

TUGAS AKHIR**PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN TERHADAP BETON
NORMAL*****(THE USE OF GLASS POWDER AS A PARTIAL
SUBSTITUTION ON CONCRETE)*****Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil****Haris Ihsan Setiahutama****18511017****PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI
SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN TERHADAP BETON
NORMAL
(THE USE OF GLASS POWDER AS A PARTIAL
SUBSTITUTION ON CONCRETE)**

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



**Haris Ihsan Setiahutama
18511017**

**Disetujui:
Pembimbing**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Elvis Saputra', is written over the name and title below.

Elvis Saputra, S.T., M.T.

Tanggal:

TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN SERBUK KACA SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN TERHADAP BETON NORMAL (THE USE OF GLASS POWDER AS A PARTIAL SUBSTITUTION ON CONCRETE)



Disusun oleh

Haris Ihsan Setiahutama

18511017

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

Diuji Pada tanggal 16 November 2022
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng
NIK : 185111302

Penguji II

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph. D
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 28 November 2022
Yang membuat pernyataan,



Haris Ihsan Setiahutama
(18511017)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan penulis rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Beton Normal”. Salah satu syarat akademik untuk menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia adalah dengan menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan meskipun banyak rintangan dan hambatan akan tetapi banyak pihak yang memberikan kritik, saran, dan semangat. Alhamdulillah dengan semua tugas akhir ini dapat diselesaikan. Dengan ini diucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 2
4. Bapak Hartoro Setiawan dan Ibu Ratna Krishutamawati selaku orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberi semangat selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Harin Ikramina Setiahutami dan Hanung Iman Setiahutama selaku kakak dan adik kandung penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat selama proses penyusunan Tugas Akhir
6. Ilham Nuruddin, Hatta Riau Marwangsyah Ng dan teman – teman Teknik Sipil angkatan 2018 yang senantiasa membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

Dengan begini diharapkan Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Yogyakarta, 16 November 2022

Penulis,



Haris Ihsan Setiahutama

18511017

DAFTAR ISI

	HALAMAN JUDUL	i
	HALAMAN PENGESAHAN	ii
	PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
	KATA PENGANTAR	ii
	DAFTAR ISI	iv
	DAFTAR TABEL	vii
	DAFTAR GAMBAR	ix
	DAFTAR LAMPIRAN	xi
	ABSTRAK	xii
BAB I	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Rumusan Masalah	2
	1.3 Tujuan Penelitian	3
	1.4 Manfaat Penelitian	3
	1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
	2.1 Tinjauan Umum	5
	2.1.1 Beton	5
	2.2 Penelitian yang Sebelumnya Pernah Dilakukan	6
	2.2.1 Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen (Karwur dkk, 2013)	6
	2.2.2 Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton (Much. Juli Purnomo, 2019)	7
	2.2.3 Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton (Hendra Purnomo, 2014)	8
	2.2.4 Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Beton Mutu tinggi (Ananda Welas Asih, 2018)	9
	2.2.5 Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan (Ade Ramadhan Nasution 2016)	10

2.3 Keaslian Penelitian	15
BAB III LANDSAN TEORI	16
3.1 Beton	16
3.2 Bahan Penyusun Beton	18
3.2.1 Semen Portland (PC)	18
3.2.2 Agregat	18
3.2.3 Air	24
3.3 Serbuk Kaca	24
3.4 Faktor Air Semen	25
3.5 Perencanaan Campuran Beton Menurut SNI 03-2834-2000	25
3.6 Perawatan Beton	35
3.7 Kuat Tekan Beton	35
3.8 Kuat Tarik Beton	36
3.9 Penyerapan Air	36
3.10 Koefisien Korelasi	37
BAB IV METODE PENELITIAN	38
4.1 Tinjauan Umum	38
4.2 Bahan – Bahan	38
4.3 Peralatan	39
4.4 Benda Uji	40
4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian	40
4.5.1 Tahap Persiapan	40
4.5.2 Tahap Pengujian Agregat	41
4.5.3 Perencanaan campuran beton	41
4.5.4 Pembuatan Benda Uji	41
4.5.5 Perawatan Benda Uji	41
4.5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton	41
4.5.7 Pengujian Kuat Tarik Beton	42
4.5.8 Pengujian Nilai Serap Air	42
4.6 Alir Penelitian (<i>Flowchart</i>)	43
BAB V 46	
PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN	46

5.1 Umum	46
5.2 Pengujian Material	46
5.2.1 Agregat Kasar	46
5.2.2 Agregat Halus	56
5.2.3 Semen	64
5.2.4 Serbuk kaca	65
5.3 Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	67
5.4 Pengujian Beton	75
5.4.1 Pengujian <i>Slump</i>	75
5.4.2 Pengujian Berat Volume Beton	76
5.4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton	81
5.4.4 Pengujian Kuat Tarik belah Beton	85
5.4.5 Pengujian Absorpsi Beton	89
5.5 Perbandingan Biaya	93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	94
6.1 Kesimpulan	94
6.2 Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis Sekarang	11
Tabel 3.1 Persyaratan Batas – Batas susunan Butir Agregat Kasar	22
Tabel 3.2 Faktor Pengali Deviasi Standar dengan Hasil Uji < 30	26
Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air bebas (Kg/m ³) yang Dibutuhkan	28
Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen dan FAS Maksimum	29
Tabel 3.5 Nilai Slump Untuk Berbagai Jenis Struktur	34
Tabel 3.6 Pedoman Koefisien Korelasi	37
Tabel 4.1 Rincian Jumlah Sampel Benda Uji	40
Tabel 5.1 Rekapitulasi Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	48
Tabel 5.2 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar	51
Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar	51
Tabel 5.4 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1	54
Tabel 5.5 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2	54
Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	57
Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	59
Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	59
Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	61
Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	61
Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian Kadar Lumpur	63
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Waktu Ikat Awal Semen	64
Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian Lolos Saringan No. 200 Serbuk Kaca	66
Tabel 5.14 Rekapitulasi Pengujian Penyerapan Air Pada Serbuk Kaca	67
Tabel 5.15 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Dipakai di Indonesia	68
Tabel 5.16 rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton	72
Tabel 5.17 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Benda Uji Silinder	74
Tabel 5.18 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Benda Uji Kubus	74

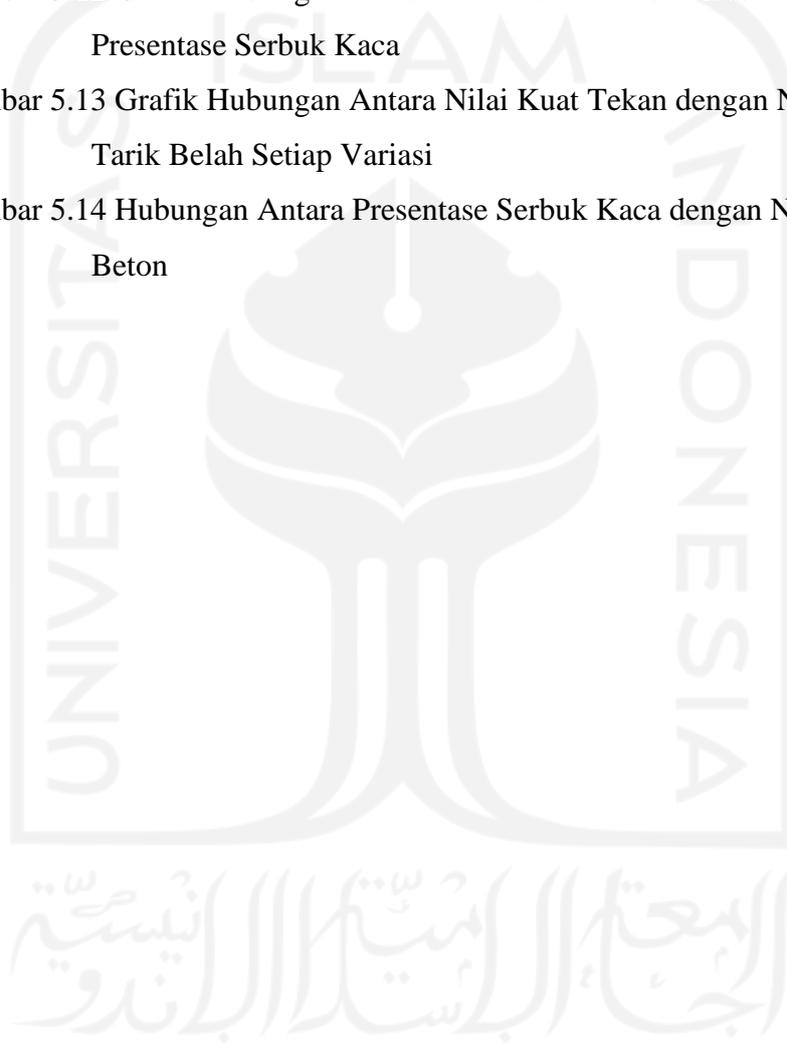
Tabel 5.19 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Benda Uji Total	75
Tabel 5.20 Hasil Pegujian <i>Slump</i>	75
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Silinder	77
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Volume Beton Kubus	80
Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton	82
Tabel 5.24 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Beton	87
Tabel 5.25 Rekapitulasi Pengujian Absorpsi Beton	90
Tabel 5.26 Perbandingan Harga Penggunaan Semen	92



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Batas Gradasi Pasir (Kasar) No.1	19
Gambar 3.2 Grafik Batas Gradasi Pasir (Sedang) No.2	20
Gambar 3.3 Grafik Batas Gradasi Pasir (Agak halus) No.3	20
Gambar 3.4 Grafik Batas Gradasi Pasir Dalam No.4	21
Gambar 3.5 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 10 mm	23
Gambar 3.6 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 20 mm	23
Gambar 3.7 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 40 mm	24
Gambar 3.8 Hubungan Faktor Air Semen dengann Kuat Tekan Beton	25
Gambar 3.9 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air semen (Benda uji silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)	27
Gambar 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm	30
Gambar 3.11 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	31
Gambar 3.12 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm	31
Gambar 3.13 Perkiraan Berat Isi Beton Basah	32
Gambar 4.1 Bagan Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian	45
Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1	55
Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2	56
Gambar 5.3 Grafik Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 1	62
Gambar 5.4 Grafik Kurva Gradasi Agregat Halus Sampel 2	63
Gambar 5.5 Grafik Waktu Ikat Awal Semen	65
Gambar 5.6 Serbuk Kaca Sampel Pengujian Lolos Saringan No. 200	66
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara Nilai <i>slump</i> dengan Variasi Serbuk Kaca Pada Campuran Beton	76
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Antara Berat Volume Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca	80

Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca	83
Gambar 5.10 Grafik Presentase Seilish Nilai Kuat Tekan Beton Variasi dengan Nilai Kuat Tekan Beton Normal	83
Gambar 5.11 Kerusakan Sampel Beton Uji Kuat Tekan	84
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca	85
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Tekan dengan Nilai Kuat Tarik Belah Setiap Variasi	88
Gambar 5.14 Hubungan Antara Presentase Serbuk Kaca dengan Nilai Absorpsi Beton	91



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium BKT	99
Lampiran 2 Hasil Pengujian Agregat Halus	101
Lampiran 3 Hasil Pengujian Agregat Kasar	106
Lampiran 4 Hasil Pengujian Serbuk Kaca	110
Lampiran 5 Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Beton	114
Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton	120
Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	121
Lampiran 8 Laporan Sementara Pengujian Absorpsi Beton	122
Lampiran 9 Gambar Alat dan Material	123
Lampiran 10 Gambar Benda Uji Setelah Dilakukan Pengujian	130

ABSTRAK

Seiring berkembangnya perindustrian mengakibatkan jumlah sampah semakin banyak baik itu sampah organik maupun anorganik. Limbah kaca merupakan limbah anorganik yang bisa didaur ulang atau digunakan kembali. Limbah kaca mengandung silika dimana silika dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Limbah kaca dapat dijadikan pengganti Sebagian terhadap semen karena limbah kaca memiliki kandungan silika sehingga bersifat pozzolan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen.

Pada penelitian ini digunakan serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen dengan presentase 0%, 7,5%, 10% dan 12,5% dari berat semen. Campuran beton (*mix design*) mengacu pada SNI 03-2843-2000. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi beton pada sampel beton dengan mutu rencana 25 MPa. Selain itu pada penelitian ini juga meninjau dari selisih biaya yang digunakan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada beton normal mendapatkan nilai kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi beton secara berturut – turut sebesar 28,610 MPa, 2,567 Mpa dan 3,718%. Pada penelitian ini didapatkan beton variasi yang menghasilkan kuat tekan maksimum pada presentase serbuk kaca 7,5% namun masih dibawah kuat tekan beton kontrol. Untuk variasi serbuk kaca 7,5% mendapatkan nilai kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi beton secara berturut – turut sebesar 27,629 Mpa, 2,541 Mpa dan 5,162%. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan semakin tinggi presentase serbuk kaca semakin menurun nilai kuat tekan betonnya. Selain itu dari segi selisih biaya, pada presentase serbuk kaca 7,5% terdapat penghematan biaya Rp. 42,281,25.- setiap m³ antara beton normal dengan variasi serbuk kaca 7,5%.

Kata Kunci: Beton normal, Serbuk Kaca, Kuat Tekan, Kuat Tarik, Absorpsi, Biaya.

ABSTRACT

Along with the development of industry, the amount of waste is increasing, both organic and inorganic. Glass waste is inorganic waste that can be recycled or resued. Glass waste contains silica that can affect the concrete strength. Glass waste can be used as a partial substitute for cement because of glass waste contains silica, so its pozzolanic. This research shown the use of glass powder as a partial substitution fo cement.

In this research, glass powder was used as a partial substitution of cement with a percentage of 0%, 7,5%, 10%, 12,5% of the cement weight. The tests carried out were testing the compressive strength, tensile strength and absorption of concrete with a design quality of 25 Mpa. Moreover, this research also reviews the difference is costs used.

The result of this research showed that in normal concrete the compressive strength, tensile strength and absorption values of concrete are 28,610 Mpa, 2,567 Mpa, and 3,781%. In this research, the variation of concrete that produce maximum compressive strength at the percentage of glass powder is 7,5%. The value of the compressive strength, tensile strength and absorption value of concrete at 7,5% of glass powder is 27,629 Mpa, 2,541 Mpa and 5,162%. The result of the compressive strength thest showed that the higher percentage of glass powder, the lower the value of compressive of the strength of the concrete. Moreover, in terms of the cost difference, at the percentage of glass 7,5% there is a cost savings of Rp. 42,281,25.- each m³ between normal concrete with glass powder at 7,5%.

Keywords: *concrete, glass powder, compressive strength, tensile strength, absorbtion, cost.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari beberapa bahan penyusun, yaitu semen, agregat kasar, agregat halus air dan dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Beton memiliki banyak kelebihan mulai dari bisa dibentuk sesuai dengan permintaan, memiliki nilai kuat tekan yang tinggi dan tahan terhadap suhu tinggi. Dengan kelebihan – kelebihan ini menjadi alasan beton banyak digunakan di dunia konstruksi. Namun terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan agar beton mendapatkan kekuatan rencananya, seperti kualitas material bahan penyusun beton, proses pengadukan campuran beton, proses pemadatan dan proses perawatan beton.

Seiring berkembangnya perindustrian mengakibatkan jumlah sampah semakin banyak, baik itu sampah yang mudah terurai maupun yang sulit terurai. Salah satu sampah yang sulit terurai yaitu limbah kaca bekas atau sisa produksi. Suyotono (2008) dalam penelitian Shidiq Abdurrahman (2013) mengatakan bahwa berdasarkan data statistik Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) pada tahun 2008, limbah kaca yang dihasilkan dari 26 kota besar di Indonesia sebesar 0,7 ton setiap tahunnya. Hal ini menjadi potensi baik jika limbah kaca digunakan kembali atau diolah kemudian digunakan kembali. Selain itu pemanfaatan limbah kaca ini tidak hanya dari segi lingkungan tetapi dari segi ekonomis juga. Limbah kaca biasanya dihargai Rp. 400,00 – Rp. 800,00 per kg.

Pemanfaatan limbah kaca bisa dilakukan dengan banyak cara. Pemanfaatan limbah kaca bisa berupa penggunaan kembali, mendaur ulang atau yang lainnya. Pendaauran ulang limbah kaca dilakukan dengan cara menghancurkan atau meleburkan kembali kaca kemudian dijadikan botol kaca, bohlam lampu kaca dan lainnya. Sedangkan Penggunaan kembali bisa dilakukan dengan cara menggunakan limbah botol kaca sebagai hiasan, pot bunga dan lainnya. Selain itu, penggunaan

kembali limbah kaca juga bisa dilakukan dengan cara menjadikan limbah kaca sebagai campuran beton, baik itu bahan tambah ataupun bahan pengganti Sebagian.

Biasanya limbah kaca sisa produksi dikumpulkan dan diolah menjadi suatu produk atau dilakukan pemanfaatan yang lain. Pemanfaatan terhadap limbah kaca ini salah satunya yaitu sebagai bahan campuran beton. Limbah kaca yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton diolah menjadi serbuk kaca terlebih dahulu. Dengan menggunakan serbuk kaca sebagai bahan campuran beton akan mengurangi limbah yang sulit terurai di Indonesia.

Pada dasarnya dari serbuk kaca kandungan kimia yang hampir sama dengan semen. Mulai dari Silika (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida atau kapur (CaO). Pada serbuk kaca unsur kimia yang paling banyak kandungannya yaitu silika (SiO_2). Dengan ini maka serbuk kaca termasuk bahan pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang sebagian besar mengandung silika yang bersifat mengikat. Kandungan kimia yang berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yaitu silika reaktif yang terdapat pada semen, semakin banyak silika reaktif yang bereaksi dengan kalsium hidroksida maka kuat tekan akan semakin tinggi (Adi Darmawan, 2007). Penelitian oleh Handy Yohanes Karwur (2013) menggunakan variasi serbuk kaca 0%, 6%, 8%, 10%, 12% dan 12% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton meningkat mulai dari presentase serbuk kaca 0% hingga 10% dari berat semen. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan dengan dijadikannya serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen akan mempengaruhi kekuatan beton. dengan dijadikannya serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen maka kombinasi campuran berupa semen: pasir : kerikil : serbuk kaca : air.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, serbuk kaca digunakan untuk menggantikan bahan material semen sebagian. Berikut ini merupakan rumusan masalah yang berdasarkan latar belakang sebelumnya.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai bahan substitusi parsial material semen?

2. Bagaimana hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan absorpsi pada beton normal?
3. Berapa kadar serbuk kaca pada campuran beton yang menghasilkan nilai kuat tekan, kuat tarik maksimal dan presentase absorpsi paling kecil?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini merupakan tujuan penelitian yang digunakan untuk menentukan:

1. Pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai bahan substitusi parsial semen.
2. Hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi beton normal.
3. Kadar serbuk kaca pada campuran beton yang menghasilkan nilai kuat tekan, kuat tarik maksimal dan presentase absorpsi paling kecil.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini merupakan manfaat dari penelitian yang diharapkan.

1. Memberikan alternatif campuran beton yang lebih kuat.
2. Berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah kaca baik itu botol kaca dan lainnya dengan menjadikan serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen.
3. Diharapkan hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan diteruskan guna perkembangan ilmu teknologi konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

Tujuan dari adanya batasan penelitian ini yaitu agar masalah yang hendak diteliti lebih terarah dan bisa mencapai tujuan penelitian. Berikut ini merupakan batasan masalah penelitian.

1. Pengujian yang dilakukan uji kuat tekan beton, kuat tarik beton, nilai serap air.
2. Dilakukan pengujian setelah beton berumur 28 hari
3. Metode perencanaan campuran (*mix design*) mengacu pada SNI 2834 – 2000.
4. Serbuk kaca yang digunakan memiliki ukuran 200 mesh atau lolos saringan No. 200

5. Terdapat variasi berat serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 0%, 7.5%, 10% dan 12.5% terhadap berat semen.
6. Serbuk kaca yang digunakan berasal dari penggilingan kaca.
7. Mutu beton rencana sebesar $f'c$ 25 Mpa
8. Semen yang digunakan berupa semen *dynamix* Tipe I
9. Agregat kasar berasal dari Clereng
10. Agregat halus berasal dari Merapi
11. Tidak meneliti kandungan kimia serbuk kaca
12. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton yaitu silinder beton dengan ukuran 30 x 15 cm
13. Benda uji yang digunakan untuk pengujian nilai serap air yaitu kubus dengan dimensi 15 x 15 x 15 cm.
14. Acuan pengujian yang digunakan seperti berikut ini.
 - a. Pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974 – 2011.
 - b. Pengujian kuat tarik beton mengacu pada SNI 03 – 2491 – 2002.
 - c. Pengujian nilai serap air beton mengacu pada SNI 6433-2016
 - d. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat mengacu pada SNI 03 - 4804 – 1998.
 - e. Pengujian analisa saringan agregat halus dan kasar mengacu pada acuan SNI 1968 – 1990
 - f. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus mengacu pada SNI 1969 – 1990.
 - g. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar mengacu pada SNI 1970 – 1990.
 - h. Pengujian kandungan lumpur mengacu pada SNI 4142 - 1996
 - i. Pengujian slump mengacu pada SNI 1972 – 2008.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

2.1.1 Beton

Beton merupakan bahan bangunan komposit yang terbuat dari beberapa kombinasi mulai dari pasir, kerikil, semen, air dan bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu (Tjokrodimuljo, 1992). Proporsi kombinasi bahan dasar penyusun beton ini lah yang menentukan kekuatan beton yang akan dibuat. Proporsi bahan dasar penyusun beton didapatkan dari rencana campuran beton atau biasa disebut dengan *mix design*.

Berdasarkan SNI-2847-2019 berdasarkan berat jenis beton dibagi menjadi 2 seperti berikut ini.

1. Beton ringan : 1140 – 1840 kg/cm³
2. Beton normal : 2155 – 2560 kg/cm³

Beton memiliki beberapa keunggulan. Berikut ini merupakan keunggulan dari beton.

1. Memiliki kuat tekan yang tinggi
2. Dapat dibentuk sesuai kebutuhan dengan mudah
3. Tahan terhadap suhu tinggi
4. Memiliki biaya perawatan yang murah
5. Memiliki kuat tekan yang tinggi

Namun disisi lain beton juga memiliki kekurangan, berikut ini merupakan kekurangan beton.

1. Memiliki kekuatan tarik yang cenderung rendah
2. Memiliki berat yang besar
3. Pengerjaan diperlukan ketelitian yang tinggi
4. Menghasilkan pantulan suara yang cukup besar.

2.2 Penelitian yang Sebelumnya Pernah Dilakukan

Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat kasar, agregat halus dan air dengan atau tanpa campuran tambahan (*admixture*) (peraturan SNI 2847-2013). Campuran beton yang baik dan kuat bisa dipastikan terdiri dari agregat, air, semen yang sesuai dan memenuhi syarat. Campuran beton bisa mendapatkan sifat khusus jika pada campuran beton diberikan bahan tambah dengan zat tertentu. Bahan tambah ini disebut sebagai *admixture*. *Admixture* merupakan bahan tambah untuk dicampurkan kedalam campuran beton baik itu sebelum maupun saat pengadukan campuran beton.

Berikut ini merupakan penelitian yang sebelumnya pernah dilakukan terkait bahan tambah (*admixture*) campuran beton sebagai referensi penelitian ini.

2.2.1 Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen (Karwur dkk, 2013)

Pada penelitian Handy Y. Karwur, R. Tenda, S. E. Wallah, R. S Windah di tahun 2013 ini bertujuan untuk mengetahui kenaikan kuat tekan beton terhadap substitusi parsial semen dengan bahan serbuk kaca. Serbuk kaca yang digunakan bervariasi, mulai dari 0%, 6%, 8%, 10%, 12% dan 15% dari berat semen. Serbuk kaca yang digunakan berasal dari sisa – sisa potongan kaca di toko yang kemudian dihancurkan menggunakan mesin *Los Angles*. Serbuk kaca yang digunakan adalah serbuk kaca yang lolos ayakan no. 200.

Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kuat tekan beton untuk setiap umur beton yang akan diuji dimana digunakan empat buah sampel untuk setiap variasi campuran beton. Selain itu dilakukan pemeriksaan nilai *slump test* untuk setiap variasi campuran beton. Alat pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan (*compression test machine*) standar pengujian SK-SNI-M-14-1898-F dan ASTM C39.

Hasil penelitian ini menunjukkan hasil kuat tekan beton yang beragam. Untuk variasi serbuk kaca 0% mendapatkan kenaikan 0%, untuk variasi serbuk kaca 6% mendapatkan kenaikan 5.58%, untuk variasi serbuk kaca 8% mendapatkan kenaikan 11.17%, untuk variasi 10% mendapatkan kenaikan sebesar 18.45%, untuk variasi 12% mendapatkan kenaikan sebesar 3.4% sedangkan untuk variasi 15%

mendapatkan penurunan 8.001%. pada kesimpulannya kenaikan kuat tekan beton terbesar terjadi untuk variasi serbuk kaca 10% sebesar 18.45% dan terjadi penurunan kuat tekan beton untuk variasi serbuk kaca 15% sebesar 8.001%.

2.2.2 Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton (Much. Juli Purnomo, 2019)

Pada penelitian H. Musthofa, ST. MT. dan Much Juli Purnomo di tahun 2019 ini mengetahui pengaruh penambahan limbah serbuk kaca terhadap kuat tekan beton. Peresentasi campuran serbuk kaca terdiri dari beberapa variasi. Variasi serbuk kaca yang digunakan yaitu 0%, 5%, 7.5%, 10% dan 12.5% dari berat semen. Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton rencana sebesar 25 Mpa dengan usia umur beton 28 hari dan dilakukan perawatan beton sebelumnya. Pengujian ini menggunakan benda uji silinder.

Metode analisis yang digunakan yaitu metode regresi linier yaitu menguji kuat tekan beton dengan bahan tambah limbah serbuk kaca. Ketika proses pengadukan dilakukan uji slump untuk mengetahui tingkat *workability* campuran beton tiap variasinya. Untuk menentukan hasil kuat tekan beton pada penelitian ini menggunakan acuan SNI 03-1974-1990.

Hasil dari pengujian kuat tekan beton dengan beragam variasi substitusi serbuk kaca ini beragam. Untuk kuat tekan beton normal atau variasi serbuk kaca 0% sebesar 12.886 Mpa. Hasil kuat tekan beton normal dari pengujian berada dibawah kuat tekan beton normal rencana yaitu sebesar 25 Mpa. Sedangkan untuk variasi serbuk kaca 5% memiliki kuat tekan beton sebesar 13.492 Mpa, variasi serbuk kaca 7.5% memiliki kuat tekan beton sebesar 12.858 Mpa, variasi serbuk kaca 10% memiliki kuat tekan beton sebesar 12.219 Mpa, dan variasi 12.5% memiliki kuat tekan beton sebesar 21.175 Mpa. Dari hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beton dengan variasi serbuk kaca 5% memiliki nilai kuat tekan beton terbesar yaitu 12.492 Mpa namun masih dibawah kuat tekan beton rencana.

2.2.3 Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton (Hendra Purnomo, 2014)

Pada penelitian Hendra Purnomo dan Endang Setyawati Hisyam di tahun 2014 ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dengan adanya pemakaian serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap campuran beton. Pada penelitian ini menggunakan kuat tekan beton rencana sebesar f'_c 22.5 Mpa. Serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah kaca dari produksi pembuatan kusen pintu jendela dan produksi pembuatan lemari etalase yang kemudian dihancurkan menggunakan alat *Los Angles*. Serbuk kaca yang digunakan adalah serbuk kaca yang lolos ayakan no. 200. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada sampel beton yang sudah berusia 28 hari.

Variasi kadar serbuk kaca yang digunakan pada penelitian ini cukup beragam, yaitu 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% dan 15%. Pada penelitian ini digunakan 3 sampel uji setiap variasinya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Hasil dari pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton dengan substitusi serbuk kaca beragam sesuai dengan variasinya masing – masing. Hasil pengujian kuat tarik untuk variasi serbuk kaca 0% menghasilkan kuat tarik sebesar 2.55 Mpa, variasi serbuk kaca 2.5% sebesar 2.69 Mpa, variasi serbuk kaca 5% sebesar 2.62%, variasi serbuk kaca 7.5% sebesar 2.45 Mpa, variasi serbuk kaca 10% sebesar 2.78 Mpa, variasi serbuk kaca 12.5% sebesar 2.43% dan variasi serbuk kaca 15% sebesar 2.19 Mpa. Dari hasil keseluruhan pengujian kuat tarik beton hasil yang terbesar dengan menggunakan variasi serbuk kaca 10% yaitu sebesar 2.78 Mpa.

