

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT
KASAR DENGAN LIMBAH GENTENG KERAMIK
TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK DAN
ABSORPSI PADA BETON BERSILICA FUME
(*THE EFFECT OF REPLACEMENT SOME SPLIT
COARSE AGGREGATE WITH WASTE CERAMIC
TILES FOR COMPRESSION TEST, TENSILE TEST
AND ABSORPTION OF CONCRETE USING
SILICA FUME*)**

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



Erdina Icha Pithaloka
14511212

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN AGREGAT KASAR DENGAN LIMBAH GENTENG KERAMIK TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK DAN ABSORPSI PADA BETON BERSILICA FUME (*THE EFFECT OF REPLACEMENT SOME SPLIT COARSE AGGREGATE WITH WASTE CERAMIC TILES FOR COMPRESSION TEST, TENSILE TEST AND ABSORPTION OF CONCRETE USING SILICA FUME*)

Disusun oleh

Erdina Icha Pithaloka
14511212

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

Diuji pada tanggal 30 Desember 2021

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Helmy Akbar Bale, Ir., M.T.

Penguji I



Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Penguji II



Astriana Hardawati S.T., M.Eng.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil




Siti Aminah Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya 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 dan aturan perundang-undangan yang berlaku.

Bogor, 30 Desember 2021
Yang membuat pernyataan,



Erdina Icha Pithaloka

(14511212)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya. Tak lupa shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW., keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya, karena keridhaan-Nya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul pengaruh penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi pada beton bersilica fume. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat di selesaikan. Berkaitan dengan ini, ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, Dr. Ir., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta,
2. Bapak Helmy Akbar Bale, Ir., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang di berikan selama penyusunan Tugas Akhir,
3. Bapak Dwi Hartanto dan Wahyu Ermawati selaku orang tua yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun imateril hingga selesainya Tugas Akhir ini,
4. Krisna Yudha Utama, ST., yang telah ikhlas mendengarkan keluh kesah dan membantu untuk menyelesaikan Tugas Akhir,
5. Saudara-saudara Teknik Sipil angkatan 2014 yang telah mendukung penelitian Tugas Akhir,
6. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Pakuan (Agung Gumilar, ST., Dio Rifqi Raka Harsono, M. Kaloka S. Putra, dan Rahmayanto Firdaus, ST.) yang telah membantu penelitian Tugas Akhir,

7. Semua pihak yang telah membantu menyelesaikan dalam penyusunan Tugas Akhir.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu segala kritik dan saran dari pembaca sangat di butuhkan. Besar harapan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Bogor, Juli 2021

Erdina Icha Pithaloka
(14511212)



DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR LAMPIRAN | x |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xi |
| ABSTRAK | xii |
| <i>ABSTRACT</i> | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2 RUMUSAN MASALAH | 3 |
| 1.3 TUJUAN PENELITIAN | 3 |
| 1.4 MANFAAT PENELITIAN | 4 |
| 1.5 BATASAN PENELITIAN | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 BETON | 6 |
| 2.2 BAHAN TAMBAH (<i>ADMIXTURE</i>) | 6 |
| 2.3 KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BETON | 7 |
| 2.3.1 KUAT TEKAN BETON | 7 |
| 2.3.1 KUAT TARIK BETON | 8 |
| 2.4 PENGGUNAAN <i>SILICA FUME</i> DALAM CAMPURAN BETON | 8 |
| 2.5 PENGGUNAAN LIMBAH GENTENG KERAMIK DALAM CAMPURAN BETON | 10 |
| 2.6 KEASLIAN PENELITIAN | 11 |
| BAB III LANDASAN TEORI | 14 |
| 3.1 BETON | 14 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2 | BAHAN PENYUSUN BETON | 16 |
| 3.2.1 | SEMEN <i>PORTLAND (PORTLAND CEMENT)</i> | 16 |
| 3.2.2 | AGREGAT | 18 |
| 3.2.3 | AIR | 21 |
| 3.3 | BAHAN TAMBAH | 22 |
| 3.2.1 | <i>SILICA FUME</i> | 23 |
| 3.2.2 | LIMBAH GENTENG KERAMIK | 24 |
| 3.4 | PENGUJIAN BETON | 25 |
| 3.4.1 | KUAT TEKAN BETON | 25 |
| 3.4.2 | KUAT TARIK BETON | 27 |
| 3.4.3 | ABSORBSI BETON | 28 |
| 3.5 | PERENCANAAN CAMPURAN BETON (<i>MIX DESIGN</i>) | 28 |
| BAB IV | METODE PENELITIAN | 38 |
| 4.1 | TINJAUAN UMUM | 38 |
| 4.2 | BENDA UJI | 38 |
| 4.3 | ALAT PENGUJIAN | 39 |
| 4.4 | TAHAPAN PENELITIAN | 41 |
| 4.5 | LOKASI PENELITIAN | 45 |
| BAB V | HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | 45 |
| 5.1 | UMUM | 45 |
| 5.2 | PROSES PEMBUATAN BENDA UJI | 45 |
| 5.3 | PEMERIKSAAN SIFAT FISIK AGREGAT KASAR | 47 |
| 5.3.1 | BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR | 48 |
| 5.3.2 | BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR | 49 |
| 5.3.3 | BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR | 50 |
| 5.3.4 | MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR | 50 |
| 5.4 | PEMERIKSAAN SIFAT FISIK AGREGAT HALUS | 53 |
| 5.4.1 | BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS | 53 |
| 5.4.2 | BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS | 54 |
| 5.4.3 | BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS | 55 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.4.4 | MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS | 56 |
| 5.4.5 | KANDUNGAN LUMPUR AGREGAT HALUS | 59 |
| 5.5 | PEMERIKSAAN SIFAT FISIK LIMBAH GENTENG KERAMIK | 60 |
| 5.5.1 | BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR LIMBAH GENTENG KERAMIK | 60 |
| 5.5.2 | MODULUS HALUS BUTIR LIMBAH GENTENG KERAMIK | 61 |
| 5.6 | <i>MIX DESIGN</i> | 64 |
| 5.7 | HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | 72 |
| 5.7.1 | NILAI <i>SLUMP</i> | 72 |
| 5.7.2 | ANALISIS KUAT TEKAN BETON | 74 |
| 5.7.3 | ANALISIS KUAT TARIK BETON | 77 |
| 5.7.4 | ANALISIS ABSORBSI BETON | 80 |
| BAB VI | KESIMPULAN DAN SARAN | 86 |
| 6.1 | KESIMPULAN | 86 |
| 6.2 | SARAN | 86 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 88 |
| | LAMPIRAN | 90 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Akan Dilakukan | 13 |
| Tabel 3.1 | Gradasi Pasir | 20 |
| Tabel 3.2 | Batas Gradasi Agregat Kasar | 21 |
| Tabel 3.3 | Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Benda Uji | 26 |
| Tabel 3.4 | Nilai Deviasi Standar untuk Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan | 29 |
| Tabel 3.5 | Faktor Pengali (k) Deviasi Standar | 29 |
| Tabel 3.6 | Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS = 0,5 | 31 |
| Tabel 3.7 | Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton | 32 |
| Tabel 3.8 | Persyaratan fas dan Jumlah Semen Minimum untuk berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus | 34 |
| Tabel 4.1 | Jumlah Benda Uji | 39 |
| Tabel 4.2 | Peralatan Pembuatan Benda Uji | 39 |
| Tabel 4.3 | Peralatan Pengujian Benda Uji | 40 |
| Tabel 5.1 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar | 48 |
| Tabel 5.2 | Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar | 49 |
| Tabel 5.3 | Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar | 50 |
| Tabel 5.4 | Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar | 51 |
| Tabel 5.5 | Gradasi Agregat Kasar | 52 |
| Tabel 5.6 | Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus | 53 |
| Tabel 5.7 | Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus | 55 |
| Tabel 5.8 | Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus | 56 |
| Tabel 5.9 | Modulus Halus Butir Agregat Halus | 57 |
| Tabel 5.10 | Gradasi Agregat Halus | 58 |
| Tabel 5.11 | Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus | 59 |
| Tabel 5.12 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik | 61 |
| Tabel 5.13 | Pengujian Modulus Halus Butir Limbah Genteng Keramik | 62 |
| Tabel 5.14 | Rekapitulasi Mix Design Beton Normal Menggunakan | |

| | |
|---|----|
| Metode SNI 03-2834-2000 | 69 |
| Tabel 5.15 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BN | 71 |
| Tabel 5.16 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BS9 | 71 |
| Tabel 5.17 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs10 | 71 |
| Tabel 5.18 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs15 | 72 |
| Tabel 5.19 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs20 | 72 |
| Tabel 5.20 Nilai <i>Slump</i> pada Penelitian | 72 |
| Tabel 5.21 Presentase Perubahan Nilai <i>Slump</i> | 73 |
| Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 75 |
| Tabel 5.23 Persentase Perubahan Kuat Tekan Rata-Rata | 76 |
| Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 78 |
| Tabel 5.25 Persentase Perubahan Kuat Tarik Belah Rata-Rata | 79 |
| Tabel 5.26 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tekan | 80 |
| Tabel 5.27 Persentase Perubahan Penyerapan Air Rata – Rata pada Benda Uji yang Diuji Tekan | 82 |
| Tabel 5.28 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tarik | 83 |
| Tabel 5.29 Persentase Perubahan Penyerapan Air Rata – Rata pada Benda Uji yg Diuji Tarik | 84 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.1 | Benda Uji Silinder Pada Pengujian Kuat Tekan | 26 |
| Gambar 3.2 | Benda Uji Silinder Pada Pengujian Kuat Tarik | 27 |
| Gambar 3.3 | Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen (FAS) | 31 |
| Gambar 3.4 | Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm | 34 |
| Gambar 3.5 | Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan | 36 |
| Gambar 4.1 | Perendaman Benda Uji (<i>Curing</i>) | 42 |
| Gambar 4.2 | <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian | 44 |
| Gambar 5.1 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar | 48 |
| Gambar 5.2 | Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar | 49 |
| Gambar 5.3 | Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar | 50 |
| Gambar 5.4 | Agregat Kasar yang Tertahan di Saringan No. 8 | 51 |
| Gambar 5.5 | Berat Saringan No. 8 | 52 |
| Gambar 5.6 | Grafik Gradasi Agregat Kasar | 53 |
| Gambar 5.7 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus | 54 |
| Gambar 5.8 | Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus | 55 |
| Gambar 5.9 | Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus | 56 |
| Gambar 5.10 | Agregat Halus yang Tertahan di Saringan No. 4 | 57 |
| Gambar 5.11 | Berat Saringan No. 4 | 58 |
| Gambar 5.12 | Grafik Gradasi Agregat Halus | 59 |
| Gambar 5.13 | Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus | 59 |
| Gambar 5.14 | Berat Pan Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus | 60 |
| Gambar 5.15 | Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik | 61 |
| Gambar 5.16 | Grafik Gradasi Limbah Genteng Keramik | 63 |
| Gambar 5.17 | Penentuan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm × Tinggi 300 mm) | 65 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 5.18 | Penentuan Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Digunakan Pada Penelitian | 67 |
| Gambar 5.19 | Penentuan Berat Isi Beton Basah yang digunakan Pada Penelitian Berdasarkan SNI 03-2834-2000 | 68 |
| Gambar 5.20 | Pengujian <i>Slump</i> | 73 |
| Gambar 5.21 | Perubahan Nilai <i>Slump</i> pada Tiap Variasi | 73 |
| Gambar 5.22 | Perubahan Nilai Kuat Tekan pada Tiap Variasi | 76 |
| Gambar 5.23 | Perubahan Nilai Kuat Tarik pada Tiap Variasi | 79 |
| Gambar 5.24 | Perubahan Nilai Absorpsi pada Beton yang Diuji Tekan | 82 |
| Gambar 5.25 | Perubahan Nilai Absorpsi pada Beton yang Diuji Tarik | 84 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|--|-----|
| Lampiran 1 | Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar | 91 |
| Lampiran 2 | Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar | 92 |
| Lampiran 3 | Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar | 93 |
| Lampiran 4 | Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar | 94 |
| Lampiran 5 | Hasil Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus | 96 |
| Lampiran 6 | Hasil Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus | 97 |
| Lampiran 7 | Hasil Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus | 98 |
| Lampiran 8 | Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus | 99 |
| Lampiran 9 | Hasil Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus | 101 |
| Lampiran 10 | Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik | 102 |
| Lampiran 11 | Hasil Pengujian Modulus Halus Butir Limbah Genteng Keramik | 103 |
| Lampiran 12 | Formulir Perencanaan Campuran Beton SNI 03-2834-2000 | 105 |
| Lampiran 13 | Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 106 |
| Lampiran 14 | Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 107 |
| Lampiran 15 | Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tekan | 108 |
| Lampiran 16 | Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tarik | 109 |
| Lampiran 17 | Dokumentasi | 110 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|----------|--|
| f_c | : Kuat tekan beton, Mpa |
| f_{cr} | : Kuat tekan rata-rata pada perencanaan campuran beton |
| f_{ct} | : Kuat tarik beton, MPa |
| PC | : <i>Portland cement</i> |
| C3S | : Trikalsium Silikat |
| C2S | : Dikalsium Silikat |
| C3A | : Trikalsium Aluminat |
| C4AF | : Tetrakalsium Aluminoforit |
| Cl | : Klorida |
| CH | : <i>Calcium Hydroxide</i> |
| CSH | : <i>Calcium Silica Hydroxide</i> |
| A | : Luas tampang, mm ² |
| CTM | : <i>Compression Testing Machine</i> |
| W | : Rasio Total Berat Air |
| D | : Faktor Air Semen, Rasio Berat Air dan Semen |
| P | : Beban Maksimum, N |
| fas | : Diameter Benda Uji, mm |
| BN | : Beton Normal |
| BS9 | : Beton Normal Campuran 9% <i>Silica Fume</i> |
| BGs10 | : Beton Campuran 9% <i>Silica Fume</i> penggantian Limbah Genteng Keramik 10% |
| BGs15 | : Beton Campuran 9% <i>Silica Fume</i> Penggantian Limbah Genteng Keramik 15% |
| BGs20 | : Beton Campuran 9% <i>Silica Fume</i> penggantian Limbah Genteng Keramik 20% |

ABSTRAK

Pada umumnya beton terdiri dari tiga penyusun utama yaitu semen, air dan agregat, baik agregat halus dan agregat kasar. Namun jika diperlukan, penambahan bahan tambah (*admixture*) dapat menjadi solusi untuk mengubah karakteristik-karakteristik dari beton. Dalam penelitian ini terdapat dua bahan tambah yaitu *silica fume* dan limbah genteng keramik.

Persentase *silica fume* yang digunakan sebesar 9% dari berat semen. Lalu bahan tambah lainnya adalah limbah genteng keramik yang akan mengganti sebagian agregat kasar dengan persentase 10%, 15% dan 20%. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh limbah genteng keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton yang menggunakan *silica fume* sebanyak 9% serta mengetahui persentase kadar limbah genteng keramik optimal pada campuran beton bersilica *fume*. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran Ø 15 cm dan tinggi 30 cm sebanyak 50 sampel dengan 5 variasi, beton normal, campuran beton menggunakan *silica fume* 9%, campuran beton menggunakan *silica fume* 9% serta menambahkan limbah genteng keramik dengan kadar 10%, 15% dan 20%. Setelah 28 hari setiap varian terdapat 10 benda uji, 5 benda uji diuji kuat tekan dan 5 benda uji diuji kuat tarik serta semua benda uji dilakukan uji absorpsi atau penyerapan air. Perancangan campuran beton menggunakan metode SNI 03-2834-2000.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan optimum terdapat pada campuran beton dengan penambahan *silica fume* 9% yaitu sebesar 13,982 MPa, kuat tarik optimum sebesar 1,826 MPa pada campuran beton dengan penambahan 9% *silica fume* juga, lalu nilai absorpsi optimum terdapat pada campuran beton dengan penambahan 9% *silica fume* dan 20% limbah genteng keramik. Pengaruh limbah genteng keramik pada beton yaitu menghasilkan kuat tekan dan tarik yang rendah dan nilai absorpsi yang tinggi. Sedangkan *silica fume* mampu meningkatkan kekuatan pada beton.

Kata Kunci : *silica fume*, limbah genteng keramik, beton, kuat tekan, kuat tarik, absorpsi

ABSTRACT

In general, concrete consists of three main components, namely cement, water and aggregate, both fine aggregate and coarse aggregate. However, if necessary, the addition of additional materials (admixture) can be a solution to change the characteristics of the concrete. In this study, there were two added materials, namely silica fume and ceramic tile waste.

The percentage of silica fume used is 9% by weight of cement. Then the other added material is ceramic tile waste which will replace some of the coarse aggregate with a percentage of 10%, 15% and 20%. The purpose of this study was to determine the effect of ceramic tile waste on the compressive strength, tensile strength and absorption value of concrete using silica fume as much as 9% and to determine the optimal proportion of berlatuika in the tile camp. The test specimens used are cylindrical with a size of 15 cm and a height of 30 cm as many as 50 samples with 5 variations, normal concrete, concrete mixture using 9% silica fume, concrete mixture using silica with 9% silica fume and mediating 10% waste and mediating waste. 15% and 20%. After 28 days for each variant there were 10 test objects, 5 objects tested for compressive strength and 5 objects tested for tensile strength and all test objects were tested for absorption or water absorption. The design of the concrete mix used the SNI 03-2834-2000 method.

The results showed that the optimum compressive strength was found in the concrete mixture with the addition of 9% silica fume which was 13,982 MPa, the optimum tensile strength was 1,826 MPa in a large concrete mixture with a size of 13,982 MPa, the optimum tensile strength was 1,826 MPa in a mixture of concrete with concrete with juna added 9% silica f^o silica fume and 20% ceramic tile waste. The effect of ceramic tile waste on concrete is that it produces low compressive and tensile strengths and high absorption values. While silica fume can increase the strength of the concrete.

Keywords: silica fume, ceramic tile waste, concrete, compressive strength, tensile strength, absorption

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dan era globalisasi mengakibatkan bidang konstruksi semakin berkembang sehingga saat ini tidak sulit untuk menemukan berbagai macam inovasi yang memodifikasi bahan-bahan konstruksi untuk membuat suatu campuran beton.

Beton merupakan campuran yang terdiri atas semen, air dan agregat serta bahan tambah jika diperlukan dengan perbandingan tertentu. Untuk memperoleh kualitas dan mutu beton yang baik selain dari semen dan air yang digunakan, juga tergantung pada agregat. Agregat adalah komponen beton yang paling berperan dalam menentukan sifat dan kualitas beton karena mengisi sekitar 70-75% dari total volume beton. Yang terdiri dari sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan. Berdasarkan cara didapatnya agregat terbagi menjadi dua yaitu, agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami terbentuk berdasarkan aliran air sungai berbentuk bulat dan licin, sedangkan agregat alami yang terbentuk dari proses degradasi (perubahan gradasi akibat pecahnya butir-butir agerгат), berbentuk kubus, bersudut dan permukaannya kasar. Kemudian, agregat buatan diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik atau mesin pemecah batu (*crusher stone*) yang terkontrol sehingga dapat membentuk agregat sesuai dengan bentuk yang digunakan.

Salah satu contoh agregat buatan yaitu agregat yang berasal dari tanah liat yang dibakar. Sama halnya seperti pecahan genteng keramik. Genteng keramik terbuat dari tanah liat dan kaolin yang dicampur dengan pasir kuarsa. Setelah proses pencampuran dan pencetakan selesai, genteng diberi lapisan tambahan bernama glasur yang terdiri dari beberapa bahan tanah atau batuan silikat dimana apabila bahan-bahan tersebut dibakar dengan suhu $\pm 1100^{\circ}\text{C}$ selama 16-17 jam akan melebur dan membentuk lapisan tipis seperti gelas yang melekat pada satu permukaan dengan genteng. Semakin panas pembakaran yang dilakukan, maka

genteng akan menjadi genteng keramik yang lebih kuat dan tidak mudah retak atau pecah.

Namun genteng keramik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila limbahnya tidak dapat dikelola dengan baik. Limbah genteng keramik merupakan sampah anorganik yang tidak dapat diurai dengan alam atau mikroorganisme secara keseluruhan. Sementara, sebagian lainnya dapat diuraikan dalam waktu yang lama hingga bertahun-tahun. Limbah ini berasal dari hasil sortir pabrik genteng keramik yang tidak dapat digunakan sebagaimana mestinya akibat ketidaksempurnaan dan tidak layak untuk dijual, maupun dari bongkaran bangunan karena berubahnya fungsi bangunan lama menjadi baru yang biasanya dibuang begitu saja. Agar limbah genteng keramik tidak terbuang, maka penulis memanfaatkan limbah genteng keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dikarenakan sifat pecahan genteng keramik dan agregat kasar hampir sama yaitu mempunyai sifat keras serta penggunaan limbah keramik pada campuran beton dapat mengurangi ketergantungan penggunaan agregat kasar sekaligus dapat memunculkan beton dengan inovasi ramah lingkungan karena memanfaatkan limbah.

Penambahan limbah genteng keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam presentase tertentu, akan mengalami penurunan kekuatan pada beton. Dikarenakan kadar keausan limbah genteng cukup besar, daya serap yang tinggi, dan permukaan genteng keramik yang licin, maka akan berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan. Untuk itu, perlu perlakuan khusus agar campuran beton mengalami peningkatan kuat tekan, dengan menambahkan *silica fume* sebagai *additive* yang sangat efektif untuk meningkatkan kepadatan, daya tahan dan kuat tekan pada beton.

Silica fume merupakan hasil produksi dari reduksi kuarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik. Bahan tambah ini merupakan bahan yang sangat halus, berbentuk bulat dengan diameter 1/100 kali diameter semen sehingga dapat mengisi rongga-rongga pada beton. *Silica fume* digunakan sebagai bahan tambah yang efektif untuk meningkatkan kuat tekan beton dengan kadar yang direkomendasikan oleh PT. Sika Indonesia adalah 5-15% dari berat semen. Namun PT. Sika Indonesia tidak memberikan kadar optimum untuk penggunaan

silica fume ini. Beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa kuat tekan maksimum yang dihasilkan beton *bersilica fume* terdapat pada kadar 9% dari berat semen, setelah itu mengalami penurunan kekuatan. Dalam penelitian ini penulis menentukan kadar penambahan *silica fume* sebesar 9% terhadap berat semen.

Dikarenakan belum ada penelitian mengenai pengaruh limbah genteng keramik dan *silica fume* terhadap karakteristik beton yang diperkuat dengan penjelasan diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh limbah genteng keramik dan *silica fume* yang akan ditinjau dari segi kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh limbah genteng keramik pengganti sebagian agregat kasar terhadap kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton yang menggunakan *silica fume* sebanyak 9%?
2. Berapa persen kadar limbah genteng keramik pengganti sebagian agregat kasar pada campuran beton yang menggunakan *silica fume* sebanyak 9% untuk mendapatkan mutu beton yang optimum?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh limbah genteng keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton yang menggunakan *silica fume* sebanyak 9%.
2. Mengetahui persen kadar limbah genteng keramik pada campuran beton yang menggunakan *silica fume* sebanyak 9% untuk mendapatkan mutu beton yang optimum.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan nilai kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi optimum dengan menggunakan limbah genteng keramik dan *silica fume* sebanyak 9%.

