257,8	0,1289	0,0006445	13,5211
250	250000	272,8	0,1364	0,000682	14,0844
260	260000	287,3	0,14365	0,00071825	14,6478
270	270000	301,8	0,1509	0,0007545	15,2112
280	280000	318,8	0,1594	0,000797	15,7746
290	290000	334,8	0,1674	0,000837	16,3379
300	300000	352,3	0,17615	0,00088075	16,9013
310	310000	366,3	0,18315	0,00091575	17,4647
320	320000	378,8	0,1894	0,000947	18,0281
330	330000	397,8	0,1989	0,0009945	18,5915
340	340000	420,7	0,21035	0,00105175	19,1548
350	350000	453,7	0,22685	0,00113425	19,7182
360	360000	468,7	0,23435	0,00117175	20,2816
370	370000	497,7	0,24885	0,00124425	20,8450
380	380000	523,7	0,26185	0,00130925	21,4083
390	390000	552,2	0,2761	0,0013805	21,9717
400	400000	595,1	0,29755	0,00148775	22,5351
410	410000	623,6	0,3118	0,001559	23,0985
420	420000	667,1	0,33355	0,00166775	23,6619
430	430000	693,5	0,34675	0,00173375	24,2252
440	440000	760,8	0,3804	0,001902	24,7886
430	430000	840,7	0,42035	0,00210175	24,2252
420	420000	920,2	0,4601	0,0023005	23,6618575
410	410000	980,4	0,4902	0,002451	23,0984799
400	400000	1020,3	0,51015	0,00255075	22,5351024

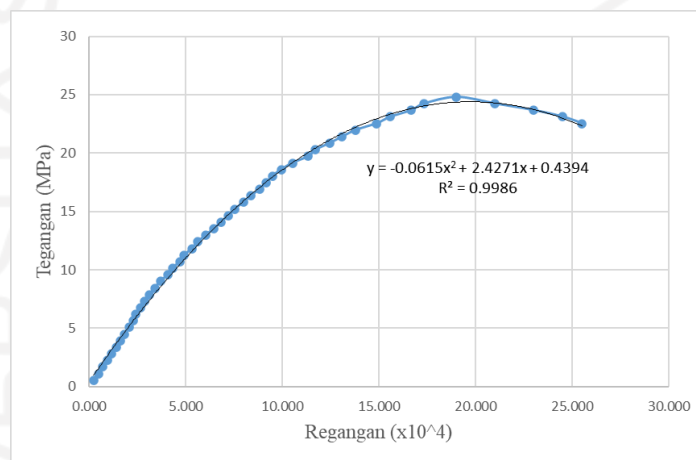
Keterangan:



teg 2'

teg 1'

Diameter	150,33	mm
Tinggi	300,97	mm
Luas	17750	mm ²
Beban Maks	440	KN
Kuat Tekan	24,789	MPa
Berat Volume	2332,57	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاستدائات

12) BSK15 S6

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	14,5	0,00725	0,00003625	0,5599
20	20000	22,5	0,01125	0,00005625	1,1198
30	30000	39	0,0195	0,0000975	1,6797
40	40000	46,5	0,02325	0,00011625	2,2396
50	50000	57,8	0,0289	0,0001445	2,7995
60	60000	67,7	0,03385	0,00016925	3,3594
70	70000	78,5	0,03925	0,00019625	3,9193
80	80000	84,2	0,0421	0,0002105	4,4792
90	90000	93,9	0,04695	0,00023475	5,0391
100	100000	106,5	0,05325	0,00026625	5,5990
110	110000	110,7	0,05535	0,00027675	6,1589
120	120000	125,6	0,0628	0,000314	6,7188
130	130000	136,6	0,0683	0,0003415	7,2786
140	140000	154,8	0,0774	0,000387	7,8385
150	150000	164,4	0,0822	0,000411	8,3984
160	160000	177,6	0,0888	0,000444	8,9583
170	170000	186,6	0,0933	0,0004665	9,5182
180	180000	201,9	0,10095	0,00050475	10,0781
190	190000	219,4	0,1097	0,0005485	10,6380
200	200000	235,8	0,1179	0,0005895	11,1979
210	210000	252,4	0,1262	0,000631	11,7578
220	220000	265,5	0,13275	0,00066375	12,3177
230	230000	283,7	0,14185	0,00070925	12,8776
240	240000	304,7	0,15235	0,00076175	13,4375
250	250000	318,7	0,15935	0,00079675	13,9974
260	260000	340,3	0,17015	0,00085075	14,5573
270	270000	361,1	0,18055	0,00090275	15,1172
280	280000	382,3	0,19115	0,00095575	15,6771
290	290000	411,2	0,2056	0,001028	16,2370
300	300000	429,4	0,2147	0,0010735	16,7969
310	310000	448,8	0,2244	0,001122	17,3568
320	320000	482,1	0,24105	0,00120525	17,9167
330	330000	506,6	0,2533	0,0012665	18,4766
340	340000	531,1	0,26555	0,00132775	19,0365
350	350000	560,2	0,2801	0,0014005	19,5964
360	360000	589,2	0,2946	0,001473	20,1563
370	370000	622,4	0,3112	0,001556	20,7162
380	380000	644,1	0,32205	0,00161025	21,2761
390	390000	686,4	0,3432	0,001716	21,8359
400	400000	763,3	0,38165	0,00190825	22,3958
410	410000	864,4	0,4322	0,002161	22,9557
400	400000	984,4	0,4922	0,002461	22,3958
390	390000	1042,2	0,5211	0,0026055	21,8359
380	380000	1042,2	0,5211	0,0026055	21,2761