Sedangkan untuk pengujian kuat tekan sendiri, untuk variasi serbuk kaca 0% menghasilkan kuat tekan beton sebesar 23.20 Mpa, variasi 2.5% sebesar 20.28 Mpa, variasi 5% menghasilkan 20.37 Mpa, variasi 7.5% menghasilkan 20.56 Mpa, variasi 10% menghasilkan 21.41 Mpa, variasi 12.5% menghasilkan 18.49 Mpa, variasi 15% menghasilkan 16.69 Mpa. Dari hasil keseluruhan pengujian kuat tekan beton hasil yang terbesar dengan menggunakan variasi serbuk kaca 10% yaitu

sebesar 21.41 Mpa. Namun hasil pengujian kuat tekan beton dengan variasi serbuk kaca masih dibawah nilai kuat tekan beton rencana yaitu 22.5 Mpa.

2.2.4 Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Beton Mutu tinggi (Ananda Welas Asih, 2018)

Pada penelitian Ananda Welas Asih ditahun 2018 bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai bahan pengganti Sebagian agregat halus pada beton mutu tinggi. Beton mutu tinggi yang dimaksud yaitu lebih tinggi atau sama dengan 41.4 Mpa. Sedangkan limbah kaca yang digunakan yaitu limbah kaca yang berasal dari industri atau pembongkaran bangunan dan rumah tangga dalam jumlah besar. Ukuran serbuk kaca yang digunakan yaitu serbuk kaca yang lolos saringan 4.75 mm dan tertahan di saringan No.200 Pada penelitian ini menggunakan serbuk kaca sebagai substitusi pasir dengan variasi mulai dari 0%, 5%, 10%, 15%, 20%.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian yaitu, uji kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, modulus runtuh dan kuat geser beton. Pada penelitian ini menggunakan cetakan degan ukuran diameter 13 cm dengan tinggi 30 cm untuk di uji kuat tekan dan kuat tarik, cetakan balok berukuran 15 cm x 15 cm x 30 cm untuk di uji modulus runtuh dan uji geser. Semua pengujian dilakukan setelah beton selesai dilakukan perendaman selama 28 hari.

Hasil dari setiap ujinya berbeda - beda. Dimulai dari pengujian kuat tekan untuk variasi substitusi serbuk kaca terhadap pasir untuk variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% mendapatkan hasil kuat tekan sebesar 43.878 Mpa, 46.615 Mpa, 47.470 Mpa, 46.332 Mpa, 45.850 Mpa. Dari hasil tersebut variasi serbuk kaca 10% menghasilkan kuat tekan beton yang paling tinggi yaitu 47.370 Mpa. Untuk hasil pengujian kuat tarik belah beton setiap variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% yaitu 3.861 Mpa, 5.613 Mpa, 5.343 Mpa, 5.163 Mpa, 3.446 Mpa. Hasil kuat tari belah beton paling tinggi pada variasi 5%. Untuk pengujian modulus runtuh dengan variasi serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, 20% mendapatkan hasil sebesar 5.467 Mpa, 6.2 Mpa, 5.633 Mpa, 5.489 Mpa, 5.244 Mpa. Hasil modulus runtuh paling tinggi pada variasi serbuk kaca 5%. Untuk pengujian kuat geser dengan variasi serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, 20% mendapatkan hasil sebesar 15.803Mpa, 17.792 Mpa, 16.971

Mpa, 16.666 Mpa, 14.550 Mpa. Hasil kuat geser paling tinggi pada variasi serbuk kaca 5%.

2.2.5 Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan (Ade Ramadhan Nasution 2016)

Pada penelitian Ade Ramadhan Nasution di tahun 2016 ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton. Kuat tekan beton yang direncanakan yaitu mutu K250 dengan umur beton 28 hari. Pada penelitian ini menggunakan variasi serbuk kaca 8% dari agregat halus. Serbuk kaca yang digunakan yaitu serbuk kaca yang lolos saringan 4.75 mm. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini hanya pengujian kuat tekan beton saja. Pada penelitian ini menggunakan cetakan berbentuk kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm.

Pada penelitian ini digunakan 20 sampel untuk variasi serbuk kaca 8% terhadap berat agregat halus dan beton normal. Hasil kuat tekan beton akhir yang diambil merupakan hasil rata – rata dari hasil kuat tekan beton tiap variasinya. Untuk hasil kuat tekan beton normal rata – rata sebesar 260.001 kg/cm². Sedangkan untuk hasil kuat tekan beton dengan variasi serbuk kaca 8% rata – rata sebesar 273.33 kg/cm². Berdasarkan hasil sebelumnya menunjukkan bahwa dengan adanya pengganti agregat halus dengan serbuk kaca sebesar 8% terdapat kenaikan hasil kuat tekan sebesar 13.329 kg/cm².

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis Sekarang

Variabel Tinjauan	Penelitian Sebelumnya					Penelitian yang akan Dilakukan
Peneliti	Handy Y. Karwur, R. Tenda, S. E. Wallah, R. S Windah (2013)	H. Musthofa, ST. MT dan Much. Juli Purnomo (2019)	Hendra Purnomo dan Endang Setyawati Hisyam (2014)	Ananda Welas Asih, Hariyadi dan I Nyoman Merdana (2018)	Ade Ramadhan Nasution (2016)	Haris Ihsan Setiahutama (2021)
Judul	Kuat Tekan Beton Dengan Bahan Tambah Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton	Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Pada Campuran Beton Ditinjau Dari Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton	Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Mutu Beton Tinggi	Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan	Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Beton Normal
Tujuan	mengetahui kenaikan kuat tekan beton terhadap	mengetahui pengaruh penambahan limbah	untuk mengetahui nilai kuat tekan dan kuat tarik beton dengan adanya pemaian serbuk kaca	mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai bahan pengganti	mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai pengganti sebagian	Mengetahui pengaruh serbuk kaca sebagai bahan substitusi parsial semen terhadap kuat

Variabel Tinjauan	Penelitian Sebelumnya					Penelitian yang akan Dilakukan
	subtitusi parsial semen dengan bahan serbuk kaca	serbuk kaca terhadap kuat tekan beton	sebagai subtitusi parsial semen terhadap campuran beton	Sebagian agregat halus pada beton mutu tinggi	agregat halus terhadap kuat tekan beton	tekan, kuat tarik dan absorpsi beton 25 MPa
Variasi	Variasi serbuk kaca 0%, 6%, 8%, 10%, 12% dan 15% dari berat semen. Sedangkan variasi umur beton mulai dari 7 hari, 14 hari dan 28 hari	Variasi serbuk kaca 0%, 5%, 7.5%, 10% dan 12.5% dari berat semen. Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari.	Variasi serbuk kaca 0%, 2.5%, 7.5%, 10% dan 15% dari berat semen dengan umur beton 28 hari.	Variasi serbuk kaca 0%, 5%, 10%, 15%, 20% terhadap volume pasir dengan umur beton 28 hari.	Variasi serbuk kaca 0% dan 8%	Variasi serbuk kaca 0%, 7.5%, 10%, 12.5%, dari berat semen.
Sumber Serbuk Kaca	Potongan kaca di toko	Botol kaca.	Pecahan kaca Etalase	Limbah kaca rumah dan industri	Limbah komponen industri	

Variabel Tinjauan	Penelitian Sebelumnya					Penelitian yang akan Dilakukan
Pengujian	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton dan kuat tarik beton	Kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, modulus runtuh, kuat geser beton.	Kuat tekan beton	Kuat tekan beton, kuat tarik beton dan nilai serap air.
Hasil Penelitian	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 0%, 6%, 8%, 10%, 12% dan 15% mengalami kenaikan kuat tekan beton sebesar 5.58%, 11.17%, 18.45%, 3.4%, - 1.1%	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 0%, 5%, 7.5%, 10% dan 12.5% adalah 13.5Mpa, 12.86Mpa, 12.2191Mpa dan 12.175Mpa,	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi kaca 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5% dan 15% untuk kuat tekan beton adalah 23.2 Mpa, 20.28 Mpa, 20.37 Mpa, 20.56 Mpa, 21.41 Mpa, 18.49Mpa, 16.69 Mpa. Sedangkan untuk kuat tarik beton sebesar 2.55 Mpa, 2.69 Mpa, 2.62 Mpa, 2.45 Mpa,	Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, untuk pengujian kuat tekan beton terbesar yaitu dengan variasi serbuk 10% sebesar 47.370 Mpa. Untuk pengujian kuat tarik belah tertinggi pada variasi serbuk kaca 5% sebesar 5.61 Mpa. Untuk pengujian balok runtuh terbesar pada	Hasil pengujian kuat tekan beton untuk variasi 0% dan 8% yaitu sebesar 260.001 kg/cm ² dan 273.333 kg/cm ²	

Variabel Tinjauan	Penelitian Sebelumnya				Penelitian yang akan Dilakukan
			2.78 Mpa, 2.43 Mpa, 2.19 Mpa.	variasi serbuk kaca 5% sebesar 6.2 Mpa. Sedangkan untuk pengujian kuat geser tertinggi yaitu dengan variasi serbuk kaca 5% sebesar 17.79 Mpa.	

2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan meneliti tentang kuat tekan beton, kuat tarik beton dan absorpsi beton normal dengan bahan substitusi parsial serbuk kaca. Presentase serbuk kaca yang digunakan yaitu 0%, 7.5%, 10% dan 12.5% dari berat semen. Penelitian yang dilakukan berbeda dengan penelitian – penelitian terdahulu. Dengan ini keaslian penelitian yang akan dilakukan dapat dipertanggung jawabkan.



BAB III

LANDSAN TEORI

3.1 Beton

Beton sederhana pada dasarnya terbentuk oleh adanya perkerasan dari campuran air, semen, agregat kasar, agregat halus dan dengan atau tanpa bahan tambah tertentu. Material campuran beton tersebut dicampurkan dengan komposisi yang sudah ditentukan sehingga menjadi campuran yang kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Pada campuran beton, air dan semen akan membentuk pasta semen yang kemudian akan mengisi rongga udara atau pori – pori antara agregat halus dan agregat kasar. Campuran yang sudah dituang akan mengeras menjadi padat dalam waktu tertentu sehingga menjadi beton yang memiliki kekuatan desak tertentu. Besarnya nilai kuat desak dan kuat tarik belah pada beton tergantung dari komposisi campuran, mutu material campuran dan pelaksanaan pencampuran beton itu sendiri.

Menurut Mulyono (2006) beton dapat dibedakan menjadi 2 kelompok sebagai berikut ini.

1. Beton berdasarkan kelas dan mutu beton

a. Beton kelas I

Beton kelas I adalah beton untuk pekerjaan nonstruktural. Untuk pelaksanaannya tidak diperlukan keahlian khusus. Pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan ringan terhadap mutu bahan – bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan pemeriksaan. Mutu kelas I ini dinyatakan Bo.

b. Beton kelas II

Beton kelas II adalah beton untuk pekerjaan – pekerjaan struktural secara umum. Pelaksanaannya memerlukan keahlian yang cukup dan harus dilakukan di bawah pimpinan tenaga – tenaga ahli. Beton kelas II dibagi dalam mutu – mutu standar B1, K 125, K 175 dan K 225. Pada mutu B1, pengawasan mutu hanya dibatasi pada pengawasan terhadap mutu bahan

– bahan, sedangkan terhadap kekuatan tekan tidak disyaratkan. Pada mutu K 125 dan K 175 dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara konsistnu dari hasil – hasil pemeriksaan benda uji.

c. Beton kelas III

Beton kelas III adalah beton untuk pekerjaan – pekerjaan strutkural yang lebih tinggi dari K 225. Pelaksanaanya memerlukan keahlian khusus dan harus dilakukan dibawah tenaga – tenaga ahli. Disyaratkan adanya laboratorium beton dengan peralatan yang lengkap serta dilayani oleh tenaga - tenaga ahli yang dapat melakukan pengawasan mutu beton secara kontinu.

2. Beton berdasarkan jenisnya

a. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang dibuat dengan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bobot beton normal. Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan pun merupakan agreat ringat pula. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil dari pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu bara dan lainnya yang merupakan hasil pembakaran vulkanik. Berat jenis agregat ringan sekitar 1440 - 1859 kg/m³, dimana memiliki kuat tekan lebih besar dari 17.2 MPa setelah umur 28 hari.

b. Beton normal

Beton normal merupakan beton yang mempunyai berat isi 2.200 kg/m³ sampai degan 2.500 kg/m³ dengan kuat tekan antara 15 – 40 MPa.

c. Beton berat

Beton berat merupakan beton yang memiliki berat isi lebih besar dari 2.500 kg/m³. untuk menghasilkan beton berat ini digunakan agregat yang memiliki berat jenis yang besar pula.

d. Beton massa

Beton massa merupakan beton yang mempunyai ukuran penampang komponen besar, sehingga memerlukan perlakuan untuk mengatasi

panas hidrasi dari semen serta menjaga perubahan volume yang dapat menimbulkan keretakan.

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton merupakan elemen struktur yang terdiri dari bahan penyusun sebagai berikut ini.

3.2.1 Semen Portland (PC)

Semen portland (SP) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling halus klingker, yang terdiri terutama dari silikat – silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu (PUBI 1982). Semen Portland merupakan bahan ikat yang memiliki peran penting dan banyak digunakan dalam pembangunan konstruksi.

Menurut PUBI 1982, semen Portland dibagi menjadi 5 jenis berdasarkan tujuan pemakaiannya. Berikut ini merupakan jenis – jenis semen Portland menurut PUBI 1982.

1. Semen Portland jenis I : Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak diminta persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis – jenis lainnya.
2. Semen Portland jenis II : Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak taha terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
3. Semen Portland jenis III : Untuk konstruksi – konstruksi yang menurut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Semen Portland jenis IV : Untuk konstruksi – konstruksi yang menurut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Semen Portland jenis V : Untuk konstruksi – konstruksi yang menurut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

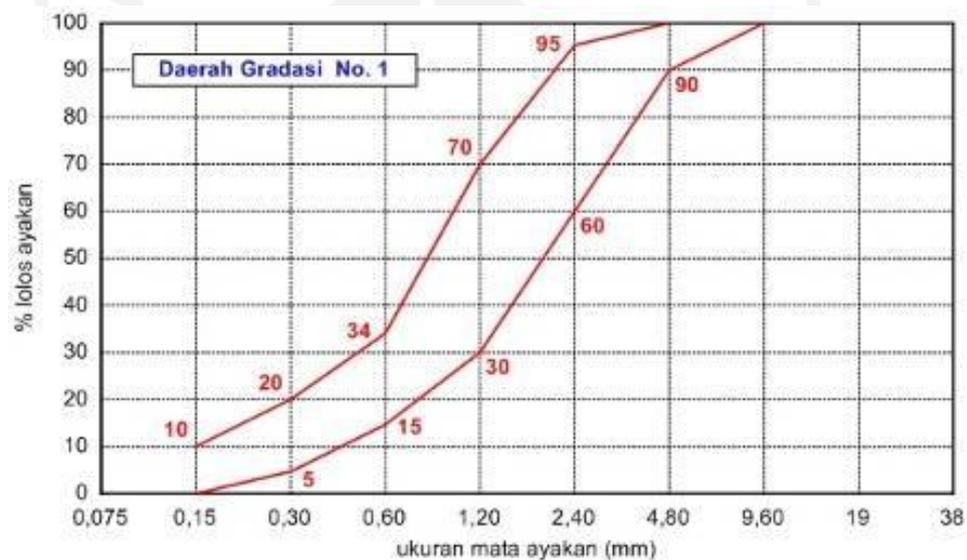
3.2.2 Agregat

Agregat merupakan bahan material penyusun campuran beton yang berfungsi sebagai pengisi. Agregat yang tidak bereaksi dengan semen merupakan agregat yang baik. Agregat harus terdistribusi dengan baik guna mengurangi rongga

– rongga. Agregat dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan ukurannya. Berikut ini merupakan jenis – jenis agregat berdasarkan ukurannya.

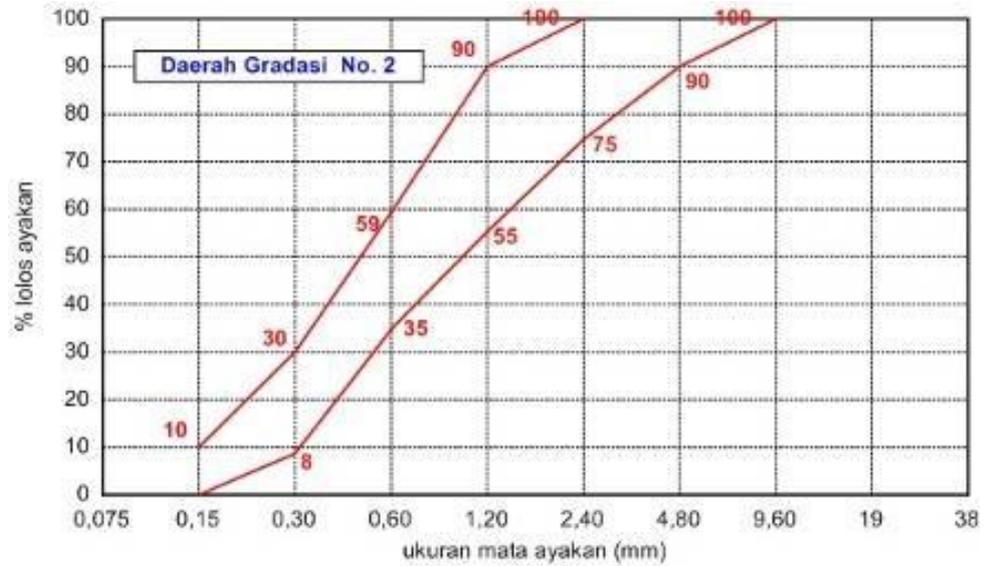
1. Agregat halus

Agregat halus merupakan butiran mineral alami dengan ukuran butiran < 5 mm yang memiliki fungsi sebagai bahan pengisi campuran beton. Agregat halus ini sendiri bisa berupa pasir galian, pasir sungai dan pasir laut. Berdasarkan SNI 03-2834-2000 ukuran agregat dibagi menjadi 4 zona seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, Gambar 3.2, Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



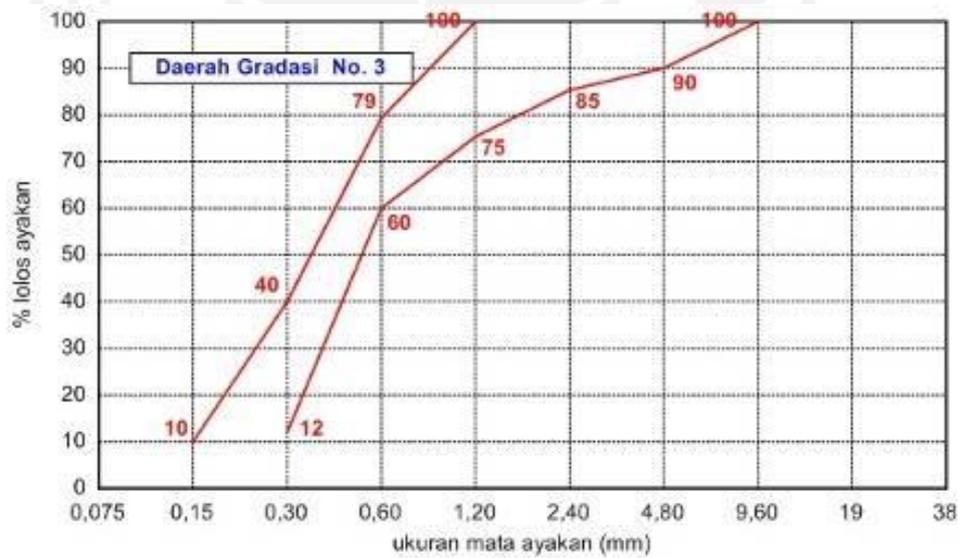
Gambar 3.1 Grafik Batas Gradasi Pasir (Kasar) No.1

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



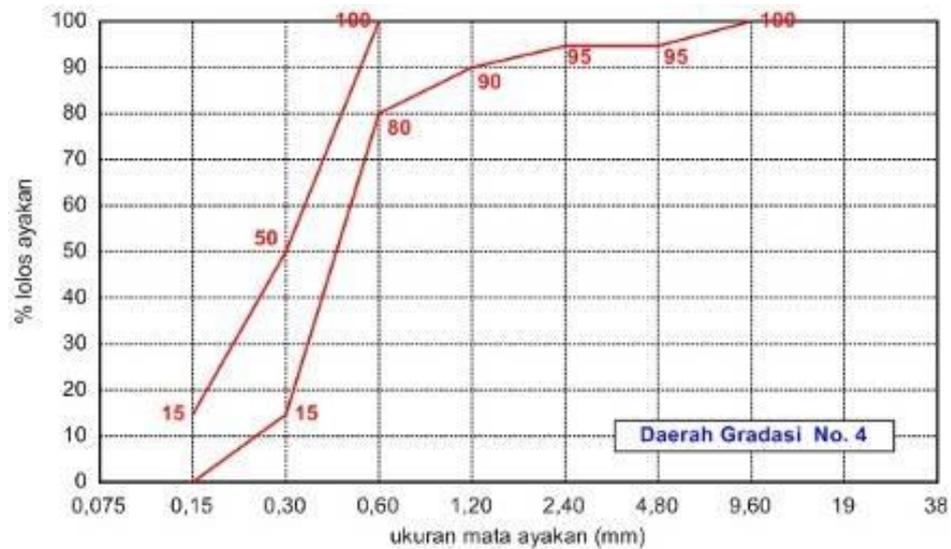
Gambar 3.2 Grafik Batas Gradasi Pasir (Sedang) No.2

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.3 Grafik Batas Gradasi Pasir (Agak halus) No.3

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.4 Grafik Batas Gradasi Pasir Dalam No.4

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

2. Agregat kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang ukurannya lebih besar dari 5 mm. biasanya agregat yang dinyatakan agregat kasar yaitu yang tertahan di saringan 4.75 mm. Menurut Fransiska Verent Supit 2016, terdapat 4 jenis agregat kasar secara umum. Berikut ini jenis – jenis agregat kasar secara umum menurut Fransiska Verent Supit (2016).

a. Batu pecah alami

Batu pecah alami didapatkan dari batu pecah alami yang digali dimana biasanya batu pecah alami berasal dari gunung api atau jenis sedimen.

b. Kerikil alami

Kerikil alami didapatkan dari proses pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh aliran sungai. Permukaan kerikil alam yang kasar akan memperkuat ikatan adukan sehingga campuran beton akan lebih baik.

c. Agregat untuk pelindung nuklir berbobot berat

Agregat yang dimaksud pada jenis ini yaitu batu pecah barit, magnetit serta limonit. Sifat beton dengan agregat ini bergantung pada kepadatan dan kerapatannya, hampir tidak bergantung pada faktor air semennya.

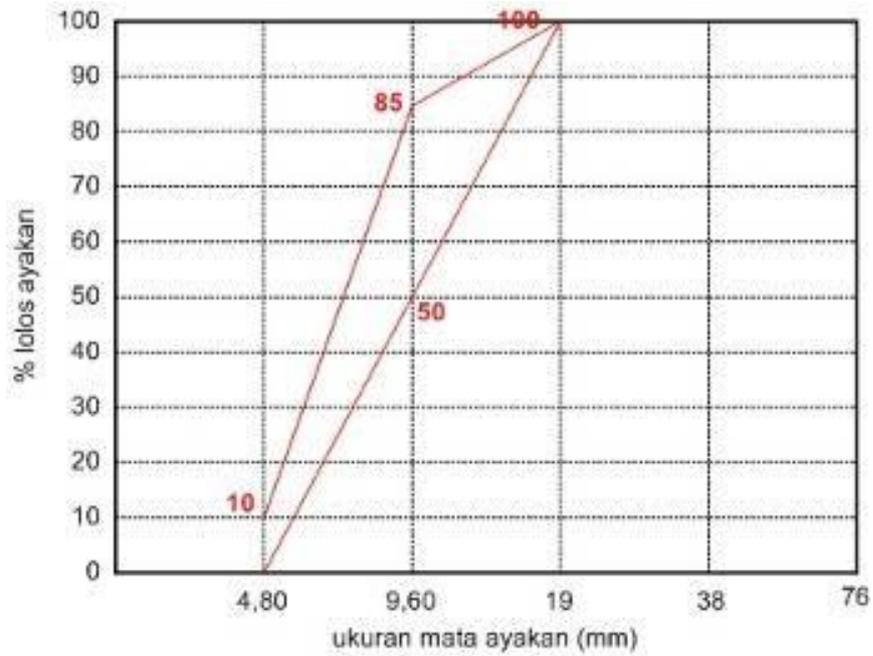
Agregat yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi syarat agar terbentuk campuran beton yang saling mengikat dengan baik. Berikut ini merupakan syarat – syarat agregat yang dapat dipakai menurut Tjokrodimulyo, 1992.

1. Kerikil harus berupa butiran keras dan tidak berpori. Sifat keras diperlukan untuk memperoleh beton yang keras pula. Selain itu tidak boleh berpori agar beton yang dihasilkan tidak mudah tembus oleh air.
2. Agregat bebas dari unsur organik.
3. Agregat tidak mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat kering. Bila lumpur lebih dari 1% dari berat bersih maka agregat perlu dicuci terlebih dahulu.
4. Kerikil dengan bentuk yang tajam. Dengan agregat yang berbentuk tajam akan menimbulkan ikatan yang lebih kuat.

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 terdapat syarat batas susunan besar butir agregat kasar. Berikut ini merupakan tabel syarat batas besar butir agregat kasar berdasarkan SNI 03-2834-2000.

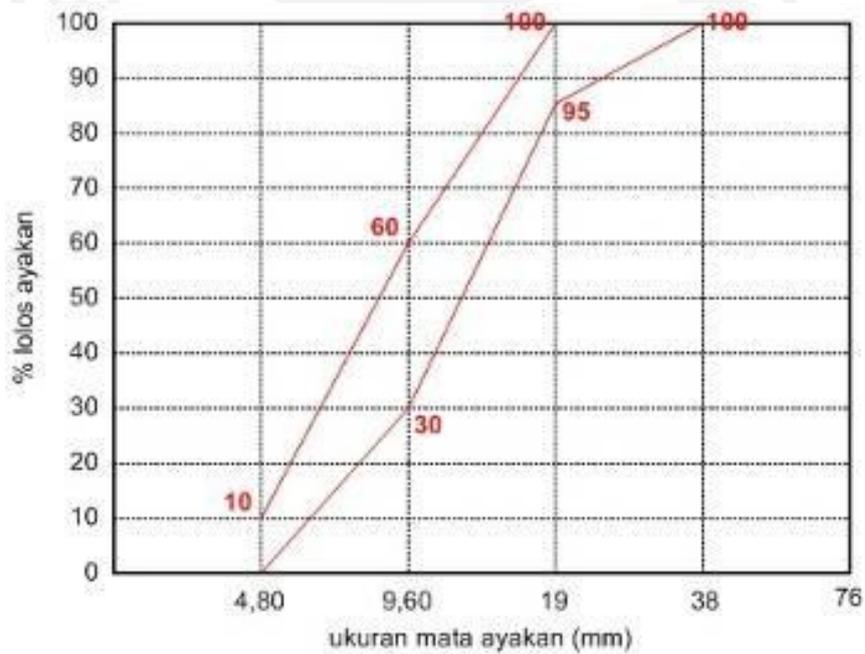
Tabel 3.1 Persyaratan Batas – Batas susunan Butir Agregat Kasar

Urutan mata ayakan (mm)	Presentase berat bagian yang lewat ayakan		
	Ukuran nominal agregat (mm)		
	38-4,76	19,0-4,76	9,6-4,76
38.1	95 – 100	100	
19.0	37 - 70	95 - 100	100
9.52	10 – 40	30 – 60	50 - 58
4.76	0 – 5	0 – 10	0 – 10



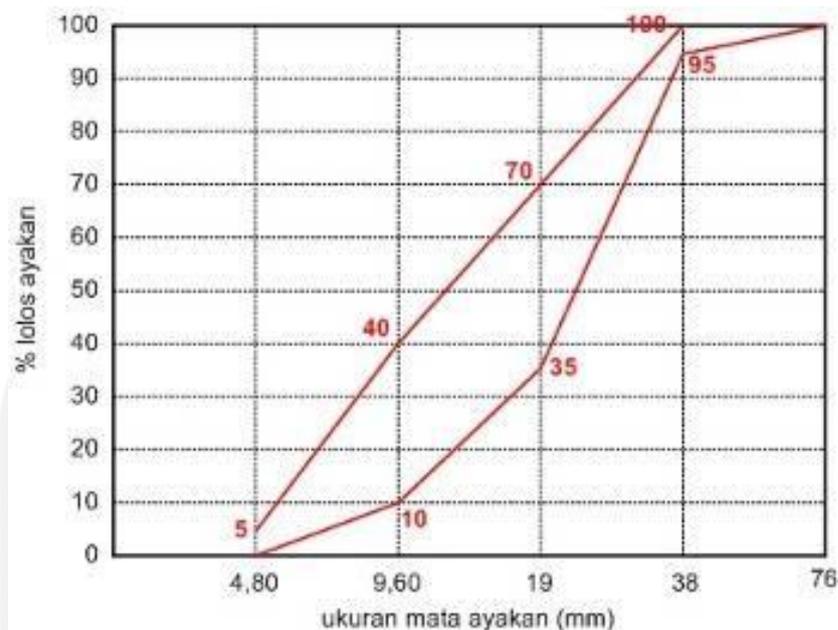
Gambar 3.5 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.6 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 20 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.7 Batas Gradasi Kerikil atau Koral Ukuran Maksimum 40 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3.2.3 Air

Pada dasarnya air merupakan bahan yang sangat penting dimana diperlukan agar bisa bereaksi dengan semen sehingga menjadi pasta semen yang mengikat agregat. Pada campuran beton, terjadi proses hidrasi antara air dan semen. Pada campuran beton diperlukan proporsi air yang baik, jika air berlebihan akan mengakibatkan turunnya kekuatan beton sedangkan jika terlalu sedikit menyebabkan proses hidrasi yang tidak merata. Air yang baik digunakan yaitu air yang tidak berwarna, tidak berbau serta tidak memiliki rasa. Selain digunakan untuk bahan campuran beton, air juga digunakan untuk merawat beton setelah beton mengeras.