2. Mengurangi limbah genteng keramik agar tidak menimbulkan pencemaran tanah dan berdampak buruk bagi masyarakat sekitar.
3. Menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang akan membahas masalah penggunaan limbah genteng keramik dan *silica fume* jika akan dikombinasikan dengan menggunakan bahan-bahan lainnya untuk mencapai mutu beton yang lebih optimum.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Limbah genteng keramik yang digunakan dalam penelitian ini, merk KIA dengan ukuran maksimum 40 mm.
2. Kadar limbah genteng keramik yang digunakan adalah 0%, 10%, 15% dan 20% dari berat agregat kasar.
3. Merk dagang *silica fume* yang digunakan adalah *silica fume* dengan kadar 9% dari berat semen.
4. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Gunung Rumpin.
5. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland*, merek semen Dynamix kemasan 40 kg.
6. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir Cimangkok dari Pusat Pasir ABA, Menteng, Bogor yang *disupplay* dari Sukabumi.
7. Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari saluran air pada Laboratorium Mekanika Tanah – Beton – Hidrolika, Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat.
8. Cetakan beton yang digunakan adalah silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
9. Pengujian benda uji dilakukan setelah mencapai umur 28 hari.
10. Pengujian yang akan dilakukan berupa uji kuat tekan, uji tarik dan absorpsi pada beton.
11. Kuat tekan beton normal ($f'c$) yang direncanakan adalah 22 Mpa.
12. Beton yang direncanakan akan digunakan di luar ruangan bangunan dan tidak terlindung dari hujan dan terik matahari.
13. Pengaruh suhu, udara dan faktor lain diabaikan.

14. Pelaksanaan pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah – Beton – Hidrolika, Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat.
15. Alat pengujian kuat tekan serta kuat tarik yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah – Beton – Hidrolika, Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat.
16. Jumlah *sample* yang akan diuji kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi sebanyak 50 *sample*.
17. Perawatan beton silinder beton dilakukan dengan merendamkan alat uji ke dalam air selama 28 hari.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI-2847-2013, beton (*concrete*) adalah campuran semen *portland* (PC) atau semen hidraulis lainnya, agregat halus, agregat kasar, air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*). Bahan tambah dapat berupa bahan kimia atau bahan non kimia. Campuran beton tersebut pada awalnya berbentuk plastis, jika dituang ke dalam cetakan dan kemudian dibiarkan akan mengeras.

Asroni (2010) menyimpulkan bahwa secara sederhana beton dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Kadang pula ditambahkan campuran bahan lain (*admixtures*) untuk memperbaiki kualitas beton.

Tjokrodimuljo (1996) menjelaskan bahwa kekuatan, keawetan dan sifat-sifat beton yang lain tergantung pada sifat-sifat bahan dasar pembentuknya, nilai perbandingan bahannya, cara pengadukannya maupun cara pengerjaannya selama penuangan adukan beton, cara pematatannya dan perawatannya selama proses pengerasan.

Beton dapat memiliki kuat tekan yang sangat tinggi, tetapi mempunyai kuat tarik yang lebih rendah yaitu sekitar 9-15% dari kuat tekannya. Dengan kondisi seperti itu, maka beton dapat diperkuat dengan baja tulangan sehingga terbentuk struktur komposit yang kemudian disebut sebagai beton bertulang (Moenir, 2012).

2.2 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah atau *admixture* merupakan material selain air, agregat halus, agregat kasar, dan semen hidrolis yang dicampurkan dalam beton atau mortar yang ditambahkan sebelum atau selama pengadukan berlangsung. Bahan tambah digunakan untuk memodifikasi sifat dan karakteristik beton.

Untuk keperluan tertentu terkadang campuran beton perlu ditambahkan bahan tambah berupa zat-zat kimia tambahan dan mineral tambahan. Penambahan zat-zat kimia atau mineral tambahan ini diharapkan dapat merubah performa dan

sifat-sifat campuran beton yang sesuai dengan kondisi dan tujuan yang diinginkan.

Menurut Imran (2006) dikutip dalam Mariani dkk (2009), *admixture* adalah bahan yang ditambahkan pada campuran beton untuk memodifikasi sifat dan karakteristik pada beton. Berdasarkan sifatnya, bahan tambah dibagi menjadi *admixture* kimia (*chemical admixture*) dan *admixture* mineral (*mineral admixture*). Admixture kimia lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan, sedangkan *admixture* mineral lebih banyak digunakan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton dan lebih bersifat penyemenan.

Di dalam SK SNI S-18-1990-03 dijelaskan bahwa bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya.

Penambahan bahan tambah dalam sebuah campuran beton tidak mengubah komposisi yang besar dari bahan lainnya, karena penggunaan bahan tambah ini cenderung merupakan pengganti atau substitusi sebagian bahan penyusun beton. Maka kecenderungan perubahan komposisi pada berat volume tidak terasa secara langsung dibandingkan dengan komposisi awal beton tanpa bahan tambah.

2.3 Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton

2.3.1 Kuat Tekan Beton

Menurut SNI 2847-2013, kuat tekan beton adalah beban tiap satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton dibandingkan dengan sifat-sifat lainnya.

2.3.2 Kuat Tarik Beton

Menurut SNI 2847-2013, kuat tarik beton dapat diperoleh dari beberapa percobaan yaitu percobaan kuat tarik melalui uji lentur beton, kuat tarik belah dan kuat tarik langsung. Namun pengujian kuat tarik langsung sulit untuk dilakukan karena belum tersedianya peralatan dan mesin yang memadai untuk melakukan pengujian. Biasanya benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tarik lentur adalah balok dengan dimensi tertentu, kemudian diuji dengan menggunakan

mesin uji lentur. Untuk kuat tarik belah, benda uji yang digunakan adalah silinder yang ditekan pada sisi memanjangnya.

2.4 Penggunaan *Silica Fume* dalam Campuran Beton

Menurut Pujianto *et al* (2008) *silica fume* adalah hasil produksi sampingan reduksi kuarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik tinggi dalam pembuatan campuran silikon atau ferro silikon. *Silica fume* ini mengandung kadar SiO_2 yang tinggi.

Silica fume berwarna abu-abu, diameter butiran sekitar $0,1 \mu\text{m}$ dengan *specific surface* $20.000 \text{ m}^2/\text{kg}$, seperseratus kali lebih halus daripada semen, berat jenis *silica fume* sebesar 2,2 dan berat volumenya sebesar $200\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ (Burge, 1988).

Surya Sembayang (2011) telah melakukan penelitian tentang sifat-sifat mekanik beton alir mutu tinggi dengan *silica fume* sebagai bahan tambahan. Perencanaan campuran beton pada penelitian tersebut menggunakan metode ACI 211-4R-1993 yang dikombinasikan dengan metode Hashimoto. Adukan beton terdiri dari lima variasi yaitu menggunakan *silica fume* sebesar 0, 3, 6, 9, 12 dan 15%. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh secara umum semakin besar kadar *silica fume* pada adukan beton maka kelecakan beton semakin berkurang. Kuat tekan beton alir bersilica *fume* pada umur 7, 14 dan 28 hari secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton normal tanpa *silica fume* dengan umur beton yang sama. Kuat tekan optimum beton bersilica *fume* sebesar 51,35 Mpa.

Penelitian yang dilakukan oleh Ermiyati (2011) mengenai pengaruh penambahan *silica fume* pada campuran *paving block* terhadap karakteristik *paving block*. Perencanaan *mix design paving block* yang digunakan yaitu metode proktor. Dimana persentasi *silica fume* yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15 dan 20% dari berat semen. Benda uji yang digunakan adalah kubus berukuran $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}$ untuk pengujian kuat tekan dan untuk pengujian penyerapan air, benda uji yang digunakan adalah balok dengan dimensi $21 \times 10,5 \times 8 \text{ cm}$, total benda uji yang dibuat adalah 75 *sample*. Hasil dari penelitian tersebut kuat tekan berturut-turut dengan menambahkan *silica fume* sebesar 0, 5, 10, 15 dan 20% dari berat semen adalah 36,5 MPa; 40 MPa; 39,5 MPa; 37,6 MPa; dan 36,9 Mpa. Dan untuk

uji penyerapan air beton berturut-turut dengan menambahkan *silica fume* sebesar 0, 5, 10, 15 dan 20% dari berat semen yaitu 1,93%; 1,77%; 1,89%; dan 1,91%. Kuat tekan tertinggi dan penyerapan air yang paling rendah yaitu pada *paving block* dengan penambahan 5% *silica fume* sebesar 40 MPa dan 1,77%.

Penelitian yang dilakukan Nadia dan Anwar (2011) mengenai pengaruh kadar silika pada agregat halus campuran beton terhadap peningkatan kuat tekan. Jumlah *sample* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 16 *sample* dimana jumlah tersebut terbagi atas 4 variasi sesuai dengan umur uji kuat tekan beton yaitu 7, 14, 21, dan 28 hari. Terdapat 3 kategori pasir yang digunakan yaitu pasir mundu ($\text{SiO}_2 > 40\%$), pasir cileungsi (SiO_2 20-40%), dan pasir cianjur ($\text{SiO}_2 < 20\%$). Hasil penelitiannya menyatakan bahwa makin tinggi kandungan SiO_2 dalam pasir maka kuat tekan beton yang dihasilkan lebih tinggi daripada kuat tekan campuran beton dengan pasir yang kandungan silikanya lebih rendah.

Susilo, Dwi (2013) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *silica fume* pada beton ringan. Dengan menambahkan *silica fume* sebesar 0, 3, 6, 9, 12 dan 15% dari berat semen pada umur rencana 28 hari. Diperoleh kuat tekan beton maksimum sebesar 21,20 Mpa dengan bahan penambahan 9% *silica fume*, lalu turun pada penambahan 12% *silica fume* dari berat semen dengan kuat tekan sebesar 18,072 MPa.

2.5 Penggunaan Limbah Genteng Keramik dalam Campuran Beton

Penggunaan limbah menjadi salah satu pokok bahasan para ahli untuk mengurangi jumlah material alam yang digunakan serta memanfaatkan limbah sebagai bahan daur ulang. Dalam penelitian yang dilakukan penulis ini menggunakan salah satu limbah yaitu limbah genteng keramik.

Goetomo dkk (2013) melakukan penelitian tentang studi ekperimental penggunaan limbah pecahan keramik sebagai pengganti agregat kasar dalam perancangan campuran beton. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ACI modifikasi dengan menggunakan limbah pecahan keramik sebagai agregat kasar. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. dari hasil penelitian tersebut didapatkan kuat tekan beton normal sebesar 26,093 MPa pada umur 28 hari dan beton dengan menggunakan limbah keramik sebesar 15,366 MPa.

Pada penelitian Mersyanti (2007) ingin mengetahui peningkatan mutu beton K-175 terhadap penambahan limbah pecahan genteng keramik. Variasi penambahan limbah genteng yaitu sebesar 0 sampai dengan 40% dari berat agregat kasar. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Dari hasil penelitian diperoleh, kuat tekan beton dengan campuran biasa sebesar 210,3019 kg/cm² dimana memenuhi karakteristik beton K-175 yang direncanakan. Sedangkan pada campuran beton yang menggunakan limbah genteng keramik menghasilkan kuat tekan sebesar 148,1169 kg/cm², nilai ini tidak memenuhi karakteristik beton K-175 yang direncanakan.

Penelitian yang dilakukan Warsiti (2011) berjudul “Pengaruh Pemakaian Limbah Genteng Beton Terhadap Mutu Beton Sedang”, bertujuan untuk mengetahui persentase kadar pecahan genteng beton terhadap agregat kasar sehingga tidak akan mempengaruhi mutu kuat tekan beton, mengkaji hubungan antara persentase pemakaian pecahan genteng beton sebagai bahan pengganti agregat kasar dengan mutu beton yang dihasilkan dan mengevaluasi seberapa pengaruh kekerasan pecahan genteng beton terhadap kuat tekan beton. Penambahan variasi genteng beton yaitu sebesar 0, 10, 20, 30, 40, dan 50% dari berat agregat kasar. Pengujian kuat tekan ditentukan pada beton umur 28 hari. Dari hasil penelitian yang diperoleh, secara umum semakin banyak pecahan genteng beton yang digunakan semakin kecil kuat tekan beton yang dihasilkan. Kadar pecahan genteng yang tidak mempengaruhi besarnya kuat tekan beton besarnya adalah 20% dari berat agregat kasar pada campuran beton.

Pada penelitian Soemantoro (2000) yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Pada Beton” ingin mengetahui karakteristik beton dengan memanfaatkan limbah genteng dengan kadar 25, 50, 75 dan 100% dari berat agregat kasar, yang meliputi uji kuat tekan, kuat tarik dan uji keausan pada beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Didapatkan dari hasil pengujian bahwa terjadi penurunan pada kadar titik tertentu dengan bertambahnya campuran limbah geteng sebagai pengganti agregat kasar. Pada kadar limbah genteng keramik sebesar 50% dari total berat agregat kasar menghasilkan kuat tekan sebesar 232,73 kg/cm² lalu mengalami penurunan pada presentase 75% sebesar 222,52 kg/cm².

2.6 Keaslian Penelitian

Pada tahun 2007, Mersyanti menguji kuat tekan beton berbentuk silinder dan kubus dengan mengganti sebagian agregat kasar menggunakan limbah genteng keramik dengan kadar antara 0-40% pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. Pada beton yang diuji kuat tekannya oleh Warsiti (2011) menggunakan limbah genteng beton dengan kadar sebesar 0, 10 20, 30, 40 dan 50% dari berat agregat kasar. Benda uji berbentuk kubus ukuran 15x15x15 cm dan umur beton 28 hari. Lalu pada penelitian yang dilakukan Dwi Susilo (2013) yaitu mengganti sebagian semen dengan menggunakan *silica fume* sebesar 0, 3, 6, 9, 12 dan 15% dengan umur beton selama 28 hari.

Penulis melakukan penelitian yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang tertera pada tinjauan pustaka di atas. Dengan menggunakan limbah genteng keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *silica fume* sebagai pengganti sebagian semen. Pengujian yang dilakukan adalah kuat tekan, kuat tarik dan absorpsi beton pada umur 28 hari. Terdapat lima variasi campuran beton yang dibuat dalam penelitian ini antara lain, beton normal (BN), beton dengan menambahkan *silica fume* sebanyak 9% dari berat semen (BS 9), beton dengan menambahkan *silica fume* sebanyak 9% dari berat semen dan mengganti sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik sebesar 10, 15 dan 20% dari berat agregat kasar (dengan kode benda uji berturut-turut BGs 10, BGs 15, BGs 20). Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran beton atau *mix design* yang sesuai dengan standar SNI-03-3834-2000. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh limbah genteng keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton bersilica fume sebesar 9% serta persentase kadar limbah genteng keramik pada campuran beton yang menggunakan *silica fume* sebesar 9% untuk mendapatkan mutu beton yang optimum. Berikut merupakan perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

| Penelitian Terdahulu | | | | | Penelitian Yang Akan Dilakukan |
|----------------------|---|--|---|--|---|
| Peneliti | Warsiti (2011) | Soemantoro (2000) | Mersyanti (2007) | Susilo, Dwi (2013) | Erdina Icha Pithaloka (2021) |
| Judul Penelitian | Pengaruh Pemakaian Limbah Genteng Beton Terhadap Mutu Beton Sedang | Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Pada Beton | Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Genteng Keramik Pada Beton K-175 | Efek Penggantian Sebagian Semen <i>Silica Fume</i> terhadap Berat Jenis dan Kuat Tekan Beton Ringan | Pengaruh Penggantian sebagian Agregat Kasar dengan Limbah Genteng Keramik terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik dan Absorpsi pada Beton Bersilica <i>Fume</i> |
| Tujuan | Untuk mengetahui kadar persen pecahan genteng beton terhadap agregat kasar sehingga tidak mempengaruhi mutu beton dan mengetahui pengaruh pecahan genteng beton dalam campuran beton. | Untuk mengetahui karakteristik beton pada kadar limbah genteng tertentu. | Untuk mengetahui peningkatan mutu beton K-175 terhadap penambahan limbah genteng keramik | Untuk mengetahui pengaruh penambahan <i>silica fume</i> terhadap berat jenis dan kuat tekan beton ringan | Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah genteng keramik terhadap beton yang menggunakan <i>silica fume</i> sebanyak 9% |
| Parameter yang Diuji | Uji kekerasan agregat, kuat tekan beton | Uji kuat tekan beton. | Uji kuat tekan beton. | Uji <i>slump</i> , berat jenis dan kuat tekan beton | Uji kuat tekan, kuat tarik dan nilai absorpsi beton. |
| Benda Uji | Kubus 15 x 15 x 15 cm | Tidak tertera | 1. Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm 2. Kubus 15 x 15 x 15 cm 3. Kubus 20 x 20 x 20 cm | Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm | Silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm |

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Antara Penelitian Terdahulu dan Penelitian yang Dilakukan

| Penelitian Terdahulu | | | | | Penelitian Yang Akan Dilakukan |
|----------------------|--|---|---|---|--|
| Peneliti | Warsiti (2011) | Soemantoro (2000) | Mersyanti (2007) | Susilo, Dwi (2013) | Erdina Icha Pithaloka (2021) |
| Varian Penelitian | Variasi limbah genteng beton sebesar 0, 10, 20, 30, 40, 50% dari berat agregat kasar dengan umur rencana 28 hari. | Variasi limbah genteng sebesar 25, 50, 75 dan 100% dengan umur rencana 28 hari. | Kadar limbah genteng antara 0-40%. Dan umur rencana untuk dilakukan pengujian adalah pada umur 3, 7, 14, 21 dan 28 hari. | Kadar <i>silica fume</i> sebesar 0, 3, 6, 9, 12 dan 15% dari berat semen pada umur rencana 28 hari. | Kadar limbah genteng keramik sebesar 0, 10, 15, 20% dan 9% <i>silica fume</i> dengan umur rencana 28 hari. |
| Hasil Penelitian | Kadar limbah genteng yang tidak mempengaruhi besarnya kuat tekan beton yaitu sebesar 20% dari total berat agregat kasar pada campuran beton. | Terjadi penurunan kuat tekan beton, pada kadar limbah genteng keramik sebesar 50% dari total berat agregat kasar menghasilkan kuat tekan sebesar 232,73 kg/cm ² lalu mengalami penurunan pada presentase 75% sebesar 222,52 kg/cm ² . | Campuran beton biasa menghasilkan kuat tekan sebesar 210,3019 kg/cm ² dan memenuhi karakteristik beton K-175. Sedangkan kuat tekan beton yang menggunakan limbah genteng keramik sebesar 148,1169 kg/cm ² , dimana nilai tersebut tidak memenuhi karakteristik beton K-175. | Diperoleh kuat tekan beton maksimum sebesar 21,20 Mpa dengan bahan penambahan 9% <i>silica fume</i> , lalu turun pada penambahan 12% <i>silica fume</i> dengan kuat tekan sebesar 18,072 MPa. | Semakin bertambahnya kadar limbah genteng keramik, kuat tekan dan kuat tarik yang dihasilkan semakin kecil. Namun, nilai absorpsi pada beton semakin besar. Kekuatan beton yang optimum terdapat pada beton yang menggunakan limbah genteng keramik sebesar 10% dari berat agregat kasar yaitu sebesar 14,851 MPa. |

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton adalah campuran antara semen *portland*, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixtures*). Susilo (2016) menyatakan bahwa beton merupakan material utama yang digunakan dalam pembuatan bangunan. Material pembentuk beton tersebut dicampur dengan komposisi tertentu menghasilkan suatu campuran yang plastis sehingga dapat dituang ke dalam cetakan lalu dibentuk sesuai keinginan. Apabila campuran tersebut dibiarkan akan mengalami pengerasan akibat reaksi kimia antara semen dan air yang berlangsung dalam jangka waktu yang panjang atau dengan kata lain campuran beton akan bertambah keras sejalan dengan umurnya.

Beton dibentuk dari pencampuran bahan batuan yang diikat dengan bahan perekat semen. Bahan batuan yang digunakan untuk menyusun beton umumnya dibedakan menjadi agregat kasar (kerikil/batu pecah) dan agregat halus (pasir). Agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai bahan susun kasar campuran dan merupakan komponen utama beton. Umumnya penggunaan bahan agregat dalam adukan beton mencapai jumlah 70-75% dari seluruh beton.

Bahan penyusun beton dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bahan aktif dan pasif. Kelompok bahan aktif yaitu semen dan air, sedangkan bahan yang pasif yaitu pasir dan kerikil. Tjokrodimuljo (1996) menyatakan bahwa kelompok bahan pasif disebut pengisi sedangkan bahan aktif disebut perekat/pengikat.

Beton memiliki kelebihan dibanding material lain, diantaranya:

1. Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan, dan tahan terhadap kebakaran.
2. Harga relatif murah karena menggunakan bahan dasar dari lokal, kecuali semen *portland*.
3. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk yang diinginkan.

4. Dapat digunakan untuk struktur berat apabila dikombinasikan dengan baja tulangan sehingga menghasilkan kuat tekan yang tinggi.
5. Beton segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak, maupun diisikan ke dalam cetakan beton pada saat perbaikan dan memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
6. Biaya perawatan beton relatif rendah karena beton tahan aus dan kebakaran.
7. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.

Adapun kekurangan beton adalah sebagai berikut:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak.
2. Beton segar mengalami susut pada saat pengeringan dan beton segar mengembang jika basah.
3. Beton keras mengeras dan menyusut apabila terjadi perubahan suhu.
4. Beton sulit kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak tulangan beton.
5. Beton bersifat getas sehingga harus dihitung secara seksama agar setelah dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail.

3.2 Bahan Penyusun Beton

3.2.1 Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen *portland* disebut semen hidraulis karena memiliki kemampuan untuk mengikat atau bereaksi dengan air dan mengeras didalam air. Semen berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat, selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga antar agregat sehingga menjadi suatu masa padat, walaupun jumlahnya sekitar 10% dari volume beton (Tjokrodimuljo, 1996).

Komponen-komponen yang terdapat pada *portland cement* adalah kapur (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), oksida besi (Fe₂O₃), magnesium (MgO), sulfur (SO₃), dan soda/potash (Na₂+K₂O). Namun, terdapat 4 unsur paling penting yang terkandung dalam *portland cement*, yaitu:

1. Trikalsium Silikat (C_3S) atau $3CaO.SiO_2$.

Sifatnya hampir sama dengan sifat semen yaitu jika ditambahkan air akan menjadi kaku dan dalam beberapa jam saja pasta akan mengeras. C_3S menunjang kekuatan awal semen dan menimbulkan panas hidrasi kurang lebih 58 kalori/gram setelah tiga hari.

2. Dikalsium Silikat (C_2S) atau $2CaO.SiO_2$.

Pada saat penambahan air setelah reaksi yang menyebabkan pasta mengeras dan menimbulkan panas 12 kalori/gram setelah tiga hari. Pasta akan mengeras, perkembangan kekuatannya stabil dan lambat pada beberapa minggu kemudian mencapai kekuatan tekan akhir hampir sama dengan C_3S .

3. Trikalsium Aluminat (C_3A) atau $3CaO.Al_2O_3$.

Unsur ini apabila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi tinggi yaitu 212 kalori/gram setelah tiga hari. Perkembangan kekuatan terjadi satu sampai dua hari tetapi sangat rendah.

4. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF) atau $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$.

Unsur ini saat bereaksi dengan air berlangsung sangat cepat dan pasta terbentuk dalam beberapa menit, menimbulkan panas hidrasi 68 kalori/gram. Warna abu-abu pada semen disebabkan oleh unsur ini. Silikat dan aluminat yang terkandung dalam semen *portland* jika bereaksi dengan air akan menjadi perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk media perekat ini disebut dengan hidrasi. Reaksi kimia semen bersifat *exothermic* dengan panas yang dihasilkan mencapai 110 kalori/gram. Akibatnya dari reaksi eksotermis terjadi perbedaan temperatur yang sangat tajam sehingga mengakibatkan retak-retak kecil (*microcrack*) pada mortar.

Jika semen ditambahkan dengan air, semen akan menjadi pasta semen. Jika ditambahkan dengan agregat halus, pasta semen akan menjadi mortar yang apabila digabungkan dengan agregat kasar akan menjadi campuran beton segar yang setelah mengeras akan menjadi beton keras. Reaksi semen dengan air berlangsung secara *irreversible*, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004, jenis dan penggunaan *portland cement* dibagi menjadi lima kategori, yaitu sebagai berikut:

1. Jenis I, yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II, yaitu semen *portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V, semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.2 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Sekitar 70% volume beton diisi oleh agregat. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar atau beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton (Tjokrodimuljo, 1996). Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

Berdasarkan bentuknya, agregat dalam campuran beton dibagi dalam 2 jenis antara lain:

1. Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm. Menurut PBI 1971, syarat-syarat agregat halus adalah sebagai berikut.

- a. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% terhadap berat agregat kering. Apabila mengandung lumpur lebih dari 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- c. Tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- d. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam Pasal 3.5 ayat 1) (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut.
 - 1) Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat.
 - 2) Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat.
 - 3) Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80-90% berat.
 - 4) Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.
- e. Memenuhi gradasi seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gradasi Pasir

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan | | | |
|-----------------------|--|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 90 - 100 | 90 - 100 | 90 - 100 | 95 - 100 |
| 2,4 | 60 - 95 | 75 - 100 | 85 - 100 | 95 - 100 |
| 1,2 | 30 - 70 | 55 - 90 | 75 - 100 | 90 - 100 |
| 0,6 | 15 - 34 | 35 - 59 | 60 - 79 | 80 - 100 |
| 0,3 | 5 - 20 | 8 - 30 | 12 - 40 | 15 - 50 |
| 0,15 | 0 - 10 | 0 - 10 | 0 - 10 | 0 - 15 |

Sumber: Tjokrodimulyo (1992)

keterangan:

Daerah I : pasir kasar

Daerah II : pasir agak kasar

Daerah III : pasir agak halus

Daerah IV : pasir halus

2. Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm (SNI 03-2834-2000). Dalam campuran beton, agregat kasar mempunyai syarat-syarat tertentu agar dapat digunakan. Syarat tersebut adalah sebagai berikut (PBI-1971).

- a. Agregat kasar berupa kerikil yang berasal dari batu-batuan alami, atau berupa batu pecah yang diperoleh dari pemecah batu.
- b. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang keras dan tidak memiliki pori-pori yang lebih dari 20% dari berat total agregat. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% (ditentukan terhadap berat kering). Jika lebih dari 1% maka agregat kasar harus dicuci terlebih dahulu.
- d. Tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.

Ukuran maksimal agregat kasar dikelompokkan menjadi 3 golongan yang dapat diketahui melalui uji gradasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Batas Gradasi Agregat Kasar

| Ukuran Saringan (mm) | Presentase Lolos (%) | | |
|----------------------|----------------------|----------|---------|
| | Gradasi Agregat | | |
| | 40 mm | 20 mm | 10 mm |
| 76 | 100 | - | - |
| 38 | 95 - 100 | 100 | - |
| 19 | 35 - 70 | 95 - 100 | 100 |
| 9,6 | 10 - 40 | 30 - 60 | 50 - 85 |
| 4,8 | 0 - 5 | 0 - 10 | 0 - 10 |

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.2.3 Air

Air merupakan bahan dasar pembuatan beton yang penting dan paling murah. Tanpa air, semen tidak akan menjadi pasta semen. Air harus selalu ada didalam beton cair, karena air tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi pasta semen sehingga betonnya lecah (*workable*). Kualitas dan sifat air yang digunakan dalam campuran beton akan sangat mempengaruhi proses, sifat serta mutu beton yang dihasilkan. Air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, apabila kelebihan air maka beton akan menjadi *bleeding*, yaitu air bersama-sama dengan semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang baru saja dituang.

Tujuan utama dari pemakaian air pada campuran beton adalah agar terjadi hidrasi, yaitu terjadinya reaksi kimia antara semen dan air yang menyebabkan campuran beton ini menjadi keras setelah beberapa waktu tertentu. Air yang dibutuhkan agar terjadi proses hidrasi tidak banyak, kira-kira 20% dari berat semen.

Kebutuhan air, tidak saja berfungsi sebagai reaktor semen dan pelumas antar butir-butir agregat, juga diperlukan untuk perawatan beton dengan cara merendam seluruh permukaan beton atau benda uji di dalam air sesuai dengan umur yang sudah direncanakan. Berikut ini adalah persyaratan air yang dapat digunakan untuk campuran beton (SNI 03-6861.1-2002).

1. Harus bersih, tidak mengandung lumpur, minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual.
2. Tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gram/liter.
3. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan merusak beton (asam-asam, zat organik dsb) lebih dari 15 gram/liter.
4. Kandungan klorida (Cl) < 0,50 gram/liter, dan senyawa sulfat < 1 gram/liter sebagai SO₃.
5. Bila dibandingkan dengan kekuatan tekan adukan beton yang menggunakan air suling, maka penurunan kekuatan beton yang menggunakan air yang diperiksa tidak lebih dari 10%.

3.3 Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah atau *admixture* adalah bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton dengan tujuan untuk mengubah sifat dan karakteristik beton. Secara umum bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua yaitu bahan tambah yang bersifat kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah yang bersifat mineral (*additive*). Zat kimia tambahan tersebut biasanya berupa serbuk atau cairan yang secara kimiawi langsung mempengaruhi kondisi campuran beton. Sedangkan bahan tambah mineral berupa material atau bahan yang mirip dengan agregat kasar maupun halus yang mempunyai karakteristik tertentu. Penambahan zat-zat kimia atau mineral tambahan ini diharapkan dapat merubah performa dan sifat-sifat campuran beton sesuai dengan kondisi dan tujuan yang diinginkan, serta dapat pula sebagai bahan pengganti sebagian dari material utama penyusun beton.

Tujuan menggunakan bahan tambah atau *admixtures* pada beton adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan *workability* tanpa mengubah kadar air
2. Mengurangi segregasi dan *bleeding*
3. Meningkatkan kekuatan
4. Mengimbangi penggunaan agregat yang jelek

3.3.1 Limbah Genteng Keramik

Penggunaan genteng pertama kali ditemukan sekitar 10.000 tahun sebelum masehi di China dan beberapa waktu kemudian di Timur Tengah. Lalu penggunaan genteng tersebar ke seluruh Asia dan Eropa. Banyak faktor yang menyebabkan genteng digunakan secara luas sejak dahulu, salah satunya yaitu genteng tahan terhadap panas.

Genteng memiliki beragam jenis seperti genteng beton, genteng asbes, genteng metal, genteng tanah liat, genteng beton, genteng keramik dan lainnya. Salah satu genteng yang diteliti adalah genteng keramik. Bahan dasar genteng keramik adalah tanah liat, namun pada proses *finishing* dilapisi dengan glazur pada permukaan gentengnya. Genteng keramik termasuk ke dalam golongan

keramik kasar yang terbuat dari pasir kuarsa, tanah pekat dan termasuk abu tertentu yang dibakar pada suhu 1000-1400 °C dan dilapisi glazur dengan campuran felspar, kuarsa, kaolin, kapurspar dan dolomit yang diaduk dengan air.

Sifat genteng keramik yang mudah menyerap air dalam adukan beton membuat adukan menjadi lebih kental sehingga menyebabkan beton sulit dipadatkan, menurunnya tingkat kemudahan pada pengerjaan adukan beton, dan nilai *slump* yang kecil. Permukaan genteng keramik yang licin dan pipih dapat mengurangi daya ikatan antara agregat dan semen karena genteng keramik memiliki tingkat keausan dan daya serap yang tinggi sehingga membuat kuat tekan beton lebih rendah. Namun genteng keramik memiliki keunggulan antara lain yaitu kuat dan keras. Penggunaan pecahan genteng keramik pun tidak sepenuhnya, akan tetapi dicampur dengan agregat kasar.

Jadi, limbah genteng keramik tetap bisa digunakan untuk meminimalisir kekurangan-kekurangan di atas dengan menambahkan bahan tambah lain yaitu *silica fume* yang penjelasannya tertera di bawah ini.

3.3.2 Silica Fume

Silica fume merupakan bahan tambah bersifat mineral hasil produk sampingan dari reduksi quarsa murni (SiO_2) dengan batu bara di tanur listrik dalam pembuatan campuran silikon dan ferrosilikon. *Silica fume* mengandung kadar SiO_2 yang tinggi, dan mempunyai permukaan yang sangat halus, berbentuk bulat dengan diameter 1/100 dari diameter semen, sehingga mampu bergerak dan mengisi rongga pori dalam struktur beton. *Silica fume* mempunyai peranan penting terhadap pengaruh sifat kimia dan sifat mekanis beton. Ditinjau dari sifat mekanis, secara geometri *silica fume* mengisi rongga-rongga butiran semen dan mengakibatkan diameter pori mengecil serta total volume pori juga berkurang. Ditinjau dari sifat kimia, reaksinya bersifat pozolan di mana *silica fume* dapat bereaksi dengan kapur yang lepas langsung dari semen.

Sifat fisik *silica fume* adalah warna abu abu, berbentuk bubuk dengan diameter 1/100 kali dari diameter semen *portland*. *Silica fume* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Mampu meningkatkan kuat tekan beton.
2. Meningkatkan ketahanan beton terhadap korosi.
3. Meningkatkan kohesi beton atau ketahanan beton terhadap segregasi.
4. Meningkatkan adhesi beton.
5. Meningkatkan ketahanan beton terhadap listrik.
6. Meningkatkan ketahanan beton terhadap abrasi.
7. Meningkatkan ketahanan beton terhadap sulfur.
8. Meningkatkan ketahanan beton dari serangan kimia lainnya.

Sebagai campuran pada adukan beton, *silica fume* bekerja dalam dua tahap. Tahap yang pertama didefinisikan sebagai reaksi kimia yang disebut reaksi *pozzolanic*, sedangkan tahap kedua disebut *particle packing*. Reaksi *silica fume* secara keseluruhan bergantung pada proses hidrasi antara semen dan air.

Pada reaksi *pozzolanic*, ketika *silica fume* ditambahkan kedalam beton segar atau adukan beton maka SiO_2 dari *silica fume* tersebut akan bereaksi dengan *calcium hydroxide* (CH) untuk membentuk *calcium silica hydroxide* (CSH) tambahan. Dengan hal ini, maka rekatan antara pasta dan agregat akan meningkat sehingga kemudian dapat meningkatkan kekuatan tekan beton padat. Selain meningkatkan kekuatan tekan, CSH tambahan yang dihasilkan dari *silica fume* ini ternyata lebih dapat menahan serangan kimiawi dari pada CH biasa.

Karena ukuran partikelnya yang mencapai 100 sampai 150 kali lebih kecil dari partikel semen, maka tahap kedua disebut *particle packing* yaitu *silica fume* menghaluskan struktur mikro beton dan menurunkan kandungan lubang pada struktur beton tersebut. Beton yang menggunakan *silica fume* mempunyai ketahanan terhadap air yang lebih tinggi dari pada beton biasa karena *silica fume* ini mengurangi jumlah dan ukuran dari kapiler beton yang memungkinkan air masuk kedalam beton.

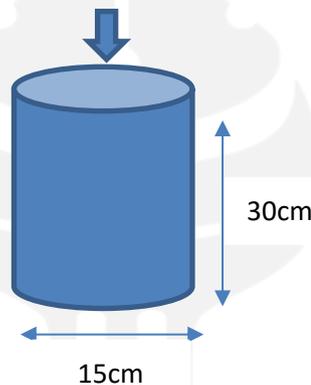
3.4 Pengujian Beton

3.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh

mesin tekan. Kuat tekan beton menunjukkan mutu suatu struktur dimana semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan MPa (Mega Pascal) atau N/mm^2 . Sebelum diberlakukannya sistem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan satuan kgf/cm^2 .

Prosedur pengujian kuat tekan beton dengan cara benda uji diletakkan dalam posisi tegak pada mesin uji tekan secara sentris, yaitu proyeksi titik tengah bidang tekan benda uji pada meja penekan bagian bawah berimpit dengan titik tengah dari meja penekan tersebut. Berikut adalah gambar dari benda uji beton silinder dengan pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1. Benda Uji Silinder Diuji Dengan Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

dengan:

f'_c = Kuat tekan beton (N/mm^2 atau Mpa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Kuat tekan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Umur Beton

Berdasarkan SNI 03-6805-2002 dinyatakan bahwa perbandingan umur beton

dengan kuat tekan beton adalah berbanding lurus. Dimana semakin panjang umur beton maka kuat tekan beton akan semakin besar dan begitu pula sebaliknya, semakin pendek umur beton maka semakin kecil kuat tekannya. Perbandingan kuat tekan beton normal pada pada umur beton tertentu dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Perbandingan Kuat Tekan Beton pada Berbagai Benda Uji

| Umur Beton (Hari) | 3 | 7 | 14 | 21 | 28 |
|--------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Faktor Konversi | 0,40 | 0,65 | 0,88 | 0,95 | 1 |

Sumber : Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971

2. Faktor Air Semen

Faktor air semen adalah perbandingan berat antara air dan semen di dalam campuran adukan beton.

3. Kepadatan

Kekuatan beton akan berkurang jika proses pemadatan beton tidak baik. Beton yang kurang padat menghasilkan rongga yang menyebabkan berkurangnya kuat tekan yang dihasilkan.

4. Jumlah Pasta Semen

Jumlah pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Jika pasta semen sedikit maka tidak cukup untuk mengisi pori-pori antar butir agregat dan tidak seluruh permukaan butir agregat terselimuti oleh pasta semen, sehingga rekatan antar butir kurang kuat dan berakibat kuat tekan beton menjadi rendah. Tetapi, jumlah pasta semen juga tidak boleh terlalu banyak karena kuat tekan pasta semen lebih rendah dibandingkan dengan agregat, apabila terlalu banyak pasta semen maka kuat tekan beton yang dihasilkan pun rendah.

5. Jenis Semen

Portland cement untuk pembuatan beton terdiri dari beberapa jenis, karakteristik dan sifat tertentu, sehingga mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan.

6. Sifat Agregat

Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton antara lain yaitu:

a. Kekerasan Permukaan

Permukaan agregat yang kasar menghasilkan rekatan antar agregat akan lebih baik karena permukaan tersebut tidak licin sehingga pasta semen akan merekat dengan baik.

b. Bentuk Agregat

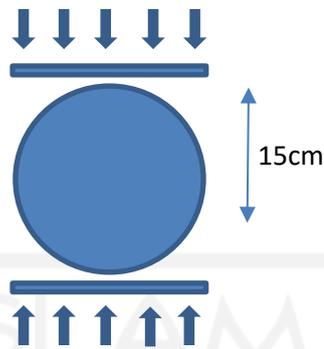
Bentuk agregat yang baik adalah yang bersudut karena bisa saling mengunci dan sulit untuk digeser.

c. Kuat Tekan Agregat

Karena 70% volume beton terisi oleh agregat kasar maka kuat tekan akan didominasi oleh kuat tekan agregat. Semakin agregat memiliki kuat tekan yang tinggi maka kuat tekan beton yang diperoleh juga tinggi pula.

3.4.2 Kuat Tarik Beton

Menurut SNI 03-2491-2002, kuat tarik belah beton adalah nilai kuat tarik dari benda uji berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan pada mesin uji. Kekuatan tarik beton relatif rendah. Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus. Kekuatan tarik lebih sulit diukur dibandingkan kekuatan tekan, untuk beton normal berkisar antara 8-15% dari kuat tekannya. Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tarik adalah silinder yang ukurannya sama dengan benda uji dalam percobaan kuat tekan yang diletakkan pada arah memanjang di atas alat uji dengan beban tekan P dikerjakan secara merata dalam arah diameter sepanjang benda uji. Pengujian kuat tarik beton dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada benda uji silinder yang dioperasikan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM). Berikut adalah gambar pengujian kuat tarik beton dapat dilihat pada Gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2. Benda Uji Silinder Diuji dengan Kuat Tarik

Kuat tarik beton dapat dihitung dengan persamaan 3.2.

$$F_{ct} = \frac{2P}{\pi \cdot L \cdot d} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan:

F_{ct} = Kuat tarik beton (N/mm^2 atau Mpa)

P = Beban hancur (N)

L = Panjang benda uji pada bagian yang tertekan (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

3.4.3 Absorpsi Beton

Nilai absorpsi adalah suatu nilai dimana air dapat masuk atau menembus beton yang berpori dan nilai ini biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1996) besarnya serapan air pada beton dapat diukur dengan menggunakan nilai perbandingan antara berat beton dalam keadaan kering oven dengan berat beton dalam kondisi SSD selama batas waktu perendaman yang telah ditentukan.

Penyerapan air atau absorpsi dalam agregat adalah prosentase berat air yang mampu diserap oleh suatu agregat jika direndam air. Agregat mempunyai pori dengan ukuran yang beragam, semakin besar pori semakin besar pula serapan air pada agregat, dalam hal ini yaitu pada benda uji beton. Beberapa jenis agregat yang sering dipakai mempunyai pori tertutup sekitar 0–20% dari volume butirnya. Nilai absorpsi pada beton dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan 3.3.

$$R = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan:

W_k = Berat beton dalam keadaan kering oven (gram)

W = Berat beton dalam kondisi SSD (gram)

R = Nilai absorpsi atau serapan air pada beton (%)

Nilai absorpsi yang besar pada beton mengindikasikan banyaknya rongga yang terdapat dalam material maupun beton tersebut dan hal ini menyebabkan berkurangnya kekuatan beton, karena pori-pori yang ada menyebabkan ikatan antar partikel pada suatu material berkurang.

3.5 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran adukan beton sesuai dengan standart SNI-03-2834-2000. Salah satu tujuan penelitian memakai perencanaan campuran beton dengan standar SNI-03-2834-2000 adalah untuk menghasilkan beton yang mudah dikerjakan dan sesuai dengan standar pengerjaan yang ada di Indonesia. Adapun tata acara urutan perencanaan campuran adukan beton menurut SNI-03-2834-2000 adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai deviasi standar (sd)

Deviasi standar ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaan makin kecil nilai deviasi standarnya. Berikut nilai deviasi standar dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Deviasi Standar untuk Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (2000)

2. Mencari nilai tambah untuk kuat desak rencana (M) dihitung dengan rumus:

$$M = 1,64 \cdot s_d \cdot k \quad (3.4)$$

dengan:

M = Nilai tambah/margin (Mpa)

Sd = Deviasi standar

K = Faktor pengali

Faktor pengali (k) deviasi standar dapat diketahui dari Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Faktor Pengali (k) Deviasi Standar

| Jumlah Data | ≥ 30 | 25 | 20 | 15 | < 15 |
|----------------|-----------|------|------|------|--------|
| Faktor Pengali | 1,00 | 1,03 | 1,08 | 1,15 | - |

Catatan : Bila jumlah data uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) diambil tidak kurang dari 12 Mpa

3. Menghitung kuat tekan (f_{cr}) yang ditargetkan.

Untuk menghitung kuat tekan beton rata-rata dapat digunakan persamaan 3.5.

$$f'_{cr} = f'_c + M \quad (3.5)$$

dengan:

f_{cr} = Kuat tekan beton target (MPa).

f'_c = Kuat tekan beton yang direncanakan (MPa),

M = Nilai tambah/margin (MPa).

4. Menetapkan tipe semen

Tipe semen harus ditetapkan agar dapat menentukan nilai faktor air semen. Pada penelitian ini menggunakan semen tipe I, yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis- jenis yang lainnya.

5. Menetapkan jenis agregat kasar dan halus yang digunakan

- a. Agregat halus (pasir) alami
- b. Agregat kasar (kerikil) batu pecah

6. Menentukan nilai faktor air semen (fas)

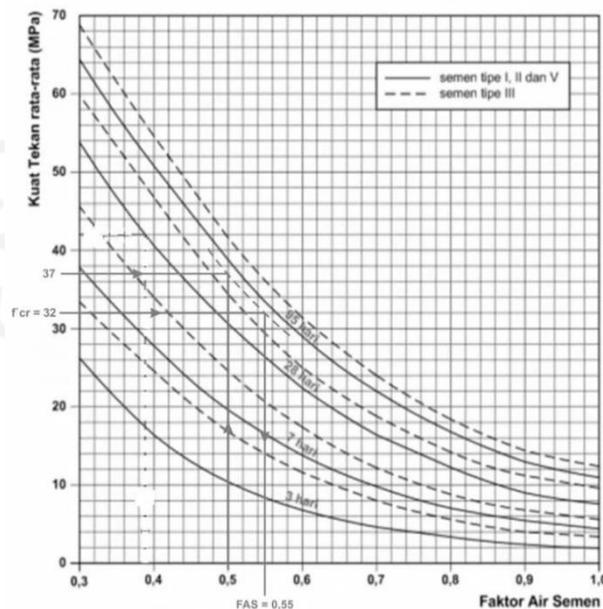
Faktor air semen (fas, w/c) adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Untuk mendapatkan nilai faktor air semen dapat diperoleh dengan cara menggunakan Tabel 3.6 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.6 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS = 0,5

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kekuatan Tekan (MPa) | | | | Betuk Benda Uji |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|----|----|----|-----------------|
| | | Pada Umur (Hari) | | | | |
| | | 3 | 7 | 28 | 95 | |
| Semen Portland Tipe I | Batu tak dipecahkan | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| Semen Tahan Sulfat Tipe II, V | Batu tak dipecahkan | 20 | 28 | 40 | 48 | Kubus |
| | Batu Pecah | 25 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 48 | |
| | Batu tak dipecahkan | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | Batu Pecah | 30 | 40 | 53 | 60 | |

Sumber: SNI-03-2834-2000

Dengan menggunakan grafik (lihat Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Desak dan Faktor Air Semen (FAS)

Sumber: SNI-03-2834-2000

7. Menentukan nilai *slump*

Slump merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton. Makin besar nilai *slump* berarti semakin cair adukan betonnya, sehingga adukan betonnya semakin mudah dikerjakan.

Penetapan nilai *slump* dengan memperhatikan pelaksanaan pembuatan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan. Adapun pemadatan adukan dengan alat getar dapat dilakukan dengan nilai *slump* agak kecil.

8. Besar Butir Agregat Maksimum

Besar butir agregat maksimum dihitung berdasarkan ketentuan yaitu seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan.

9. Menentukan kadar air bebas

Kadar air bebas adalah kebutuhan air per meter kubik beton. Nilai kadar air bebas dapat ditentukan dari Tabel 3.7, kemudian dihitung menggunakan persamaan 3.6.