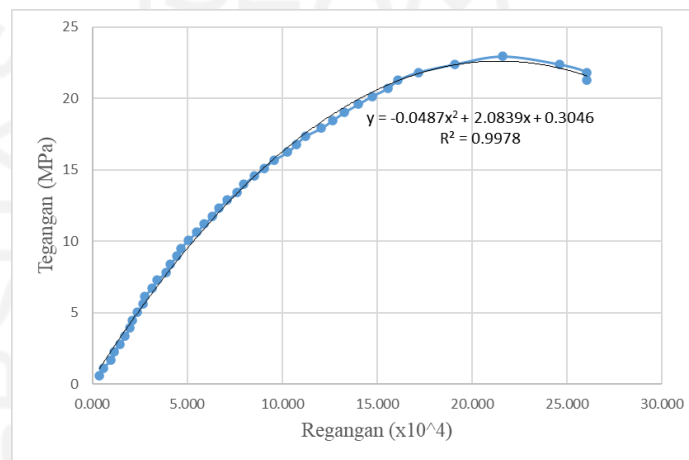
Keterangan:



teg'

teg l'

Diameter	150,80	mm
Tinggi	304,73	mm
Luas	17860	mm ²
Beban Maks	410	KN
Kuat Tekan	22,956	Mpa
Berat Volume	2315,04	gram/m ³



المعهد الإسلامي
الجامع الإسلامي
الاسلام

13) BSK20 S4

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	12,5	0,00625	0,00003125	0,5694
20	20000	20,5	0,01025	0,00005125	1,1388
30	30000	30,5	0,01525	0,00007625	1,7083
40	40000	37,5	0,01875	0,00009375	2,2777
50	50000	44	0,022	0,00011	2,8471
60	60000	51,5	0,02575	0,00012875	3,4165
70	70000	66	0,033	0,000165	3,9860
80	80000	75,5	0,03775	0,00018875	4,5554
90	90000	89,4	0,0447	0,0002235	5,1248
100	100000	104,9	0,05245	0,00026225	5,6942
110	110000	115,4	0,0577	0,0002885	6,2636
120	120000	126,9	0,06345	0,00031725	6,8331
130	130000	140,9	0,07045	0,00035225	7,4025
140	140000	153,9	0,07695	0,00038475	7,9719
150	150000	170,4	0,0852	0,000426	8,5413
160	160000	181,9	0,09095	0,00045475	9,1107
170	170000	198,9	0,09945	0,00049725	9,6802
180	180000	216,4	0,1082	0,000541	10,2496
190	190000	233,9	0,11695	0,00058475	10,8190
200	200000	250,3	0,12515	0,00062575	11,3884
210	210000	271,3	0,13565	0,00067825	11,9579
220	220000	285,3	0,14265	0,00071325	12,5273
230	230000	300,8	0,1504	0,000752	13,0967
240	240000	319,3	0,15965	0,00079825	13,6661
250	250000	332,3	0,16615	0,00083075	14,2355
260	260000	353,8	0,1769	0,0008845	14,8050
270	270000	377,3	0,18865	0,00094325	15,3744
280	280000	404,3	0,20215	0,00101075	15,9438
290	290000	430,7	0,21535	0,00107675	16,5132
300	300000	473,2	0,2366	0,001183	17,0827
310	310000	490,7	0,24535	0,00122675	17,6521
320	320000	505,1	0,25255	0,00126275	18,2215
330	330000	524,7	0,26235	0,00131175	18,7909
340	340000	557,2	0,2786	0,001393	19,3603
350	350000	583,6	0,2918	0,001459	19,9298
360	360000	621,1	0,31055	0,00155275	20,4992
370	370000	667,1	0,33355	0,00166775	21,0686
380	380000	701,1	0,35055	0,00175275	21,6380
390	390000	782,2	0,3911	0,0019555	22,2075
400	400000	891,1	0,44555	0,00222775	22,7769
390	390000	981,1	0,49055	0,00245275	22,2075
380	380000	1060,4	0,5302	0,002651	21,6380
370	370000	1090,3	0,54515	0,00272575	21,0686