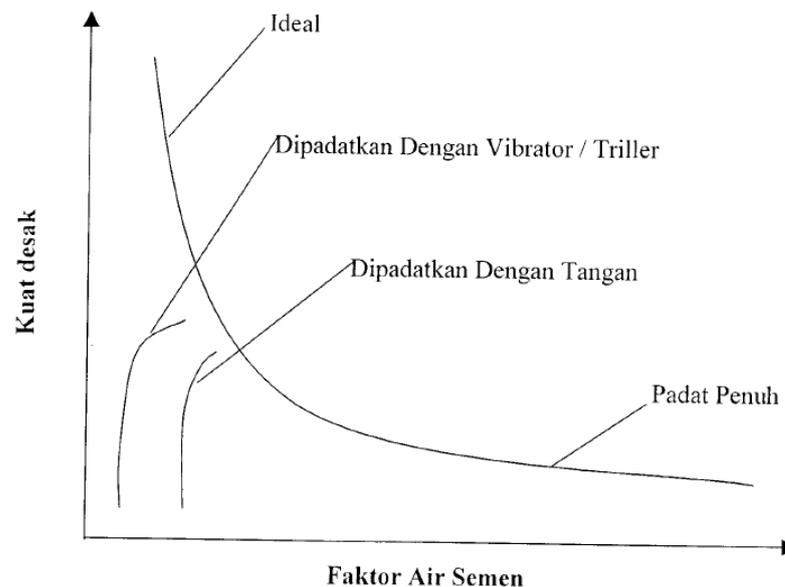
3.3 Serbuk Kaca

Pada dasarnya kaca terbentuk dari gabungan berbagai oksida non – organik yang sifatnya tidak mudah menguap dan dihasilkan dari proses dekomposisi serta peleburan senyawa alkali tanah dan alkali penyusun lainnya. Pada penelitian yang dilakukan Hendra Purnomno, dinyatakan bahwa kaca terbuat dari 75% silika

(SiO₂), Na₂O, CaO dan beberapa zat tambahan lainnya. Serbuk kaca yang digunakan berukuran 200 mesh yang berasal dari botol kaca dan kaca lampu. Penggunaan serbuk kaca pada penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah kaca industri.

3.4 Faktor Air Semen

Faktor air semen atau FAS merupakan perbandingan berat air dengan berat semen dalam campuran beton. Semakin rendah nilai faktor air semen maka semakin tinggi nilai kuat tekan beton yang dihasilkan. Namun, jika faktor air semen terlalu rendah akan menyulitkan pematangan maka kekuatan beton akan turun pula. Faktor air semen yang ideal akan menghasilkan nilai kuat tekan beton yang maksimal.



Gambar 3.8 Hubungan Faktor Air Semen dengan Kuat Tekan Beton

(sumber: Steenie E. Wallah)

3.5 Perencanaan Campuran Beton Menurut SNI 03-2834-2000

Perencanaan campuran beton atau mix design merupakan proses perencanaan proporsi dan pemilihan material campuran beton dengan tujuan tercapainya kekuatan beton yang direncanakan. Berikut ini merupakan langkah – langkah perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000.

1. Menentukan kuat tekan (f'_c) yang disyaratkan.

2. Menentukan besar nilai deviasi standar. Nilai standar deviasi untuk hasil uji kurang dari 30 dapat dihitung dengan perkalian deviasi standar hasil uji dengan faktor pengali. Berikut ini merupakan faktor pengali untuk deviasi standar dengan hasil uji kurang dari 30 yang dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Faktor Pengali Deviasi Standar dengan Hasil Uji < 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
<15	$f'_c + 12 \text{ MPa}$
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

3. Menghitung nilai tambah (M). besar nilai tambah dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini.

$$M = 1.64 \times S_r \quad (3.1)$$

Dengan pengertian;

M : nilai tambah

1.64 : tetapan static

S_r : deviasi standar rencana

4. Menghitung kuat tekan rata-rata. Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung kuat tekan rata-rata.

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

dengan pengertian;

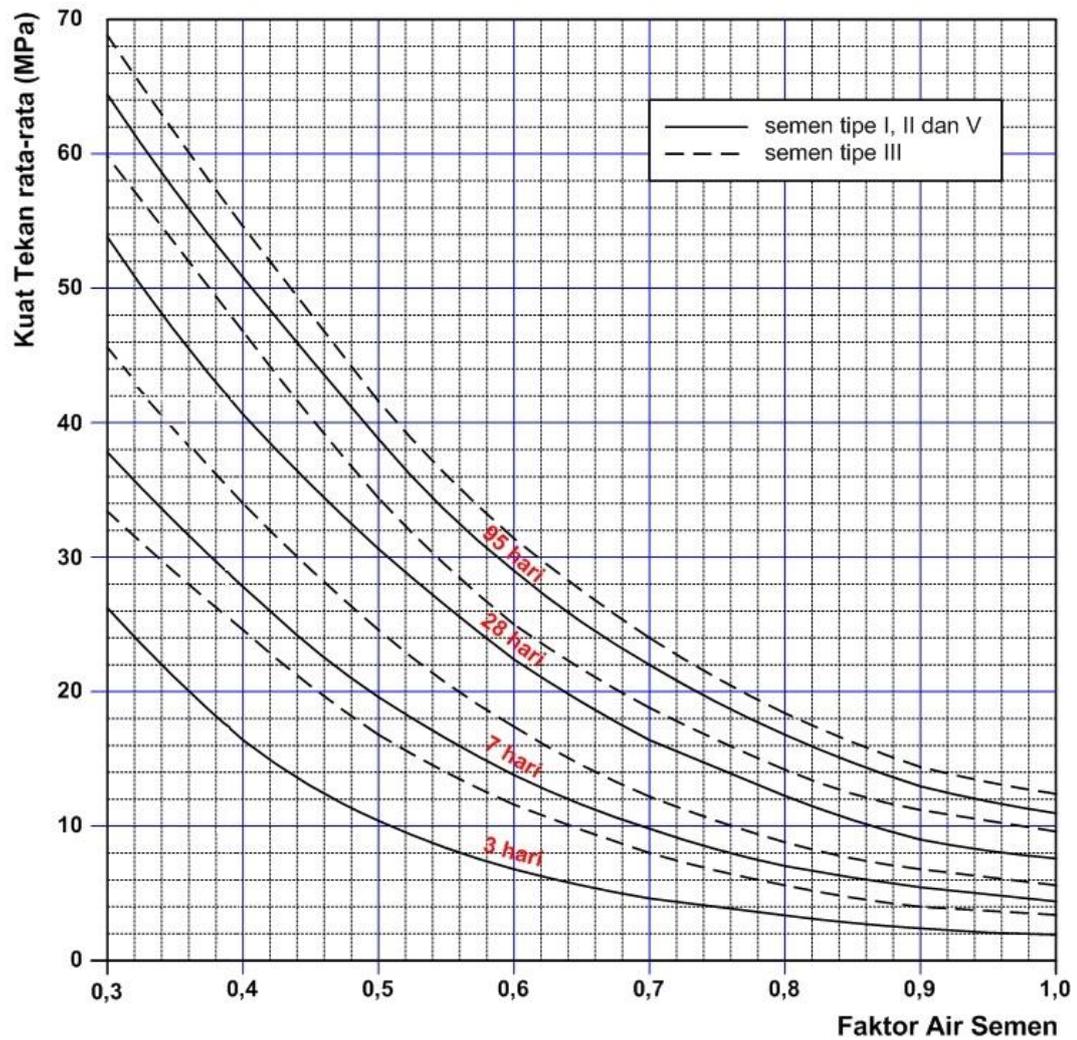
f'_c : kuat tekan yang disyaratkan (MPa)

f_{cr} : kuat tekan rata – rata rencana (MPa)

M : Nilai tambah

5. Menentukan jenis semen. Pada penelitian ini digunakan semen tipe 1.

6. Menentukan jenis agregat. Untuk agregat halus menggunakan pasir alam sedangkan agregat kasar menggunakan kerikil yang berasal dari baru pecah.
7. Penetapan faktor air semen. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air semen.



**Gambar 3.9 Grafik Hubungan Kuat Tekan dengan Faktor Air semen
(Benda uji silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm)**

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

8. Menentukan nilai slump
9. Menentukan besar gergat maksimum

10. Menentukan kebutuhan air. Cara menentukan kebutuhan air berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 3.3 Perkiraan Kadar Air bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan

Slump		0-10	10-30	30-60	60-180
Ukuran besar butir agregat maksimum	Jenis agregat	-	-	-	-
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	115	175	190	205

Dimana agregat campuran tak pecah dan dipecah dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk \quad (3.3)$$

Dengan pengertian ;

Wh : perkiraan jumlah air untuk agregat halus

Wk : perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

11. Menentukan berat semen per m³ yang diperlukan dengan persamaan berikut ini.

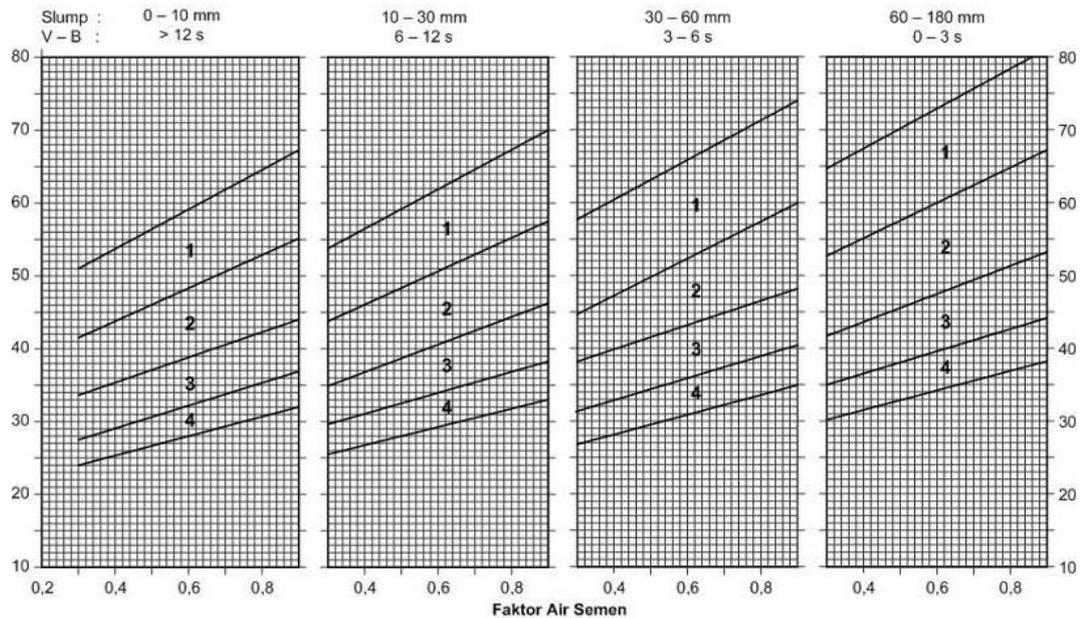
Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen dan FAS Maksimum

Lokasi	Jumlah semen minimum per m ³ beton (Kg)	Nilain faktor air semen maksimum
Beton didalam ruang bangunan;		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0.6
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.6
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.6
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti – ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 5 SNI 03-2834-2000
Beton yang kontinu berhubungan		
a. Air tawar		Tabel 6 SNI 03-2834-2000
b. Air laut		

$$W \text{ semen} = \frac{\text{Kebutuhan air}}{\text{Faktor air semen}} \quad (3.4)$$

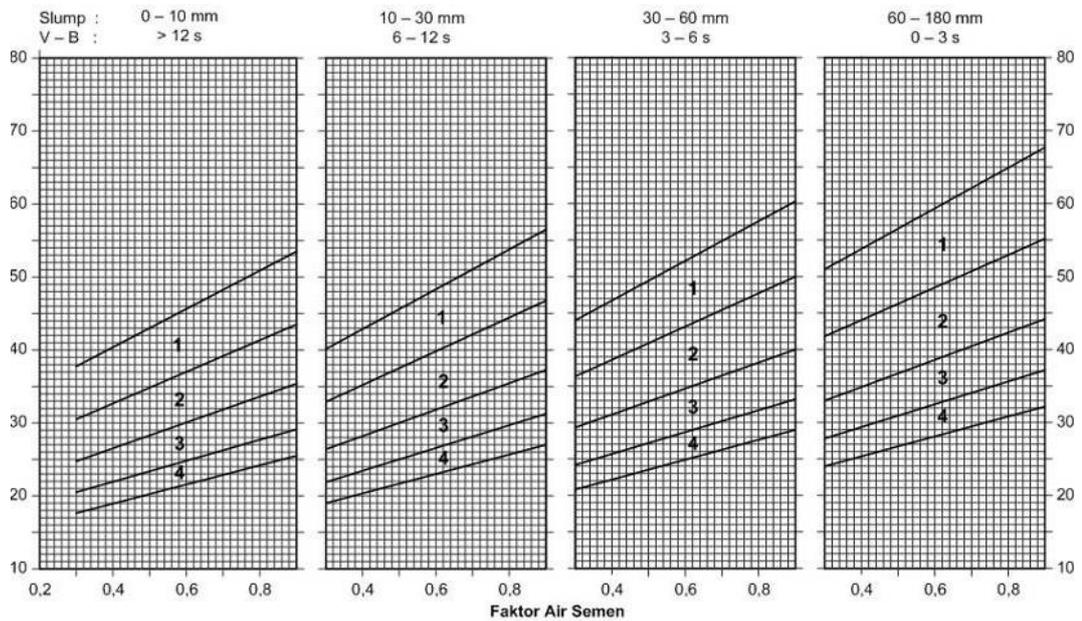
12. Menentukan jenis agregat halus.
13. Menentukan jenis agregat kasar
14. Menentukan proporsi agregat halus terhadap agregat campuran

Besar proporsi agregat halus dapat ditentukan dengan grafik yang menghubungkan faktor air semen dengan jenis agregat halus berdasarkan nilai *slump* yang sudah ditentukan sebelumnya. Berikut ini merupakan grafik yang digunakan untuk menentukan besar proporsi agregat halus.

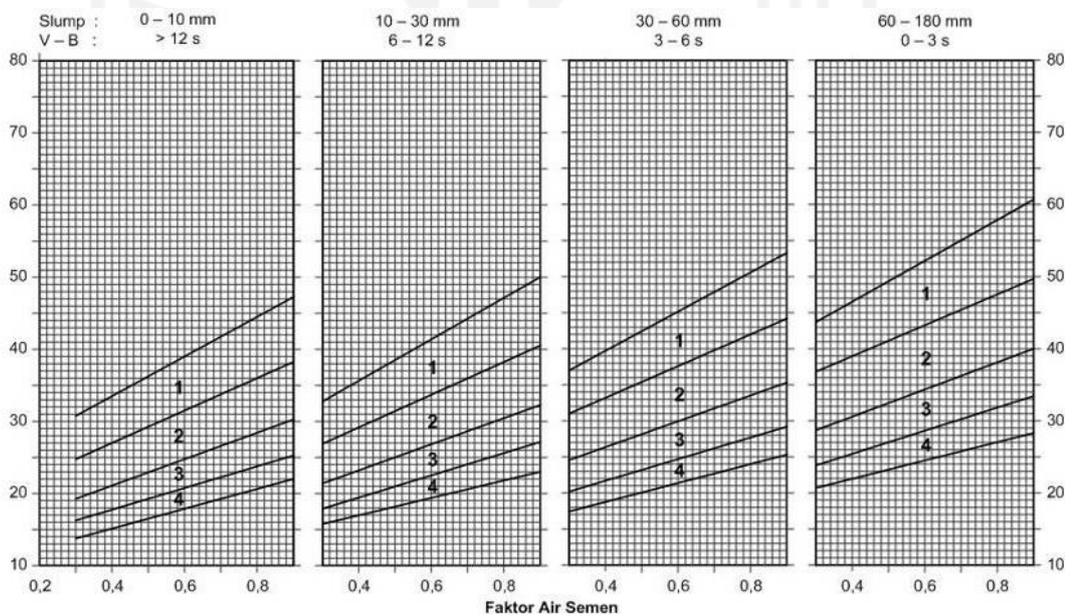


Gambar 3.10 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.11 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.12 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Menghitung berat jenis agregat campuran

Nilai berat jenis agregat campuran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Bj. \text{ Campuran} = \frac{Ph}{100} \times Bj.h + \frac{Pk}{100} \times Bj.k \quad (3.5)$$

Dengan pengertian :

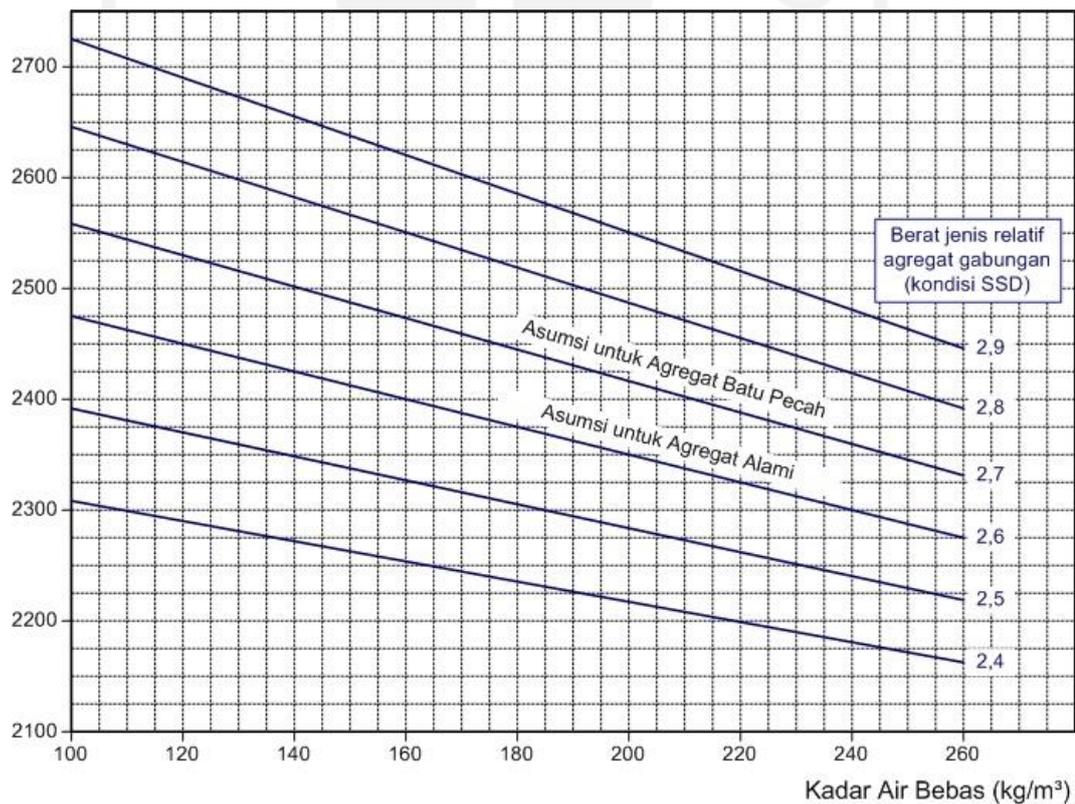
Ph : presentase berat agregat halus terhadap agregat total

Pk : presentase berat agregat kasar terhadap agregat total

Bj.h : berat jenis agregat halus

Bj.k : berat jenis agregat kasar

16. Menentukan nilai berat isi beton berdasarkan grafik berikut ini.



Gambar 3.13 Perkiraan Berat Isi Beton Basah

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berikut ini merupakan cara menghitung nilai berat isi beton dengan grafik diatas.

- a. Membuat garis berdasarkan berat jenis gabungan sejajar dengan garis pada grafik.
- b. Setelah itu menarik garis dari kadar air bebas ke garis yang sebelumnya sudah dibuat berdasarkan berat jenis gabungan.
- c. Menarik garis dari pertemuan garis kadar air bebas dengan garis berta jenis gabungan secara horizontal sehingga menemukan besar nilai berat isi beton.

17. Menghitung kebutuhan berat agregat campuran

Besar kebutuhan berat agregat campuran dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$W_{ag} = W_{beton} - W_{air} - W_{semen} \quad (3.6)$$

Dengan pengertian :

W_{ag} = berat agregat campuran per m^3 beton

W_{beton} = berat beton per m^3 beton

W_{semen} = berat semen m^3 beton

W_{air} = berat air m^3 beton

18. Menghitung berat agregat halus dan agregat kasar yang diperlukan.

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung berat agregat halus dan agregat kasar yang diperlukan.

$$W_{\text{agregat halus}} = P_h \times W_{ag} \quad (3.7)$$

$$W_{\text{agregat kasar}} = P_k \times W_{ag} \quad (3.8)$$

Dengan pengertian :

P_h : presentase berat agregat halus terhadap agregat total

P_k : presentase berat agregat kasar terhadap agregat total

W_{ag} : berat agregat campuran per m^3 beton

19. Menghitung proporsi campuran per m^3 campuran.

20. Menghitung koreksi proporsi campuran

Perhitungan koreksi proporsi campuran perlu dilakukan jika agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan. Perhitungan koreksi proporsi campuran dapat dihitung menggunakan rumur – rumus berikut ini.

$$a. \text{ Air} = B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (3.9)$$

$$b. \text{ Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \quad (3.10)$$

$$c. \text{ Agregat kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \quad (3.11)$$

Dengan pengertian :

B = jumlah air

C = jumlah agregat halus

D = jumlah agregat kasar

Ca = absorpsi air pada agregat halus (%)

Da = absorpsi agregat kasar (%)

Ck = kandungan air dalam agregat halus (%)

Dk = kandungan air dalam agregat kasar (%)

3.6 Slump

Slump merupakan tolok ukur untuk mengetahui tingkat kelecakan pada campuran beton. Nilai *slump* ini berhubungan dengan *workability* atau tingkat kemudahan pengerjaan. Pada dasarnya semakin cair campuran beton maka akan semakin tinggi juga nilai *slump*-nya. Dengan nilai *slump* yang tinggi maka campuran beton dapat dikerjakan dengan lebih mudah. Nilai *slump* untuk berbagai macam struktur berbeda – beda. Berikut ini merupakan nilai *slump* untuk berbagai jenis struktur yang berada pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Nilai *Slump* Untuk Berbagai Jenis Struktur

Keterangan	Nilai <i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan konstruksi di bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dan dinding	15	7,5
Pekerjaan jalan	7,5	5
Pembetonan massal	7,5	2,5

3.7 Perawatan Beton

Pada dasarnya perawatan beton perlu dilakukan guna hidrasi tidak terjadi berlebihan sehingga tidak merusak mutu beton. Beton yang terlalu cepat mengering, besar kemungkinannya untuk terjadi keretakan. Berikut ini beberapa jenis perawatan beton yang dapat dilakukan.

1. Merendam beton dengan air,
2. Meletakkan beton diruangan yang lembab dengan suhu terjaga,
3. Menyiram air ke permukaan beton secara berkala,
4. Melapisi beton dengan kain atau karung yang basah.

3.8 Berat Volume Beton

Pada dasarnya berat volume beton sama dengan berat jenis beton. Berat volume beton merupakan perbandingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton dinyatakan dalam satuan Kg/m³. Berat volume beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Berat volume beton} = \frac{w}{v} \quad (3.12)$$

Dengan pengertian

W : Berat benda uji (Kg)

V : Volume benda uji (m³)

3.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Besar nilai kuat tekan beton bisa ditentukan berdasarkan jenis campuran, FAS, tingkat pemadatan dan perawatan beton yang dilakukan. Selain terdapat beberapa faktor lain yang mempengaruhi kuat tekan beton seperti berikut ini (Firdaus Andika Nur Fauzi, 2020).

1. Jenis dan kualitas semen
2. Jenis dan bentuk permukaan agregat
3. Faktor umum
4. Mutu agregat

Berdasarkan SNI 03-1974-2011 kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.13)$$

Dengan pengertian :

P : Gaya tekan aksial (N)

A : Luas penampang melintang benda uji (mm²)

3.10 Kuat Tarik Beton

Selain kuat tekan beton, kuat tarik beton juga merupakan parameter penting pengujian kekuatan beton. Nilai kuat tarik beton dapat diperoleh dengan melakukan uji tekan dengan benda uji berupa silinder hingga kekuatan maksimumnya dengan benda uji silinder. Pengujian kuat tarik belah digunakan untuk mengevaluasi ketahanan geser dari komponen struktur yang dibuat dari beton yang menggunakan agregat ringan (SK SNI 03-2491-2002).

Berdasarkan SK SNI 03-2491-2002 besar nilai kuat tarik didapat dari hasil pengujian pembebanan benda uji dimana benda uji diletakan sejajar dengan permukaan meja penekan dari mesin uji dan permukaan alas dan tutup benda uji diberikan bantalan berupa kayu setebal 3mm dengan lebar 25 mm tanpa cacat. Besar nilai kuat tarik beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti berikut ini.

$$Fct \frac{2P}{LD} \text{ (MPa)} \quad (3.14)$$

Dengan pengertian :

Fct : kuat tarik – belah (MPa)

P : beban uji maksimum yang ditunjukkan mesin uji tekan (N)

L : Panjang benda uji (mm)

D : diameter benda uji (mm)

3.11 Penyerapan Air

Penyerapan air (*water absorbtion*) pada beton merupakan presentase air yang mampu diserap beton dari keadaan kering hingga basah setelah dilakukan perendaman 28 hari. Nilai penyerapan air pada beton dinyatakan dalam bentuk

persen (%). Berikut ini merupakan rumus untuk memperoleh nilai penyerapan air pada beton.

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \quad (3.15)$$

Dengan pengertian ;

P : kadar air benda uji (%)

W_1 : massa benda uji (gram)

W_2 : massa benda uji kering oven (gram)

3.12 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi dilakukan dengan tujuan untuk mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel atau lebih. Berikut ini merupakan tabel pedoman interpretasi koefisien korelasi.

Tabel 3.6 Pedoman Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0 - 0,199	Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat Kuat

sumber: Evi Nuryani (2014)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Metode penelitian merupakan langkah – langkah atau metode yang dilakukan dalam penelitian secara ilmiah dengan tujuan memperoleh hasil yang rasional. Penelitian yang dilakukan berupa beton dengan bahan substitusi parsial serbuk kaca. Metode penelitian dilakukan dengan cara eksperimen di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

4.2 Bahan – Bahan

Terdapat beberapa bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji pada penelitian ini. Berikut ini merupakan bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton.

1. Semen Portland (PC)

Pada penelitian ini menggunakan semen *Dynamix* tipe I PCC

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng.

3. Agregat halus

Pada penelitian ini menggunakan agregat halus berupa pasir Merapi.

4. Air

Air yang digunakan penelitian ini berasal dari laboratorium bahan konstruksi Teknik, Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

5. Serbuk kaca

Serbuk kaca yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari perusahaan bernama Penggilingan Beling. Ukuran butiran yang digunakan pada penelitian ini yaitu 200 mesh.

4.3 Peralatan

Berikut ini merupakan alat-alat yang digunakan pada penelitian ini.