Tabel 3.7 Perkiraan Kadar Air Bebas Tiap Meter Kubik Beton

| Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum | Jenis Agregat | <i>Slump</i> | | | |
|-------------------------------------|------------------|--------------|---------|---------|----------|
| | | 0 - 10 | 10 - 30 | 30 - 60 | 60 - 100 |
| 10 | Batu tak dipecah | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu Pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Batu tak dipecah | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu Pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Batu tak dipecah | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu Pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

Sumber: SNI-03-2834-2000

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.6)$$

dengan:

W = Jumlah air yang dibutuhkan (liter/m³)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

10. Menentukan kebutuhan semen

Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, perekatan terjadi bila bercampur dengan air. Sebagai bahan perekat dalam campuran beton, maka perlu dihitung kebutuhan semen untuk menghasilkan beton yang baik sesuai yang diinginkan. Untuk menghitung jumlah kebutuhan semen, maka digunakan persamaan 3.7.

$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{fas} \quad (3.7)$$

dengan:

W_{semen} = Kadar semen (kg)

W_{air} = Kadar air bebas (kg)

fas = Faktor air semen

11. Menentukan kadar semen minimum

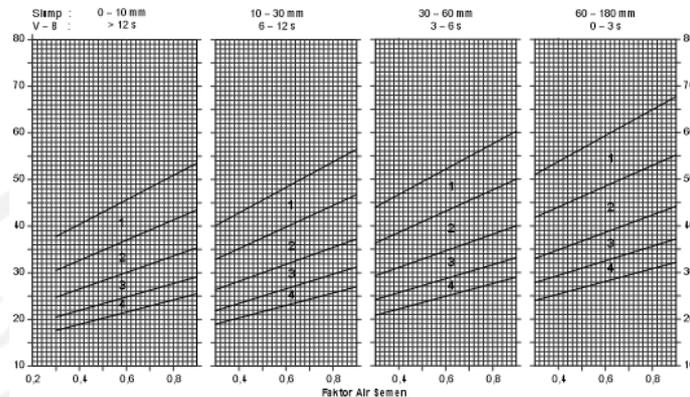
Untuk menentukan kadar semen minimum dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.8 Persyaratan fas dan Jumlah Semen Minimum untuk Berbagai Pembetonan dan Lingkungan Khusus

| Jenis Pembetonan | | Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg) | Nilai Fas Maksimum |
|--|--|--|--------------------|
| Beton di dalam duangan bangunan | | | |
| a. | Keadaan keliling non-korosif | 275 | 0,60 |
| b. | Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 325 | 0,52 |
| Beton di luar ruangan bangunan | | | |
| a. | Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung | 325 | 0,55 |
| b. | Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung | 275 | 0,60 |
| Beton masuk ke dalam tanah | | | |
| a. | Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti | 325 | 0,55 |
| b. | Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah | | |
| Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut | | | |

Sumber: SNI-03-2834-2000

12. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan grafik berikut (lihat Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Maksimum 20 mm

Sumber: SNI-03-2834-2000

Cara menggunakan grafik:

- Tarik garis vertikal ke atas sampai ke kurva yang paling atas diantara 2 kurva yang menunjukkan daerah gradasi pasir.
 - Kemudian, tarik garis horizontal ke kanan, baik kurva batas atas maupun kurva batas bawah yang berada didaerah gradasi dan catat nilainya
 - Ambil rata-rata dari kedua nilai tersebut
13. Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relatif agregat diambil berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan persamaan 3.8 berikut.

$$BJ_{AG} = (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK}) \quad (3.8)$$

dengan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

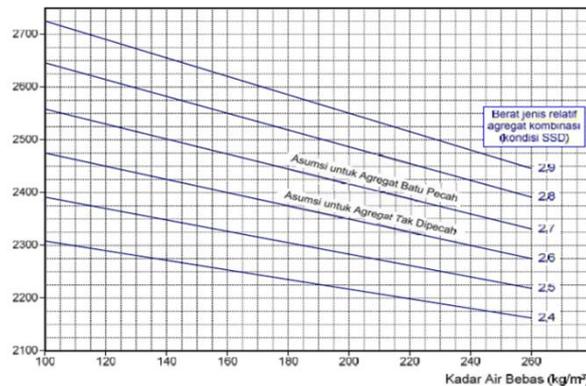
BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

$\% AH$ = Prosentase agregat halus

$\% AK$ = prosentase agregat kasar

14. Mencari nilai berat isi beton dengan menggunakan grafik berikut (lihat Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Grafik Perkiraan Berat Beton Basah Yang Telah Selesai Dipadatkan
Sumber: SNI-03-2834-2000

Cara menggunakan grafik:

- Pada Gambar 3.5 di atas, tarik garis sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan sejajar dengan garis linier yang telah ada pada grafik
 - Tarik garis vertikal ke atas sampai memotong garis yang telah dibuat tadi sesuai dengan nilai kadar air bebas. Kemudian tarik garis horizontal ke kiri pada perpotongan kedua garis di atas dan catat nilainya.
15. Menghitung kadar agregat gabungan (KAG) dihitung dengan rumus:

$$\text{KAG} = \text{berat isi beton} - \text{kadar semen} - \text{kadar air bebas} \quad (3.9)$$

16. Menghitung kadar agregat halus dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar agregat halus} = \frac{\% \text{ agregat halus}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.10)$$

17. Menghitung kadar agregat kasar dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar agregat kasar} = \frac{\% \text{ agregat kasar}}{100} \times \text{kadar agregat gabungan} \quad (3.11)$$

18. Menghitung Proporsi campuran (agregat dalam kondisi SSD)

Dari hasil perhitungan di atas, maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap 1 m³ beton.

19. Menghitung berat limbah genteng keramik dengan cara mengalikan persen kadar limbah genteng keramik sebesar 10%, 15% dan 20% dari berat total agregat kasar.
20. Menghitung berat *silica fume* yang digunakan dengan cara mengalikan kadar persen sebesar 9% dengan berat total semen.
21. Menghitung berat masing-masing bahan dalam setiap variasi campuran.



BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Tinjauan Umum

Dalam meneliti suatu kasus, masalah atau fenomena yang lain secara ilmiah harus dilakukan suatu langkah umum yaitu metodologi penelitian agar mendapatkan suatu hasil yang rasional. Penulis melakukan penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah-Beton-Hidrolika Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat. Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan metode SNI-03-2834-2000 dengan kuat tekan rencana 37 MPa, nilai *slump* rencana yaitu 60-180 cm, ukuran agregat maksimum sebesar 40 cm.

Terdapat dua variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas yang dimaksud yaitu penambahan limbah genteng keramik. Sedangkan variabel terikat berupa kuat desak beton, kuat tarik beton, nilai absorpsi beton, dan *silica fume*. Faktor lainnya seperti susunan gradasi tiap agregat, proporsi tiap campuran, perawatan dan yang lainnya dianggap sebagai variabel yang tidak berpengaruh.

4.2 Benda Uji

Objek dalam penelitian ini adalah beton yang menggunakan bahan tambah berupa limbah genteng keramik dan *silica fume*. Limbah genteng keramik yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki variasi 10, 15 dan 20% dari berat agregat kasar. Selain itu, penulis menggunakan *silica fume* dengan kadar 9% dari berat semen. Jumlah benda uji yang dibuat dan diuji dalam penelitian ini sebanyak 50 sampel.

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat desak, kuat tarik dan nilai absorpsi pada beton dengan benda uji berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, pengujian dilakukan setelah mencapai umur 28 hari. Rincian benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Jumlah Benda Uji

| No | Kode Benda Uji | Komposisi Campuran | | Jumlah Sampel | |
|--------------|----------------|----------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | Limbah Genteng Keramik (%) | Silica fume (%) | Uji Tekan (Buah) | Uji Tarik (Buah) |
| 1 | BN | - | - | 5 | 5 |
| 2 | BS9 | - | 9 | 5 | 5 |
| 3 | BGs 10 | 10 | | 5 | 5 |
| 4 | BGs 15 | 15 | | 5 | 5 |
| 5 | BGs 20 | 20 | | 5 | 5 |
| Total (Buah) | | | | 50 | |

keterangan :

BN = Beton Normal.

BS 9 = Beton dengan campuran 0% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 9% *silica fume* dari berat semen.

BGs 10 = Beton dengan campuran 10% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 9% *silica fume* dari berat semen.

BGs 15 = Beton dengan campuran 15% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 9% *silica fume* dari berat semen.

BGs 20 = Beton dengan campuran 20% limbah genteng keramik dari berat agregat kasar dan campuran 9% *silica fume* dari berat semen.

4.3 Alat Pengujian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 2 macam, yaitu sebagai berikut.

1. Alat pembuatan benda uji

Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Peralatan Pembuatan Benda Uji

| No | Nama Alat | Kegunaan |
|----|------------|--|
| 1 | Alat Tulis | Menulis atau menandai benda uji. |
| 2 | Oven | Mengeringkan benda uji agar kering oven. |

Lanjutan Tabel 4.2 Peralatan Pembuatan Benda Uji

| No | Nama Alat | Kegunaan |
|----|----------------------------|--|
| 3 | Cetakan Silinder | Mencetak bahan uji untuk pengujian kuat tekan. |
| 4 | Jangka Sorong | Mengukur diameter cetakan silinder |
| 5 | Penggaris | Mengukur tinggi dalam pengujian <i>slump</i> . |
| 6 | Ember | Menampung agregat kasar dan halus. |
| 7 | Gelas Ukur | Mengukur takaran air. |
| 8 | Gerobak Dorong | Memudahkan dalam membawa atau mengangkat material. |
| 9 | Timbangan | Menimbulkan bahan uji. |
| 10 | Sekop | Mengaduk dan memasukkan agregat ke dalam cetakan. |
| 11 | Ayakan Agregat Halus | Mengayak agregat halus (pasir). |
| 12 | Ayakan Agregat Kasar | Mengayak agregat kasar (krikil). |
| 13 | Tongkat Penumbuk (Linggis) | Memadatkan benda uji. |
| 14 | Kerucut Abrams | Untuk menguji <i>Slump</i> . |
| 15 | <i>Mixer</i> Beton | Untuk membuat campuran atau adonan beton. |
| 16 | Sendok Semen (cetok) | Meratakan campuran beton saat dimasukkan ke dalam cetakan. |
| 17 | Kuas | Mengeluarkan agregat halus dan kasar yang tersangkut di saringan |
| 18 | Pan | Menampung agregat kasar dan halus. |

2. Alat-alat yang digunakan untuk pengujian benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Peralatan Pengujian Benda Uji

| No | Nama Alat | Kegunaan |
|----|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1 | <i>Compressing Test Machine</i> (CTM) | Menguji kuat tekan beton. |
| 2 | Mesin Uji Tarik | Menguji kuat tarik beton. |
| 3 | Jangka Sorong | Mengukur dimensi benda uji. |
| 4 | Timbangan | Menimbang benda uji. |

3. Sarana Penunjang

Adapun alat-alat penunjang yang perlu disiapkan antara lain:

- a. Air,
- b. Kain lap kering,
- c. Kamera.

4.4 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap 1

Pertama adalah tahap persiapan, meliputi persiapan studi pustaka, persiapan jurnal dan literatur, persiapan alat dan bahan serta persiapan laboratorium yang akan digunakan untuk melakukan pembuatan sampel dan pengujian benda uji.

2. Tahap 2

Melakukan pemeriksaan sifat dan karakteristik pada agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah limbah genteng keramik yang akan digunakan. Dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan atau tidak jika digunakan dalam pencampuran beton (*mix design*). Berikut merupakan macam-macam pemeriksaan pada agregat halus, agregat kasar dan limbah genteng keramik.

- a. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- b. Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Kasar.
- c. Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Kasar.
- d. Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Kasar.
- e. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- f. Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Halus.
- g. Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat Halus.
- h. Pemeriksaan Modulus Halus Butir Agregat Halus.
- i. Pemeriksaan Kandungan Lumpur Agregat Halus.
- j. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik.
- k. Permeriksaan Modulus Halus Butir Limbah Genteng Keramik.

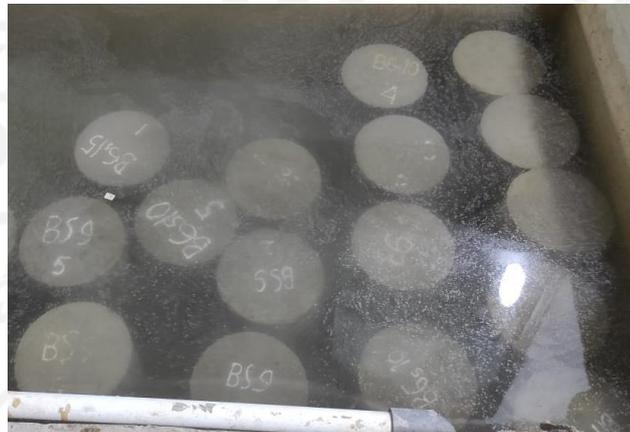
3. Tahap 3

Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) berdasarkan hasil pemeriksaan dari masing-masing bahan yang akan digunakan untuk pencampuran beton, mulai dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, limbah genteng keramik dan *silica fume*. Hasil dari *mix design* ini berupa perbandingan antara bahan-bahan penyusun beton yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji.

4. Tahap 4

Pada tahapan pembuatan benda uji, dilakukan pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut.

- a. Pembuatan beton, baik beton normal maupun beton yang dicampur dengan limbah genteng keramik dan *silica fume*.
- b. Pengecoran ke dalam cetakan silinder.
- c. Pelepasan benda uji dari cetakan silinder.
- d. Perawatan beton sampai pada umur rencana yang telah ditentukan yaitu 28 hari.



Gambar 4.1 Perendaman Benda Uji (*Curing*)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5. Tahap 5

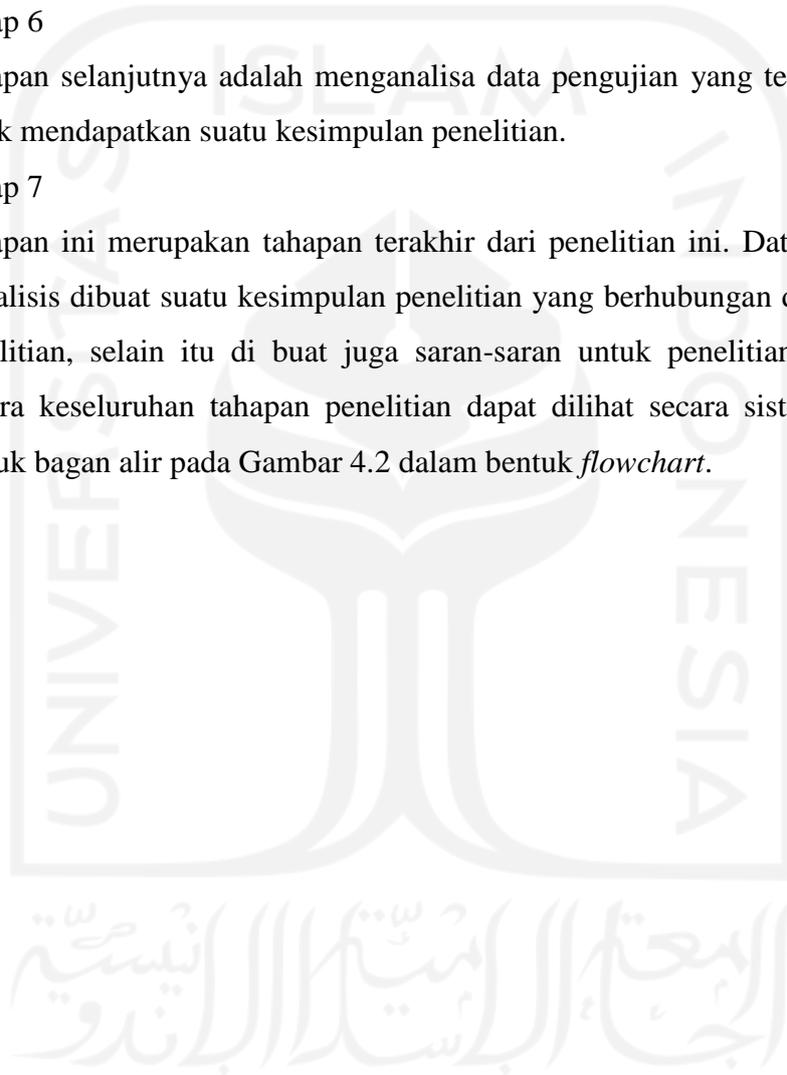
Tahap ini merupakan tahapan yang utama yaitu dilakukannya pengujian benda uji silinder. Pengujiannya berupa kuat desak, kuat tarik dan absorpsi pada seluruh sampel benda uji, baik yang dicampur dengan bahan tambah ataupun tidak.

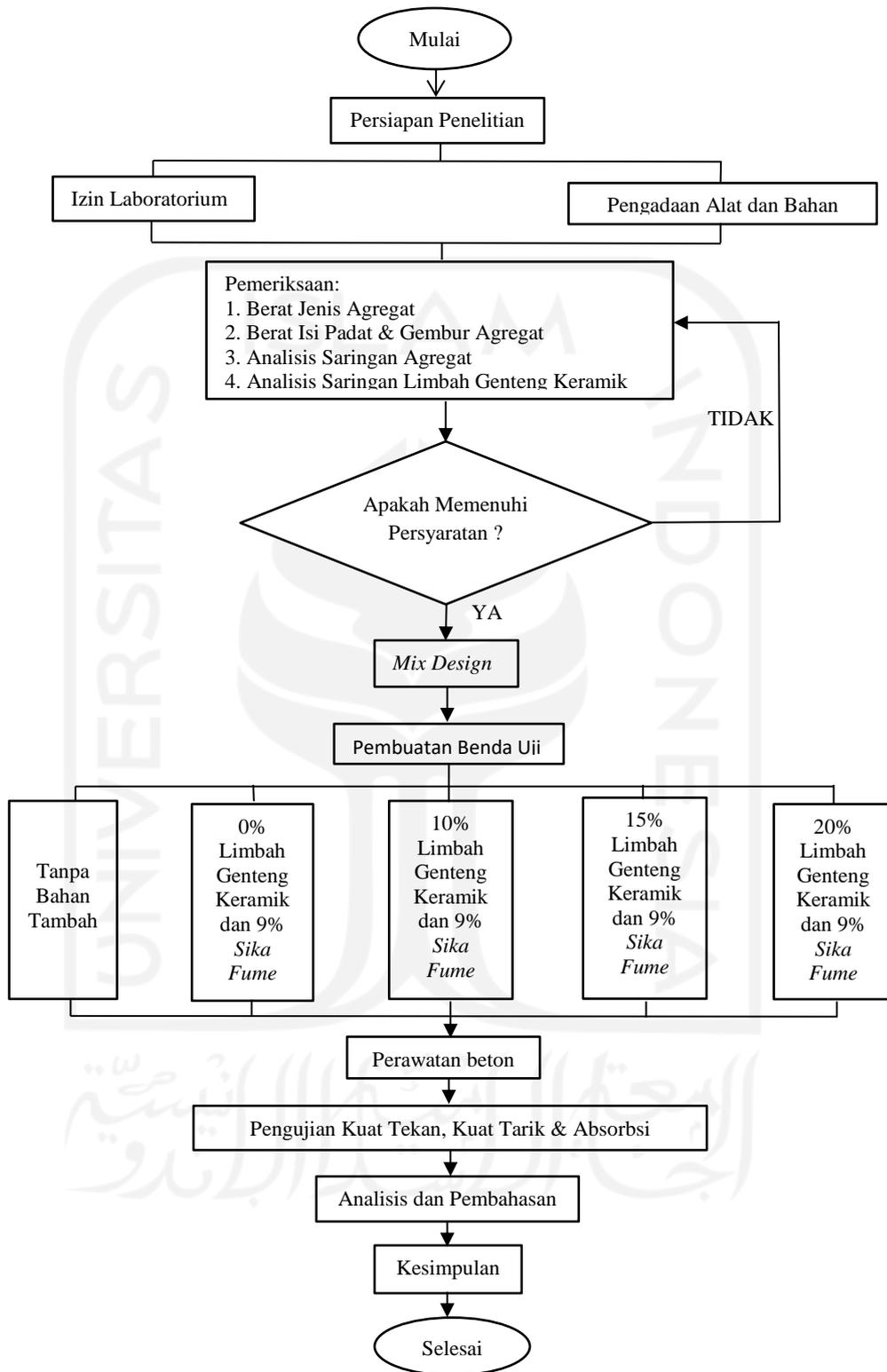
6. Tahap 6

Tahapan selanjutnya adalah menganalisa data pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan suatu kesimpulan penelitian.

7. Tahap 7

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari penelitian ini. Data yang sudah dianalisis dibuat suatu kesimpulan penelitian yang berhubungan dengan tujuan penelitian, selain itu di buat juga saran-saran untuk penelitian selanjutnya. Secara keseluruhan tahapan penelitian dapat dilihat secara sistematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 4.2 dalam bentuk *flowchart*.





Gambar 4.2 *Flowchart* Tahapan Penelitian

4.5 Lokasi Penelitian

Seluruh pelaksanaan penelitian mulai dari persiapan bahan, pengujian sifat dan karakteristik bahan, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah-Beton-Hidrolika, Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat.



BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Penelitian ini merupakan eksperimen yang dilakukan penulis selama penelitian tugas akhir di Laboratorium Mekanika Tanah-Beton-Hidrolika, Universitas Pakuan, Bogor, Jawa Barat. Dimulai dari tahap perencanaan karakteristik bahan-bahan penyusun beton (agregat halus, agregat kasar, dan limbah genteng), kemudian perhitungan campuran beton (*mix design*), lalu persiapan bahan dan material, pembuatan benda uji sampai dengan pengujian kuat tekan, kuat tarik dan penyerapan (absorpsi) benda uji. Benda uji yang dibuat ada lima variasi yaitu beton normal serta beton dengan campuran yang menggunakan limbah genteng keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dan *silica fume* pada umur 28 hari. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik pada beton dilakukan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat ditahan oleh beton yang ditargetkan dapat mencapai kekuatan minimum sebesar 22 Mpa.

5.2 Proses Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan dengan cara pengadukan manual, terdapat lima variasi benda uji yang terdiri dari beton normal dan beton yang setiap variasi terdapat *silica fume* sebesar 9% dari berat semen serta menggunakan bahan pengganti yaitu limbah genteng keramik sebesar 10, 15, 20% dari berat kerikil atau agregat kasar. Proses pembuatan adukan beton adalah sebagai berikut:

1. Proses awal pembuatan benda uji beton normal tanpa penggantian sebagian semen dengan *silica fume* dan tanpa penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik adalah dengan pengadukan manual didahului dengan memasukkan kerikil, lalu masukkan pasir dan semen *portland* kemudian diaduk sampai merata, masukkan air secara bergantian sampai semua bahan habis, kemudian diaduk sampai adukan terlihat telah homoge

2. Setelah adukan homogen, ukur nilai *slump* dari adukan tersebut, jika belum sesuai dengan nilai *slump* yang telah direncanakan maka campuran beton dimasukkan kembali untuk dilakukan penyesuaian dengan penambahan air.
3. Apabila *slump* yang didapat sesuai dengan rencana, kemudian adukan beton diberi bahan tambah Pengisian adukan dilakukan tiga tahap, masing-masing tahap diisi $\frac{1}{3}$ dari tinggi cetakan. Setiap tahap dipadatkan dengan tongkat baja sebanyak 25 kali.
4. Untuk pembuatan benda uji dengan penggantian sebagian semen menggunakan *silicafume* adalah dengan melakukan tahapan-tahapan seperti diatas, hanya yang berbeda pada banyaknya penggantian sebagian semen dengan *silicafume*, yang dilakukan setelah proporsi semen dan *silicafume* diaduk rata terlebih dahulu kemudian dicampurkan dengan agregat halus, agregat kasar dan air hingga tercampur merata.
5. Untuk pembuatan benda uji dengan penggantian sebagian semen dengan menggunakan *silica fume* dan penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik yaitu dengan melakukan tahapan-tahapan seperti diatas, hanya yang berbeda pada banyaknya penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik, yang dilakukan setelah proporsi semen dan *silicafume* diaduk rata terlebih dahulu kemudian dicampurkan dengan agregat halus, agregat kasar, limbah genteng keramik dan air hingga tercampur merata.