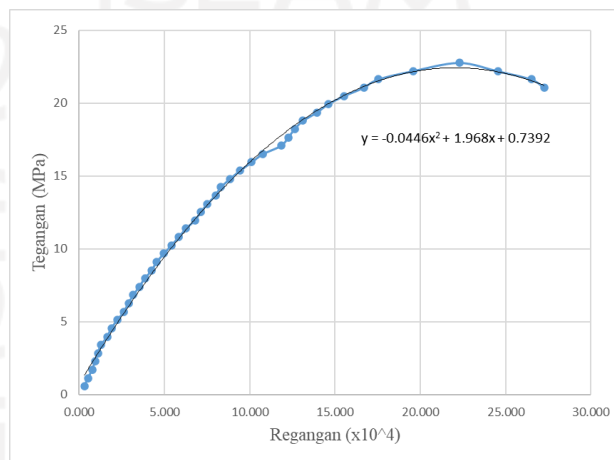
Keterangan:



teg2'

teg 1'

Diameter	149,53	mm
Tinggi	301,90	mm
Luas	17562	mm ²
Beban Maks	400	KN
Kuat Tekan	22,777	Mpa
Berat Volume	2321,63	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاستدائدية

14) BSK20 S5

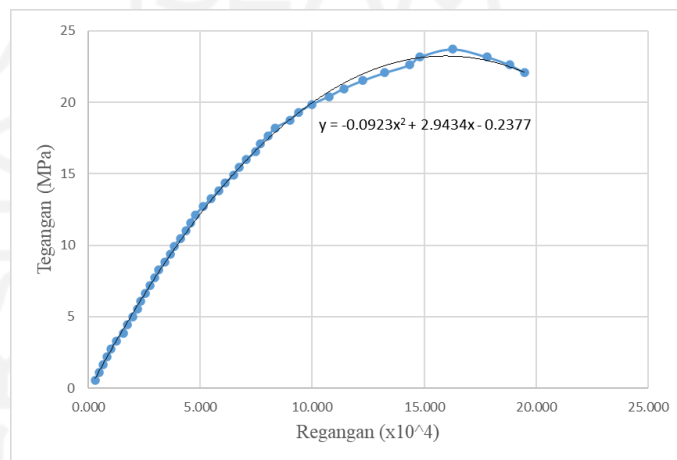
Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	12,5	0,00625	0,00003125	0,5516
20	20000	20	0,01	0,00005	1,1031
30	30000	26,5	0,01325	0,00006625	1,6547
40	40000	33,5	0,01675	0,00008375	2,2063
50	50000	41	0,0205	0,0001025	2,7579
60	60000	50	0,025	0,000125	3,3094
70	70000	62,5	0,03125	0,00015625	3,8610
80	80000	69,5	0,03475	0,00017375	4,4126
90	90000	80	0,04	0,0002	4,9642
100	100000	87,9	0,04395	0,00021975	5,5157
110	110000	93,9	0,04695	0,00023475	6,0673
120	120000	102,4	0,0512	0,000256	6,6189
130	130000	109,9	0,05495	0,00027475	7,1705
140	140000	119,4	0,0597	0,0002985	7,7220
150	150000	126,4	0,0632	0,000316	8,2736
160	160000	136,4	0,0682	0,000341	8,8252
170	170000	146,9	0,07345	0,00036725	9,3768
180	180000	153,9	0,07695	0,00038475	9,9283
190	190000	164,4	0,0822	0,000411	10,4799
200	200000	174,9	0,08745	0,00043725	11,0315
210	210000	182,4	0,0912	0,000456	11,5831
220	220000	191,4	0,0957	0,0004785	12,1346
230	230000	205,4	0,1027	0,0005135	12,6862
240	240000	218,9	0,10945	0,00054725	13,2378
250	250000	233,4	0,1167	0,0005835	13,7894
260	260000	244,4	0,1222	0,000611	14,3409
270	270000	260,3	0,13015	0,00065075	14,8925
280	280000	269,3	0,13465	0,00067325	15,4441
290	290000	282,4	0,1412	0,000706	15,9957
300	300000	299,3	0,14965	0,00074825	16,5472
310	310000	306,8	0,1534	0,000767	17,0988
320	320000	321,3	0,16065	0,00080325	17,6504
330	330000	333,8	0,1669	0,0008345	18,2020
340	340000	359,8	0,1799	0,0008995	18,7535
350	350000	375,8	0,1879	0,0009395	19,3051
360	360000	399,3	0,19965	0,00099825	19,8567
370	370000	429,7	0,21485	0,00107425	20,4082
380	380000	456,7	0,22835	0,00114175	20,9598
390	390000	489,7	0,24485	0,00122425	21,5114
400	400000	529,7	0,26485	0,00132425	22,0630
410	410000	574,1	0,28705	0,00143525	22,6145
420	420000	592,6	0,2963	0,0014815	23,1661
430	430000	650,4	0,3252	0,001626	23,7177
420	420000	712,1	0,35605	0,00178025	23,1661
410	410000	752,4	0,3762	0,001881	22,6145
400	400000	778,8	0,3894	0,001947	22,0629702