1. Cetakan silinder
Cetakan silinder digunakan sebagai cetakan atau wadah benda uji. Cetakan silinder ini berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm.
2. Gerobak dorong atau angkong
Gerobak dorong atau angkong digunakan untuk memindahkan material.
3. Alat *mixer* beton
Alat *mixer* beton digunakan untuk mengaduk atau mencampur bahan campuran beton dan bahan tambahannya.
4. Timbangan
Timbangan digunakan untuk menimbang material bahan penyusun beton.
5. Cawan
Cawan digunakan sebagai tempat pencampuran bahan penyusun beton.
6. Saringan
Saringan digunakan untuk mendapatkan presentase pasir lolos saringan. Untuk saringan agregat halus mulai dari no.4, no.8, no.16, no.30, no.50 dan no.100. Sedangkan untuk agregat kasar mulai dari 1.5", ¾", dan no. 4.
7. Serok semen
Sendok oven digunakan untuk memasukkan campuran beton segar ke dalam cetakan silinder.
8. Oven
Oven digunakan untuk mengeringkan benda uji.
9. Piknometer
Piknometer digunakan untuk agregat halus saat pengujian SSD.
10. *Compressing test machine* (CTM)

Compressing test machine atau CTM merupakan alat uji untuk pengujian kuat desak beton dan kuat tarik beton.

4.4 Benda Uji

Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik beton berupa silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sedangkan untuk benda uji pengujian nilai serap air berupa kubus berdimensi 150 mm x 150 mm x 150 mm. Terdapat 60 total sampel pada penelitian ini. Berikut ini merupakan rincian benda uji pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Rincian Jumlah Sampel Benda Uji

Variasi serbuk kaca (%)	Uji Kuat Tekan (jumlah)	Uji Tarik (jumlah)	Uji Nilai Serap Air (jumlah)
0	5	5	5
7.5	5	5	5
10	5	5	5
12.5	5	5	5
Total	20	20	20
Total	60		

4.5 Tahap Pelaksanaan Penelitian

4.5.1 Tahap Persiapan

Berikut ini merupakan tahap – tahap persiapan yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Menyiapkan material.
2. Menyiapkan peralatan penelitian.

4.5.2 Tahap Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan sifat agregat yang nantinya dijadikan acuan pada perencanaan campuran beton. Berikut ini merupakan jenis – jenis pengujian agregat beserta acuannya.

1. Pengujian analisa saringan agregat halus dan kasar dengan acuan SNI 1968 – 1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus yang mengacu pada SNI 1970 – 1990.
3. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar yang mengacu pada SNI 1969 – 1990
4. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat yang mengacu pada SNI 03- 4804 – 1998
5. Pengujian kadar lumpur dalam pasir yang mengacu pada SNI 4142-1996

4.5.3 Perencanaan campuran beton

Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000. Perhitungan perencanaan campuran beton dapat dilihat pada bab V Pembahasan.

4.5.4 Pembuatan Benda Uji

Pada tahap pembuatan benda uji, dilakukan pencampuran atau pengadukan bahan penyusun beton menggunakan *concrete mixer*. Setelah campuran beton selesai diaduk menggunakan *concrete mixer* kemudian diuji *slump* dan dituangkan kedalam cetakan benda uji.

4.5.5 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan. Cara perawatan benda uji yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan perendaman benda uji dalam air hingga umur rencana.

4.5.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan nilai besar beban tekan per satuan luas terhadap beton yang diuji hingga rusak. Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 1974 - 2011. Berikut ini langkah – langkah pengujian kuat tekan beton.

1. Menyiapkan peralatan dan benda uji.
2. Membersihkan benda uji dari kotoran
3. Mengukur dimensi benda uji
4. Menimbang benda uji
5. Melakukan kalibrasi pada mesin uji kuat tekan
6. Meletakkan benda uji pada mesin uji tekan dengan sempurna
7. Melakukan pembebanan hingga benda uji rusak.
8. Pencatatan beban maksimum saat pengujian berlangsung.

4.5.7 Pengujian Kuat Tarik Beton

Besar nilai kuat tarik beton didapatkan dengan melakukan pembebanan benda uji silinder secara lateral hingga benda uji rusak. Pengujian kuat tarik beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2491-2002. Berikut ini merupakan langkah – langkah pengujian kuat tarik beton.

1. Menyiapkan peralatan dan benda uji.
2. Memberikan tanda pada benda uji
3. Peletakan bantalan pada alat uji terhadap benda uji
4. Meletakkan benda uji pada mesin kuat tarik
5. Melakukan pembebanan hingga benda uji rusak
6. Pencatatan beban maksimum saat pengujian berlangsung

4.5.8 Pengujian Nilai Serap Air

Pengujian nilai serap air merupakan pengujian untuk memperoleh presentase penyerapan air pada benda uji. Pengujian nilai serap air pada penelitian ini mengacu pada SNI 6433 – 2016. Berikut ini merupakan langkah – langkah pengujian penyerapan air.

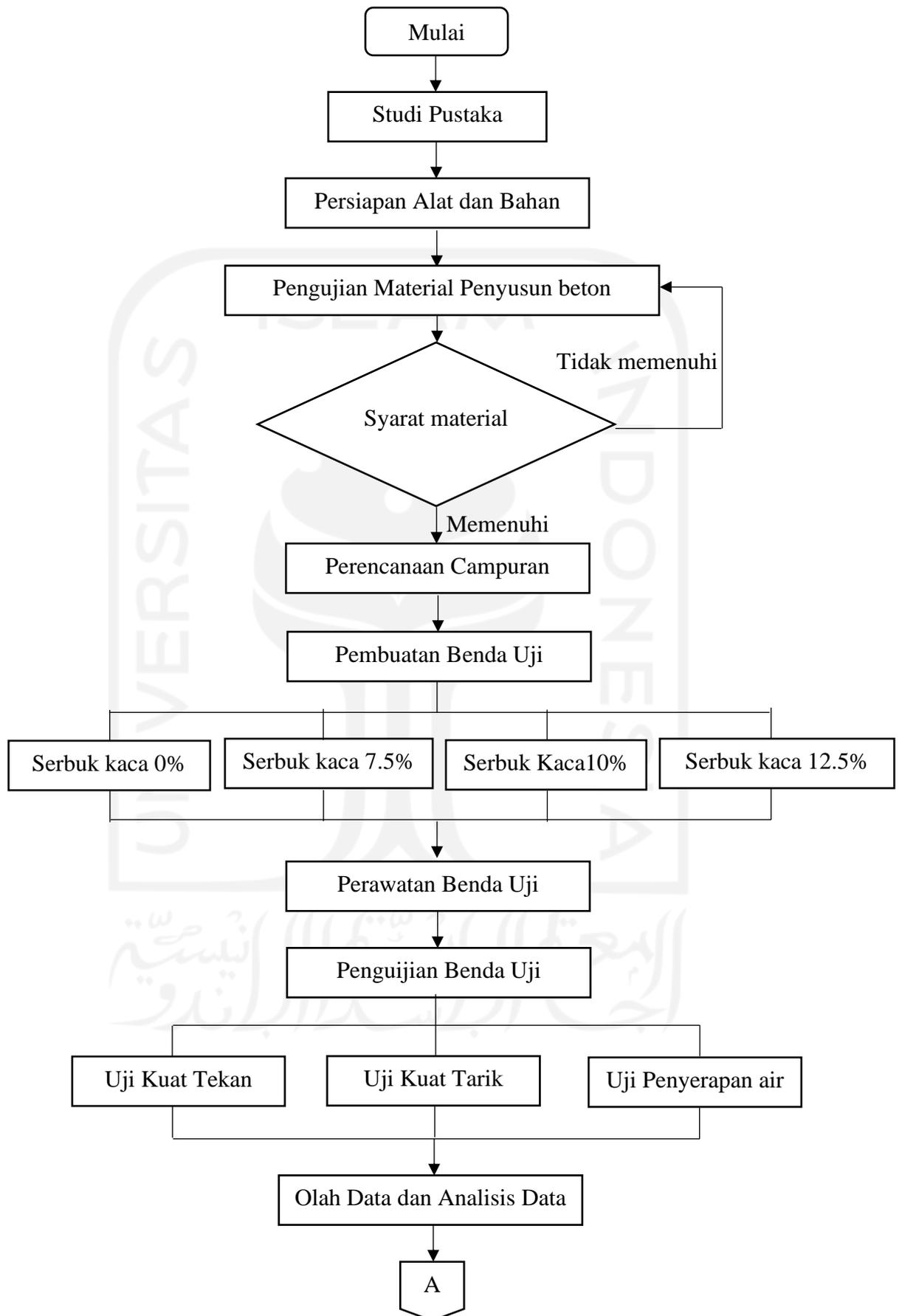
1. Menimbang massa benda uji setelah perawatan beton dengan cara perendaman selama tidak kurang dari 24 jam selesai.
2. Mengeringkan benda uji setelah menimbang massa benda uji dalam keadaan jenuh setelah perendaman menggunakan oven pada suhu 100°C - 110°C selama tidak kurang dari 24 jam.

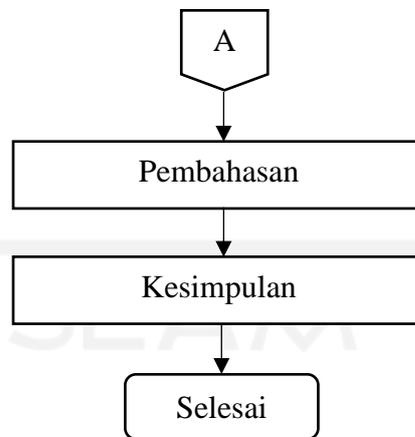
3. Setelah tidak kurang dari 24 jam benda uji dikeluarkan dari oven kemudian didiamkan hingga suhu benda uji 20°C - 25°C . Setelah mencapai suhu tersebut kemudian menimbang massa benda uji.

4.6 Alir Penelitian (*Flowchart*)

Berikut ini merupakan langkah - langkah penelitian dalam bentuk bagan alir (*flowchart*).







Gambar 4.1 Bagan Alir (*Flowchart*) Penelitian

BAB V

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

5.1 Umum

Bab V Pembahasan Hasil Penelitian ini akan membahas terkait hasil pengujian yang sudah dilakukan. Hasil pengujian yang dihasilkan mulai dari pengujian agregat dan pengujian sampel beton. Dimana pengujian agregat terdiri dari berat jenis agregat halus, berat jenis agregat kasar, analisa saringan agregat halus, analisa saringan agregat kasar, berat isi agregat halus, berat isi agregat halus dan kandungan lumpur pada pasir. Selain itu juga hasil pengujian sampel yang terdiri dari pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton dan pengujian absrobsi beton.

5.2 Pengujian Material

Pada pengujian material ini dilakukan untuk semen, agregat dan serbuk kaca. Untuk pengujian pada semen dilakukan pengujian menggunakan alat Vicat dengan tujuan mengetahui waktu ikat awal. Selain itu, untuk serbuk kaca dilakukan pengujian lolos saringan No. 200 dengan tujuan memastikan bahwa serbuk kaca yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kaca dengan ukuran 200 mesh atau lolos saringan No. 200. Sedangkan untuk pengujian agregat ini perlu dilakukan guna mengetahui karakteristik agregat dimana karakteristik dan sifat agregat ini harus sesuai dengan persyaratan sebelum merencanakan campuran beton. Pengujian agregat ini terbagi menjadi dua pengujian, yaitu pengujian agregat halus dan agregat kasar.

5.2.1 Agregat Kasar

Dalam pengujian agregat kasar dibagi menjadi beberapa pengujian mulai dari berat jenis, berat isi dan uji lolos saringan. Berikut ini merupakan hasil pengujian agregat kasar.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini mengacu pada SNI 03 – 1969 – 1990. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ini dilakukan dengan 2 sampel yang kemudian di rata – rata. Berikut ini merupakan perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar serta rekapitulasi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

a. Berat kerikil jenuh kering muka (Bj)

1) Berat kerikil jenuh kering muka sampel 1 = 5000 gram

2) Berat kerikil jenuh kering muka sampel 2 = 5000 gram

b. Berat kerikil kering mutlak (Bk)

1) Berat kerikil kering mutlak sampel 1 = 4894,00 gram

2) Berat kerikil kering mutlak sampel 2 = 4891,00 gram

c. Berat kerikil dalam air (Ba)

1) Berat kerikil dalam air sampel 1 = 3123,00 gram

2) Berat kerikil dalam air sampel 2 = 3140,00 gram

d. Berat jenis curah

1) Berat jenis curah sampel 1 = $\frac{4894}{5000-3123}$
= 2,61

2) Berat jenis curah sampel 2 = $\frac{4891}{5000-3140}$
= 2,63

3) Rata – rata berat jenis curah = $\frac{2,61+2,63}{2}$
= 2,62

e. Berat jenis jenuh kering muka (SSD)

1) Berat jenis jenuh kering muka sampel 1 = $\frac{5000}{5000-3123}$
= 2,66

2) Berat jenis jenuh kering muka sampel 2 = $\frac{5000}{5000-3140}$
= 2,68

3) Rata – rata berat jenis kering muka = $\frac{2,66+2,68}{2}$
= 2,68

f. Berat jenis semu

$$1) \text{ Berat jenis semu sampel 1} = \frac{2,61}{2,61-3123}$$

$$= 2,76$$

$$2) \text{ Berat jenis semu sampel 2} = \frac{2,63}{2,63-3140}$$

$$= 2,79$$

$$3) \text{ Rata – rata berat jenis semu} = \frac{2,76+2,79}{2}$$

$$= 2,78$$

g. Penyerapan air

$$1) \text{ Penyerapan air sampel 1} = \frac{B_j - b_k}{B_k} \times 100\%$$

$$= \frac{5000-4894}{4894} \times 100\%$$

$$= 2,17\%$$

$$2) \text{ Penyerapan air sampel 2} = \frac{5000-4891}{4891} \times 100\%$$

$$= 2,23\%$$

$$3) \text{ Rata – rata penyerapan air} = \frac{2,17\%+2,23\%}{2}$$

$$= 2,20 \%$$

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang tertera pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4894,00	4891,00	4892,50	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000,00	5000,00	5000,00	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3123,00	3140,00	3131,50	gram
Berat Jenis Curah, Bk / (Bj-Ba)	2,61	2,63	2,62	
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), Bj / (Bj-Ba)	2,66	2,69	2,68	
Berat Jenis semu, Bk / (Bk-Ba)	2,76	2,79	2,78	
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,17	2,23	2,20	%

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang sudah dilakukan, didapatkan berat jenis jenuh kering muka rata – rata yaitu 2,68. Dengan ini agregat kasar yang digunakan masuk dalam rentang agregat kasar normal 2.5 – 2.7.

2. Pengujian berat volume agregat kasar

Pengujian volume agregat kasar ini mengacu pada SNI 03 – 4804 1998. Pengujian ini dibagi menjadi dua yaitu pengujian berat volume padat dan berat volume gembur pada pengujian ini digunakan 2 sampel yang kemudian dirata-ratakan. Berikut ini merupakan perhitungan agregat kasar beserta tabel rekapitulasi pengujian berat volume.

a. Berat volume gembur agregat kasar

1) Pengukuran dimensi dan berat silinder cetakan

$$\text{Diameter silinder} = 15,7 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi silinder} = 30,08 \text{ cm}$$

$$\text{Berat silinder (W1)} = 12160 \text{ gram}$$

2) Berat tabung + agregat SSD (W2)

$$\text{Sampel 1} = 19295 \text{ gram}$$

$$\text{Sampel 2} = 19565 \text{ gram}$$

3) Berat agregat (W3)

$$\text{Sampel 1} = W2 - W1$$

$$= 19295 - 12160$$

$$= 7135 \text{ gram}$$

$$\text{Sampel 2} = W2 - W1$$

$$= 19565 - 12160$$

$$= 7405 \text{ gram}$$

$$4) \text{ Volume Tabung (V)} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 15,7^2 \times 30,08$$

$$= 5362,93 \text{ cm}^2$$

5) Berat volume gembur

$$\text{Sampel 1} = \frac{W3}{V}$$

$$= \frac{7135}{5362.93}$$

$$= 1,33 \text{ gram/cm}^2$$

Sampel 2

$$= \frac{W_3}{V}$$

$$= \frac{7135}{5362.93}$$

$$= 1,38 \text{ gram/cm}^2$$

b. Berat volume padat agregat kasar

1) Pengukuran dimensi dan berat silinder cetakan

Diameter silinder = 15,7 cm
 Tinggi silinder = 30,08 cm
 Berat silinder (W1) = 12160 gram

2) Berat Tabung + agregat (W2)

Sampel 1 = 20080 gram
 Sampel 2 = 20269 gram

3) Berat agregat (W3)

Sampel 1 = $W_2 - W_1$
 = 20080 - 12160
 = 7920 gram

Sampel 2 = $W_2 - W_1$
 = 20269 - 12160
 = 8109 gram

4) Volume tabung = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$
 = $\frac{1}{4} \times \pi \times 15,7^2 \times 80,08$
 = 5362,93 cm²

5) Berat volume padat

Sampel 1 = $\frac{W_3}{V}$
 = $\frac{7920}{5362,93}$
 = 1,48 gram/cm²

Sampel 2 = $\frac{W_3}{V}$

$$= \frac{8109}{5362,93}$$

$$= 1,51 \text{ gram/cm}^2$$

Berdasarkan pengujian dan perhitungan pengujian berat volume yang sudah dilakukan maka diperoleh rekapitulasi hasil dari pengujian berat volume agregat kasar. Berikut ini merupakan Tabel 5.2 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar dan Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar.

Tabel 5.2 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Diameter Tabung	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi Tabung	30,08	30,08	30,08	cm
Berat Tabung (W1)	12160	12160	12160,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19295	19565	19430,00	gram
Berat Agregat (W3)	7135	7405	7270,00	gram
Diameter Tabung (d)	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi Tabung (t)	30,08	30,08	30,08	cm
Volume Tabung (V)	5362,93	5362,93	5362,93	cm ³
Berat Volume Gembur	1,33	1,38	1,36	gram/cm ³

Tabel 5.3 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Diameter tabung	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi tabung	30,08	30,08	30,08	cm
Berat Tabung (W1)	12160	12160	12160,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	20080	20269	20174,50	gram
Berat Agregat (W3)	7920	8109	8014,50	gram
Diameter Tabung (d)	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi Tabung (t)	30,08	30,08	30,08	cm
Volume Tabung (V)	5362,93	5362,93	5362,93	cm ³
Berat Volume Gembur	1,48	1,51	1,49	gram/cm ³

3. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan agregat kasar ini mengacu pada SNI 03 – 1968 – 1990. Pengujian ini dilakukan menggunakan 2 sampel yang kemudian dirata – rata kan di akhir. Berikut ini merupakan perhitungan pengujian analisa saringan agregat kasar dari sampel 1 beserta tabel rekapitulasinya dari kedua sampel.

$$\text{a. Presentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} 1) \text{ Lubang ayakan ukuran 40 mm} &= \frac{0}{4996} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lubang ayakan ukuran 20 mm} &= \frac{35}{4996} \times 100\% \\ &= 0,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Lubang ayakan ukuran 10 mm} &= \frac{3624}{4996} \times 100\% \\ &= 72,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Lubang ayakan ukuran 4,80 mm} &= \frac{1312}{26,26} \times 100\% \\ &= 7,87\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Lubang ayakan ukuran 2,40 mm} &= \frac{0}{4996} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) \text{ Lubang ayakan ukuran 1,20 mm} &= \frac{2}{4996} \times 100\% \\ &= 0,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7) \text{ Pan} &= \frac{23}{4996} \times 100\% \\ &= 0,46\% \end{aligned}$$

b. Presentase berat tertinggal komulatif

$$1) \text{ Lubang ayakan ukuran 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Lubang ayakan ukuran 20 mm} &= 0\% + 0,70\% \\ &= 0,70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Lubang ayakan ukuran 10 mm} &= 0,70\% + 72,54\% \\ &= 73,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Lubang ayakan ukuran 4,80 mm} &= 73,24\% + 26,26\% \\ &= 99,50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) \text{ Lubang ayakan ukuran 2,40 mm} &= 99,50\% + 0\% \\ &= 99,50\% \end{aligned}$$

- 6) Lubang ayakan ukuran 1,20 mm = 99,50% + 0,004%
= 99,54%
- 7) Pan = 99,54 + 0.46%
= 100%

c. Presentase Lolos Komulaitf

- 1) Lubang ayakan ukuran 40 mm = 100%
- 2) Lubang ayakan ukuran 20 mm = 100% - 0,70%
= 99,30%
- 3) Lubang ayakan ukuran 10 mm = 100 - 73,24%
= 26,76%
- 4) Lubang ayakan ukuran 4,8 mm = 100% - 99,50%
= 0,5%
- 5) Lubang ayakan ukuran 2,40 mm = 100% - 99,50%
= 0,5%
- 6) Lubang ayakan ukuran 1,2 mm = 100 - 99,54%
= 0,46%
- 7) Pan = 100% - 100%
= 0%

Berdasarkan perhitungan diatas, berikut ini merupakan Tabel 5.4 dan 5.5 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1 dan Sampel 2.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	35	0,70	0,70	99,30
10,00	3624	72,54	73,24	26,76
4,80	1312	26,26	99,50	0,50
2,40	0	0,00	99,50	0,50
1,20	2	0,04	99,54	0,46
0,60	0	0,00	99,54	0,46
0,30	0	0,00	99,54	0,46
0,15	0	0,00	99,54	0,46
Sisa	23	0,46	100	0
Jumlah	4996	100	671,10	

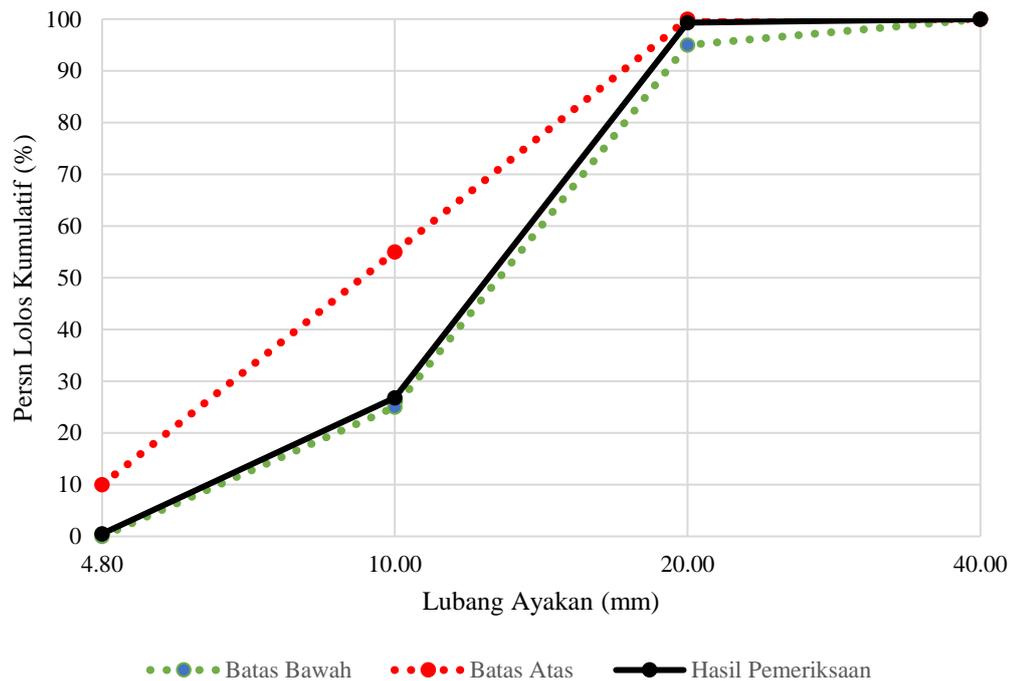
Tabel 5.5 Rekapitulasi Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	80	1,60	1,60	98,40
10,00	3573	71,47	73,07	26,93
4,80	1197	23,94	97,02	2,98
2,40	122	2,44	99,46	0,54
1,20	1	0,02	99,48	0,52
0,60	0	0,00	99,48	0,52
0,30	0	0,00	99,48	0,52
0,15	0	0,00	99,48	0,52
Sisa	26	0,52	100	0
Jumlah	4999	100	669,07	

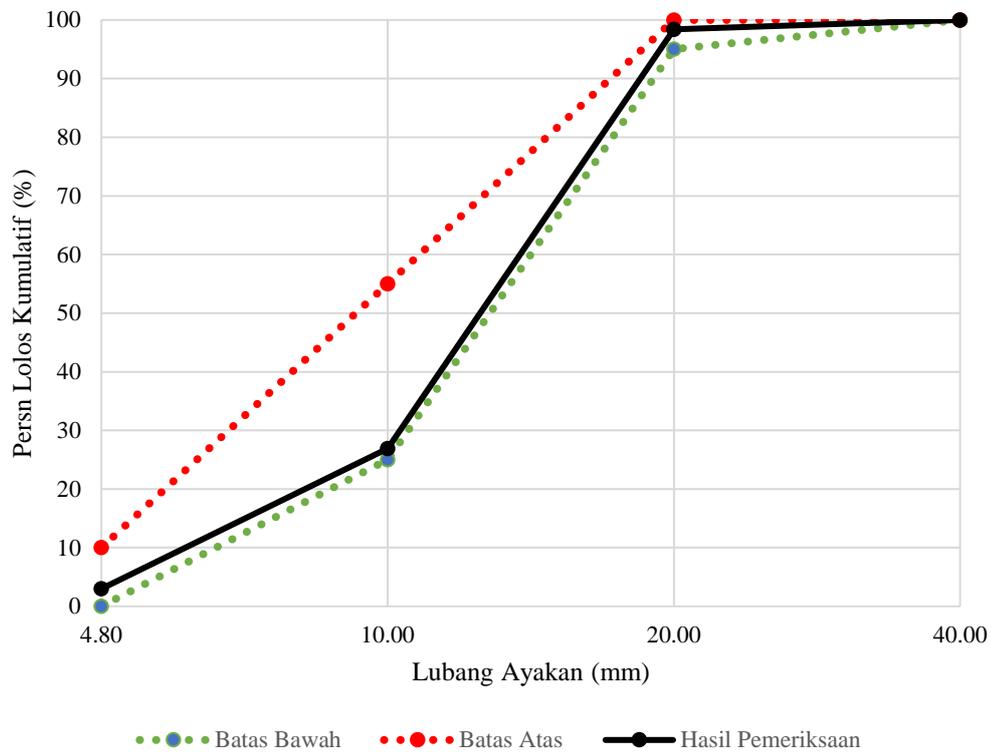
Setelah pengujian analisa saringan selesai dilakukan maka dapat dihitung besar MHB atau nilai modulus halus butir. Berikut ini merupakan perhitungan nilai MHB.

$$\begin{aligned}
 \text{d. Modulus Halus Butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 1) \text{ MHB sampel 1} &= \frac{671,10}{100} \\
 &= 6,71 \\
 2) \text{ MHB sampel 2} &= \frac{669,07}{100} \\
 &= 6,69
 \end{aligned}$$

Setelah pengujian analisa saringan agregat kasar selesai dilakukan maka didapatkan nilai modulus halus butir (MHB). Didapatkan MHB pada sampel 1 sebesar 6,71 dan sampel 2 sebesar 6,69. Nilai MHB yang didapatkan memenuhi syarat menurut SK SNI S-04-1989-F dengan rentang 6 – 8. Berikut ini merupakan grafik kurva gradasi agregat kasar untuk setiap sampelnya.



Gambar 5.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm Sampel 2

5.2.2 Agregat Halus

Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan di dalam pengujian agregat halus mulai dari pengujian berat jenis, pengujian berat volume, pengujian analisa saringan dan pengujian kadar lumpur yang menggunakan saringan no. 200. Berikut ini merupakan berikuit ini merupakan perhitungan hasil pengujian agregat halus.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ini mengacu pada SNI 03 – 1970 – 1990. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 sampel yang hasilnya dirata – ratakan. Berikut ini merupakan perhiutngan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 dan rekapitulasi dari kedua sampel.

- | | |
|--|--------------------------------|
| a. Berat pasir kering mutlak (Bk) | = 490 gram |
| b. Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) | = 500 gram |
| c. Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) | = 1048 gram |
| d. Berat piknometer berisi air (B) | = 732 gram |
| e. Berat jenis curah (Bk) | $= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$ |
| | $= \frac{490}{(732+500-1048)}$ |

$$\begin{aligned}
 &= 2,66 \\
 \text{f. Berat jenis jenuh kering muka (SSD)} &= \frac{B_j}{(B+B_j-B_t)} \\
 &= \frac{500}{(732+500-1048)} \\
 &= 2,72 \\
 \text{g. Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B+B_k-B_t)} \\
 &= \frac{490}{(732+500-1048)} \\
 &= 2,82 \\
 \text{h. Penyerapan air} &= \frac{(B_j-B_k)}{B_k} \times 100\% \\
 &= \frac{(500-490)}{490} \times 100\% \\
 &= 2,04\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya, berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus.