5.3 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar adalah salah satu material penyusun beton dengan presentase paling besar dibandingkan material penyusun beton lainnya yang memiliki peran penting karena memberikan kekuatan terhadap beton. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui karakteristik agregat kasar yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis, modulus halus butir dan penyerapan air.

5.3.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dihitung menggunakan Persamaan 3.8. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|---|------|------------------|
| Berat kerikil kering mutlak, (Bk) | gram | 4945 |
| Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), (Bj) | gram | 5000 |
| Berat kerikil dalam air, (Ba) | gram | 3060 |
| Berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba) | | 2,549 |
| Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba) | | 2,577 |
| Berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba) | | 2,623 |
| Penyerapan air, (Bj - Bk)/Bk x 100% | % | 1,112 |

Dari Tabel 5.1 diatas dapat dilihat hasil dari pengujian berat jenis jenuh kering muka didapatkan angka sebesar 2,577. Angka tersebut memenuhi persyaratan menurut SNI 03-2834-2000 karena berat jenis agregat normal berada diantara 2,5-2,7. Berdasarkan Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa penyerapan air agregat kasar sebesar 1,112%.



Gambar 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.3.2 Berat Isi Padat Agregat Kasar

Data pengujian berat isi padat agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| Berat tabung, (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + agregat, (W2) | gram | 8020 |
| Berat agregat, (W3) | gram | 4180 |
| Volume tabung, (V), | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi padat , (W3 / V) | gram/cm ³ | 1,577 |

Dari Tabel diatas dapat dilihat berat isi padat agregat kasar adalah 1,577 gram/cm³.



Gambar 5.2 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.3.3 Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Data pengujian berat isi gembur agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| Berat tabung, (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + agregat, (W2) | gram | 7650 |
| Berat agregat, (W3) | gram | 3810 |
| Volume tabung, (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi gembur , (W3 / V) | gram/cm ³ | 1,437 |

Dari Tabel 5.3 diatas dapat dilihat berat isi gembur agregat kasar sebesar 1,437 gram/ cm³.



Gambar 5.3 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Kasar

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.3.4 Modulus Halus Butir Agregat Kasar

Data pengujian modulus halus butir agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Pegujian Modulus Halus Butir Agregat Kasar

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,00 |
| 20 | 2198 | 67,527 | 67,527 | 32,473 |
| 10 | 705 | 21,659 | 89,186 | 10,814 |
| 4,8 | 300 | 9,217 | 98,402 | 1,598 |
| 2,4 | 34 | 1,045 | 99,447 | 0,553 |
| 1,2 | 1 | 0,031 | 99,478 | 0,522 |
| 0,6 | 1 | 0,031 | 99,508 | 0,492 |
| 0,3 | 2 | 0,061 | 99,570 | 0,430 |
| 0,15 | 2 | 0,061 | 99,631 | 0,369 |
| Sisa | 12 | 0,369 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 3255 | 100,000 | 752,749 | |

Berdasarkan data dari Tabel 5.4 di atas, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{752,749}{100} = 7,527$$



Gambar 5.4 Agregat Kasar yang Tertahan di Saringan No. 8
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.5 Berat Saringan No. 8
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

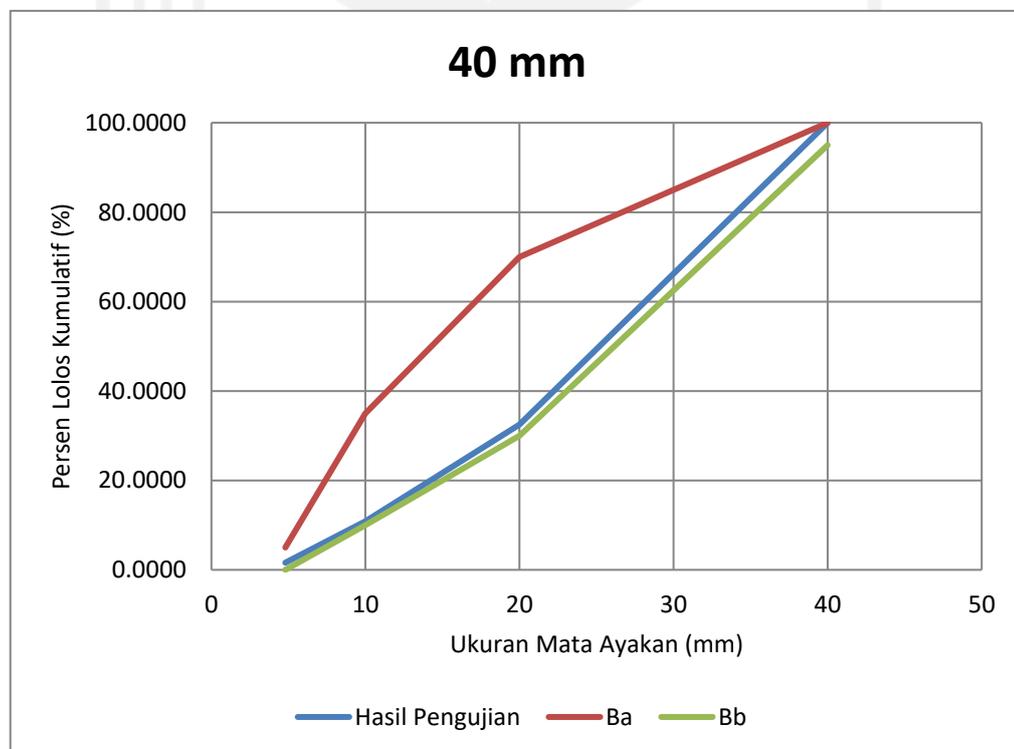
Hasil pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat kasar. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian modulus halus butir agregat kasar berada dalam batas yang disyaratkan yaitu besar butir

maksimum 40 mm. Penentuan daerah gradasi agregat kasar berdasarkan persentase berat butir agregat lolos ayakan yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5 Gradasi Agregat Kasar

| Lubang Ayakan (mm) | Hasil Pengujian | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan | | | |
|--------------------|-----------------|--|-----------------|------------------|-----------------|
| | | 40 mm | | 20 mm | |
| | | Batas Bawah (mm) | Batas Atas (mm) | Batas Bawah (mm) | Batas Atas (mm) |
| 40 | 100,000 | 95 | 100 | 100 | 100 |
| 20 | 32,473 | 30 | 70 | 95 | 100 |
| 10 | 10,814 | 10 | 35 | 25 | 55 |
| 4,8 | 1,598 | 0 | 5 | 0 | 10 |

Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Gradasi Agregat Kasar

5.4 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat Halus

Tujuan pemeriksaan sifat fisik agregat halus adalah untuk mengetahui karakteristik agregat halus yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat halus meliputi pengujian berat jenis, pengujian modulus halus butir, kadar lumpur dan penyerapan air.

5.4.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Data pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|--|------|------------------|
| Berat pasir kering mutlak, (Bk) | gram | 453 |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) | gram | 500 |
| Berat piknometer berisi pasir dan air, (Bt) | gram | 988 |
| Berat piknometer berisi air, (B) | gram | 701 |
| Berat jenis curah ($Bk/(B + 500 - Bt)$) | | 2,127 |
| Berat jenis kering muka ($500/(B + 500 - Bt)$) | | 2,347 |
| Berat jenis semu, $Bk/(B + Bk - Bt)$ | | 2,729 |
| Penyerapan air, $(500 - Bk)/Bk \times 100\%$ | % | 10,375 |

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh berat jenis kering muka sebesar 2,347 dan penyerapan air yang terjadi pada agregat halus adalah sebesar 10,375 %.



Gambar 5.7 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.4.2 Berat Isi Padat Agregat Halus

Data pengujian berat isi padat agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| Berat tabung, (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + agregat, (W2) | gram | 7970 |
| Berat Agregat, (W3) | gram | 4130 |
| Volume Tabung, (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat Volume Padat, (W3 / V) | gram/cm ³ | 1,558 |

Dari pengujian yang dilakukan berat isi padat agregat halus yang didapatkan adalah 1,558 gram/cm³.



Gambar 5.8 Pengujian Berat Isi Padat Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.4.3 Berat Isi Gembur Agregat Halus

Data pengujian berat isi gembur agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 dibawah ini.

Tabel 5.8 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|-------------------------------|----------------------|------------------|
| Berat Tabung, (W1) | gram | 3840 |
| Berat Tabung + Agregat, (W2) | gram | 7310 |
| Berat Agregat, (W3) | gram | 3470 |
| Volume Tabung, (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat Volume Gembur, (W3 / V) | gram/cm ³ | 1,309 |

Dari tabel diatas dapat dilihat berat isi gembur agregat halus yang didapatkan adalah 1,309 gram/cm³.



Gambar 5.9 Pengujian Berat Isi Gembur Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.4.4 Modulus Halus Butir Agregat Halus

Data pengujian modulus halus butir agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.9 dibawah ini.

Tabel 5.9 Pengujian Modulus Halus Butir Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 10 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 4,8 | 88 | 4,415 | 4,415 | 95,585 |
| 2,4 | 291 | 14,601 | 19,017 | 80,983 |
| 1,2 | 358 | 17,963 | 36,979 | 63,021 |
| 0,6 | 440 | 22,077 | 59,057 | 40,944 |
| 0,3 | 348 | 17,461 | 76,518 | 23,482 |
| 0,15 | 320 | 16,056 | 92,574 | 7,426 |
| Sisa | 148 | 7,426 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 1993 | 100,000 | 288,560 | |

Dari Tabel 5.9 di atas, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{288,560}{100} = 2,886$$



Gambar 5.10 Agregat Halus yang Tertahan di Saringan No. 4

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.11 Berat Saringan No. 4

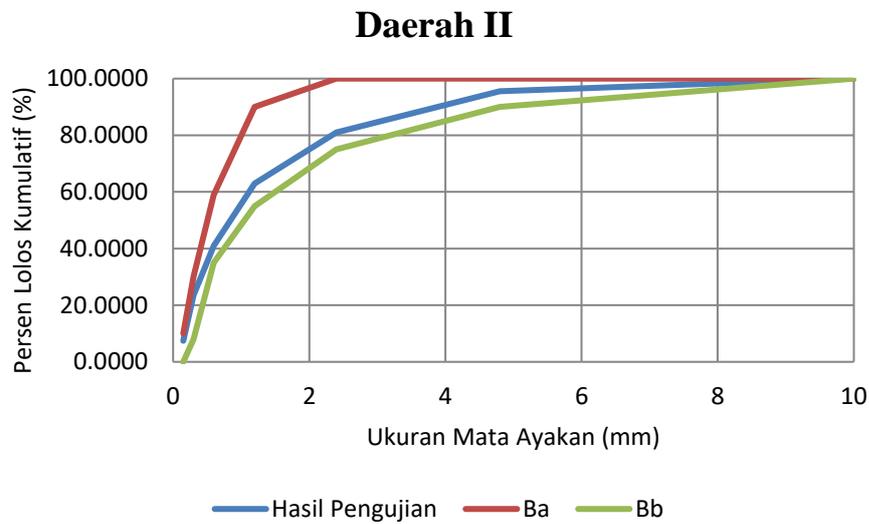
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Hasil pengujian MHB digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada agregat halus. Penentuan daerah gradasi agregat halus berdasarkan persentase berat butir agregat lolos ayakan yang dapat dilihat pada Tabel 5.10 di bawah ini.

Tabel 5.10 Gradasi Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan | | | | |
|--------------------|--|----------|-----------|------------|-----------|
| | Hasil Pengujian | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 95,585 | 90–100 | 90–100 | 90–100 | 95–100 |
| 2,4 | 80,983 | 60–95 | 75–100 | 85–100 | 95–100 |
| 1,2 | 63,021 | 30–70 | 55–90 | 75–100 | 90–100 |
| 0,6 | 40,943 | 15–34 | 35–59 | 60–79 | 80–100 |
| 0,3 | 23,482 | 5–20 | 8–30 | 12–40 | 15–50 |
| 0,15 | 7,426 | 0–10 | 0–10 | 0–10 | 0–15 |

Berdasarkan tabel gradasi diatas, gradasi yang dihasilkan dari pengujian MHB agregat halus berada dalam batas yang disyaratkan yaitu pada gradasi daerah II yaitu gradasi dengan jenis pasir agak kasar, dan grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.12 Gradasi Agregat Halus

5.4.5 Kandungan Lumpur Agregat Halus

Data pengujian kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|--|------|------------------|
| Berat Pasir Kering Mutlak, (W1) | gram | 500 |
| Berat Pasir Setelah Dicuci dan Dioven Lagi, (W2) | gram | 484 |
| Kadar Lumpur | % | 3,200 |



Gambar 5.13 Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.14 Berat Pan Pengujian Kandungan Lumpur pada Agregat Halus
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Dari Tabel 5.11 dapat dilihat kandungan lumpur pada pasir sebesar 3,2%. Menurut Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia 1982 (PUBI-1982) pasir yang bisa yang digunakan untuk bahan bangunan jika kandungan lumpurnya tidak lebih dari 5% (lima persen). Setelah itu, pasir tersebut dapat langsung digunakan dalam pembuatan beton tanpa harus dicuci terlebih dahulu.

5.5 Pemeriksaan Sifat Fisik Limbah Genteng Keramik

Saat ini banyak inovasi yang memanfaatkan limbah sebagai salah satu material penyusunnya. Pada penelitian ini penulis menggunakan limbah genteng keramik yang salah satunya bertujuan untuk mengurangi jumlah material alam (kerikil) pada campuran beton ini. Sebelum dilakukan *mixing*, maka akan dilakukan pemeriksaan yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik limbah genteng keramik yang akan digunakan sebagai material penyusun beton. Pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar meliputi pengujian berat jenis, modulus halus butir dan penyerapan air.

5.5.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik

Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada limbah genteng keramik dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|--|------|------------------|
| Berat limbah genteng keramik kering mutlak, (Bk) | gram | 1788 |
| Berat limbah genteng keramik kondisi jenuh kering muka (SSD), (Bj) | gram | 2000 |
| Berat limbah genteng keramik dalam air, (Ba) | gram | 1670 |
| Berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba) | | 5,418 |
| Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba) | | 6,061 |
| Berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba) | | 15,153 |
| Penyerapan air, (Bj - Bk)/Bk x 100% | % | 11,860 |

Dari Tabel 5.12 diatas dapat dilihat hasil dari pengujian berat jenis jenuh kering muka didapatkan angka yaitu 6,061 dan penyerapan air sebesar 11,860%. Dikarenakan sifat genteng keramik yang mampu menyerap air lebih banyak.



Gambar 5.15 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Genteng Keramik

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

5.5.2 Modulus Halus Butir Limbah Genteng Keramik

Data pengujian modulus halus butir limbah genteng keramik dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

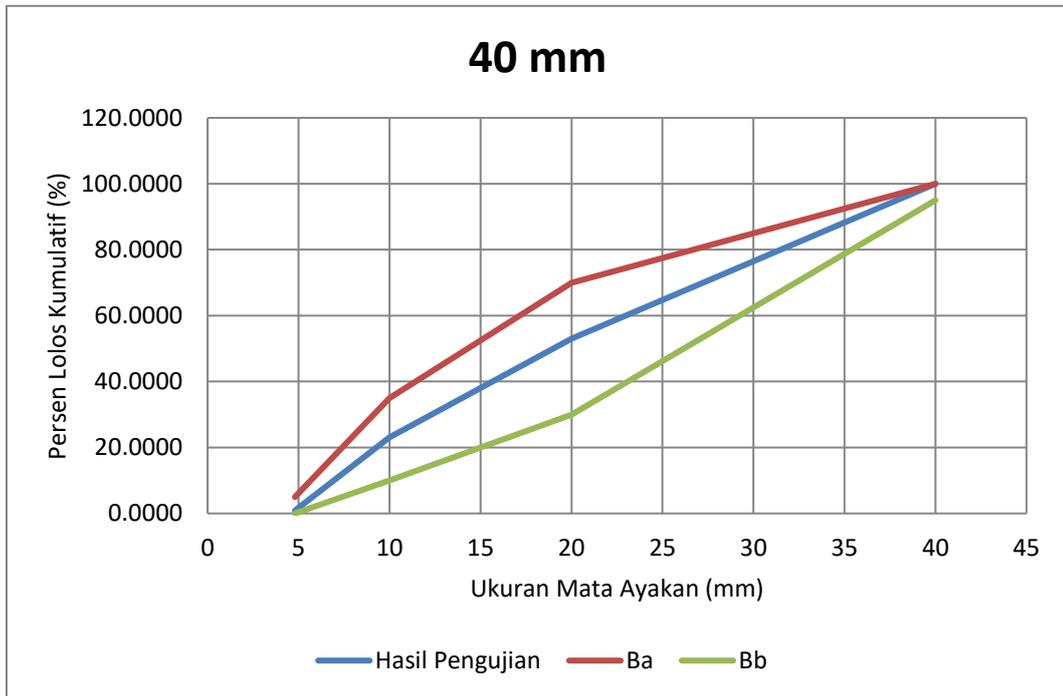
Tabel 5.13 Pengujian Modulus Halus Butir Limbah Genteng Keramik

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 20 | 1476 | 46,947 | 46,947 | 53,053 |
| 10 | 943 | 29,994 | 76,947 | 23,060 |
| 4,8 | 697 | 22,169 | 99,109 | 0,891 |
| 2,4 | 22 | 0,700 | 99,809 | 0,191 |
| 1,2 | 1 | 0,032 | 99,841 | 0,159 |
| 0,6 | 1 | 0,032 | 99,873 | 0,127 |
| 0,3 | 1 | 0,032 | 99,905 | 0,095 |
| 0,15 | 2 | 0,064 | 99,968 | 0,032 |
| Sisa | 1 | 0,032 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 3144 | 100,000 | 722,392 | |

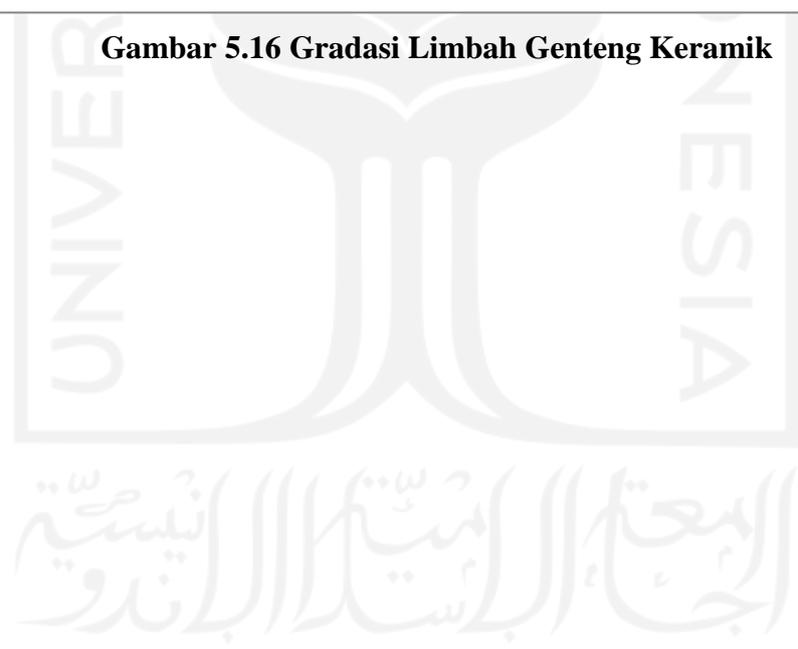
Berdasarkan data dari Tabel 5.13 di atas, maka dapat dihitung nilai modulus halus butir limbah genteng keramik sebagai berikut:

$$\text{Modulus Halus Butir} = \frac{722,392}{100} = 7,224$$

Hasil pengujian modulus halus butir digunakan untuk menentukan daerah gradasi pada limbah genteng keramik. Gradasi yang dihasilkan dari pengujian modulus halus butir limbah genteng keramik berada dalam batas yang disyaratkan dan sama dengan syarat batas gradasi agregat kasar yaitu gradasi dengan jenis besar butir maksimum 40 mm. Karena, dalam penelitian ini limbah genteng keramik merupakan pengganti sebagian agregat kasar dalam pembuatan beton. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan lubang ayakan yang dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Gradasi Limbah Genteng Keramik



5.6 MIX DESIGN BETON

Perencanaan campuran beton (*mix design*) bertujuan untuk mengetahui komposisi campuran yang sesuai dengan beton yang direncanakan. *Mix design* pada penelitian ini menggunakan metode *mix design* yang sesuai dengan SNI-03-2843-2000. Perencanaan mutu beton yang ditargetkan sebesar 22 MPa. Perencanaan tersebut dilakukan sesuai dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan kuat tekan yang direncanakan ($f'c$) sebesar 22 Mpa.
2. Menghitung deviasi standar.

Berdasarkan Tabel 3.4 digunakan mutu pengendalian jelek, maka nilai s_d sebesar 7.