Keterangan:



teg2'
teg 1'

Diameter	151,93	mm
Tinggi	304,33	mm
Luas	18130	mm ²
Beban Maks	430	KN
Kuat Tekan	23,7177	Mpa
Berat Volume	2230,89	gram/m ³



الجامعة الإسلامية
الاستدائات

15) BSK20 S6

Beban		Pembacaan Dial, $\Delta L'$	ΔL	Regangan (ϵ)	Tegangan (σ)
KN	N	μm	mm	-	MPa
10	10000	11	0,0055	0,0000275	0,5511
20	20000	21,5	0,01075	0,00005375	1,1022
30	30000	28,5	0,01425	0,00007125	1,6533
40	40000	40	0,02	0,0001	2,2044
50	50000	46,5	0,02325	0,00011625	2,7555
60	60000	57,6	0,0288	0,000144	3,3065
70	70000	67,7	0,03385	0,00016925	3,8576
80	80000	78,6	0,0393	0,0001965	4,4087
90	90000	84,1	0,04205	0,00021025	4,9598
100	100000	94,1	0,04705	0,00023525	5,5109
110	110000	106,8	0,0534	0,000267	6,0620
120	120000	110,8	0,0554	0,000277	6,6131
130	130000	126,1	0,06305	0,00031525	7,1642
140	140000	136,6	0,0683	0,0003415	7,7153
150	150000	151,2	0,0756	0,000378	8,2664
160	160000	164,6	0,0823	0,0004115	8,8174
170	170000	177,6	0,0888	0,000444	9,3685
180	180000	186,8	0,0934	0,000467	9,9196
190	190000	202,1	0,10105	0,00050525	10,4707
200	200000	219,8	0,1099	0,0005495	11,0218
210	210000	236,8	0,1184	0,000592	11,5729
220	220000	252,4	0,1262	0,000631	12,1240
230	230000	268,2	0,1341	0,0006705	12,6751
240	240000	283,9	0,14195	0,00070975	13,2262
250	250000	305,4	0,1527	0,0007635	13,7773
260	260000	322,3	0,16115	0,00080575	14,3284
270	270000	341,2	0,1706	0,000853	14,8794
280	280000	362,6	0,1813	0,0009065	15,4305
290	290000	382,9	0,19145	0,00095725	15,9816
300	300000	414,4	0,2072	0,001036	16,5327
310	310000	433,8	0,2169	0,0010845	17,0838
320	320000	456,6	0,2283	0,0011415	17,6349
330	330000	481,7	0,24085	0,00120425	18,1860
340	340000	505,6	0,2528	0,001264	18,7371
350	350000	531,4	0,2657	0,0013285	19,2882
360	360000	560,9	0,28045	0,00140225	19,8393
370	370000	589,4	0,2947	0,0014735	20,3903
380	380000	624,6	0,3123	0,0015615	20,9414
390	390000	646,6	0,3233	0,0016165	21,4925
400	400000	687,1	0,34355	0,00171775	22,0436
410	410000	765,5	0,38275	0,00191375	22,5947
400	400000	846,3	0,42315	0,00211575	22,0436
390	390000	912,3	0,45615	0,00228075	21,4925
380	380000	956,6	0,4783	0,0023915	20,9414

Keterangan:



teg2'
teg 1'

Diameter	152,00	mm
Tinggi	305,67	mm
Luas	18145,8	mm ²
Beban Maks	410	KN
Kuat Tekan	22,5947	Mpa
Berat Volume	2323,41	gram/m ³