Tabel 5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490,00	494,00	492,00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	500,00	500,00	500,00	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1048,00	1026,00	1037,00	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732,00	708,00	720,00	gram
Berat Jenis Curah, $B_k / (B+B_j-B_t)$	2,66	2,71	2,69	
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), $B_j / (B+B_j-B_t)$	2,72	2,75	2,73	
Berat Jenis semu, $B_k / (B+B_k-B_t)$	2,82	2,81	2,81	
Penyerapan Air $(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$	2,04	1,21	1,63	%

2. Pengujian Berat Volume Agregat Halus

Pengujian berat volume agregat halus ini mengacu pada SNI 03 – 4808 – 1998. Pada pengujian ini dibagi menjadi dua, yaitu pengujian berat volume gembur pasir dan pengujian berat volume padat pasir. Pada setiap pengujiannya menggunakan 2 sampel yang kemudian hasilnya dirata – ratakan. Berikut ini merupakan perhitungan sampel 1 serta tabel rekapitulasi dari kedua sampel.

a. Berat volume gembur

- 1) Pengukuran dimensi dan berat silinder cetakan
 - Diameter tabung = 15,10 cm
 - Tinggi tabung = 29,80 cm
 - Berat tabung (W1) = 10157 kg
 - 2) Berat tabung + agregat SSD (W2) = 16665 gram
 - 3) Berat agregat (W3) = W2 – W1
 - = 16665 – 10157
 - = 6508 kg
 - 4) Volume tabung (V) = $\frac{1}{4} \pi d^2 t$
 - = $\frac{1}{4} \pi 15,10^2 29,80$
 - = 5336,54 cm³
 - 5) Berat volume gembur = $\frac{W3}{V}$
 - = $\frac{6508}{5336,54}$
 - = 1,22 gram/cm³
- b. Berat volume padat
- 1) Pengukuran dimensi dan berat silinder
 - Diameter tabung = 15,1 cm
 - Tinggi tabung = 29,80 cm
 - Berat tabung (W1) = 10157 gram
 - 2) Berat tabung + agregat SSD (W2) = 17656 gram
 - 3) Berat agregat (W3) = W2 – W1
 - = 17656 - 10157
 - = 7499 gram
 - 4) Volume tabung (V) = $\frac{1}{4} \pi d^2 t$
 - = $\frac{1}{4} \pi 15,10^2 29,80$
 - = 5336,54 cm³
 - 5) Berat volume padat = $\frac{W3}{V}$
 - = $\frac{7499}{5336,54}$
 - = 1,41 gram/cm³

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan rata – rata berat volume gembur sebesar 1,22 gram/cm³ dan rata - rata berat volume padat sebesar 1,41 gram/cm³. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan berat volume gembur agregat halus dan berat volume padat agregat halus yang bisa dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8

Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10157	11065	10611,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	16665	17903	17284,00	gram
Berat Agregat (W3)	6508	6838	6673,00	gram
Diameter Tabung (d)	15,10	15,10	15,10	cm
Tinggi Tabung (t)	29,80	30,10	29,95	cm
Volume Tabung (V)	5336,54	5390,27	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,22	1,27	1,24	gram/cm ³

Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10157	11065	10611,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17656	19008	18332,00	gram
Berat Agregat (W3)	7499	7943	7721,00	gram
Diameter Tabung (d)	15,10	15,10	15,10	cm
Tinggi Tabung (t)	29,80	30,10	29,95	cm
Volume Tabung (V)	5336,54	5390,27	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,41	1,47	1,44	gram/cm ³

3. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus ini mengacu pada SNI 03- 1968 - 1990. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 sampel. Berikut ini merupakan perhitungan pengujian analisa saringan agregat halus sampel 1 beserta rekapitulasi dari kedua sampel.

- a. Presentase berat tertinggal
- $$= \frac{\text{berat tertinggal}}{\Sigma \text{berat tertinggal}} \times 100\%$$
- 1) Lubang ayakan ukuran 4,80 mm

$$= \frac{7}{1997} \times 100\%$$

$$= 0,35\%$$
 - 2) Lubang ayaka nukuran 2,40 mm

$$= \frac{97}{1997} \times 100\%$$

$$= 4,86\%$$
 - 3) Lubang ayakan ukuran 1,20 mm

$$= \frac{317}{1997} \times 100\%$$

$$= 15,87\%$$
 - 4) Lubang ayakan ukuran 0,60 mm

$$= \frac{592}{1997} \times 100\%$$

	= 29,64%
5) Lubang ayakan ukuran 0,30 mm	= $\frac{474}{1997} \times 100\%$ = 23,74%
6) Lubang ayakan ukuran 0,15 mm	= $\frac{392}{1997} \times 100\%$ = 19,63%
7) Pan	= $\frac{118}{1997} \times 100\%$ = 5,91%
b. Presentase berat tertinggal komulatif	
1) Lubang ayakan ukuran 4,80 mm	= 0,35%
2) Lubang ayakan ukuran 2,40 mm	= 0,35% + 4,86% = 5,21%
3) Lubang ayakan ukuran 1,20 mm	= 5,21% + 15,87% = 21,08%
4) Lubang ayakan ukuran 0,6 mm	= 21,08% + 29,64% = 50,73%
5) Lubang ayakan ukuran 0,30 mm	= 50,73% + 23,74% = 74,46%
6) Lubang ayakan ukuran 0,15 mm	= 74,46% + 19,63% = 94,09%
7) Pan	= 94,09% + 5,91% = 100%
c. Presentase lolos komulatif	
1) Lubang ayakan ukuran 4,80 mm	= 100% - 0,35% = 99,65%
2) Lubang ayakan ukuran 2,40 mm	= 100% - 5,21% = 94,79%
3) Lubang ayakan ukuran 1,20 mm	= 100% - 21,08% = 78,92%
4) Lubang ayakan ukuran 0,60 mm	= 100% - 50,73% = 49,27%
5) Lubang ayakan ukuran 0,30 mm	= 100% - 74,64% = 25,54%
6) Lubang ayakan ukuran 0,15 mm	= 100% - 94,09% = 5,91%
7) Pan	= 100% - 100% = 0%

Berdasarkan perhitungan pengujian analisa saringan agregat halus diatas, dapat dilihat rekapitulasi pengujian analisa saringan agregat halus dari kedua sampel yang tertera pada tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	7	0,35	0,35	99,65
2,40	97	4,86	5,21	94,79
1,20	317	15,87	21,08	78,92
0,60	592	29,64	50,73	49,27
0,30	474	23,74	74,46	25,54
0,15	392	19,63	94,09	5,91
Sisa	118	5,91	100	0
Jumlah	1997	100	245,92	

Tabel 5.10 Rekapitulasi Pengujian analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

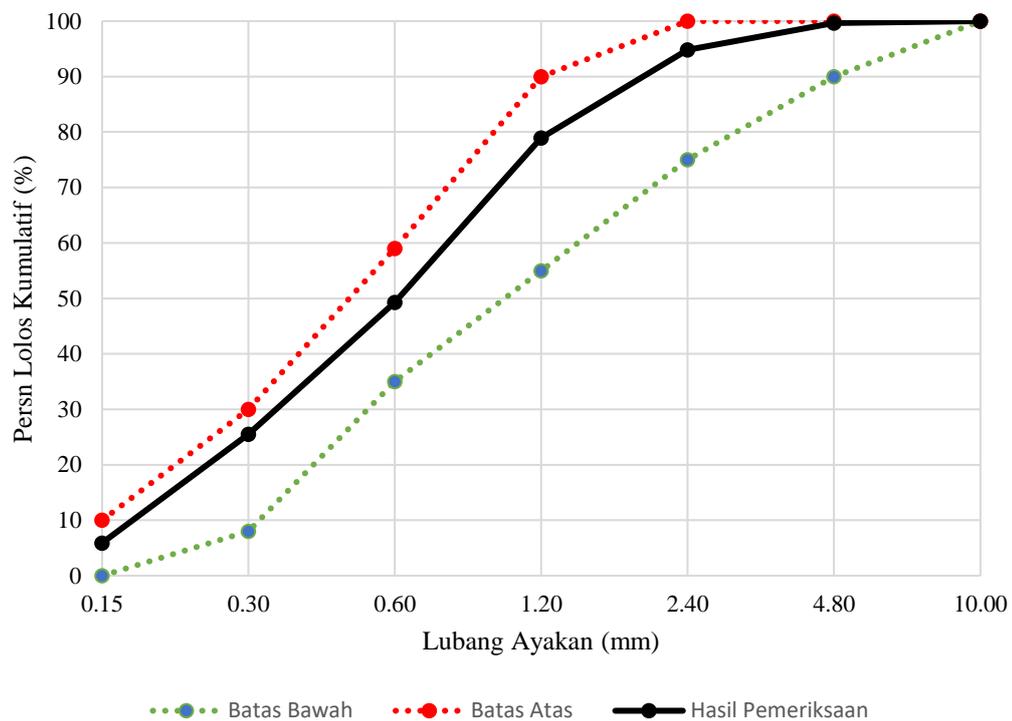
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	3	0,15	0,15	99,85
2,40	76	3,81	3,96	96,04
1,20	287	14,38	18,34	81,66
0,60	554	27,76	46,09	53,91
0,30	520	26,05	72,14	27,86
0,15	417	20,89	93,04	6,96
Sisa	139	6,96	100	0
Jumlah	1996	100,00	233,72	

Setelah pengujian analisa saringan agregat halus selesai, maka modulus halus butir atau MHB dapat dihitung. Berikut ini merupakan perhitungan MHB agregat halus setiap sampelnya.

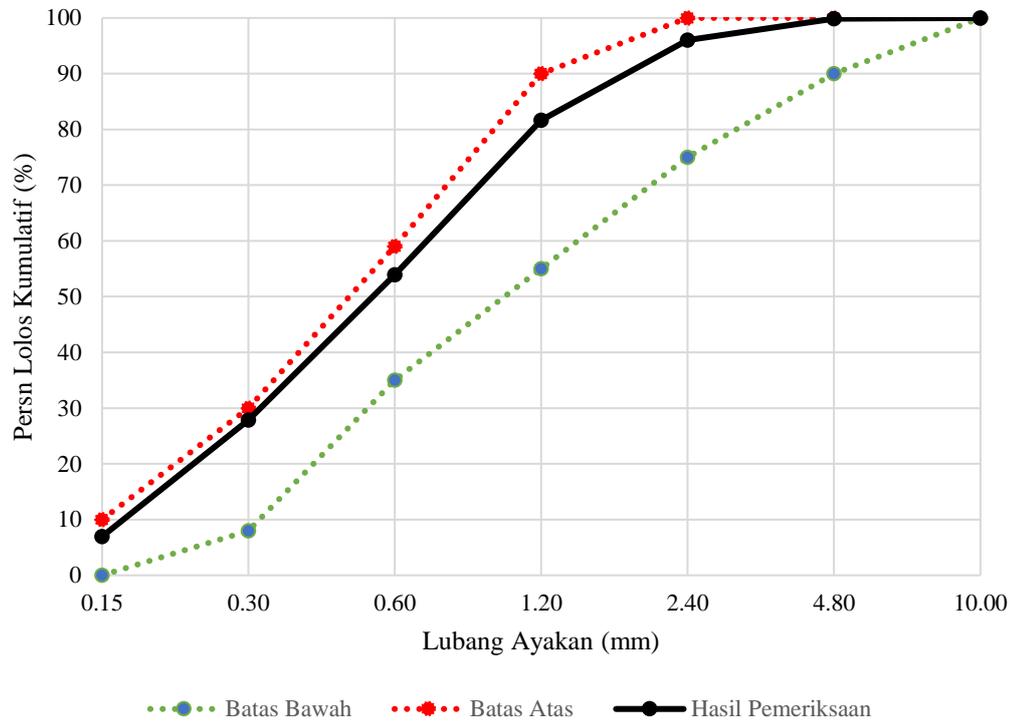
$$\begin{aligned}
 \text{d. Modulus halus butir (MHB)} &= \frac{\Sigma \text{Presentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 \text{1) MHB sampel 1} &= \frac{245,92}{100} \\
 &= 2,46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ MHB sampel 2} &= \frac{233,72}{100} \\
 &= 2,34
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan MHB, agregat halus dari kedua sampel sudah memenuhi syarat. Syarat yang terdapat pada SK SNI 04-1989-F MHB agregat halus dengan rentang 1,5 – 3,8. Berikut ini merupakan grafik kurva agregat halus sampel 1 dan sampel 2 yang dapat dilihat pada gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



Gambar 5.3 Grafik Kurva Gradasi agregat Halus Sampel 1



Gambar 5.4 Grafik Kurva Gradasi agregat Halus Sampel 2

4. Pengujian Kadar Lumpur
 Pengujian kadar lumpur pada agregat halus atau pengujian lolos saringan no. 200 ini mengacu pada SNI 4142 – 1996. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 2 sampel yang kemudian dirata – ratakan. Berikut ini merupakan perhitungan pengujian kadar lumpur untuk sampel 1 serta rekapitulasi dari kedua sampel.
- Berat agregat kering oven (W1) = 500 gram
 - Berat agregat kering oven setelah di cuci (W2) = 484 gram
 - Kadar lumpur = $\frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$
 = $\frac{500-484}{500} \times 100\%$
 = 3,2%

Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian Kadar Lumpur

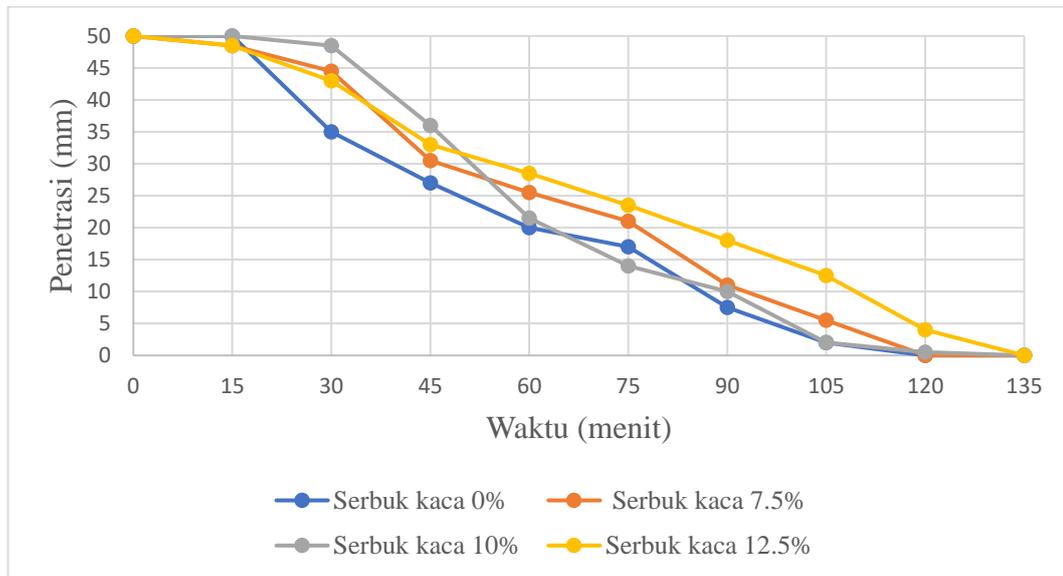
Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500		gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	484	491		gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3.2	1.8	2.5	%

5.2.3 Semen

Jenis pengujian yang dilakukan pada semen pada penelitian ini yaitu pengujian waktu ikat awal menggunakan alat Vicat. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-6827-2002. Pengujian ini dimulai dengan membuat pasta semen yang terdiri dari campuran semen dengan serbuk kaca dan air. Berat semen yang digunakan sebesar 300 gram. Presentase serbuk kaca yang digunakan yaitu 0%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Sedangkan untuk proporsi air yaitu 25% dari berat semen yang digunakan. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian waktu ikat awal semen menggunakan alat Vicat.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian Waktu Ikat Awal Semen

Interval Waktu (menit)	Penetrasi			
	(mm)			
	Serbuk kaca 0%	Serbuk kaca 7,5%	Serbuk kaca 10%	Serbuk kaca 12,5%
0	50	50	50	50
15	50	48,5	50	48,5
30	35	44,5	48,5	43
45	27	30,5	36	33
60	20	25,5	21,5	28,5
75	17	21	14	23,5
90	7,5	11	10	18
105	2	5,5	2	12,5
120	0	0	0,5	4
135	0	0	0	0



Gambar 5.5 Grafik Waktu Ikat Awal Semen

Berdasarkan hasil pengujian diatas, bisa dilihat bahwa benda uji variasi serbuk kaca 0% dan 7,5% mengeras pada menit ke 120 sedangkan untk benda uji variasi serbuk kaca 10% dan 12,5% mengeras pada menit ke 135. Dengan ini membuktikan bahwa semakin tinggi presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen menurunkan waktu ikat awal semen. Hal ini bisa terjadi karena tidak terbentuknya interaksi yang baik antara serbuk kaca dengan semen.

5.2.4 Serbuk kaca

Jenis pengujian yang dilakukan pada serbuk kaca di penelitian ini yaitu pengujian lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dan pengujian penyerapan air. Pengujian ini perlu dilakukan karena pada penelitian ini digunakan serbuk kaca dengan ukuran 200 mesh atau 0,074 mm. dengan ini serbuk kaca yang digunakan yaitu serbuk kaca yang lolos saringa no. 200. Selain itu pengujian penyerapan air dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar serbuk kaca menyerap air. Berikut ini merupakan rekapitulasi pengujian lolos saringan No. 200 dan penyerapan air pada serbuk kaca.

1. Pengujian lolos saringan No. 200

Berikut ini merupakan rekapitulasi pengujian lolos saringan No. 200 pada serbuk kaca.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian Lolos Saringan No. 200 Pada Serbuk Kaca

Keterangan	Serbuk kaca		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Tertahan No. 200 (gram)	36	8	22
Lulus Saringan No. 200 (gram)	462	492	477
total	498	500	499
Presentase lolos Saringan No. 200	92,77%	98,40%	95,59%

Berdasarkan hasil pengujian lolos saringan No. 200 pada serbuk kaca yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai rata – rata presentase lolos saringan no. 200 yaitu sebesar 95,59%. Dengan ini serbuk kaca yang digunakan dapat dikatakan lolos saringan no. 200 atau berukuran 200 mesh.



Gambar 5.6 Serbuk Kaca Sampel Pengujian Lolos Saringan No. 200

2. Pengujian Penyerapan air
Berikut ini merupakan rekapitulasi pengujian penyerapan air pada serbuk kaca.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Pengujian Penyerapan Air Pada Serbuk Kaca

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat Serbuk Kaca (gram)	500	500	500
Berat Kering Mutlak Serbuk Kaca (gram)	482	480	481
Penyerapan air (%)	3.60%	4.00%	3.80%

Berdasarkan hasil pengujian penyerapan air pada serbuk kaca diatas, didapatkan presentase penyerapan air serbuk kaca rata – rata sebesar 3,80%. Hasil penyerapan air serbuk kaca lebih tinggi dari pada penyerapan air pada agregat halus dengan nilai 1,63%.

5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton atau *mix design* ini mengacu pada SNI 03 – 2834 – 2004. Berikut ini merupakan langkah – langkah yang dilakukan pada perencanaan campuran beton.

1. Menentukan kuat tekan rencana (f^c) sebesar 25 MPa.
2. Menentukan standar deviasi (Sd)
 Dengan jumlah sampel sebanyak 15 setiap variasinya maka nilai standar deviasi yang digunakan yaitu 12 MPa.
3. Menentukan kuat tekan beton yang ditargetkan (f^{cr})

$$f^{cr} = f^c + M$$

$$= 25 + 12$$

$$= 37 \text{ MPa}$$
4. Jenis semen yang digunakan
 Jenis semen yang digunakan dalam penelitian ini yaitu semen *Portland* tipe I dengan merk *Dynamix* jenis PCC (*Portland Cement Composite*)
5. Jenis agregat yang digunakan
 Jenis agregat agregat halus yang digunakan yaitu pasir Merapi dengan berat jenis sebesar 2,73. Sedangkan untuk jenis agregat kasar yang digunakan yaitu kerikil Clereng dengan berat jenis sebesar 2,68.
6. Menentukan faktor air semen (FAS)

Menentukan faktor air semen (FAS) dilakukan berdasarkan Tabel 5.15 dan Gambar 5.7

Tabel 5.15 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen dan Agregat Kasar yang Dipakai di Indonesia

jenis semen	jenis agregat kasar	kekuatan tekan (Mpa)				Bentuk Benda Uji
		pada umur (Hari)				
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu dipecahkan	19	27	37	45	
Semen Portland Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu dipecahkan	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu dipecahkan	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu dipecahkan	30	40	53	60	

- a. Dengan digunakannya semen *Portland* tipe I, batu pecah, umur benda uji 28 hari dengan bentuk silinder, maka perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa.
 - b. Pada Gambar 5.9 dibawah, tarik garis horizontal dari kiri ke kanan pada nilai kuat tekan sebesar 37 MPa, kemudian tarik garis vertikal dari bawah ke atas pada nilai FAS 0,5. Dengan ini didapatkan titik perpotongan antara garis horizontal dan garis vertikal yang sudah dibuat.
 - c. Membuat kurva baru pada titik perpotongan
7. Menentukan kadar air
- Menentukan kadar air yang dibutuhkan pada campuran beton dilakukan berdasarkan Tabel 3.4
- a. Ukuran maksimum butiran agregat yang digunakan sebesar 20 mm.
 - b. Jenis batuan yang digunakan yaitu batu tak dipecahkan untuk agregat halus dan batu pecah untuk agregat kasar.
 - c. *Slump* yang direncanakan masuk dalam *range slump* 60 – 180 mm.
 - d. Perhitungan kadar air yang dibutuhkan

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

8. Menentukan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum.
Menentukan jumlah semen minimum dan faktor air semen (FAS) maksimum dapat dilakukan berdasarkan Tabel 3.5 yang sudah sebutkan sebelumnya.

Pada pengujian ini digunakan jenis beton di dalam ruangan dengan keadaan keliling non korosif. Dengan ini maka didapatkan jumlah semen beton minimum sebesar 275 kg/m^3 serta faktor air sermen (FAS) sebesar 0,6.

9. Menentukan kadar semen

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai FAS} &= 0,5 \\
 \text{Kadar air bebas} &= 205 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Kadar semen digunakan} &= \frac{\text{kadar air}}{\text{faktor air semen}} \\
 &= \frac{2205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan nilai kadar semen yang digunakan sebesar 410 kg/m^3 .

10. Menentukan presentase agregat kasar dan agregat halus

- a. Presentase agregat halus

Presentase agregat halus dapat ditentukan dengan menggunakan Gambar 3.12 sebelumnya. Berikut ini cara menentukan presentase agregat halus.

- 1) Digunakan grafik dengan kriteria ukuran maksimum agregat 20 mm, *slump* rencana dengan *range* 60 – 180 mm, nilai faktor air semen sebesar 0,5 dan agregat halus masuk ke dalam gradasi II.
- 2) Menarik garis vertikal dari bawah ke atas dari nilai FAS 0,5 hingga memotong kedua batas kurva daerah gradasi II.
- 3) Menarik garis horizontal dari perpotongan garis vertikal yang sudah dibuat dengan batas atas dan batas bawah dari kurva daerah gradasi II.

4) Dengan ini didapatkan batas atas sebesar 45% dan batas bawah sebesar 37%.

5) Nilai presentase agregat halus rata – rata

$$\begin{aligned} \text{Presentase agregat halus} &= \frac{45\%+37\%}{2} \\ &= 41\% \end{aligned}$$

b. Nilai presentase agregat kasar

$$\begin{aligned} \text{Nilai presentase agregat kasar} &= 100\% - \text{presentase agregat halus} \\ &= 100\% - 41\% \\ &= 59\% \end{aligned}$$

11. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jensi relatif gabungan} &= (\text{presentase agregat kasar} \times B_j. \\ &\text{agregat halus}) + (\text{presentase agregat} \\ &\text{halus} \times B_j. \text{ agregat kasar}) \\ &= (59\% \times 2,68) + (41\% \times 2,73) \\ &= 2,6991 \end{aligned}$$

12. Menentukan nilai berat isi beton

Menentukan nilai berat isi beton menggunakan Gambar 3.14. Berikut ini merupakan langkah – langkah untuk menentukan nilai berat isi beton.

a. Menarik garis kurva berdasarkan nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,6991.

b. Menarik garis vertikal dari bawah keatas pada nilai kadar air bebas sebesar 205 kg/m³ hingga berpotong dengan kurva yang sudah dibuat.

c. Menarik garis horizontal dari kiri ke kanan dimulai dari titik perpotongan garis vertikal dan kurva yang sudah dibuat sebelumnya.

d. Dengan ini maka diperoleh besar nilai berat isi beton sebesar 2412,5 kg/m³.

13. Menentukan kadar agregat gabungan campuran beton

$$\begin{aligned} \text{Kadar agregat} &= \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air} \\ &= 2412,5 - 410 - 205 \\ &= 1797,5 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

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

- a. Kadar agregat halus = presentase agregat halus x kadar agregat halus
 $= 41\% \times 1797,5$
 $= 736,975 \text{ kg/m}^3$
- b. Kadar agregat kasar = kadar agregat – kadar agregat halus
 $= 1797,5 - 736,975$
 $= 1060,525 \text{ kg/m}^3$

15. Proporsi campuran beton

Berdasarkan perencanaan campuran beton yang sudah dilakukan maka didapatkan proporsi campuran beton per 1 m^3 seperti berikut ini.