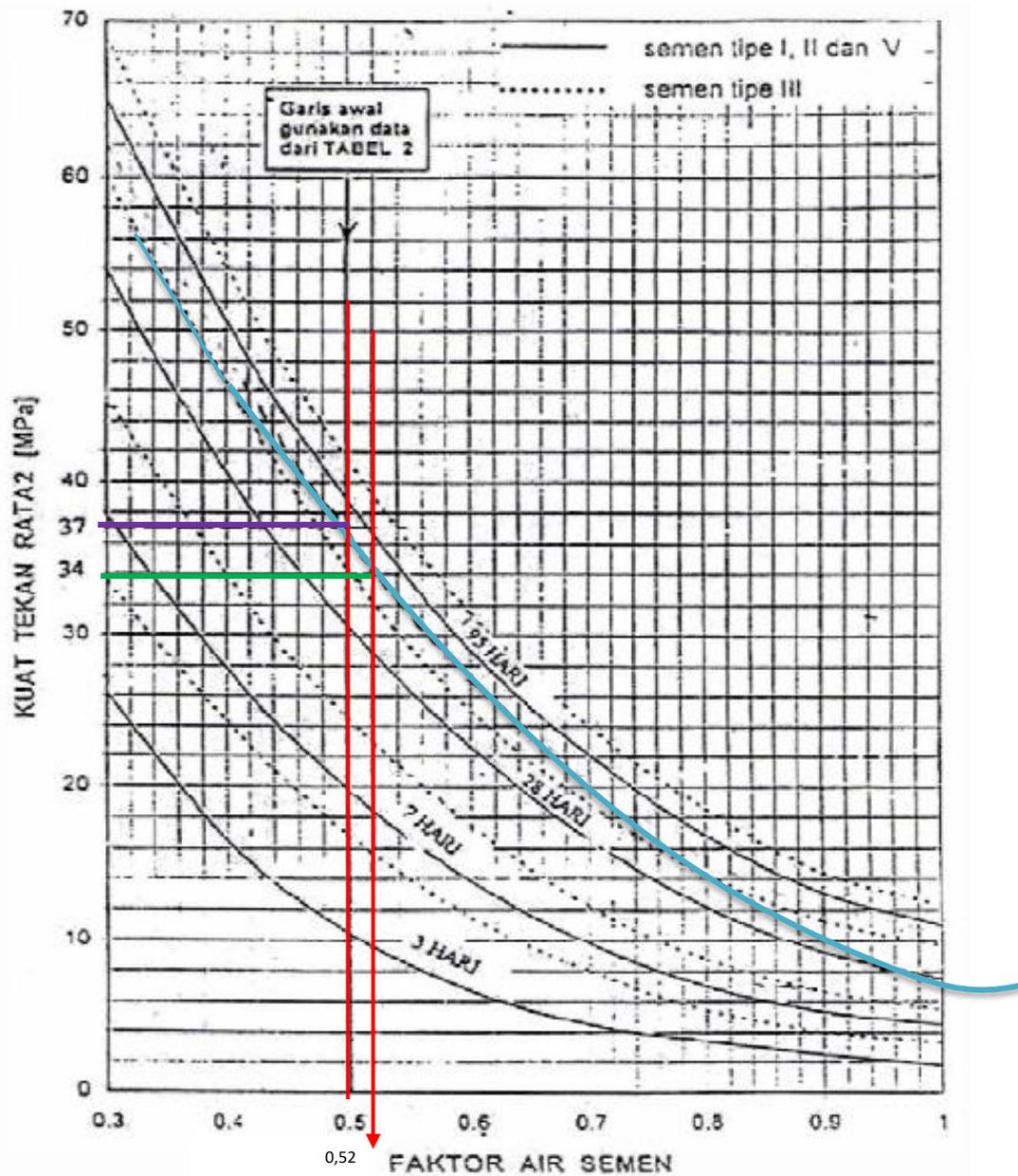
3. Menghitung nilai tambah untuk kuat desak rencana (M) dengan rumus:

$$M = 1,64$$

4. Kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$) = $f'c + M$

$$\begin{aligned} f'cr &= 22 + 12 \\ &= 34 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

5. Jenis semen ditetapkan menggunakan semen *portland* tipe 1.
6. Jenis agregat halus yang digunakan yaitu pasir Cimangkok dari Pusat Pasir ABA, Menteng, Bogor yang *disupply* dari Sukabumi.
7. Jenis agregat kasar yang digunakan yaitu batu pecah dengan ukuran maksimal 40 mm yang berasal dari Gunung Rumpin.
8. Faktor air semen ditentukan berdasarkan kuat tekannya. Berikut langkah menentukan faktor air semen (f_{as}):
 - a. Berdasarkan Tabel 3.6, jenis semen *portland* tipe I, jenis agregat kasar yaitu batu pecah dengan benda uji silinder, kuat tekan pada umur 28 hari adalah 37 Mpa.
 - b. Tarik garis ungu pada kuat tekan 37 Mpa hingga memotong tegak lurus garis merah tepat pada nilai f_{as} 0,5. Diperoleh garis parabola biru yang memotong antara garis ungu dan garis merah, lihat Gambar 5.17
 - c. Lalu tarik garis hijau yaitu $f'cr$ sebesar 34 MPa sampai menyentuh garis parabola biru, lalu tarik kebawah, didapat nilai f_{as} yaitu 0,52, lihat Gambar 5.17



(Benda Uji Berbentuk Silinder Dengan Diameter 150 mm × Tinggi 300 mm)

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

9. Menetapkan Kebutuhan Air

Penentuan kebutuhan air dapat digunakan berdasarkan pada Tabel 3.6, berikut urutan penentuan kebutuhan air :

- a. Dari Tabel 3.6 ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar adalah 40 mm.

b. Penetapan nilai *slump*, nilai *slump* berpengaruh terhadap *workability*, pada penelitian ini penetapan nilai *slump* sebesar 60-180 mm.

c. Maka diperoleh :

Batu tak dipecahkan / alami (W_h) = 175

Batu pecah (W_k) = 205

d. Kebutuhan Air = $\frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$

Kebutuhan Air = $\frac{2}{3} 175 + \frac{1}{3} 205 = 185 \text{ kg}$

10. Penetapan Jumlah Semen minimum

Berdasarkan Tabel 3.4 didapatkan penentuan jumlah semen minimum sebagai berikut :

a. Jumlah semen = kebutuhan air / fas

b. Jumlah semen = $185 / 0,52$

c. Jumlah semen = 356 kg

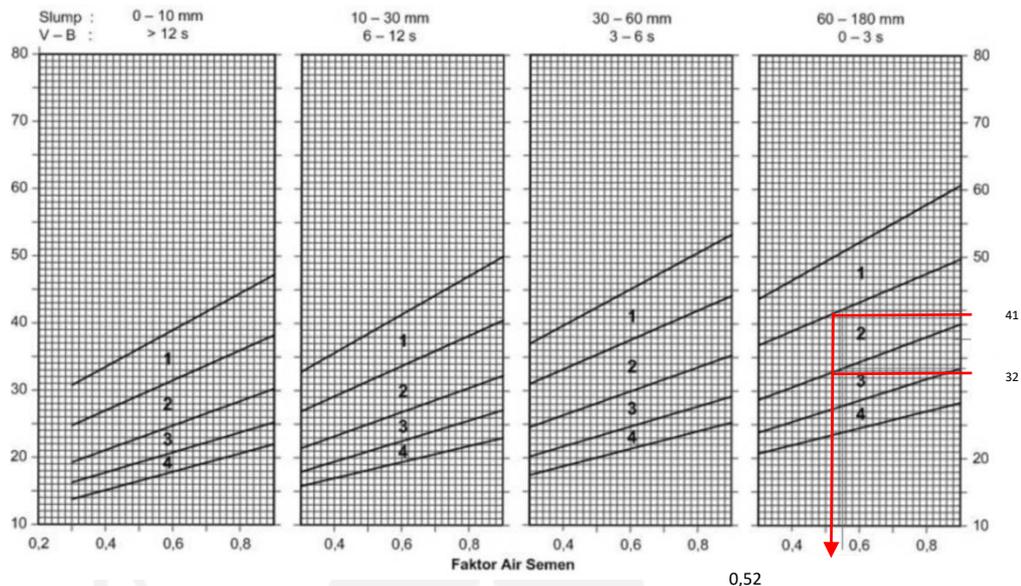
Kadar semen minimum dengan jenis pembetonan beton di luar ruangan bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung adalah 325 kg. Karena jumlah semen lebih besar dibandingkan dengan kadar semen minimum maka digunakan jumlah semen yaitu 356 kg.

11. Penentuan Persentase Agregat

a. Cara menentukan persentase agregat yang pertama yaitu kita harus dapat menentukan batas bawah dan batas atas terlebih dahulu pada Gambar 5.18 di bawah. Pertama menentukan titik faktor air semen (fas) yaitu 0,52 berdasarkan perhitungan sebelumnya.

b. Setelah faktor air semen (fas) sudah ditentukan lalu menarik garis lurus pada gradasi yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu gradasi 2.

c. Setelah garis faktor air semen (fas) sudah bersinggungan dengan garis batas gradasi 2, cara selanjutnya adalah dengan menarik garis tegak lurus ke arah kanan, sehingga didapatkan batas bawah dan batas atasnya.



Gambar 5.18 Penentuan Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Digunakan Pada Penelitian

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

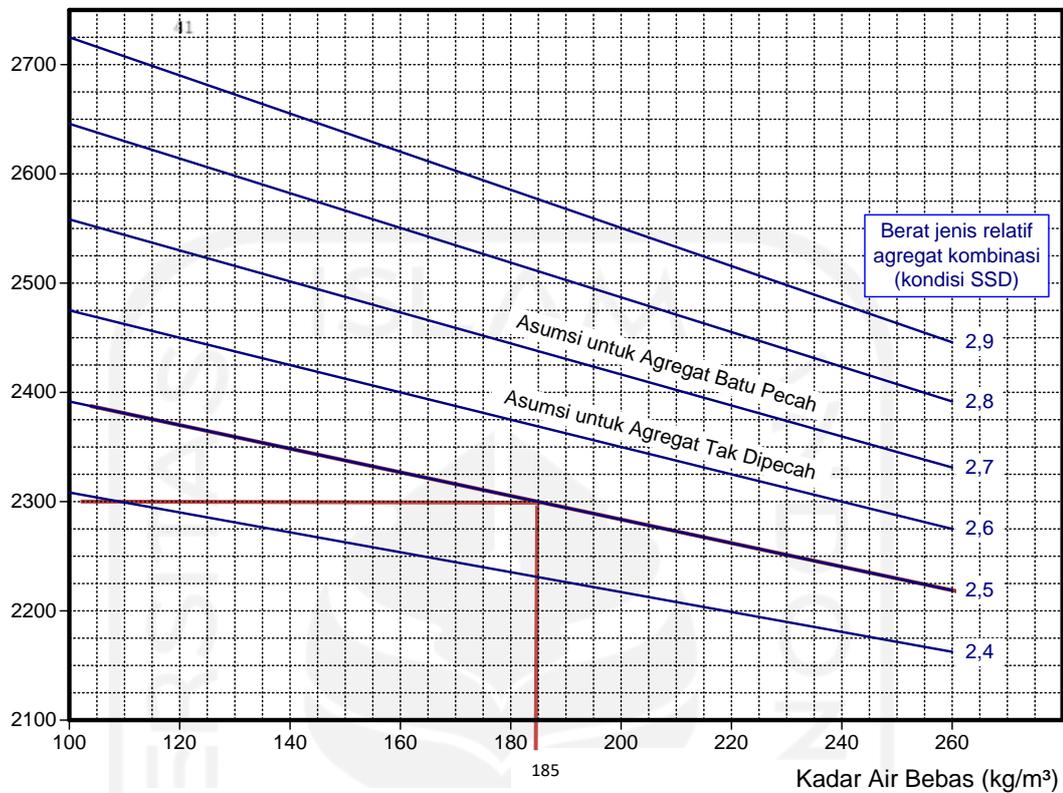
d. Dari Gambar 5.18 di atas didapatkan sebagai berikut :

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Batas bawah | : 32 |
| Batas atas | : 41 |
| Prosentase agregat halus | : $\frac{32+41}{2} = 36,5\%$ |
| Prosentase agregat kasar | : $100\% - 36,5\% = 63,5\%$ |

12. Berat Jenis Agregat

- Berat jenis *SSD* agregat kasar : 2,577
- Berat jenis *SSD* agregat halus : 2,347
- Berat jenis gabungan : $(\frac{63,5}{100} \times 2,577) + (\frac{36,5}{100} \times 2,347) = 2,493$

13. Menentukan Berat Isi Beton



Grafik 6 : Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 5.19 Penentuan Berat Isi Beton Basah yang digunakan Pada Penelitian Berdasarkan SNI 03-2834-2000

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Dari Gambar 5.19 diatas diperoleh berat isi beton adalah 2300 kg/m³.

14. Penentuan Berat Agregat Campuran.

Berat Agregat Campuran = Berat Isi beton – berat semen – berat Air

Berat Agregat Campuran = 2300 – 356 – 185

Berat Agregat Campuran = 1759 kg/m³

15. Penentuan berat agregat halus dan agregat kasar yang diperlukan.

Berat Agregat Halus = $\frac{36,5}{100} \times 1759 \text{ kg/m}^3 = 642,035 \text{ kg/m}^3$

Berat Agregat Kasar = $\frac{63,5}{100} \times 1759 \text{ kg/m}^3 = 1116,965 \text{ kg/m}^3$

16. Rekapitulasi *mix design* beton normal dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 5.14 di bawah ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Mix Design Beton Normal Menggunakan Metode SNI 03-2834-2000

| No. | Uraian | Nilai | Satuan |
|-----|---|----------|--------------------|
| 1 | Kuat Tekan Rencana (f'_c) | 22 | MPa |
| 2 | Deviasi Standart | 7 | |
| 3 | Nilai Tambah | 12 | |
| 4 | Kuat Tekan Beton Ditargetkan (f_{cr}) | 34 | MPa |
| 5 | Jenis Semen | Tipe 1 | |
| 6 | Faktor Air Semen (f_{as}) | 0,52 | |
| 7 | <i>Slump</i> | 60-180 | mm |
| 8 | Ukuran Agregat Maksimum | 40 | mm |
| 9 | Wh | 175 | |
| 10 | Wk | 205 | |
| 11 | Kadar Air Bebas | 185 | kg |
| 12 | Jumlah Semen | 356 | kg |
| 13 | Kadar Semen Minimum | 325 | kg |
| 14 | Bj Agregat Halus | 2,577 | |
| 15 | Bj Agregat Kasar | 2,347 | |
| 16 | BJ Butiran Agregat Gabungan | 2,493 | |
| 17 | Persen Agregat Halus | 36,5 | % |
| 18 | Persen Agregat Kasar | 63,5 | % |
| 19 | Berat Isi Beton | 2300 | kg/ m ³ |
| 20 | Kadar Agregat Gabungan | 1759 | kg/ m ³ |
| 21 | Kadar Agregat Halus | 642,035 | kg/ m ³ |
| 22 | Kadar Agregat Kasar | 1116,965 | kg/ m ³ |

17. Proporsi kebutuhan *trial mix* dengan kapasitas 1 m³, sebagai berikut:

- a. Semen : 356 kg
- b. Air : 185 kg
- c. Agregat halus : 642,035 kg
- d. Agregat kasar : 1116,965 kg

18. Proporsi kebutuhan *trial mix* dengan kapasitas 1 m³ ditambah dengan angka penyusutan sebesar 15%, sebagai berikut:

- a. Semen : 409,4 kg
- b. Air : 212,750 kg
- c. Agregat halus : 738,340 kg
- d. Agregat kasar : 1284,510 kg

19. Proporsi kebutuhan *trial mix* 5 silinder, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \pi \times r^2 \times t \\ &= \pi \times 0,075^2 \times 0,3 \times 5 \text{ buah} \\ &= 0,0265 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- a. Semen : 409,4 kg x 0,0265 = 10,852 kg
- b. Air : 212,750 kg x 0,0265 = 5,639 kg
- c. Agregat halus : 738,340 kg x 0,0265 = 19,571 kg
- d. Agregat kasar : 1284,510 kg x 0,0265 = 34,049 kg

20. Menghitung kebutuhan *silica fume* yang akan digunakan:

Berat *silica fume* yang digunakan di semua variasi kecuali beton normal (BN) sebesar 9% dari berat semen yang digunakan.

$$\begin{aligned}\text{Kadar } \textit{silica fume} &= 9\% \times 10,852 \text{ kg} \\ &= 0,977 \text{ kg}\end{aligned}$$

21. Menghitung kebutuhan limbah genteng keramik yang akan digunakan:

Berat limbah genteng keramik yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar, sebagai berikut.

a. Berat limbah genteng keramik pada campuran:

$$\text{BGs 10} = 10\% \times 34,049 \text{ kg} = 3,405 \text{ kg}$$

$$\text{BGs 15} = 15\% \times 34,049 \text{ kg} = 5,107 \text{ kg}$$

$$\text{BGs 20} = 20\% \times 34,049 \text{ kg} = 6,810 \text{ kg}$$

22. Kebutuhan material untuk membuat campuran beton untuk setiap 5 sampel silinder setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.15, Tabel 5.16, Tabel 5.17, Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 dibawah ini.

Tabel 5.15 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BN

| No. | Material | Berat | Satuan |
|-----|------------------------|--------|--------|
| 1 | Semen | 10,852 | kg |
| 2 | <i>Silica fume</i> | - | kg |
| 3 | Air | 5,639 | kg |
| 4 | Agregat Halus | 19,571 | kg |
| 5 | Agregat Kasar | 34,049 | kg |
| 6 | Limbah Genteng Keramik | - | kg |

Tabel 5.16 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BS 9

| No. | Material | Berat | Satuan |
|-----|------------------------|--------|--------|
| 1 | Semen | 10,852 | kg |
| 2 | <i>Silica fume</i> | 0,977 | kg |
| 3 | Air | 5,639 | kg |
| 4 | Agregat Halus | 19,571 | kg |
| 5 | Agregat Kasar | 34,049 | kg |
| 6 | Limbah Genteng Keramik | - | kg |

Tabel 5.17 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs 10

| No. | Material | Berat | Satuan |
|-----|------------------------|--------|--------|
| 1 | Semen | 10,852 | kg |
| 2 | <i>Silica fume</i> | 0,977 | kg |
| 3 | Air | 5,639 | kg |
| 4 | Agregat Halus | 19,571 | kg |
| 5 | Agregat Kasar | 30,644 | kg |
| 6 | Limbah Genteng Keramik | 3,405 | kg |

Tabel 5.18 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs 15

| No. | Material | Berat | Satuan |
|-----|------------------------|--------|--------|
| 1 | Semen | 10,852 | kg |
| 2 | <i>Silica fume</i> | 0,977 | kg |
| 3 | Air | 5,639 | kg |
| 4 | Agregat Halus | 19,571 | kg |
| 5 | Agregat Kasar | 28,914 | kg |
| 6 | Limbah Genteng Keramik | 5,107 | kg |

Tabel 5.19 Kebutuhan Material untuk Membuat 5 Sampel Benda Uji BGs 20

| No. | Material | Berat | Satuan |
|-----|------------------------|--------|--------|
| 1 | Semen | 10,852 | kg |
| 2 | <i>Silica fume</i> | 0,977 | kg |
| 3 | Air | 5,639 | kg |
| 4 | Agregat Halus | 19,571 | kg |
| 5 | Agregat Kasar | 27,239 | kg |
| 6 | Limbah Genteng Keramik | 6,810 | kg |

5.7 Hasil Penelitian dan Pembahasan

5.7.1 Nilai *Slump*

Nilai *slump* yang direncanakan pada penelitian ini sebesar 60 – 180 mm. Berikut rekapitulasi hasil nilai *slump* yang dapat dilihat dalam Tabel 5.20 dan presentase perubahan nilai *slump* tertera pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.21

Tabel 5.20 Nilai *Slump* pada Penelitian

| No | Kode Benda Uji | Nilai <i>Slump</i> | | <i>Slump</i> Rata - Rata |
|----|----------------|--------------------|------------|-----------------------------|
| | | Campuran 1 | Campuran 2 | |
| 1 | BN | 12 | 11,9 | 11,95 |
| 2 | BS 9 | 9,1 | 8,6 | 8,85 |
| 3 | BGs 10 | 9,4 | 7,7 | 8,55 |
| 4 | BGs 15 | 8,7 | 8 | 8,35 |
| 5 | BGs 20 | 7,3 | 7 | 7,15 |

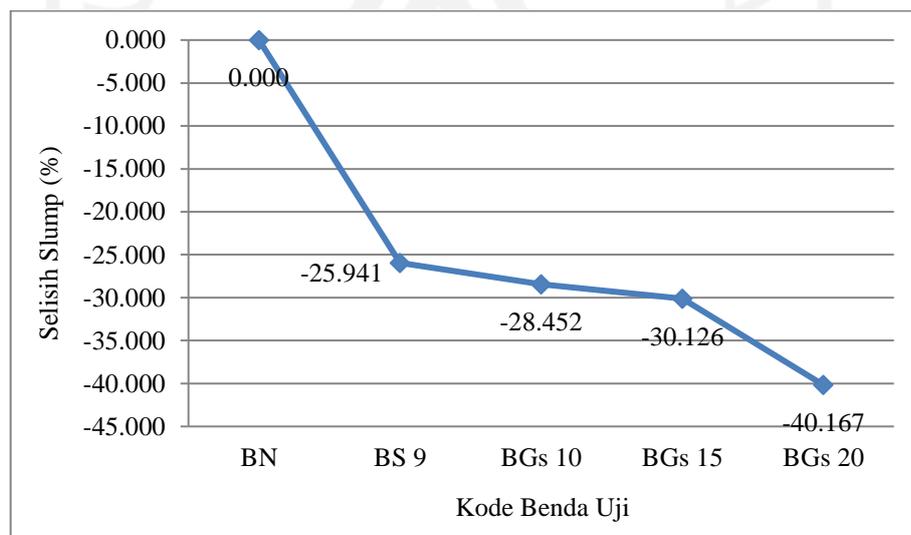


Gambar 5.20 Pengujian Slump

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Tabel 5.21 Persentase Perubahan Nilai Slump

| Kode Benda Uji | Slump Rata – Rata (cm) | Persentase Perubahan Nilai Slump (%) |
|----------------|------------------------|--------------------------------------|
| BN | 11,95 | 0 |
| BS 9 | 8,85 | -25,941 |
| BGs 10 | 8,55 | -28,452 |
| BGs 15 | 8,35 | -30,126 |
| BGs 20 | 7,15 | -40,167 |



Gambar 5.21 Perubahan Nilai Slump pada Tiap Variasi

Tabel 5.21 dan Gambar 5.21 di atas menunjukkan bahwa presentase *slump* rata – rata menunjukan grafik menurun. Nilai *slump* tertinggi ada pada beton normal (BN) sebesar 11,95 cm dan *slump* terendah yaitu pada beton dengan menggunakan campuran 9% *silica fume* dan 20% limbah genteng keramik (BGs 20) sebesar 7,15 cm.

Hal tersebut dikarenakan sifat limbah genteng keramik yang menyerap air dalam adukan beton sehingga adukan beton menjadi kental dan mengalami penurunan tingkat kemudahan (*workability*) pengerjaan adukan beton. Ditambah dengan *silica fume*, semakin banyak kandungan *silica fume* pada adukan beton semakin rendah nilai *slump* nya, karena butiran *silica fume* sangat halus dan butuh air yang lebih banyak untuk membasahi seluruh permukaan butir *silica fume*. Selain itu, reduksi kalsium hidroksida (CaOH) oleh Silikon Dioksida (SiO₂) akan mengurangi unsur pembentuk *ettringite* sehingga mengurangi sensitivitas beton terhadap serangan sulfat. Karena itu beton bersilica *fume* tidak mudah ditembus air serta tidak mudah mengalami korosi sehingga menyebabkan penyerapan airnya rendah. Jadi, keduanya baik limbah genteng keramik dan *silica fume* yang terdapat pada campuran beton menyebabkan nilai *slump* yang kecil.

5.7.2 Analisis Kuat Tekan Beton

Setelah dilakukan perhitungan, pembuatan dan perawatan benda uji, langkah selanjutnya adalah pengujian kuat tekan benda uji. Pengujian kuat tekan beton ini dilakukan pada benda uji umur 28 hari dengan kuat tekan yang direncanakan (f'_{cr}) sebesar 34 Mpa. Banyaknya benda uji yang akan diuji tekannya adalah 25 sampel dengan metode SNI 03-6468-2000, yang terdiri dari lima variasi. Masing-masing variasi dibuat 5 sampel dengan pemberian bahan tambah *silica fume* sebesar 9% dari berat semen dan penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik sebesar 10%, 15% dan 20% dari berat agregat kasar. Perhitungan kuat tekan beton dapat dilihat di bawah ini.