- a. Air = 205 kg
 b. Semen = 410 kg
 c. Agregat kasar = 1060,525 kg
 d. Agregat halus = 736,975 kg

16. Proporsi campuran beton dengan angka penyusutan

Pada pengujian ini ditentukan angka penyusutan sebesar 20% untuk setiap 1 m^3 . berikut ini merupakan nilai proposi campuran beton untuk setiap materialnya dengan penyusutan sebesar 20%

- a. Air = 246 kg
 b. Semen = 492 kg
 c. Agregat kasar = 1272,630 kg
 d. Agregat halus = 884,370 kg

17. Rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton

Berdasarkan perencanaan campuran beton yang sudah dilakukan, berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perencanaan Campuran Beton

No	Keterangan	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	Mpa
2	Standar Deviasi	-	-
3	Nilai Tambah / Margin (M)	12	Mpa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	Mpa
5	Jenis Semen	Tipe I	
6	Jenis Agregat Kasar	Batu pecah	
	Jenis Agregat Halus	Alami	
7	Faktor air semen bebas (Fas)	0,5	
	Faktor air semen maksimum	0,6	
8	FAS digunakan	0,5	
9	Slump	10 ± 2	cm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	kg/m ³
12	Kadar semen	410,000	kg/m ³
13	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
14	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
15	Kadar semen digunakan	410,00	kg/m ³
16	Fas disesuaikan	-	
17	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi 2	
18	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,68	
	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,73	
19	Persen Agregat Halus	41,00%	%
20	Persen Agregat Kasar	59,00%	%
21	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,6991	
22	Berat isi Beton	2412,5	kg/m ³
23	Kadar agregat gabungan	1797,500	kg/m ³
24	Kadar agregat halus	736,975	kg/m ³
25	Kadar agregat kasar	1060,525	kg/m ³
26	Kadar semen dengan angka penyusutan	492,000	kg/m ³
27	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	884,370	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1272,630	kg/m ³
29	Kadar air dengan angka penyusutan	246,000	kg/m ³

18. Volume benda uji

Pada penelitian ini, pada setiap variasinya terdiri dari 10 silinder yang berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta 5 kubus dengan panjang sisinya 150 mm. Volume benda uji ini digunakan sebagai acuan ketika proses pencampuran beton atau *mixing*. Pada penelitian ini dilakukan satu kali *mixing* untuk setiap variasinya dimana volume benda uji yang dibutuhkan untuk *mixing* dihitung berdasarkan jumlah benda uji. Berikut ini merupakan volume benda uji yang dibutuhkan untuk setiap *mixing*.

a. Volume cetakan benda uji

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Volume cetakan benda uji silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\
 &= \frac{1}{4} \pi 150^2 300 \\
 &= 0,0053 \text{ m}^3 \\
 2) \text{ Volume cetakan benda uji kubus} &= s^3 \\
 &= 150^3 \\
 &= 0,003 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

b. Volume benda uji

1) Volume benda uji silinder

$$\begin{aligned}
 a) \text{ Air} &= 0,0053 \times 246 &= 1,304 \text{ kg} \\
 b) \text{ Semen} &= 0,0053 \times 492 &= 2,608 \text{ kg} \\
 c) \text{ Agregat kasar} &= 0,0053 \times 1272,630 &= 6,747 \text{ kg} \\
 d) \text{ Agregat halus} &= 0,0053 \times 884,370 &= 4,688 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2) Volume benda uji kubus

$$\begin{aligned}
 a) \text{ Air} &= 0,003 \times 246 &= 1,661 \text{ kg} \\
 b) \text{ Semen} &= 0,003 \times 492 &= 0,830 \text{ kg} \\
 c) \text{ Agregat kasar} &= 0,003 \times 1272,630 &= 4,295 \text{ kg} \\
 d) \text{ Agregat halus} &= 0,003 \times 884,370 &= 2,956 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

19. Proporsi campuran beton untuk setiap *mixing*

Pada pengujian ini terdapat 4 variasi, dengan ini maka dilakukan 4 kali *mixing*.

a. Proporsi campuran *mixing* variasi 1 (BN)

- 1) Air = $(10 \times 1,304) + (5 \times 1,661) = 17,193 \text{ kg}$
 2) Semen = $(10 \times 2,608) + (5 \times 0,830) = 34,386 \text{ kg}$
 3) Agregat kasar = $(10 \times 6,747) + (5 \times 4,925) = 88,943 \text{ kg}$
 4) Agregat halus = $(10 \times 4,688) + (5 \times 2,956) = 61,808 \text{ kg}$

b. Proporsi campuran *mixing* variasi 2 (BK2)

- 1) Air = $(10 \times 1,304) + (5 \times 1,661) = 17,193 \text{ kg}$
 2) Semen = $34,386 - (34,386 \times 7,5\%) = 31,807 \text{ kg}$
 3) Serbuk kaca = $7,5\% \times 34,386 = 2,579 \text{ kg}$
 4) Agregat kasar = $(10 \times 6,747) + (5 \times 4,925) = 88,943 \text{ kg}$
 5) Agregat halus = $(10 \times 4,688) + (5 \times 2,956) = 61,808 \text{ kg}$

Berdasarkan hasil perhitungan proporsi campuran beton yang diatas, berikut ini merupakan rekapitulasi proporsi campuran beton.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Benda Uji Silinder

Variasi	Serbuk Kaca	Silinder						
		Jumlah Sampel	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Serbuk Kaca (Kg)	Semen dipakai (Kg)	Agregat Kasar (Kg)
1	0%	10	26,083	13,042	46,884	0,000	26,083	67,468
2	7,5%	10	26,083	13,042	46,884	1,956	24,127	67,468
3	10%	10	26,083	13,042	46,884	2,608	23,475	67,468
4	12,5%	10	26,083	13,042	46,884	3,260	22,823	67,468
Total		40	104,332	52,166	187,537	7,825	96,507	269,871

Tabel 5.18 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Benda Uji Kubus

Variasi	Serbuk Kaca	Kubus						
		Jumlah Sampel	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Serbuk Kaca (Kg)	Semen dipakai (Kg)	Agregat Kasar (Kg)
1	0%	5	8,303	4,151	14,924	0,000	8,303	21,476
2	7,5%	5	8,303	4,151	14,924	0,623	7,680	21,476
3	10%	5	8,303	4,151	14,924	0,830	7,472	21,476

Variasi	Serbuk Kaca	Kubus						
		Jumlah Sampel	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Serbuk Kaca (Kg)	Semen dipakai (Kg)	Agregat Kasar (Kg)
4	12,5%	5	8,303	4,151	14,924	1,038	7,265	21,476
Total		20	33,210	16,605	59,695	2,491	30,719	85,903

Tabel 5.19 Rekapitulasi Proporsi Campuran Beton Total

Variasi	Serbuk Kaca	Silinder + kubus						
		Jumlah Sampel	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Serbuk Kaca (Kg)	Semen dipakai (Kg)	Agregat Kasar (Kg)
1	0%	15	34,386	17,193	61,808	0,000	34,386	88,943
2	7,5%	15	34,386	17,193	61,808	2,579	31,807	88,943
3	10%	15	34,386	17,193	61,808	3,439	30,947	88,943
4	12,5%	15	34,386	17,193	61,808	4,298	30,087	88,943
Total		60	137,542	68,771	247,232	10,316	127,227	355,773

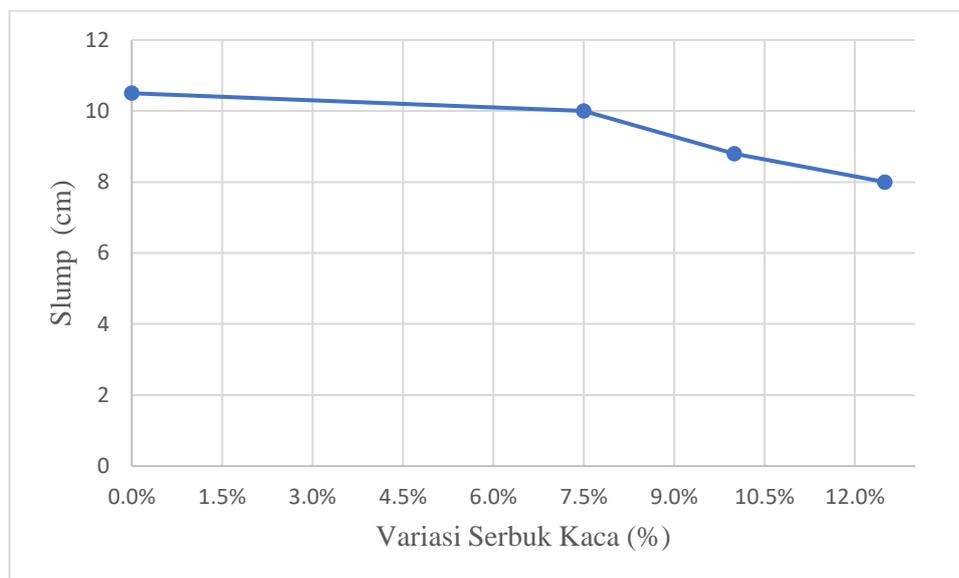
5.4 Pengujian Beton

5.4.1 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* bertujuan untuk mengukur tingkat kelecakan campuran beton segar. Hal ini berhubungan dengan tingkat kemudahan pengerjaan beton atau *workability*. Semakin tinggi nilai *slump* maka campuran beton semakin cair, dengan ini campuran beton semakin mudah dikerjakan. Berikut ini merupakan hasil pengujian *slump* terhadap variasi serbuk kaca dan gambar hubungan nilai *slump* dengan presentase serbuk kaca.

Tabel 5.20 Hasil Pengujian *Slump*

Kode benda uji	Serbuk kaca	<i>slump</i> (cm)
BN	0.0%	10.5
BK2	7.5%	10
BK3	10.0%	8.8
BK4	12.5%	8



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara Nilai *Slump* dengan Variasi Serbuk Kaca Pada Campuran Beton

Berdasarkan Tabel 5.20 dan Gambar 5.7 didapatkan nilai *slump* terbesar pada variasi serbuk kaca 7,5% sebesar 10 cm dan nilai *slump* terendah pada variasi serbuk kaca 12,5% sebesar 8 cm. Dengan ini nilai *slump* pada variasi serbuk kaca 0% dan 7,5% memenuhi atau masuk dalam rentang nilai *slump* 10 ± 2 , namun semua variasi masih termasuk dalam rentang *slump* 6 – 18 cm. Selain itu berdasarkan Tabel 5.14 menunjukkan bahwa semakin tinggi presentase serbuk kaca maka semakin rendah nilai *slump*. Nilai *slump* mempengaruhi *workability*. Semakin rendah nilai *slump* menyebabkan menurunnya *workability*.

5.4.2 Pengujian Berat Volume Beton

Pada penelitian ini, pengujian berat volume beton dilakukan sebelum benda uji silinder di uji kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Untuk mendapatkan nilai berat volume beton diperlukan penimbangan berat beton dan pengukuran dimensi beton. Nilai berat volume beton dapat dihitung dengan membagi berat beton dengan volume beton. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian berat volume beton.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat volume Beton Silinder

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
1	BN-1	0,0%	149,700	300,500	0,00529	12,989	2455,827	2392,087
2	BN-2		150,200	303,633	0,00538	12,761	2371,950	
3	BN-3		150,633	300,700	0,00536	12,625	2355,949	
4	BN-4		148,467	297,500	0,00515	12,374	2402,566	
5	BN-5		150,100	302,133	0,00535	12,679	2371,565	
6	BN-6		150,433	305,000	0,00542	13,055	2408,236	
7	BN-7		150,800	302,733	0,00541	12,927	2390,809	
8	BN-8		150,667	304,500	0,00543	12,940	2383,542	
9	BN-9		149,967	304,300	0,00538	12,855	2391,612	
10	BN-10		150,133	302,467	0,00535	12,791	2388,817	
11	BK2-1	7,5%	150,400	304,433	0,00541	12,670	2342,604	2388,887
12	BK2-2		151,967	300,667	0,00545	12,874	2360,705	
13	BK2-3		149,800	300,900	0,00530	12,981	2447,780	
14	BK2-4		150,600	304,567	0,00543	12,977	2391,950	
15	BK2-5		149,600	301,400	0,00530	13,067	2466,491	
16	BK2-6		151,033	301,400	0,00540	12,756	2362,304	
17	BK2-7		150,333	301,600	0,00535	12,635	2360,171	
18	BK2-8		151,700	294,033	0,00531	12,691	2388,022	
19	BK2-9		150,567	298,100	0,00531	12,746	2401,399	

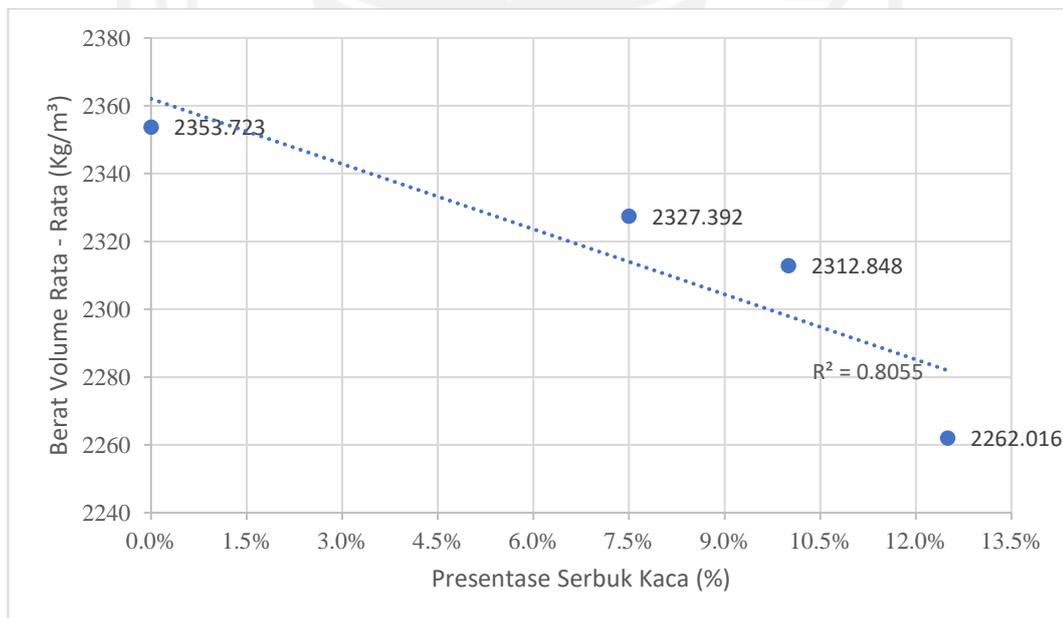
no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
20	BK2-10		150,867	303,467	0,00542	12,843	2367,440	
21	BK3-1	10,0%	149,633	301,467	0,00530	12,895	2432,403	2359,076
22	BK3-2		150,267	306,233	0,00543	12,801	2357,090	
23	BK3-3		150,033	305,100	0,00539	12,739	2361,716	
24	BK3-4		150,233	305,233	0,00541	12,956	2394,509	
25	BK3-5		150,867	305,867	0,00547	12,721	2326,551	
26	BK3-6		150,067	302,567	0,00535	12,559	2346,798	
27	BK3-7		150,233	301,100	0,00534	12,695	2378,480	
28	BK3-8		150,033	302,467	0,00535	12,379	2314,955	
29	BK3-9		150,167	304,367	0,00539	12,586	2334,821	
30	BK3-10		150,567	302,933	0,00539	12,640	2343,433	
31	BK4-1	12,5%	150,800	303,2667	0,00542	12,395	2288,386	2277,111
32	BK4-2		152,800	304,100	0,00558	12,491	2239,980	
33	BK4-3		150,733	303,033	0,00541	12,397	2292,544	
34	BK4-4		151,567	304,867	0,00550	12,48	2268,858	
35	BK4-5		151,000	300,900	0,00539	12,295	2281,721	
36	BK4-6		151,200	305,333	0,00548	12,592	2296,820	
37	BK4-7		151,700	303,600	0,00549	12,493	2276,690	
38	BK4-8		151,167	301,967	0,00542	12,478	2302,417	
39	BK4-9		151,767	302,633	0,00547	12,379	2261,133	
40	BK4-10		151,533	301,267	0,00543	12,293	2262,562	

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat volume Beton Kubus

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
1	BN-11	0,0%	151,033	0,00345	8,418	2443,377	2315,358097
2	BN-12		155,920	0,00379	8,282	2184,891	
3	BN-13		154,250	0,00367	8,369	2280,332	
4	BN-14		152,850	0,00357	8,298	2323,684	
5	BN-15		152,200	0,00353	8,266	2344,507	
6	BK2-11	7,5%	155,117	0,00373	8,463	2267,509	2265,898264
7	BK2-12		154,233	0,00367	8,353	2276,710	
8	BK2-13		153,200	0,00360	8,264	2298,339	
9	BK2-14		154,350	0,00368	8,347	2269,920	
10	BK2-15		154,750	0,00371	8,216	2217,014	
11	BK3-11	10,0%	152,017	0,00351	8,211	2337,343	2266,620614
12	BK3-12		153,050	0,00359	8,109	2261,868	
13	BK3-13		152,550	0,00355	7,815	2201,366	
14	BK3-14		153,367	0,00361	8,155	2260,638	
15	BK3-15		151,583	0,00348	7,913	2271,887	
16	BK4-11	12,5%	151,867	0,00350	7,806	2228,646	2246,920983
17	BK4-12		152,100	0,00352	8,010	2276,381	
18	BK4-13		153,583	0,00362	8,055	2223,480	
19	BK4-14		152,667	0,00356	7,917	2224,990	
20	BK4-15		152,700	0,00356	8,122	2281,108	

Berdasarkan Tabel 5.21 dan Tabel. 22 diatas, dapat dilihat hasil pengujian volume beton silinder rata – rata pada substitusi parsial serbuk kaca terhadap semen dengan variasi 0%, 7,5%, 10%, 12,5% dengan umur uji 28 hari secara berturut – turut sebesar 2384,288 kg/m³, 2388,887 kg/m³, 2359,076 kg/m³ dan 2277,111 kg/m³. Sedangkan untuk hasil pengujian volume beton kubus untuk variasi serbuk kaca 0%, 7,5%, 10%, 12,5% dengan umur uji 28 hari secara berturut – turut sebesar 2315,358 kg/m³, 2265, 898 kg/m³, 2266,620 kg/m³, 2246,921 kg/m³.

Berdasarkan hasil pengujian berat volume beton rata – rata silinder dan kubus diatas, nilai – nilai tersebut bisa dimasukkan ke dalam grafik hubungan antara berat volume beton rata - rata dengan presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen. Sebelum memasukkan data nilai ke dalam grafik, nilai berat volume beton rata – rata silinder dan kubus perlu dirata – ratakan terlebih dahulu. Berikut ini merupakan gambar grafik hubungan antara berat volume rata – rata dengan presentase serbuk kaca.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan Antara Berat Volume Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca

Berdasarkan grafik hubungan antara berat volume beton rata – rata dengan presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen diatas, didapatkan besar nilai koefisien korelasi sebesar 0,8055. Nilai koefisien korelasi ini masuk dalam tingkat

hubungan yang sangat kuat. Hal ini mengartikan bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi parsial pada semen mempengaruhi besar nilai volume berat beton. Namun berdasarkan Gambar 5.8 juga digambarkan bahwa semakin tinggi presentase serbuk kaca maka berat volume beton semakin rendah.

5.4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan saat benda uji berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan alat *compression machine*. Sebelum pengujian kuat tekan, permukaan benda uji perlu diratakan dengan proses *capping*. Proses *capping* merupakan proses melapisi permukaan atas benda uji silinder dengan belerang dengan tujuan beban dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan pada benda uji hingga benda uji tidak mampu menahan beban yang diberikan. Ketika benda uji sudah tidak mampu menahan beban akan ditandai dengan rusak atau hancurnya benda uji. Berikut ini merupakan perhitungan dan rekapitulasi nilai kuat tekan beton.

1. Kuat tekan beton variasi serbuk kaca 0%

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{505 \times 10^3}{17600,843} \\ &= 28,692 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton variasi serbuk kaca 7,5%

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{495 \times 10^3}{18137,881} \\ &= 28,862 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton variasi serbuk kaca 10%

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{420 \times 10^3}{17585,171} \\ &= 23,884 \text{ MPa} \end{aligned}$$

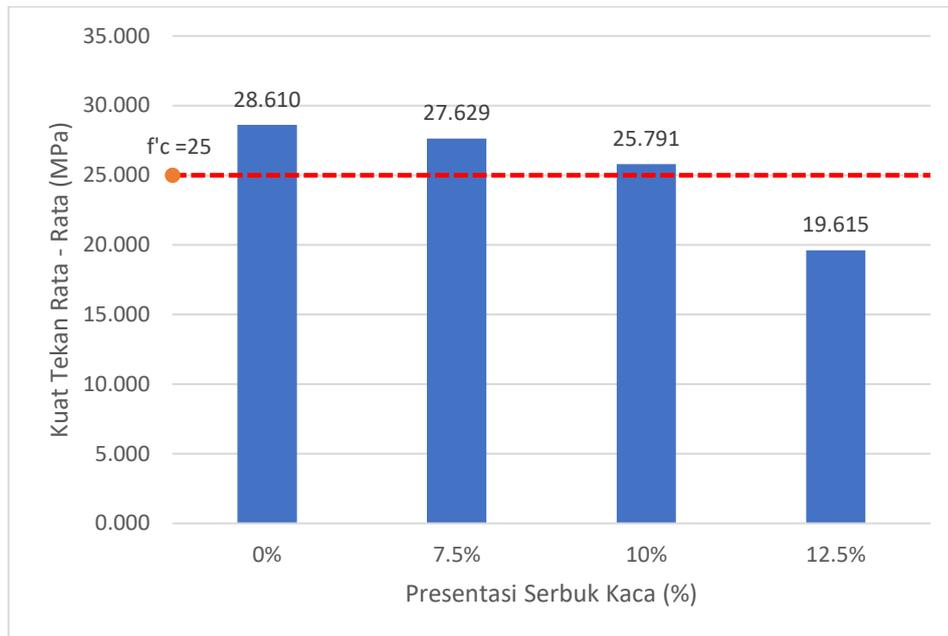
4. Kuat tekan beton variasi serbuk kaca 12,5%

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{304 \times 10^3}{178650,457} \\ &= 19,037 \text{ MPa} \end{aligned}$$

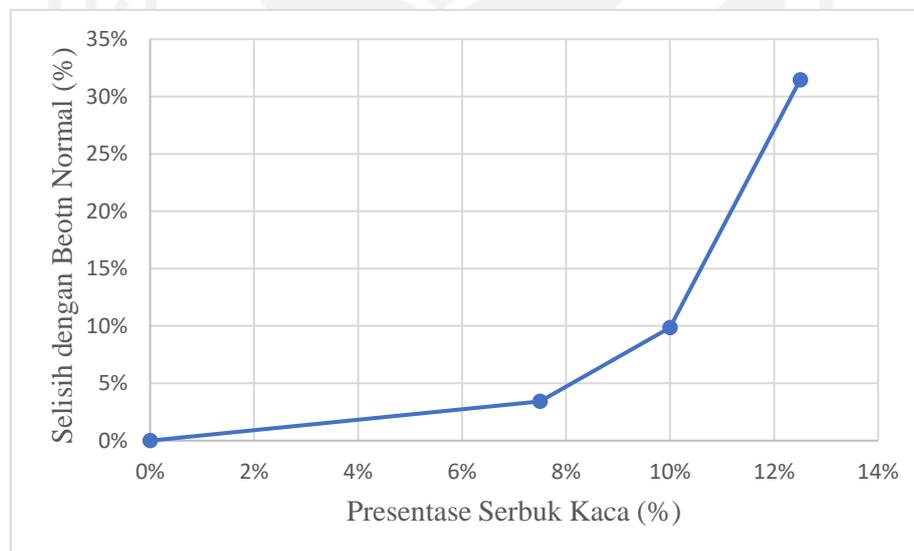
Tabel 5.23 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Beton

no	kode benda uji	Serbuk Kaca	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
1	BN-1	0,0%	149,700	17600,844	505	28,692	28,610
2	BN-2		150,200	17718,614	500	28,219	
3	BN-3		150,633	17820,999	460	25,812	
4	BN-4		148,467	17312,022	565	32,636	
5	BN-5		150,100	17695,028	490	27,691	
6	BK2-1	7,5%	150,400	17765,832	495	27,862	27,629
7	BK2-2		151,967	18137,881	420	23,156	
8	BK2-3		149,800	17624,366	510	28,937	
9	BK2-4		150,600	17813,113	545	30,595	
10	BK2-5		149,600	17577,337	485	27,592	
11	BK3-1	10,0%	149,633	17585,170	420	23,884	25,791
12	BK3-2		150,267	17734,346	490	27,630	
13	BK3-3		150,033	17679,314	480	27,150	
14	BK3-4		150,233	17726,479	480	27,078	
15	BK3-5		150,867	17876,252	415	23,215	
16	BK4-1	12,5%	150,800	17860,457	340	19,036	19,615
17	BK4-2		152,800	18337,351	252	13,742	
18	BK4-4		151,567	18042,524	390	21,616	
19	BK4-5		151,000	17907,864	390	21,778	
20	BK4-10		151,533	18034,588	395	21,902	

Berdasarkan Tabel 5.23 diperoleh besar nilai kuat tekan beton rata – rata dengan umur uji 28 hari dan variasi serbuk kaca 0%, 7,5%, 10%, 12,5% secara berturut – turut sebesar 28,610 Mpa, 27,629 Mpa, 25,791 Mpa dan 19,615 Mpa. Berikut ini merupakan gambar grafik nilai kuat tekan beton rata – rata berdasarkan presentase serbuk kaca dan gambar grafik presentase selisih nilai kuat tekan rata – rata.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca



Gambar 5.10 Grafik Presentase Selisih Nilai Kuat Tekan Variasi dengan Nilai Kuat Tekan Beton Normal

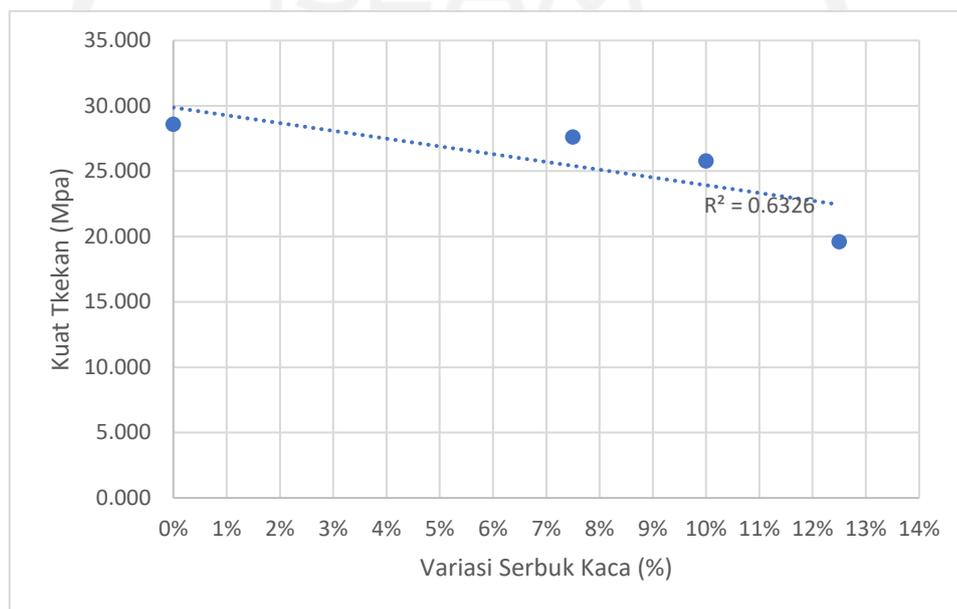
Berdasarkan Gambar 5.9 diatas bisa dilihat bahwa nilai kuat tekan beton rata – rata berada diatas nilai kuat tekan rencana kecuali nilai kuat tekan rata – rata variasi serbuk kacs 12,5%. Nilai kuat tekan beton rata – rata dengan variasi serbuk

kaca sebagai substitusi parsial semen tertinggi ada pada presentase serbuk kaca 7,5% sebesar 27,629 Mpa. Namun nilai kuat tersebut lebih rendah daripada nilai kuat tekan beton normal dengan selisih 3,430% dari nilai kuat tekan beton normal. Selain itu, bisa dilihat bahwa nilai kuat tekan beton rata – rata menurun seiring bertambahnya presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen. Menurunnya nilai kuat tekan beton rata – rata seiring bertambahnya presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen disebabkan oleh tidak terbentuknya pasta semen yang baik. Tidak terbentuknya pasta semen yang baik bisa dilihat pada gambar kerusakan sampel setelah di uji. Kerusakan yang ditunjukkan yaitu agregat dalam sampel uji tidak patah namun lepas. Bentuk kerusakan pada benda uji dapat dilihat pada Gambar 5.11. Selain itu, tidak terbentuknya pasta semen yang baik dapat di perkuat dengan pengujian Vicat yang sudah dilakukan dengan hasil semakin tinggi presentase serbuk kaca semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setting time*. Hasil pengujian penelitian ini serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Hendra Purnomo dan Endang Setyawati di tahun 2014 dengan nilai kuat tekan yang menurun seiring bertambahnya presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen.



Gambar 5.11 Kerusakan Sampel Benda Uji Kuat Tekan

Berdasarkan nilai hasil pengujian kuat tekan beton pada Tabel 5.16, nilai – nilai tersebut dapat dimasukkan ke dalam grafik hubungan antara nilai kuat tekan beton dengan presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara nilai kuat tekan beton dengan presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen.



Gambar 5.12 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Rata – Rata dengan Presentase Serbuk Kaca

Berdasarkan grafik hubungan antara nilai kuat tekan beton rata – rata dengan presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen diatas, didapatkan besar nilai koefisien korelasi sebesar 0,6323. Nilai koefisien ini masuk dalam tingkat hubungan yang kuat. Hal ini mengartikan bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen mempengaruhi besar nilai kuat tekan beton.

5.4.4 Pengujian Kuat Tarik belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton ini dilakukan menggunakan alat *compression machine*. Pengujian ini dilakukan saat umur benda uji 28 hari. Berikut ini merupakan perhitungan pengujian kuat tarik belah beton.