Perhitungan Kuat Tekan

Benda Uji BS9 (2)

$$\begin{aligned}\text{Kuat Desak} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{260}{174,132} \times 10 \\ &= 14,931 \text{ Mpa}\end{aligned}$$



Gambar 5.22 Pengujian Kuat Tekan Beton BS9 (2)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.23 Beton BS9 (2) Setelah Uji Tekan

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

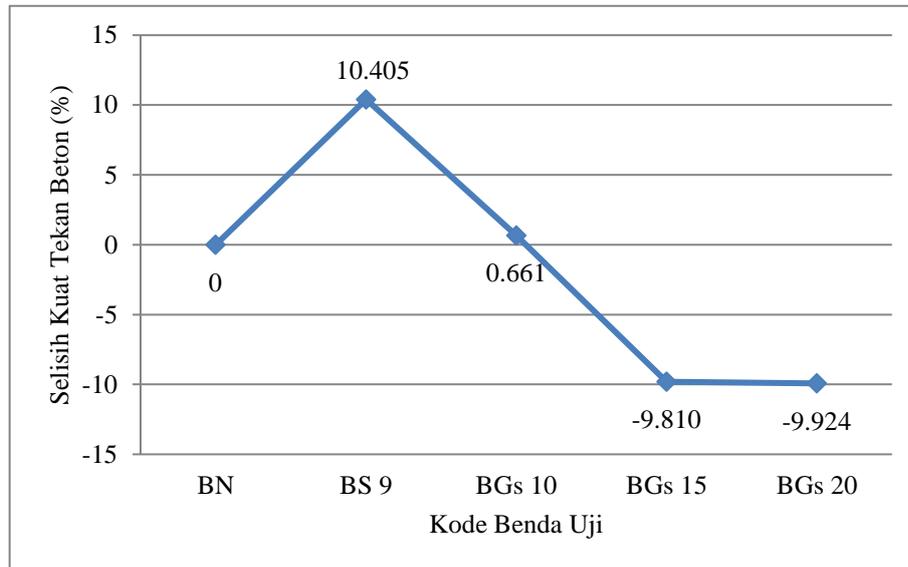
Rekapitulasi pengujian kuat tekan benda uji beton silinder sebanyak 25 *sample* dapat dilihat pada Tabel 5.22 dibawah ini.

Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

| Kode Benda Uji | | Luas Tampang (cm ²) | Beban Max (KN) | Kuat Tekan (Mpa) | Kuat Tekan Rata-rata (Mpa) |
|----------------|---|---------------------------------|----------------|------------------|----------------------------|
| BN | 1 | 176,950 | 223 | 12,602 | 12,664 |
| | 2 | 176,244 | 239 | 13,561 | |
| | 3 | 176,008 | 230 | 13,068 | |
| | 4 | 177,186 | 210 | 11,852 | |
| | 5 | 179,791 | 220 | 12,236 | |
| BS 9 | 1 | 178,131 | 246 | 13,810 | 13,982 |
| | 2 | 174,132 | 260 | 14,931 | |
| | 3 | 179,316 | 257 | 14,332 | |
| | 4 | 176,479 | 234 | 13,259 | |
| | 5 | 181,220 | 246 | 13,575 | |
| BGs 10 | 1 | 174,366 | 193 | 11,069 | 12,748 |
| | 2 | 174,132 | 188 | 10,796 | |
| | 3 | 174,835 | 220 | 12,583 | |
| | 4 | 179,791 | 267 | 14,851 | |
| | 5 | 181,458 | 262 | 14,439 | |
| BGs 15 | 1 | 176,479 | 213 | 12,069 | 11,421 |
| | 2 | 177,186 | 189 | 10,667 | |
| | 3 | 176,244 | 204 | 11,575 | |
| | 4 | 176,950 | 191 | 10,794 | |
| | 5 | 174,132 | 209 | 12,002 | |
| BGs 20 | 1 | 181,697 | 210 | 11,558 | 11,407 |
| | 2 | 181,936 | 198 | 10,883 | |
| | 3 | 182,654 | 217 | 11,880 | |
| | 4 | 180,267 | 207 | 11,483 | |
| | 5 | 180,743 | 203 | 11,231 | |

Tabel 5.23 Persentase Perubahan Kuat Tekan Rata-Rata

| Kode Benda Uji | Kuat Tekan Rata-rata (Mpa) | Persentase Perubahan Kuat Tekan (%) |
|----------------|----------------------------|-------------------------------------|
| BN | 12,664 | 0 |
| BS 9 | 13,982 | 10,405 |
| BGs 10 | 12,748 | 0,661 |
| BGs 15 | 11,421 | -9,810 |
| BGs 20 | 11,407 | -9,924 |



Gambar 5.24 Perubahan Nilai Kuat Tekan pada Tiap Variasi

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Dari Tabel 5.23 dan Gambar 5.24 di atas dapat dilihat bahwa kuat tekan rata-rata beton tertinggi yaitu pada campuran beton yang terdapat penggantian sebagian semen dengan *silica fume* sebesar 9% (BS 9) sebesar 13,982 Mpa dan kuat tekan rata-rata beton terendah terdapat pada campuran beton yang mengganti sebagian semen dengan *silica fume* sebesar 9% serta mengganti sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik sebesar 20% (BGs 20) yaitu 11,407 Mpa.

Pada benda uji variasi BS 9 terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 10,405% dari beton normal sedangkan pada benda uji BGs 20 terjadi penurunan sebesar 9,924% dari beton normal.

Dari hasil pengujian kuat tekan di atas dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton paling besar terdapat pada beton bersilica fume (BS 9) sebesar 13,982 MPa. Hal ini dikarenakan apabila *silica fume* ditambahkan pada adukan beton, maka akan bereaksi dengan C_2S dan C_3S yang terkandung dalam semen serta akan menghasilkan gel CSH_2 yang membentuk suatu ikatan gel yang kuat dan padat dalam beton.

Selain itu, *silica fume* dalam beton memiliki 2 fungsi, yang pertama yaitu sebagai bahan pozzolan, dimana SiO_2 bereaksi dengan $Ca(OH)_2$ yang merupakan hasil dari hidrasi semen. Hasil reaksi dari keduanya menghasilkan CSH dimana

memberikan kekuatan pada beton. Fungsi yang kedua adalah sebagai *filler*, karena butiran *silica fume* yang sangat halus yaitu sebesar 0,1 μm lebih kecil dibandingkan dengan butiran semen yang berkisar antara 5-50 μm . *Silica fume* akan mengisi rongga-rongga sampai memasuki ke celah-celah yang paling kecil di antara agregat dan pasta semen, sehingga beton akan menjadi lebih kompak dan padat. Dengan berkurangnya ukuran pori dalam beton, maka diperlukan tekanan yang lebih tinggi untuk memulai retakan sehingga kekuatan beton akan bertambah.

Namun, pada benda uji variasi BGs 10, BGs 15 dan BGs 20 kuat tekannya mengalami penurunan, hal ini dikarenakan permukaan limbah genteng keramik yang licin berbeda dengan agregat kasar atau kerikil yang mempunyai permukaan yang kasar dan mudah diikat oleh semen serta bentuk limbah genteng keramik yang pipih sehingga dapat mengurangi daya ikatan antara agregat dan semen. Semakin banyak penggunaan limbah genteng keramik pada campuran beton, maka akan terjadi penurunan kuat tekan beton, hal ini dikarenakan limbah genteng keramik menghalangi pengikatan antara agregat kasar dan semen.

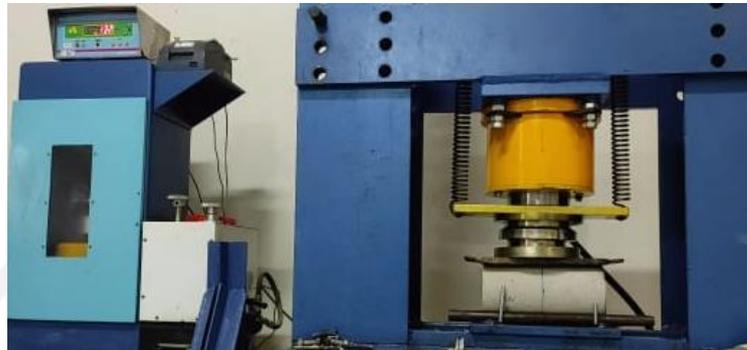
5.7.3 Analisis Kuat Tarik Beton

Seperti pengujian kuat tekan, setelah dilakukan perhitungan, pembuatan dan perawatan benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik belah. Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji berumur 28 hari yang terdiri dari lima variasi, sama halnya dengan pengujian kuat tekan diatas. Perhitungan kuat tarik belah pada beton dapat dilihat seperti berikut.

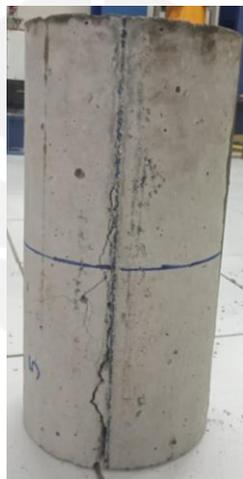
Perhitungan Tarik Belah

Benda Uji BN 5

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tarik Belah} &= \frac{2 \times P}{\pi \times L \times D} \\ &= \frac{2 \times 132}{\pi \times 30,19 \times 15,11} \times 10 \\ &= 1,842 \text{ Mpa} \end{aligned}$$



Gambar 5.25 Pengujian Kuat Tarik Beton BN (5)
 Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.26 Pengujian Kuat Tarik Beton BN (5)
 Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Rekapitulasi pengujian kuat tarik belah benda uji beton silinder sebanyak 25 *sample* dapat dilihat pada Tabel 5.24 dibawah ini.

Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

| Kode Benda Uji | | Luas Tampang (cm ²) | Beban Max (KN) | Kuat Tarik (Mpa) | Kuat Tarik Rata-rata (Mpa) |
|----------------|---|---------------------------------|----------------|------------------|----------------------------|
| BN | 1 | 1420,792 | 129 | 1.816 | 1.734 |
| | 2 | 1419,337 | 116 | 1.635 | |
| | 3 | 1412,748 | 119 | 1.685 | |
| | 4 | 1427,863 | 121 | 1.695 | |
| | 5 | 1433,103 | 132 | 1.842 | |

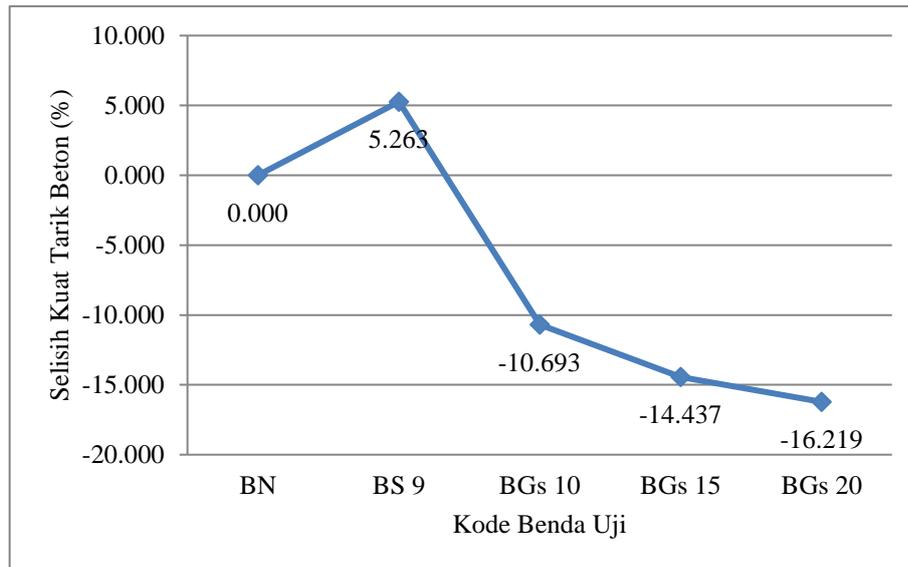
Lanjutan Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

| Kode Benda Uji | | Luas Tampang (cm ²) | Beban Max (KN) | Kuat Tarik (Mpa) | Kuat Tarik Rata-rata (Mpa) |
|----------------|---|---------------------------------|----------------|------------------|----------------------------|
| BS 9 | 1 | 1437,843 | 131 | 1,822 | 1,826 |
| | 2 | 1415,964 | 120 | 1,695 | |
| | 3 | 1444,034 | 102 | 1,413 | |
| | 4 | 1416,533 | 177 | 2,499 | |
| | 5 | 1447,369 | 123 | 1,700 | |
| BGs 10 | 1 | 1447,849 | 122 | 1,685 | 1,549 |
| | 2 | 1415,044 | 106 | 1,498 | |
| | 3 | 1416,489 | 120 | 1,694 | |
| | 4 | 1442,605 | 126 | 1,747 | |
| | 5 | 1428,315 | 80 | 1,120 | |
| BGs 15 | 1 | 1425,513 | 106 | 1,487 | 1,484 |
| | 2 | 1432,623 | 107 | 1,494 | |
| | 3 | 1435,948 | 114 | 1,588 | |
| | 4 | 1444,977 | 98 | 1,356 | |
| | 5 | 1404,753 | 105 | 1,495 | |
| BGs 20 | 1 | 1410,855 | 98 | 1,389 | 1,453 |
| | 2 | 1420,286 | 104 | 1,464 | |
| | 3 | 1434,052 | 102 | 1,423 | |
| | 4 | 1425,988 | 110 | 1,543 | |
| | 5 | 1424,102 | 103 | 1,447 | |

Pada Tabel 5.25 dapat dilihat persentase perubahan kuat tarik belah serta grafiknya pada Gambar 5.27 dibawah ini.

Tabel 5.25 Persentase Perubahan Kuat Tarik Belah Rata-Rata

| Kode Benda Uji | Kuat Tarik Belah Rata-rata (Mpa) | Persentase Perubahan Kuat Tarik Belah (%) |
|----------------|----------------------------------|---|
| BN | 1,734 | 0 |
| BS 9 | 1,826 | 5,263 |
| BGs 10 | 1,549 | -10,693 |
| BGs 15 | 1,484 | -14,437 |
| BGs 20 | 1,453 | -16,219 |



Gambar 5.27 Perubahan Nilai Kuat Tarik pada Tiap Variasi

Dari Tabel 5.25 dan Gambar 5.27 diatas dapat dilihat bahwa kuat tarik belah rata-rata beton tertinggi yaitu pada campuran beton yang terdapat penggantian sebagian semen dengan sika fume sebesar 9% (BS 9) sebesar 1,826 Mpa dan kuat tarik belah rata – rata beton terendah terdapat pada campuran beton yang mengganti sebagian semen dengan sika fume sebesar 9% dan mengganti sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik sebesar 20% (BGs 20) yaitu sebesar 1,453 Mpa.

Pada benda uji variasi BS 9 terjadi peningkatan kuat tarik belah sebesar 5,263% dari beton normal sedangkan pada benda uji BGs 20 terjadi penurunan sebesar 16,219% dari beton normal.

5.7.4 Analisis Absorpsi Beton

Uji serapan air pada benda uji dilakukan dengan cara benda uji yang telah direndam selama 28 hari ditimbang dahulu berat basahnya, lalu dioven pada suhu 110° selama 24 jam, kemudian ditimbang kembali berat kering mutlak setelah dioven, maka didapat nilai penyerapan air (absorpsi) benda uji.

1. Benda Uji Kuat Tekan

Perhitungan absorpsi atau penyerapan air pada beton dapat dilihat di bawah ini.

Perhitungan Absorpsi

Benda Uji BGs 15 (4)

$$R = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\%$$

$$R = \frac{11,42 - 11,36}{11,36} \times 100\%$$

$$R = 0,582\%$$



Gambar 5.28 Berat Basah Beton BGs 15 (4)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.29 Berat Kering Beton BGs 15 (4)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Berikut adalah data hasil pengujian penyerapan air pada beton dapat dilihat pada Tabel 5.26.

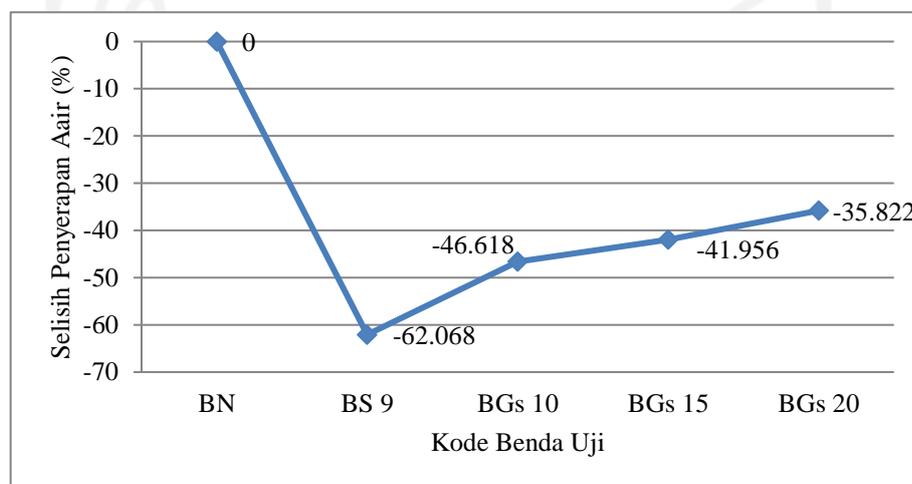
Tabel 5.26 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tekan

| No. | Kode Benda Uji | | Penyerapan Air (%) | Penyerapan Air Rata-rata (%) |
|-----|----------------|---|--------------------|------------------------------|
| 1 | BN | 1 | 0,509 | 0,802 |
| 2 | | 2 | 2,234 | |
| 3 | | 3 | 0,765 | |
| 4 | | 4 | 0,166 | |
| 5 | | 5 | 0,335 | |
| 6 | BS9 | 1 | 0,508 | 0,304 |
| 7 | | 2 | 0,253 | |
| 8 | | 3 | 0,252 | |
| 9 | | 4 | 0,339 | |
| 10 | | 5 | 0,168 | |
| 11 | BGs10 | 1 | 0,512 | 0,428 |
| 12 | | 2 | 0,602 | |
| 13 | | 3 | 0,343 | |
| 14 | | 4 | 0,427 | |
| 15 | | 5 | 0,255 | |
| 16 | BGs15 | 1 | 0,689 | 0,465 |
| 17 | | 2 | 0,429 | |
| 18 | | 3 | 0,339 | |
| 19 | | 4 | 0,528 | |
| 20 | | 5 | 0,342 | |
| 21 | BGs20 | 1 | 0,354 | 0,515 |
| 22 | | 2 | 0,355 | |
| 23 | | 3 | 0,704 | |
| 24 | | 4 | 0,624 | |
| 25 | | 5 | 0,535 | |

Pada Tabel 5.26 dapat dilihat persentase perubahan penyerapan air serta grafiknya pada Gambar 5.30 dibawah ini.

Tabel 5.26 Persentase Perubahan Penyerapan Air Rata – Rata pada Beton yang Diuji Kuat Tekan

| Kode Benda Uji | Penyerapan Air Rata – Rata (%) | Persentase Perubahan Penyerapan Air (%) |
|----------------|--------------------------------|---|
| BN | 0,802 | 0 |
| BS 9 | 0,304 | -62,068 |
| BGs 10 | 0,428 | -46,618 |
| BGs 15 | 0,465 | -41,956 |
| BGs 20 | 0,515 | -35,822 |



Gambar 5.30 Perubahan Nilai Absorpsi pada Beton yang Diuji Tekan

Dari pengujian penyerapan air pada beton yang diuji kuat tekannya dapat dilihat bahwa penyerapan air maksimum terdapat pada variasi BN sebesar 0,802%. Namun, nilai penyerapan air minimum terdapat pada variasi beton BS 9 sebesar 0,304%.

2. Benda Uji Kuat Tarik

Perhitungan absorpsi dapat dilihat di bawah ini.

Perhitungan Absorpsi

Benda Uji BN (1)

$$R = \frac{W - W_k}{W_k} \times 100\%$$

$$R = \frac{11,88 - 11,81}{11,81} \times 100\%$$

$$R = 0,593\%$$



Gambar 5.31 Berat Basah Beton BN (1)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)



Gambar 5.32 Berat Kering Beton BN (1)

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2021)

Berikut hasil pengujian dari penyerapan air pada benda uji yang diuji tarik dapat dilihat pada Tabel 5.27 dibawah ini.

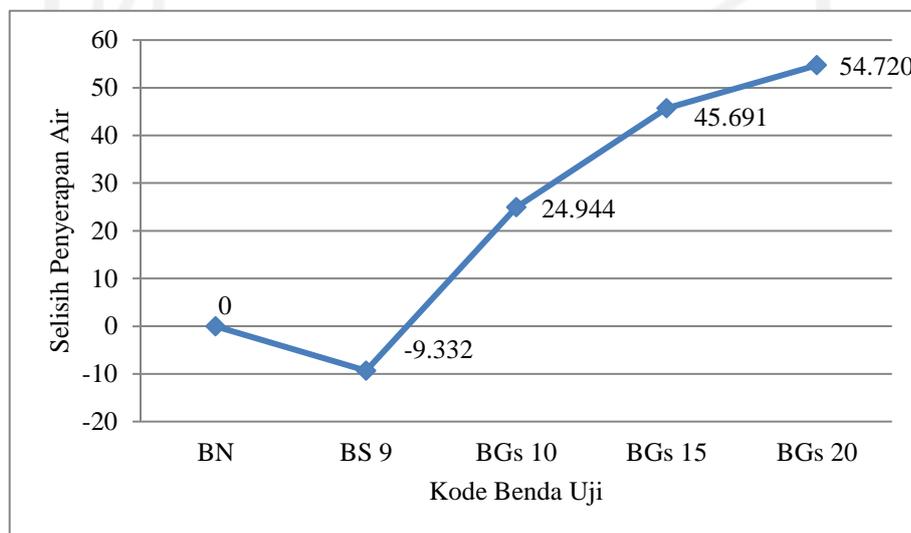
Tabel 5.27 Hasil Pengujian Penyerapan Air pada Benda Uji yang Diuji Tarik

| No. | Kode Benda Uji | | Penyerapan Air (%) | Penyerapan Air Rata-rata (%) |
|-----|----------------|---|--------------------|------------------------------|
| 1 | BN | 1 | 0,593 | 0,606 |
| 2 | | 2 | 0,671 | |
| 3 | | 3 | 0,591 | |
| 4 | | 4 | 0,585 | |
| 5 | | 5 | 0,589 | |
| 6 | BS9 | 1 | 0,425 | 0,549 |
| 7 | | 2 | 0,596 | |
| 8 | | 3 | 0,516 | |
| 9 | | 4 | 0,607 | |
| 10 | | 5 | 0,603 | |
| 11 | BGs10 | 1 | 0,681 | 0,757 |
| 12 | | 2 | 0,595 | |
| 13 | | 3 | 0,783 | |
| 14 | | 4 | 0,775 | |
| 15 | | 5 | 0,951 | |
| 16 | BGs15 | 1 | 0,779 | 0,882 |
| 17 | | 2 | 0,775 | |
| 18 | | 3 | 0,867 | |
| 19 | | 4 | 1,039 | |
| 20 | | 5 | 0,952 | |
| 21 | BGs20 | 1 | 1,243 | 0,937 |
| 22 | | 2 | 1,155 | |
| 23 | | 3 | 0,617 | |
| 24 | | 4 | 0,616 | |
| 25 | | 5 | 1,054 | |

Pada Tabel 5.28 dapat dilihat persentase perubahan penyerapan air serta grafiknya pada Gambar 5.33 dibawah ini.