1. Kuat tarik belah beton variasi serbuk kaca 0%,

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{2P}{LD} \\
 &= \frac{2 \times 195 \times 10^3}{\pi \times 150,667 \times 304,5} \\
 &= 2,178 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

2. Kuat tarik belah beton variasi serbuk kaca 7,5%

$$\begin{aligned}
 F_c &= \frac{2P}{LD} \\
 &= \frac{2 \times 187 \times 10^3}{\pi \times 151,7 \times 294,033} \\
 &= 2,668 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

3. Kuat tarik belah beton variasi serbuk kaca 10%

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{2P}{LD} \\
 &= \frac{2 \times 168 \times 10^3}{\pi \times 150,067 \times 302,567} \\
 &= 2,355 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

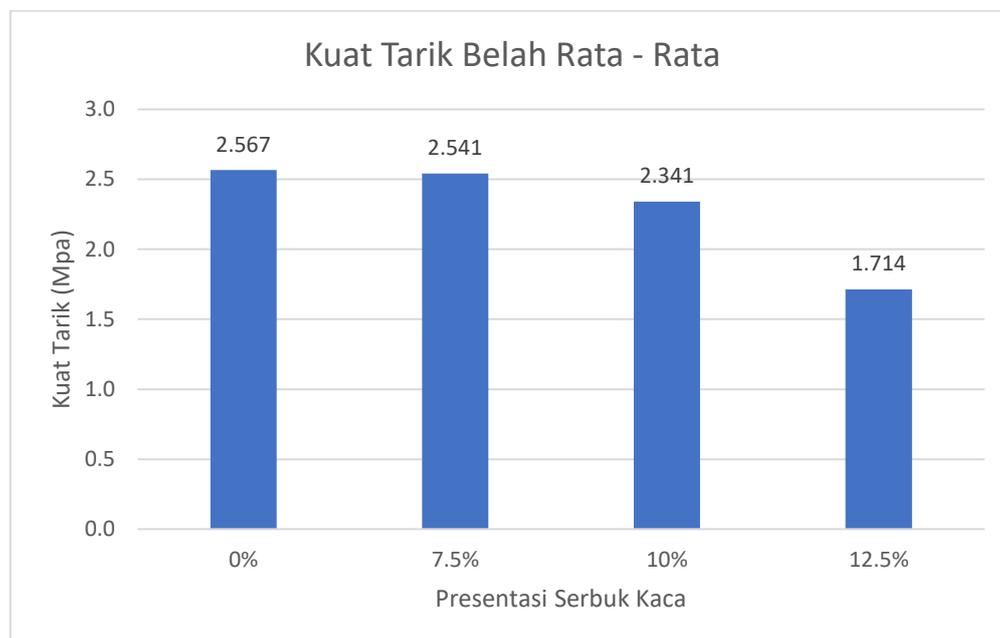
4. Kuat tarik belah beton variasi serbuk kaca 12,5%

$$\begin{aligned}
 f_c &= \frac{2P}{LD} \\
 &= \frac{2 \times 139 \times 10^3}{\pi \times 150,733 \times 303,033} \\
 &= 1,938 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kuat tarik belah diatas dilakukan kepada setiap sampel benda uji yang sudah dibuat sebelumnya. Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan kuat tarik beton yang tertera pada Tab 5.24 dan Gambar 5.13

Tabel 5.24 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik Beton

No	kode benda uji	Serbuk Kaca	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Tarik Rata - Rata (Mpa)
1	BN-6	0,0%	150,433	305,000	17773,708	157	2,178	2,567
2	BN-7		150,800	302,733	17860,457	167	2,329	
3	BN-8		150,667	304,500	17828,887	195	2,706	
4	BN-9		149,967	304,300	17663,606	171	2,386	
5	BN-10		150,133	302,467	17702,889	231	3,238	
6	BK2-6	7,5%	151,033	301,400	17915,771	144	2,014	2,541
7	BK2-7		150,333	301,600	17750,086	215	3,019	
8	BK2-8		151,700	294,033	18074,282	187	2,669	
9	BK2-9		150,567	298,100	17805,229	192	2,723	
10	BK2-10		150,867	303,467	17876,252	164	2,280	
11	BK3-6	10,0%	150,067	302,567	17687,170	168	2,356	2,341
12	BK3-7		150,233	301,100	17726,479	156	2,195	
13	BK3-8		150,033	302,467	17679,314	155	2,174	
14	BK3-9		150,167	304,367	17710,750	189	2,633	
15	BK3-10		150,567	302,933	17805,229	168	2,345	
16	BK4-3	12,5%	150,733	303,033	17844,669	139	1,937	1,714
17	BK4-6		151,200	305,333	17955,333	152	2,096	
18	BK4-7		151,700	303,600	18074,282	108	1,493	
19	BK4-8		151,167	301,967	17947,417	113	1,576	
20	BK4-9		151,767	302,633	18090,171	106	1,469	

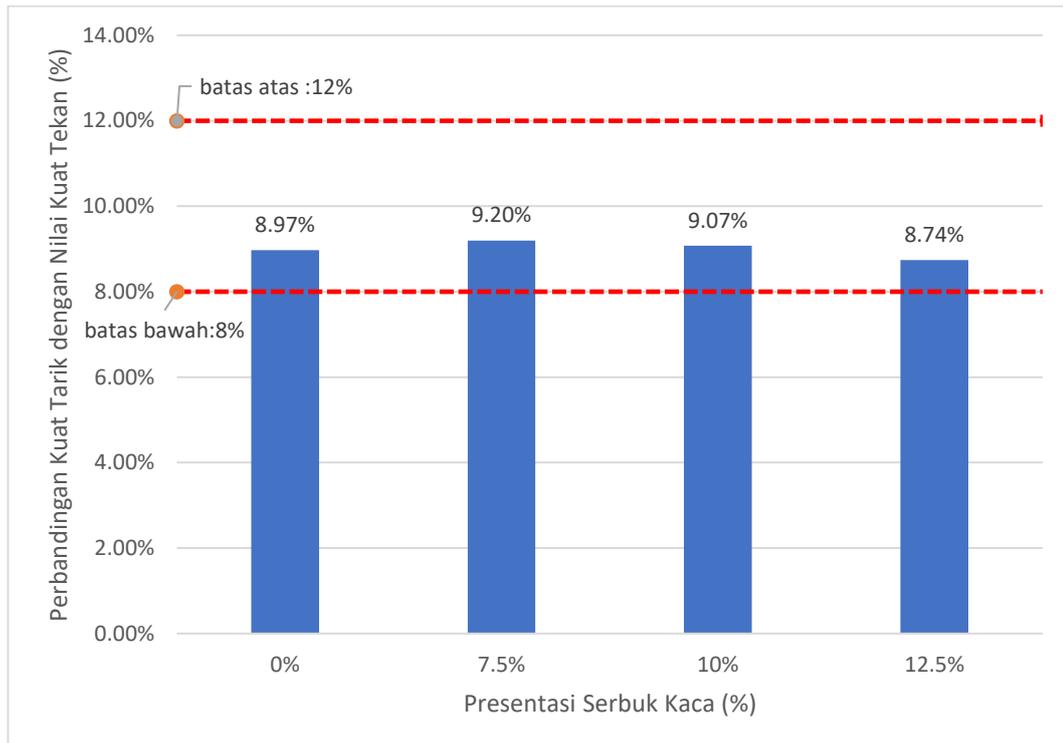


Gambar 5.13 Grafik Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan Tabel 5.24 dan Gambar 5.13 diatas diperoleh nilai kuat tarik belah beton rata – rata untuk variasi serbuk kaca 0%, 7,5%, 10%, 12,5% secara berturut – turut sebesar 2,567 Mpa, 2,541 Mpa, 2,341 Mpa dan 1,714 Mpa. Nilai kuat tarik belah beton rata – rata tertinggi dengan variasi serbuk kaca didapatkan pada variasi 7,5% sebesar 2,541 Mpa namun masih berada di bawah nilai kuat tarik beton kontrol. Sedangkan untuk nilai kuat tarik belah beton rata – rata terendah dengan variasi serbuk kaca didapatkan pada variasi 12,5% sebesar 1,714 Mpa. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik belah beton ini menunjukkan bahwa semakin tinggi presentase serbuk kaca maka akan menurunkan nilai kuat tarik belah beton dengan tidak signifikan.

Menurut buku *Design and Control of Concrete Mixtures* (2008), nilai kuat tarik belah beton umumnya berada di rentang 8% - 12% dari nilai kuat tekan betonnya. Hasil pengujian kuat tarik belah beton pada pengujian ini masuk dalam rentang 8% - 12% dari masing – masing nilai kuat tekan betonnya. Dari hasil pengujian kuat tarik belah beton pada penelitian ini didapatkan untuk variasi 0%, 7,5%, 10% dan 12,5% secara berturut – turut 8,97%, 9,20%, 9,07% dan 8,74% dari nilai kuat tekan betonnya. Menurunnya nilai kuat tarik belah beton dengan

bertambahnya presentase serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen pada penelitian ini selaras dengan hasil pengujian kuat tekan beton. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara nilai kuat tarik belah dan presentase serbuk kaca.



Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Antara Nilai Kuat Tekan dengan Nilai Kuat Tarik Belah Setiap Variasi

5.4.5 Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton ini menggunakan benda uji kubus. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengoven benda uji selama 24 jam dengan suhu 110°C. Setelah dioven selama 24 jam, kemudian dilakukan perendaman selama 48 jam atau 2 hari. Setelah itu benda uji diangkat dan dikeringkan permukannya dengan cara dilap. Penimbangan dilakukan pada kondisi setelah dioven 24 jam dan setelah kering permukaan. Berikut ini merupakan perhitungan dan rekapitulasi nilai absorpsi beton.

1. Absorpsi beton variasi serbuk kaca 0%

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \\
 &= \frac{8,383 - 8,027}{8,383} \times 100\% \\
 &= 3,987\%
 \end{aligned}$$

2. Absorpsi beton variasi serbuk kaca 7,5%

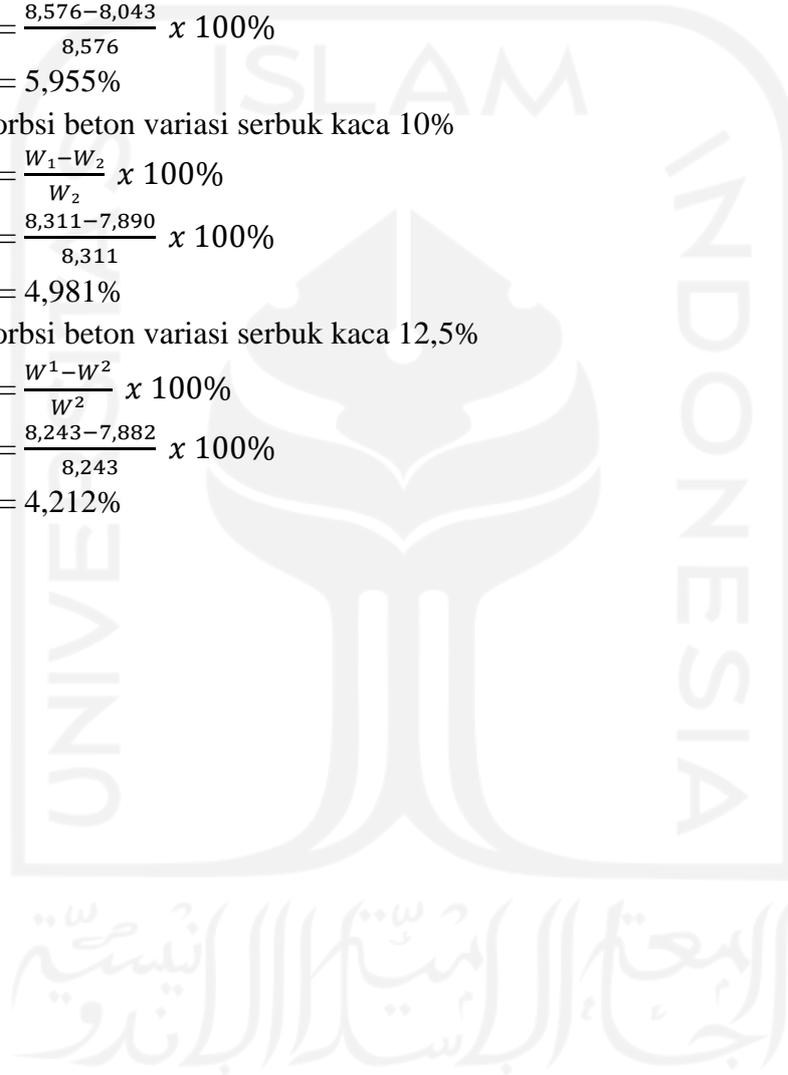
$$\begin{aligned}
 P &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \\
 &= \frac{8,576 - 8,043}{8,576} \times 100\% \\
 &= 5,955\%
 \end{aligned}$$

3. Absorpsi beton variasi serbuk kaca 10%

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\% \\
 &= \frac{8,311 - 7,890}{8,311} \times 100\% \\
 &= 4,981\%
 \end{aligned}$$

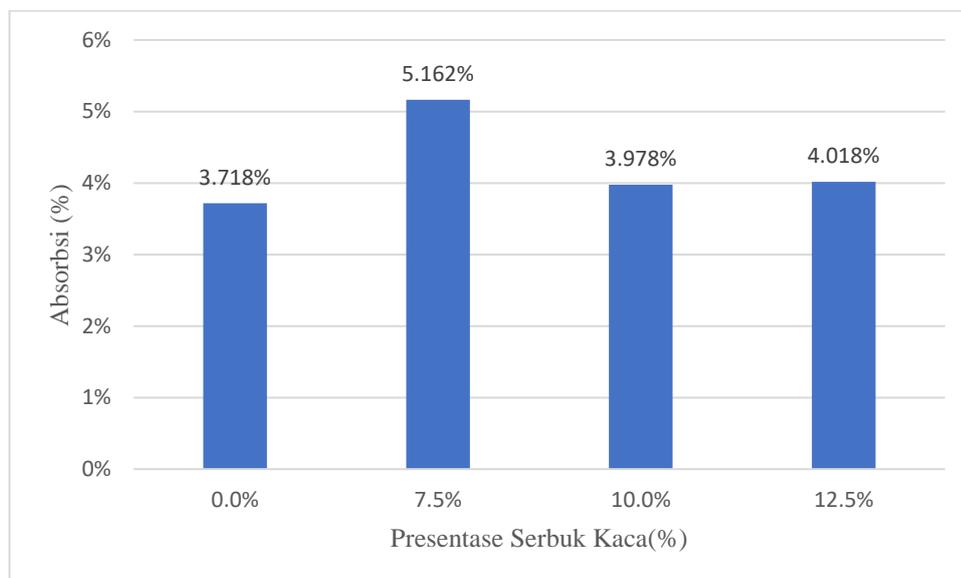
4. Absorpsi beton variasi serbuk kaca 12,5%

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{W^1 - W^2}{W^2} \times 100\% \\
 &= \frac{8,243 - 7,882}{8,243} \times 100\% \\
 &= 4,212\%
 \end{aligned}$$



Tabel 5.25 Rekapitulasi Pengujian Absorpsi Beton

No	Kode Benda Uji	Serbuk Kaca	Berat Awal (Kg)	Berat Setelah Perendaman	Berat Kering Oven (Kg)	Berat Setelah Perendaman (Kg)	Presentase Absorpsi	Rerata Presentase Absorpsi
1	BN-11	0,0%	8,418	8,538	8,264	8,506	2,928%	3,718%
2	BN-12		8,282	8,402	8,202	8,376	2,121%	
3	BN-13		8,369	8,483	8,282	8,457	2,113%	
4	BN-14		8,298	8,414	7,794	8,374	7,442%	
5	BN-15		8,266	8,383	8,027	8,347	3,987%	
6	BK2-11	7,5%	8,463	8,567	8,043	8,522	5,955%	5,162%
7	BK2-12		8,353	8,456	7,910	8,407	6,283%	
8	BK2-13		8,264	8,364	7,911	8,329	5,284%	
9	BK2-14		8,347	8,455	7,987	8,417	5,384%	
10	BK2-15		8,216	8,32	8,059	8,293	2,904%	
11	BK3-11	10,0%	8,211	8,311	7,89	8,278	4,918%	3,978%
12	BK3-12		8,109	8,455	7,823	8,177	4,525%	
13	BK3-13		7,815	7,915	7,612	7,888	3,626%	
14	BK3-14		8,155	8,253	7,942	8,226	3,576%	
15	BK3-15		7,913	8,01	7,733	7,984	3,246%	
16	BK4-11	12,5%	7,806	7,926	7,743	7,893	1,937%	4,018%
17	BK4-12		8,01	8,124	7,706	8,092	5,009%	
18	BK4-13		8,055	8,177	7,792	8,145	4,530%	
19	BK4-14		7,917	8,04	7,677	8,015	4,403%	
20	BK4-15		8,122	8,243	7,882	8,214	4,212%	



Gambar 5.14 Grafik Hubungan Antara Presentase Serbuk Kaca dengan Nilai Absorpsi

Berdasarkan Tabel 5.25, didapatkan nilai absorpsi beton rata – rata pada setiap variasi serbuk kaca 0%, 7,5%, 10% dan 12,5% secara berturut – turut sebesar 3,718%, 5,162%, 3,978% dan 4,018%. Nilai absorpsi terbesar terdapat pada presentase serbuk kaca 7,5% sebesar 5,162% dan nilai absorpsi terendah terdapat pada presentase serbuk kaca 12,5% sebesar 4,018%. Selain itu, berdasarkan Gambar 5.14 menunjukkan bahwa serbuk kaca cukup mempengaruhi nilai absorpsi beton. Nilai absorpsi beton dengan substitusi serbuk kaca lebih tinggi dari pada nilai absorpsi beton kontrol. Hal ini bisa disebabkan oleh nilai serap air pada serbuk kaca. Hasil pengujian penyerapan air pada serbuk kaca mencapai 3,8%. Nilai penyerapan air pada serbuk kaca bahkan jauh lebih tinggi dari nilai penyerapan air pada agregat halus sebesar 1,6%. Selain itu, hal ini bisa disebabkan karena tingkat pemadatan yang tidak konsisten. Semakin tinggi presentase serbuk kaca maka semakin rendah nilai *slump* yang didapatkan, hal ini menyebabkan proses pemadatan tidak baik. Selain itu, hal ini juga bisa disebabkan oleh serbuk kaca yang memiliki nilai penyerapan air hingga 3,8%.

5.5 Perbandingan Biaya

Setelah mendapatkan proporsi campuran beton berdasarkan perhitungan *mix design* sebelumnya, maka bisa dibuat perbandingan harga semen antara beton normal dan beton dengan substitusi parsial serbuk kaca terhadap semen. Pada penelitian ini, digunakan semen PCC *Dynamix* dengan harga Rp. 55,000,00.- Berikut ini merupakan tabel perbandingan antara harga semen yang digunakan pada beton normal dan beton dengan substitusi parsial serbuk kaca terhadap semen untuk setiap 1 m³.

Tabel 5.26 Perbandingan Harga Penggunaan Semen

Material	Keterangan	Berat (Kg)	Harga
Semen	Beton Normal	410	Rp 563,750,00
Semen	Serbuk Kaca 7,5%	379,25	Rp 521,468,75
Selisih (Rp)			Rp 42,281,25
Selisih (%)			7,50%

Berdasarkan Tabel 5.26 diatas, bisa dilihat bahwa dengan menjadikan serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen dapat menghemat semen sebanyak 30,75 Kg dengan selisih harga Rp. 42,282,25.- setiap m³.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan Bab V Pembahasan Hasil Pengujian diatas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi parsial terhadap semen pada nilai kuat tekan kuat tarik belah beton yaitu semakin menurun. Semakin tinggi presentase serbuk kaca maka nilai kuat tekan dan kuat tarik beton akan semakin menurun. Hal ini diperkuat dengan koefisien korelasi hubungan nilai kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton secara berturut - turut sebesar 0,6328 dan 0,5632 dengan tingkat hubungan kuat dan sedang. Selain itu, untuk hasil pengujian absorpsi beton menunjukkan bahwa presentase absorpsi beton dengan variasi serbuk kaca lebih tinggi dari pada presentase absorpsi beton normal.
2. Nilai kuat tekan, tarik belah dan presentase absorpsi beton kontrol didapatkan sebesar 28,610 Mpa dan 2,567 Mpa dan 3,718%. Nilai kuat tekan beton dengan variasi serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen dengan variasi 0%, 7,5%, 10% dan 12,5% secara berturut – turut sebesar 28,610 Mpa, 17,629 Mpa, 2,341 Mpa dan 19,615 Mpa. Sedangkan nilai kuat tarik belah beton secara berturut – turut sebesar 2,567 Mpa, 2,541 Mpa, 2,341 Mpa, 1,714 Mpa. Selain itu untuk presentase absorpsi beton secara berturut – turut sebesar 3,718%, 5,162%, 3,978% dan 4,018 Mpa.
3. Pada beton dengan variasi serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen didapatkan nilai kuat tekan dan tarik belah beton tertinggi pada variasi serbuk kaca 7,5% secara berturut – turut sebesar 27,629 Mpa dan 2,541 Mpa. Nilai kuat tekan ini sudah melewati mutu rencana sebesar 25 Mpa namun masih dibawah nilai kuat tekan beton normal. Sedangkan untuk nilai kuat tekan dan tarik belah beton terendah dengan variasi serbuk kaca

didapatkan pada variasi 12,5% secara berturut – turut sebesar 19,615 Mpa dan 1,714 Mpa.

Nilai presentase absorpsi pada beton kontrol didapatkan sebesar 3,718%. Nilai presentase absorpsi beton terendah dengan variasi serbuk kaca didapatkan pada variasi 10% sebesar 3,978%. Sedangkan untuk nilai presentase absorpsi beton tertinggi dengan variasi serbuk kaca didapatkan pada variasi 7,5% sebesar 5,162%.

4. Dengan digunakannya serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen dapat menghemat sebesar Rp. 42,282,25.- dengan penggunaan presentase serbuk kaca 7,5%.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk penelitian tentang penggunaan serbuk kaca pada beton normal.

1. Perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan serbuk kaca sebagai *filler*.
2. Perlu dilakukan mengkaji atau menguji kandungan kimia dari serbuk kaca.
3. Diperlukan penggunaan bahan tambah yang bersifat *waterproofing* guna memperkecil nilai absorpsi beton.

DAFTAR PUSTAKA

Abdurrahman, S., & Larasati, D. (2013). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Bahan Baku Pengembangan Produk. *Product Design*, 2(1), 161891.

Agusri, E., & Efranda, F. (2020). Pengaruh Penambahan Fly Ash Dan Serbuk Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton K-300. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(2), 97-106.

Amrulloh, T., Riyanto, S., & Rochman, T. (2021). PENGARUH LIMBAH ABU ALUMINIUM SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DENGAN FAKTOR AIR SEMEN YANG BERBEDA PADA BETON RINGAN TERHADAP KUAT TEKAN DAN ABSORBSI. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 2(1), 97-103.

Asih, A. W. (2018). *PENGARUH SERBUK KACA SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN AGEGAT HALUS PADA BETON MUTU TINGGI The Effect of Glass Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate on the High Strenght Concrete* (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).

Darmayanti, L., Kurniawandy, A., & urzikri Rahim, B. (2012). PENGARUH PEMAKAIAN ABU INSINERATOR RUMAH SAKIT TERHADAP KUAT TEKAN, ABSORPSI, POROSITAS, DAN REMBESAN BETON. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11.

Karwur, H. Y., Tenda, R., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2013). Kuat tekan beton dengan bahan tambah serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal sipil statik*, 1(4).

Khan, F. A., Shahzada, K., Ullah, Q. S., Fahim, M., Khan, S. W., & Badrashi, Y. I. (2020). Development of environment-friendly concrete through partial addition of waste glass powder (WGP) as cement replacement. *Civil Engineering Journal*, 6(12), 2332-2343.

Lisantono, A., & Tandean, E. (2018). Pengaruh Epoxy Terhadap Sifat Mekanik Beton Dengan Bahan Tambah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 1(1), 75-84.

Nasution, A. R. (2016). *Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan* (Doctoral dissertation).

Nuryani, E. (2014). Hubungan intensitas mengakses facebook dengan motivasi belajar siswa sma negeri 2 tenggarong seberang. *Jurnal ilmu komunikasi*, 2(3), 178-192.

Purnomo, J. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton. *De'Teksi-Jurnal Teknik Sipil Unigoro*, 5(1), 49-60.

Purnomo, H., & Hisyam, E. S. (2014). Pemanfaatan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen pada campuran beton ditinjau dari kekuatan tekan dan kekuatan tarik belah beton. In *Forum Profesional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, p. 55681). Bangka Belitung University.

Purwanto, H., & Wardani, U. C. (2020). Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K225. *Jurnal Deformasi*, 5(2), 103-112.

SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 6433-2016. *Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-2491-2001. *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-2834-2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan no. 200 (0.075mm)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 1972-2008. *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI 1974-2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*.
Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Widodo, A., & Satriohadi, B. (2001). Pengaruh Tepung Kaca terhadap Kuat
Desak dan Kuat Lentur Balok Beton.





LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium BKT

Nomor : 136/Ka. Prodi/20/PSTS/V/2022
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada Yth:

Koordinator Laboratorium
Jurusan Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

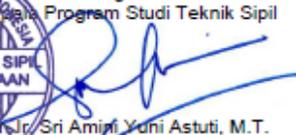
Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **Haris Ihsan Setiahutama**
NIM : **18511017**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Dosen pembimbing TA : **Elvis Saputra, S.T., M.T**
Judul Tugas Akhir : **Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Subtitusi Parsial Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Absorpsi Beton.**

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Mengetahui
Dekan Program Studi Teknik Sipil

Sri Aminji Yuni Astuti, M.T.

Yogyakarta, 12 Mei 2022

Pemohon



Haris Ihsan S
NIM: 18511017

Menyetujui
Koordinator Laboratorium



Ir. Bambang Sulistiono, MSCE

Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Elvis Saputra, S.T., M.T.

Menyetujui
Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)



Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Catatan:

Kepala laboratorium Bahan Konstruksi Teknik menyetujui permohonan mahasiswa untuk melakukan pengujian dalam rangka penyelesaian tugas akhir pada tanggal 1 Juni sampai tanggal 31 Agustus 2022

Nomor : 137/Ka. Prodi/20/PSTS/V/2022
 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada :

Yth. **Ketua Tim Satgas Covid 19**
 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Haris Ihsan Setiahutama
NIM	: 18511017
Program Studi	: Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Elvis Saputra, S.T., M.T
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Serbuk Kaca Sebagai Substitusi Parsial Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Absorpsi Beton.

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan ijin untuk memasuki lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Menyetujui
 Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Elvis Saputra, S.T., M.T

Yogyakarta, 26 April 2022
 Pemohon



Haris Ihsan S
 NIM: 18511017



Mengetahui
 Kepala Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amni Yuni Astuti, M.T.

Lampiran:

1. Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)

اجتهدوا في العلم

Lampiran 2 Hasil Pengujian Agregat Halus

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENEYERAPAN AIR PADA
AGREGAT HALUS**

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	490.00	494.00	492.00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	500.00	500.00	500.00	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1048.00	1026.00	1037.00	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	732.00	708.00	720.00	gram
Berat Jenis Curah,	2.66	2.71	2.69	
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD),	2.72	2.75	2.73	
Berat Jenis semu,	2.82	2.81	2.81	
Penyerapan Air	2.04	1.21	1.63	%

PENGUJIAN BERAT VOLUME AGREGAT HALUS

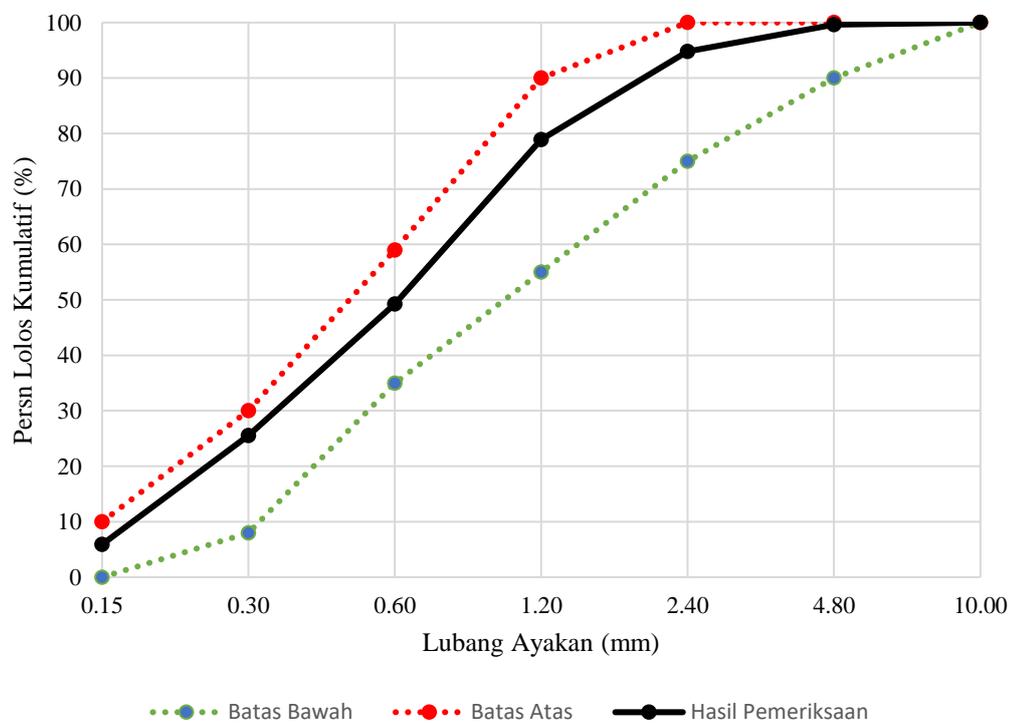
Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10157	11065	10611,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	16665	17903	17284,00	gram
Berat Agregat (W3)	6508	6838	6673,00	gram
Diameter Tabung (d)	15,10	15,10	15,10	cm
Tinggi Tabung (t)	29,80	30,10	29,95	cm
Volume Tabung (V)	5336,54	5390,27	5363,41	cm ³
Berat Volume Gembur	1,22	1,27	1,24	gram/cm ³

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Tabung (W1)	10157	11065	10611,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	17656	19008	18332,00	gram
Berat Agregat (W3)	7499	7943	7721,00	gram
Diameter Tabung (d)	15,10	15,10	15,10	cm
Tinggi Tabung (t)	29,80	30,10	29,95	cm
Volume Tabung (V)	5336,54	5390,27	5363,41	cm ³
Berat Volume Padat	1,41	1,47	1,44	gram/cm ³

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

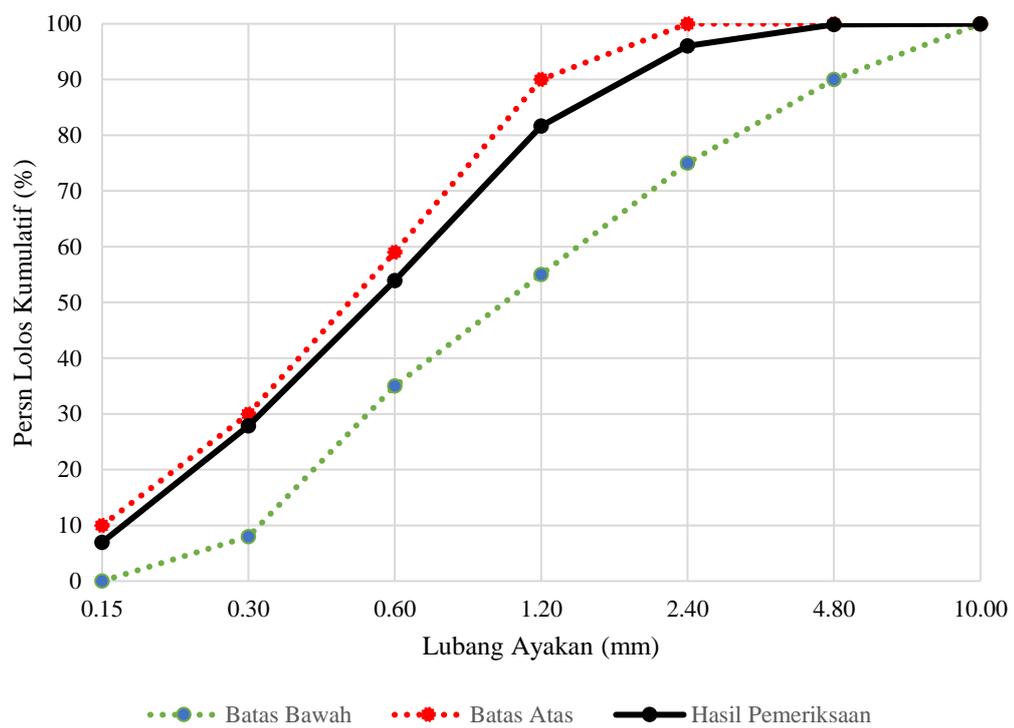
1. Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	7	0,35	0,35	99,65
2,40	97	4,86	5,21	94,79
1,20	317	15,87	21,08	78,92
0,60	592	29,64	50,73	49,27
0,30	474	23,74	74,46	25,54
0,15	392	19,63	94,09	5,91
Sisa	118	5,91	100	0
Jumlah	1997	100	245,92	



2. Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	0	0,00	0,00	100,00
10,00	0	0,00	0,00	100,00
4,80	3	0,15	0,15	99,85
2,40	76	3,81	3,96	96,04
1,20	287	14,38	18,34	81,66
0,60	554	27,76	46,09	53,91
0,30	520	26,05	72,14	27,86
0,15	417	20,89	93,04	6,96
Sisa	139	6,96	100	0
Jumlah	1996	100,00	233,72	



PENGUJIAN KADAR LUMPUR PADA AGREGAT HALUS

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500		gram
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	484	491		gram
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	3.2	1.8	2.5	%



Lampiran 3 hasil pengujian agregat kasar

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR**

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4894,00	4891,00	4892,50	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000,00	5000,00	5000,00	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3123,00	3140,00	3131,50	gram
Berat Jenis Curah, $Bk / (Bj - Ba)$	2,61	2,63	2,62	
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), $Bj / (Bj - Ba)$	2,66	2,69	2,68	
Berat Jenis semu, $Bk / (Bk - Ba)$	2,76	2,79	2,78	
Penyerapan Air $(Bj - Bk) / Bk \times 100\%$	2,17	2,23	2,20	%

PENGUJIAN BERAT VOLUME AGREGAT KASAR

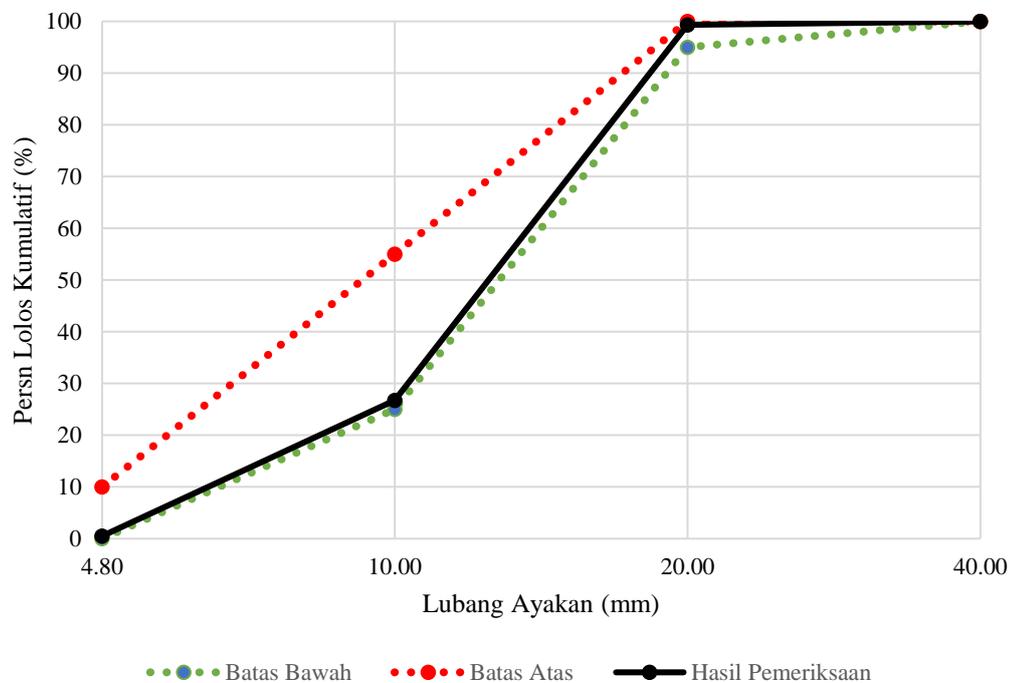
Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Diameter Tabung	15,07	15,07	15,07	Cm
Tinggi Tabung	30,08	30,08	30,08	Cm
Berat Tabung (W1)	12160	12160	12160,00	Gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	19295	19565	19430,00	Gram
Berat Agregat (W3)	7135	7405	7270,00	Gram
Diameter Tabung (d)	15,07	15,07	15,07	Cm
Tinggi Tabung (t)	30,08	30,08	30,08	Cm
Volume Tabung (V)	5362,93	5362,93	5362,93	Cm ³
Berat Volume Gembur	1,33	1,38	1,36	Gram/Cm ³

Keterangan	Hasil Pengamatan			Satuan
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata	
Diameter tabung	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi tabung	30,08	30,08	30,08	cm
Berat Tabung (W1)	12160	12160	12160,00	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	20080	20269	20174,50	gram
Berat Agregat (W3)	7920	8109	8014,50	gram
Diameter Tabung (d)	15,07	15,07	15,07	cm
Tinggi Tabung (t)	30,08	30,08	30,08	cm
Volume Tabung (V)	5362,93	5362,93	5362,93	cm ³
Berat Volume Padat	1,48	1,51	1,49	gram/cm ³

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

1. Sampel 1

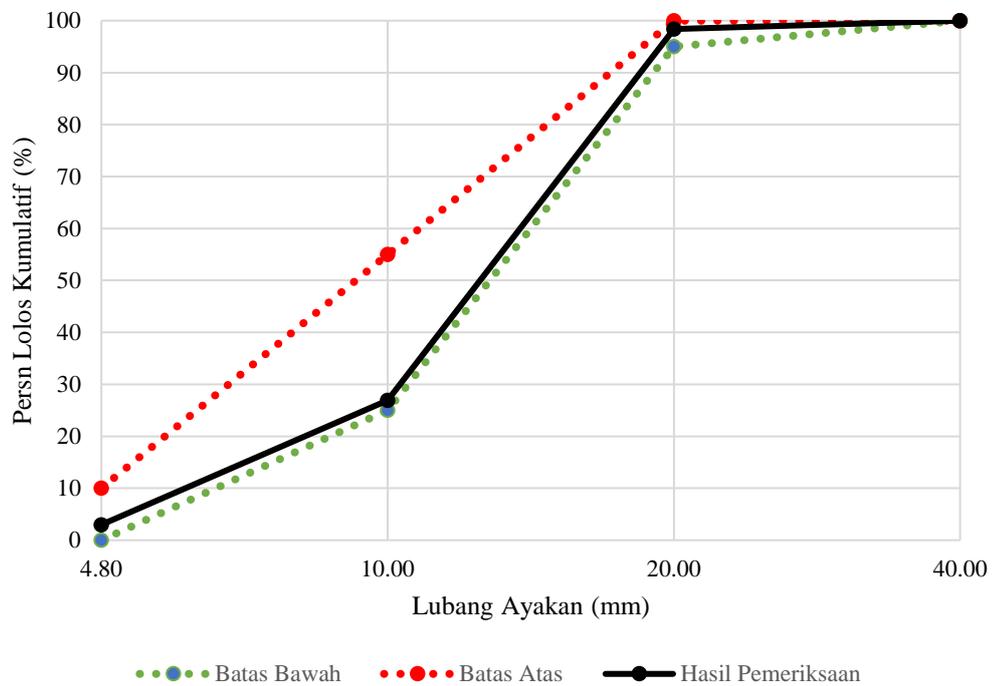
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	35	0,70	0,70	99,30
10,00	3624	72,54	73,24	26,76
4,80	1312	26,26	99,50	0,50
2,40	0	0,00	99,50	0,50
1,20	2	0,04	99,54	0,46
0,60	0	0,00	99,54	0,46
0,30	0	0,00	99,54	0,46
0,15	0	0,00	99,54	0,46
Sisa	23	0,46	100	0
Jumlah	4996	100	671,10	



2. Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0,00	0,00	100,00
20,00	80	1,60	1,60	98,40
10,00	3573	71,47	73,07	26,93
4,80	1197	23,94	97,02	2,98
2,40	122	2,44	99,46	0,54
1,20	1	0,02	99,48	0,52
0,60	0	0,00	99,48	0,52
0,30	0	0,00	99,48	0,52
0,15	0	0,00	99,48	0,52
Sisa	26	0,52	100	0
Jumlah	4999	100	669,07	

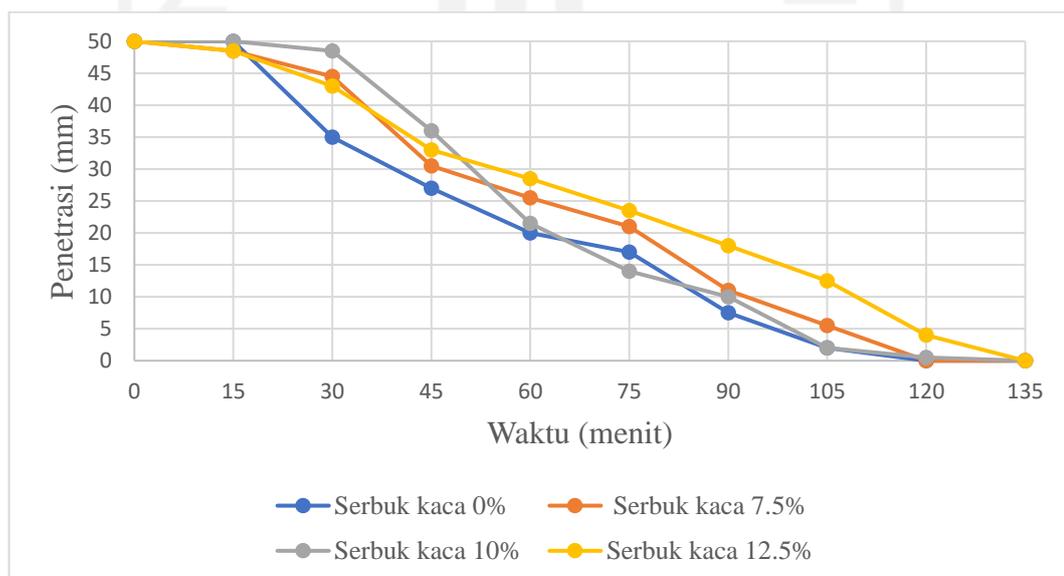
Ukuran Maksimum 20 mm Sampel 2



Lampiran 4 Hasil Pengujian Serbuk Kaca

PENGUJIAN WAKTU IKAT AWAL SEMEN DENGAN SERBUK KACA

Interval Waktu (menit)	Penetrasi (mm)			
	Serbuk kaca 0%	Serbuk kaca 7,5%	Serbuk kaca 10%	Serbuk kaca 12,5%
	0	50	50	50
15	50	48,5	50	48,5
30	35	44,5	48,5	43
45	27	30,5	36	33
60	20	25,5	21,5	28,5
75	17	21	14	23,5
90	7,5	11	10	18
105	2	5,5	2	12,5
120	0	0	0,5	4
135	0	0	0	0



**PENGUJIAN LOLOS SARINGAN NO. 200 PADA SERBUK
KACA**

Keterangan	Serbuk kaca		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Tertahan No. 200 (gram)	36	8	22
Lulus Saringan No. 200 (gram)	462	492	477
total	498	500	499
Presentase lolos Saringan No. 200	92,77%	98,40%	95,59%



PENGUJIAN PENYERAPAN AIR PADA SERBUK KACA

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Rata - Rata
Berat Serbuk Kaca (gram)	500	500	500
Berat Kering Mutlak Serbuk Kaca (gram)	482	480	481
Penyerapan air (%)	3.60%	4.00%	3.80%



Lampiran 5 Laporan Sementara Pengujian Berat Volume Beton

1. Berat volume beton silinder

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
1	BN-1	0,0%	149,700	300,500	0,00529	12,989	2455,827	2392,087
2	BN-2		150,200	303,633	0,00538	12,761	2371,950	
3	BN-3		150,633	300,700	0,00536	12,625	2355,949	
4	BN-4		148,467	297,500	0,00515	12,374	2402,566	
5	BN-5		150,100	302,133	0,00535	12,679	2371,565	
6	BN-6		150,433	305,000	0,00542	13,055	2408,236	
7	BN-7		150,800	302,733	0,00541	12,927	2390,809	
8	BN-8		150,667	304,500	0,00543	12,940	2383,542	
9	BN-9		149,967	304,300	0,00538	12,855	2391,612	
10	BN-10		150,133	302,467	0,00535	12,791	2388,817	
11	BK2-1	7,5%	150,400	304,433	0,00541	12,670	2342,604	2388,887
12	BK2-2		151,967	300,667	0,00545	12,874	2360,705	
13	BK2-3		149,800	300,900	0,00530	12,981	2447,780	
14	BK2-4		150,600	304,567	0,00543	12,977	2391,950	
15	BK2-5		149,600	301,400	0,00530	13,067	2466,491	

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
16	BK2-6		151,033	301,400	0,00540	12,756	2362,304	
17	BK2-7		150,333	301,600	0,00535	12,635	2360,171	
18	BK2-8		151,700	294,033	0,00531	12,691	2388,022	
19	BK2-9		150,567	298,100	0,00531	12,746	2401,399	
20	BK2-10		150,867	303,467	0,00542	12,843	2367,440	
21	BK3-1	10,0%	149,633	301,467	0,00530	12,895	2432,403	2359,076
22	BK3-2		150,267	306,233	0,00543	12,801	2357,090	
23	BK3-3		150,033	305,100	0,00539	12,739	2361,716	
24	BK3-4		150,233	305,233	0,00541	12,956	2394,509	
25	BK3-5		150,867	305,867	0,00547	12,721	2326,551	
26	BK3-6		150,067	302,567	0,00535	12,559	2346,798	
27	BK3-7		150,233	301,100	0,00534	12,695	2378,480	
28	BK3-8		150,033	302,467	0,00535	12,379	2314,955	
29	BK3-9		150,167	304,367	0,00539	12,586	2334,821	
30	BK3-10		150,567	302,933	0,00539	12,640	2343,433	
31	BK4-1	12,5%	150,800	303,2667	0,00542	12,395	2288,386	2277,111
32	BK4-2		152,800	304,100	0,00558	12,491	2239,980	
33	BK4-3		150,733	303,033	0,00541	12,397	2292,544	
34	BK4-4		151,567	304,867	0,00550	12,48	2268,858	

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
35	BK4-5		151,000	300,900	0,00539	12,295	2281,721	
36	BK4-6		151,200	305,333	0,00548	12,592	2296,820	
37	BK4-7		151,700	303,600	0,00549	12,493	2276,690	
38	BK4-8		151,167	301,967	0,00542	12,478	2302,417	
39	BK4-9		151,767	302,633	0,00547	12,379	2261,133	
40	BK4-10		151,533	301,267	0,00543	12,293	2262,562	

2. Berat volume kubus

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
1	BN-11	0,0%	151,033	0,00345	8,418	2443,377	2315,358097
2	BN-12		155,920	0,00379	8,282	2184,891	
3	BN-13		154,250	0,00367	8,369	2280,332	
4	BN-14		152,850	0,00357	8,298	2323,684	
5	BN-15		152,200	0,00353	8,266	2344,507	
6	BK2-11	7,5%	155,117	0,00373	8,463	2267,509	2265,898264
7	BK2-12		154,233	0,00367	8,353	2276,710	
8	BK2-13		153,200	0,00360	8,264	2298,339	
9	BK2-14		154,350	0,00368	8,347	2269,920	
10	BK2-15		154,750	0,00371	8,216	2217,014	
11	BK3-11	10,0%	152,017	0,00351	8,211	2337,343	2266,620614
12	BK3-12		153,050	0,00359	8,109	2261,868	
13	BK3-13		152,550	0,00355	7,815	2201,366	
14	BK3-14		153,367	0,00361	8,155	2260,638	
15	BK3-15		151,583	0,00348	7,913	2271,887	
16	BK4-11	12,5%	151,867	0,00350	7,806	2228,646	2246,920983
17	BK4-12		152,100	0,00352	8,010	2276,381	
18	BK4-13		153,583	0,00362	8,055	2223,480	

no	Kode Benda Uji	Serbuk kaca	Lebar (mm)	Volume (m ³)	Berat (Kg)	Berat Volume (Kg/m ³)	Rata - Rata Berat Volume (Kg/m ³)
19	BK4-14		152,667	0,00356	7,917	2224,990	
20	BK4-15		152,700	0,00356	8,122	2281,108	

Lampiran 6 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tekan Beton

no	kode benda uji	Serbuk Kaca	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat tekan rata-rata (Mpa)
1	BN-1	0,0%	149,700	17600,844	505	28,692	28,610
2	BN-2		150,200	17718,614	500	28,219	
3	BN-3		150,633	17820,999	460	25,812	
4	BN-4		148,467	17312,022	565	32,636	
5	BN-5		150,100	17695,028	490	27,691	
6	BK2-1	7,5%	150,400	17765,832	495	27,862	27,629
7	BK2-2		151,967	18137,881	420	23,156	
8	BK2-3		149,800	17624,366	510	28,937	
9	BK2-4		150,600	17813,113	545	30,595	
10	BK2-5		149,600	17577,337	485	27,592	
11	BK3-1	10,0%	149,633	17585,170	420	23,884	25,791
12	BK3-2		150,267	17734,346	490	27,630	
13	BK3-3		150,033	17679,314	480	27,150	
14	BK3-4		150,233	17726,479	480	27,078	
15	BK3-5		150,867	17876,252	415	23,215	
16	BK4-1	12,5%	150,800	17860,457	340	19,036	19,615
17	BK4-2		152,800	18337,351	252	13,742	
18	BK4-4		151,567	18042,524	390	21,616	
19	BK4-5		151,000	17907,864	390	21,778	
20	BK4-10		151,533	18034,588	395	21,902	

Lampiran 7 Laporan Sementara Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

no	kode benda uji	Serbuk Kaca	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Luas Penampang (mm)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Tarik Rata - Rata (Mpa)
1	BN-6	0,0%	150,433	305,000	17773,708	157	2,178	2,567
2	BN-7		150,800	302,733	17860,457	167	2,329	
3	BN-8		150,667	304,500	17828,887	195	2,706	
4	BN-9		149,967	304,300	17663,606	171	2,386	
5	BN-10		150,133	302,467	17702,889	231	3,238	
6	BK2-6	7,5%	151,033	301,400	17915,771	144	2,014	2,541
7	BK2-7		150,333	301,600	17750,086	215	3,019	
8	BK2-8		151,700	294,033	18074,282	187	2,669	
9	BK2-9		150,567	298,100	17805,229	192	2,723	
10	BK2-10		150,867	303,467	17876,252	164	2,280	
11	BK3-6	10,0%	150,067	302,567	17687,170	168	2,356	2,341
12	BK3-7		150,233	301,100	17726,479	156	2,195	
13	BK3-8		150,033	302,467	17679,314	155	2,174	
14	BK3-9		150,167	304,367	17710,750	189	2,633	
15	BK3-10		150,567	302,933	17805,229	168	2,345	
16	BK4-3	12,5%	150,733	303,033	17844,669	139	1,937	1,714
17	BK4-6		151,200	305,333	17955,333	152	2,096	
18	BK4-7		151,700	303,600	18074,282	108	1,493	
19	BK4-8		151,167	301,967	17947,417	113	1,576	
20	BK4-9		151,767	302,633	18090,171	106	1,469	

Lampiran 8 Laporan Sementara Pengujian Absorpsi Beton

No	Kode Benda Uji	Serbuk Kaca	Berat Awal (Kg)	Berat Setelah Perendaman	Berat Kering Oven (Kg)	Berat Setelah Perendaman (Kg)	Presentase Absorpsi	Rerata Presentase Absorpsi
1	BN-11	0,0%	8,418	8,538	8,264	8,506	2,928%	3,718%
2	BN-12		8,282	8,402	8,202	8,376	2,121%	
3	BN-13		8,369	8,483	8,282	8,457	2,113%	
4	BN-14		8,298	8,414	7,794	8,374	7,442%	
5	BN-15		8,266	8,383	8,027	8,347	3,987%	
6	BK2-11	7,5%	8,463	8,567	8,043	8,522	5,955%	5,162%
7	BK2-12		8,353	8,456	7,91	8,407	6,283%	
8	BK2-13		8,264	8,364	7,911	8,329	5,284%	
9	BK2-14		8,347	8,455	7,987	8,417	5,384%	
10	BK2-15		8,216	8,32	8,059	8,293	2,904%	
11	BK3-11	10,0%	8,211	8,311	7,89	8,278	4,918%	3,978%
12	BK3-12		8,109	8,455	7,823	8,177	4,525%	
13	BK3-13		7,815	7,915	7,612	7,888	3,626%	
14	BK3-14		8,155	8,253	7,942	8,226	3,576%	
15	BK3-15		7,913	8,01	7,733	7,984	3,246%	
16	BK4-11	12,5%	7,806	7,926	7,743	7,893	1,937%	4,018%
17	BK4-12		8,01	8,124	7,706	8,092	5,009%	
18	BK4-13		8,055	8,177	7,792	8,145	4,530%	
19	BK4-14		7,917	8,04	7,677	8,015	4,403%	
20	BK4-15		8,122	8,243	7,882	8,214	4,212%	

Lampiran 9 Gambar alat dan material**Gambar L-9.1 Kerikil Clereng****Gambar L-9.2 Pasir Merapi**



Gambar L-9.3 Serbuk Kaca



Gambar L-9.4 Mixer (Molen)



Gambar L-9.5 Sekop Kecil



Gambar L-9.6 Alat Uji *Slump*



Gambar L-9.7 Ember



Gambar L-9.8 Angkong



Gambar L-9.9 Alat Pengayak Agregat Kasar



Gambar L-9.10 Alat Pengayak Agregat Halus



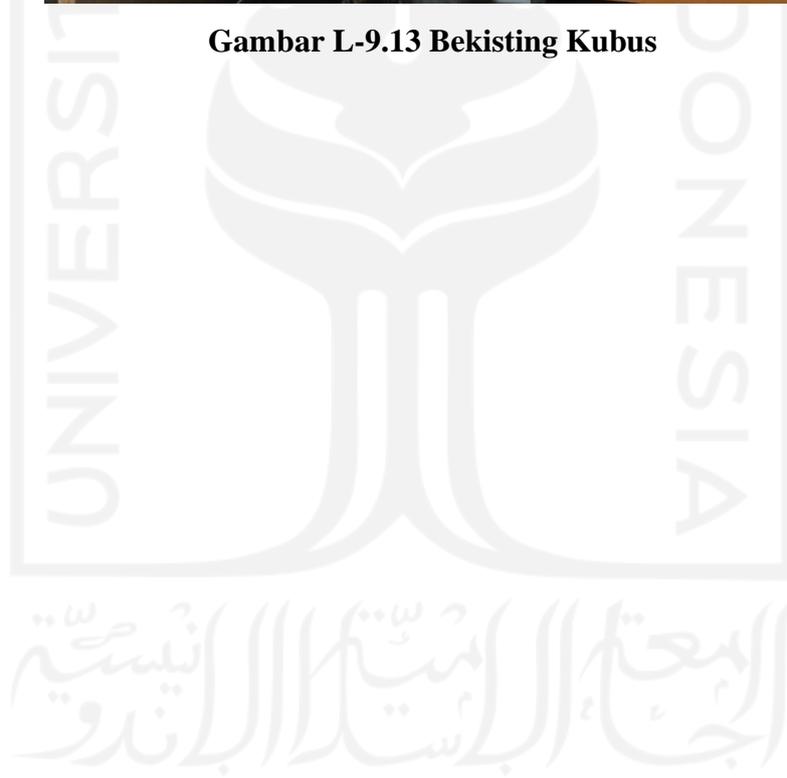
Gambar L-9.11 Alat Uji Kuat Tekan Beton



Gambar L-9.12 Bekisting Silinder



Gambar L-9.13 Bekisting Kubus



Lampiran 10 Gambar Benda Uji Setelah Dilakukan Pengujian

1. Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-10.1 Sampel BN-1 – BN 3



Gambar L-10.2 Sampel BN-4 dan BN 5



Gambar L-10.3 Sampel BK-2 – BK-3



Gambar L-10.4 Sampel BK-4 dan BK-5

الجامعة الإسلامية
الاستدراك والتطوير



Gambar L-10.5 Sampel BK3-1 – BK-3



Gambar L-10.6 Sampel BK3-4 dan BK3-5



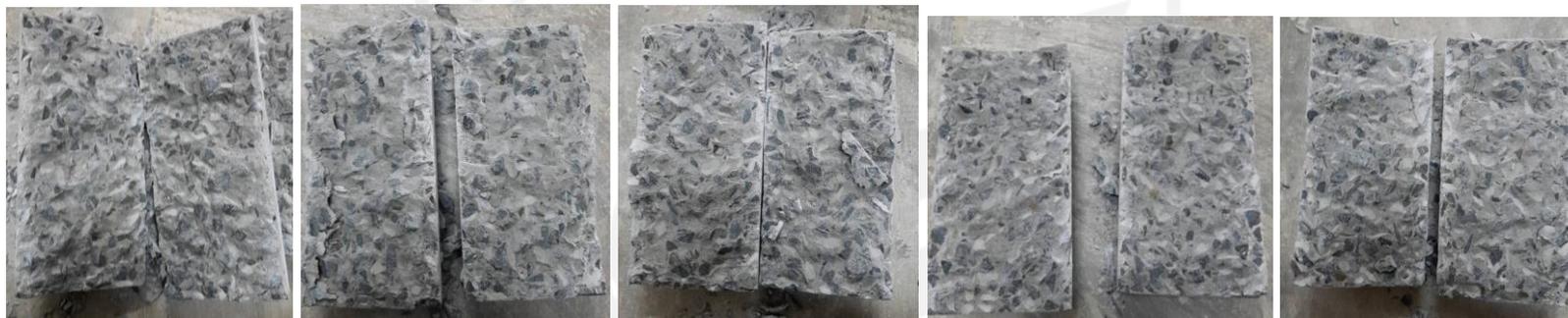
Gambar L-10.7 Sampel BK4-1 – BK4-3



Gambar L-10.8 Sampel BK4-4 dan BK4-5

UNIVERSITA
الجمهورية العربية السورية
الجامعة اللبنانية

2. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton



Gambar L-10.9 Sampel BN-1 – BN-5



Gambar L-10.10 Sampel BK2-1 – BK2-5



Gambar L-10.11 Sampel BK3-1 – BK3-5



Gambar L-10.12 Sampel BK4-1 – BK4-5