Tabel 5.28 Persentase Perubahan Penyerapan Air Rata – Rata pada Benda Uji yg Diuji Tarik

| Kode Benda Uji | Penyerapan Air Rata – Rata (%) | Persentase Perubahan Penyerapan Air (%) |
|----------------|--------------------------------|---|
| BN | 0,606 | 0 |
| BS 9 | 0,549 | -9,332 |
| BGs 10 | 0,757 | 24,944 |
| BGs 15 | 0,882 | 45,691 |
| BGs 20 | 0,937 | 54,720 |



Gambar 5.33 Perubahan Absorpsi pada Beton yang Diuji Tarik

Dari pengujian penyerapan air pada beton yang diuji kuat tariknya dapat dilihat bahwa penyerapan air rata-rata maksimum terdapat pada variasi BGs 20 sebesar 0,937%. Namun, nilai absorpsi atau penyerapan air minimum terdapat pada variasi beton BS 9 yaitu sebesar 0,549%.

3. Rekapitulasi Benda Uji Kuat Tekan dan Tarik pada Pengujian Absorpsi

Berikut rekapitulasi pengujian absorpsi atau penyerapan air rata-rata pada benda uji yang akan diuji kuat tekan dan kuat tariknya, tertera pada Tabel 5.29 dibawah ini.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi

| No. | Kode Benda Uji | Penyerapan Air Rata-Rata (%) | |
|-----|----------------|------------------------------|----------------------|
| | | Benda Uji Kuat Tekan | Benda Uji Kuat Tarik |
| 1 | BN | 0,802 | 0,606 |
| 2 | BS 9 | 0,304 | 0,549 |
| 3 | BGs 10 | 0,428 | 0,757 |
| 4 | BGs 15 | 0,465 | 0,882 |
| 5 | BGs 20 | 0,515 | 0,937 |

Pada Tabel 5.29 menunjukkan bahwa absorpsi atau penyerapan air minimum terdapat pada beton variasi BS 9. Hal tersebut dikarenakan efek pozzolan yang timbul karena adanya reaksi senyawa silika dalam *silica fume* dengan kalsium hidroksida membentuk gel CSH baru, dimana gel tersebut berkembang pada rongga antara agregat dan pasta semen yang mengakibatkan berkurangnya volume pori yang terdapat pada beton variasi BS 9. Sehingga menyebabkan beton menjadi lebih padat, kedap dan nilai penyerapan airnya semakin berkurang.

Beda halnya dengan beton variasi BS 9, pada beton yang sama-sama menggunakan 9% *silica fume* dari berat semen dan menggunakan limbah genteng keramik justru menghasilkan nilai absorpsi yang tinggi dibandingkan dengan beton variasi BS 9 sendiri. Karena sifat pecahan genteng keramik adalah menyerap air dalam adukan beton, walaupun tetap ada kandungan *silica fume* sebanyak 9%, tapi nilai penyerapan air pada beton yang mengandung limbah genteng keramik mengalami kenaikan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan serta pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat ditarik kesimpulan.

1. Kuat tekan maksimum terdapat pada beton dengan campuran 9% *silica fume* terhadap berat semen yaitu memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 13,982 MPa pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang menggunakan bahan tambah *silica fume* (BS 9) dapat meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal (BN).
2. Kuat tekan rata-rata maksimum pada campuran beton yang menggunakan limbah genteng keramik terdapat pada BGs 10 sebesar 12,748 MPa. Semakin banyak kandungan limbah genteng keramik pada campuran beton, kuat tekan beton semakin menurun.
3. Kuat tarik belah maksimum terdapat pada beton dengan campuran 9% *silica fume* terhadap berat semen yaitu memiliki kuat tarik rata-rata sebesar 1,826 MPa pada umur 28 hari.
4. Nilai absorpsi maksimum terdapat pada beton dengan campuran 9% *silica fume* terhadap berat semen dan 20% limbah genteng keramik terhadap berat agregat kasar (BGs 20).
5. Semakin banyak presentase kadar limbah genteng keramik yang terdapat pada campuran beton, maka nilai absorpsinya akan semakin tinggi. Dikarenakan sifat genteng keramik yang menyerap air.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ternyata masih banyak hal-hal yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu penelitian selanjutnya dapat disarankan sebagai berikut:

1. Diperlukan ketelitian dalam perencanaan *mix design*.

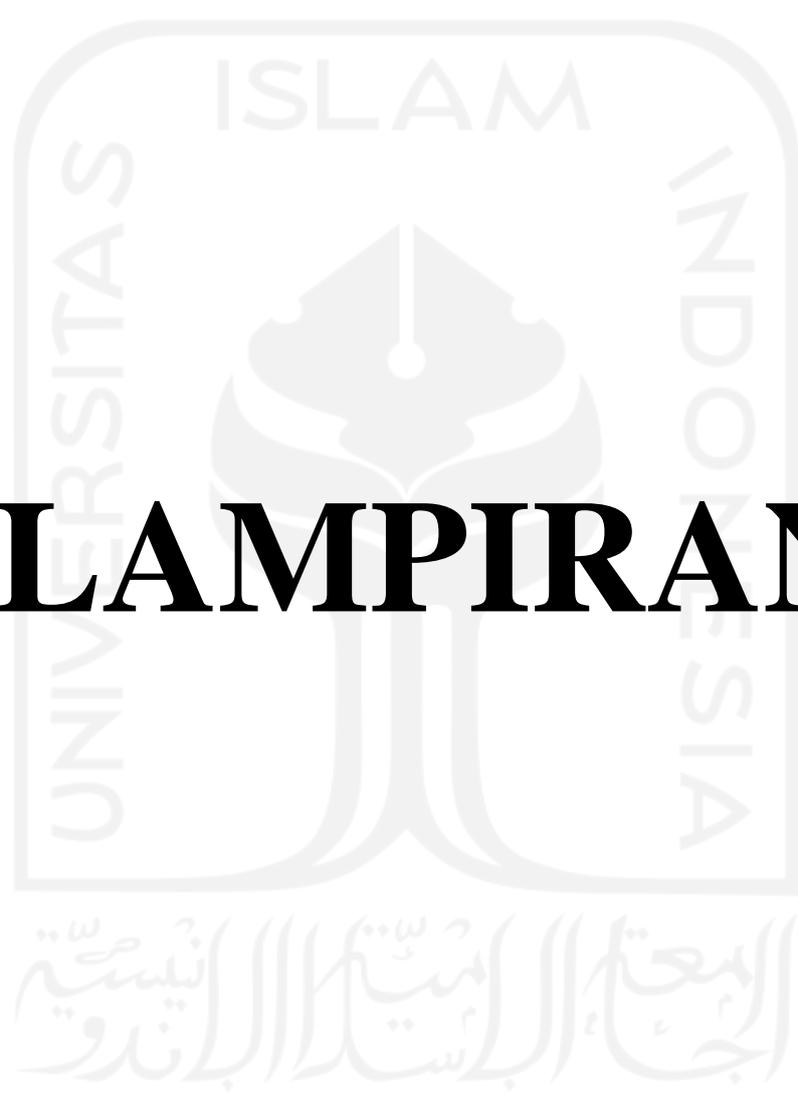
2. Perlu diperhatikan pada saat menggunakan *silica fume* karena penggunaan air yang sedikit mengakibatkan proses pengadukan yang sulit.
3. Pada penelitian selanjutnya disarankan mengkaji lebih dalam mengenai uji tarik belah beton dengan menggunakan limbah genteng keramik.



DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*. Bandung : Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Dipohusodo, Istimewa. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. PT Gramedia Pustaka. Jakarta.
- Jurusan Teknik Sipil. 2017. *Pedoman Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi. *Buku Panduan Praktikum Beton Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia.
- Mersyanti. 2007. *Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Genteng Keramik pada Beton K-175*. Politeknik Balikpapan. Balikpapan.
- Soemantoro. 2000. *Pemanfaatan Limbah Genteng Sebagai Bahan Alternatif Agregat Kasar Pada Beton*.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. SNI 03-2834-2000 tentang *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-6805-2002 tentang *Metode Pengujian untuk Mengukur Nilai Kuat Tekan Beton pada Umur Awal dan Memproyeksikan Kekuatan pada Umur Berikutnya*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1990. SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 1998. SNI 03-4804-1998. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 1996. SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. SNI 03-6433-2000. *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-2491-2002. *Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standarisasi Indonesia.

- Standar Nasional Indonesia. 2002. *SNI 03-6861.1-2002. Spesifikasi Bangunan Bagian A*. Jakarta : Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2004. *SNI 15-2049-2004. Semen Portland*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *SNI 1969:2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *SNI 1970:2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. *SNI 2491:2014. Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. *SNI 2491:2014. Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. Badan Standarisasi Indonesia.
- Susilo, Dwi, 2013, *Pengaruh Penambahan Sika Fume pada Beton Ringan*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Tjokrodinuljo, 1996, *Teknologi Beton*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Warsiti, 2011, *Pengaruh Pemakaian Limbah Genteng Beton Terhadap Mutu Beton Sedang*. Politeknik Negeri Semarang. Semarang.



LAMPIRAN

Lampiran 1



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|---|------|-------------------------|
| Berat kerikil kering mutlak, (Bk) | gram | 4945 |
| Berat kerikil kondisi jenuh kering muka (SSD), (Bj) | gram | 5000 |
| Berat kerikil dalam air, (Ba) | gram | 3060 |
| Berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba) | gram | 2,549 |
| Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba) | | 2,577 |
| Berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba) | | 2,623 |
| Penyerapan air, $(Bj - Bk)/Bk \times 100\%$ | % | 1,112 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT ISI PADAT AGREGAT KASAR

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| Berat tabung (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + Agregat (W2) | gram | 8020 |
| Berat agregat (W3) | gram | 4180 |
| Volume tabung (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi padat (W/V) | gram/cm ³ | 1,577 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT KASAR

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| Berat tabung (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + Agregat (W2) | gram | 7650 |
| Berat agregat (W3) | gram | 3810 |
| Volume tabung (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi gembur (W/V) | gram/cm ³ | 1,437 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT KASAR

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,00 |
| 20 | 2198 | 67,527 | 67,527 | 32,473 |
| 10 | 705 | 21,659 | 89,186 | 10,814 |
| 4.8 | 300 | 9,217 | 98,402 | 1,598 |
| 2.4 | 34 | 1,045 | 99,447 | 0,553 |
| 1.2 | 1 | 0,031 | 99,478 | 0,522 |
| 0.6 | 1 | 0,031 | 99,508 | 0,492 |
| 0.3 | 2 | 0,061 | 99,570 | 0,430 |
| 0.15 | 2 | 0,061 | 99,631 | 0,369 |
| Pan | 12 | 0,369 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 3255 | 100,000 | 752,749 | |

Modulus Halus Butir : 7,527

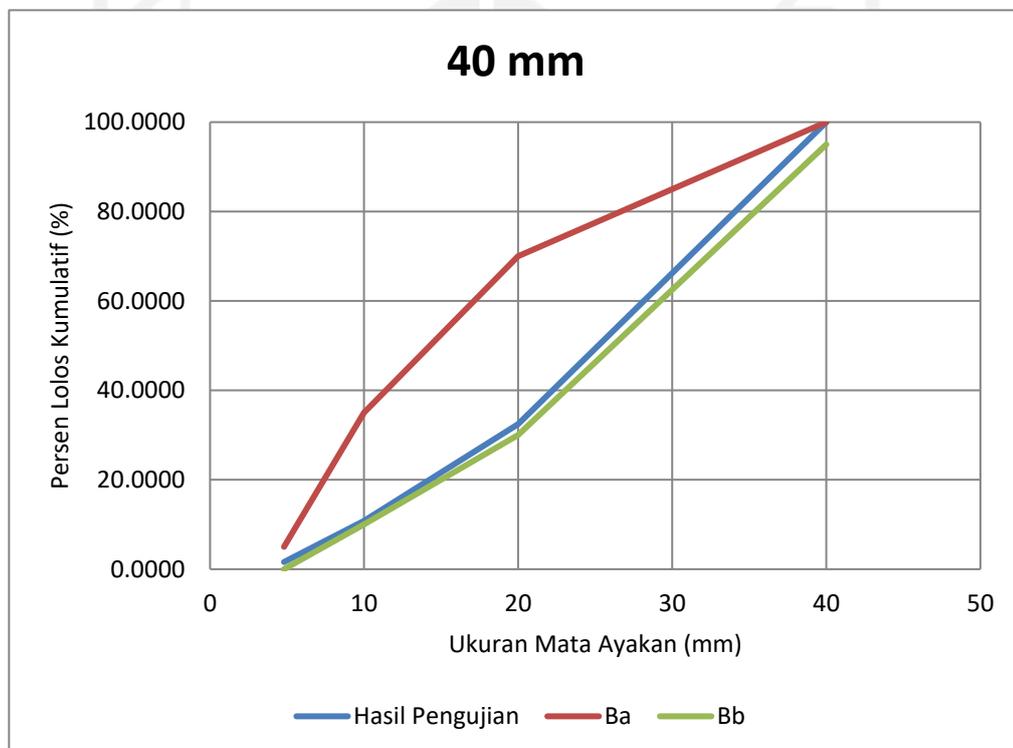
GRADASI KERIKIL

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum | | |
|--------------------|---|--------|-------|
| | 40 mm | 20 mm | 10 mm |
| 40 | 95-100 | 100 | - |
| 20 | 37-70 | 95-100 | 100 |
| 10 | 10-40 | 30-60 | 50-85 |
| 4.8 | 0-5 | 0-10 | 0-10 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Lampiran 5



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
 Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|--|------|------------------|
| Berat pasir kering mutlak (Bk) | gram | 453 |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD) | gram | 500 |
| Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt) | gram | 988 |
| Berat piknometer berisi air, (B) | gram | 701 |
| Berat jenis curah ($Bk/(B + 500 - Bt)$) | | 2,127 |
| Berat jenis kering muka ($500/(B + 500 - Bt)$) | | 3,347 |
| Berat jenis semu, $Bk/(B + Bk - Bt)$ | | 2,729 |
| Penyerapan air, $(500 - Bk)/Bk \times 100\%$ | % | 10,375 |

Lampiran 6



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT ISI PADAT AGREGAT HALUS

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|-----------------------------|----------------------|------------------|
| Berat tabung (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + Agregat (W2) | gram | 7970 |
| Berat agregat (W3) | gram | 4130 |
| Volume tabung (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi padat (W/V) | gram/cm ³ | 1,558 |

Lampiran 7



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
 Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT ISI GEMBUR AGREGAT HALUS

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| Berat tabung (W1) | gram | 3840 |
| Berat tabung + Agregat (W2) | gram | 7310 |
| Berat agregat (W3) | gram | 3470 |
| Volume tabung (V) | cm ³ | 2650,719 |
| Berat isi gembur (W/V) | gram/cm ³ | 1,309 |

Lampiran 8



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
 Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN MODULUS HALUS BUTIR AGREGAT HALUS

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 20 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 10 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 4.8 | 88 | 4,415 | 4,415 | 95,585 |
| 2.4 | 291 | 14,601 | 19,017 | 80,983 |
| 1.2 | 358 | 17,963 | 36,979 | 63,021 |
| 0.6 | 440 | 22,077 | 59,057 | 40,944 |
| 0.3 | 348 | 17,461 | 76,518 | 23,482 |
| 0.15 | 320 | 16,056 | 92,574 | 7,426 |
| Pan | 148 | 7,426 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 1993 | 100,000 | 288,560 | |

Modulus Halus Butir : 2,886

GRADASI PASIR

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan | | | |
|--------------------|--|-----------|------------|-----------|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4.8 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 95-100 |
| 2.4 | 60-95 | 75-100 | 85-100 | 95-100 |
| 1.2 | 30-70 | 55-90 | 75-100 | 90-100 |
| 0.6 | 15-34 | 35-59 | 60-79 | 80-100 |
| 0.3 | 5-20 | 8-30 | 12-40 | 15-50 |
| 0.15 | 0-10 | 0-10 | 0-10 | 0-15 |

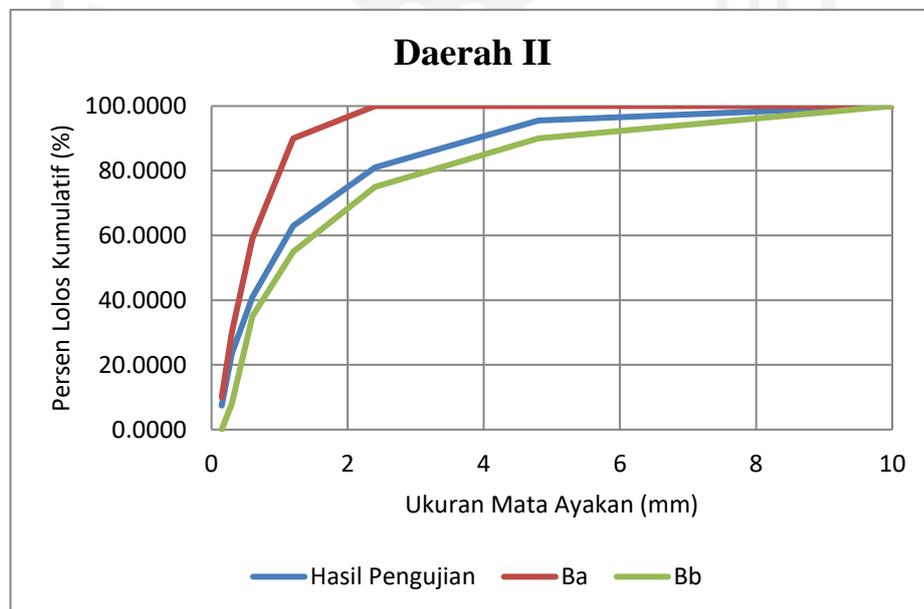


LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Hasil Analisis Saringan:

Pasir Daerah II (Pasir Agak Kasar)

Lampiran 9



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN KANDUNGAN LUMPUR PADA AGREGAT HALUS

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|---|------|------------------|
| Berat pasir kering mutlak (W1) | gram | 500 |
| Berat pasir setelah dicuci dan dioven lagi (W2) | gram | 484 |
| Kadar lumpur | % | 3,200 |

Lampiran 10



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
 Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR LIMBAH GENTENG KERAMIK

| Uraian | | Hasil Pengamatan |
|--|------|-------------------------|
| Berat limbah genteng keramik kering mutlak, (Bk) | gram | 1788 |
| Berat limbah genteng keramik kondisi jenuh kering muka (SSD), (Bj) | gram | 2000 |
| Berat limbah genteng keramik dalam air, (Ba) | gram | 1670 |
| Berat jenis curah, (Bk/Bj- Ba) | | 5,418 |
| Berat jenis jenuh kering muka, (Bj/Bj- Ba) | | 6,061 |
| Berat jenis semu, (Bk/Bk- Ba) | | 15,153 |
| Penyerapan air, (Bj - Bk)/Bk x 100% | % | 11,860 |

Lampiran 11



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

**PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR LIMBAH
 GENTENG KERAMIK**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|--------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 40 | 0 | 0,000 | 0,000 | 100,000 |
| 20 | 1476 | 46,947 | 46,947 | 53,053 |
| 10 | 943 | 29,994 | 76,947 | 23,060 |
| 4.8 | 697 | 22,169 | 99,109 | 0,891 |
| 2.4 | 22 | 0,700 | 99,809 | 0,191 |
| 1.2 | 1 | 0,032 | 99,841 | 0,159 |
| 0.6 | 1 | 0,032 | 99,873 | 0,127 |
| 0.3 | 1 | 0,032 | 99,905 | 0,095 |
| 0.15 | 2 | 0,064 | 99,968 | 0,032 |
| Sisa | 1 | 0,032 | 100,000 | 0,000 |
| Jumlah | 3144 | 100,000 | 722,392 | |

Modulus Halus Butir : 7,224

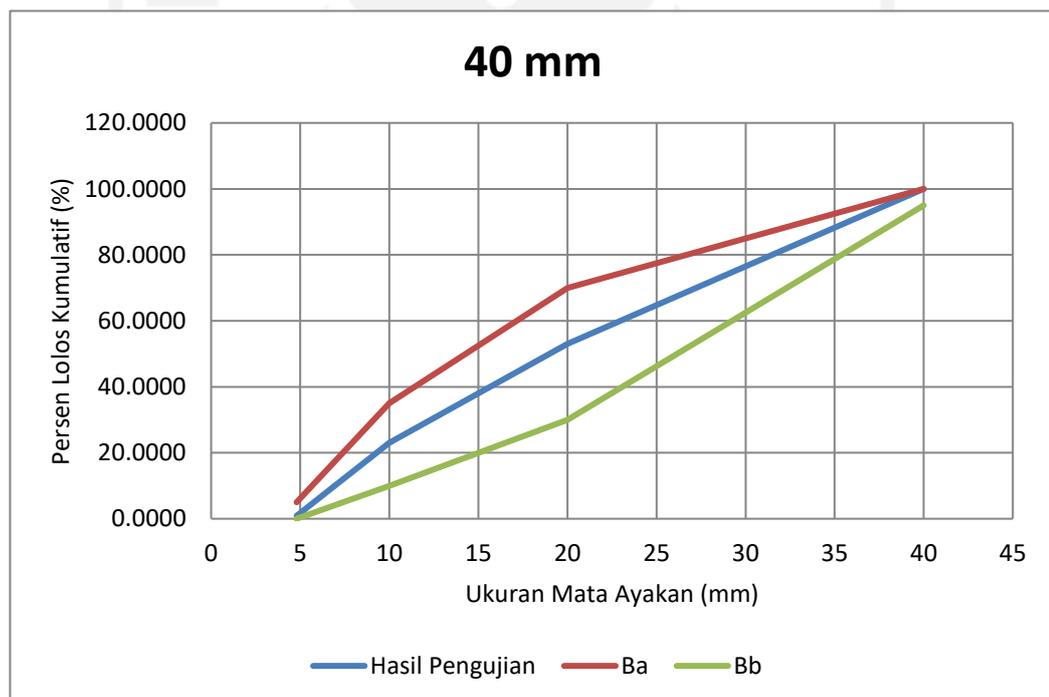
GRADASI KERIKIL

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum | | |
|--------------------|---|--------|-------|
| | 40 mm | 20 mm | 10 mm |
| 40 | 95-100 | 100 | - |
| 20 | 37-70 | 95-100 | 100 |
| 10 | 10-40 | 30-60 | 50-85 |
| 4.8 | 0-5 | 0-10 | 0-10 |



LABORATORIUM MEKANIKA TANAH - BETON - HIDROLIKA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS PAKUAN
Jalan Pakuan PO BOX 452 Bogor Telp./Fax. (0251) 8311007

GAMBAR ANALISA SARINGAN LIMBAH GENTENG KERAMIK



Lampiran 12

**FORMULIR PERENCANAAN CAMPURAN BETON
(SNI 03-2834-2000)**

| No. | Uraian | Nilai | Satuan |
|-----|--|----------|--------------------|
| 1 | Kuat Tekan Rencana ($f'c$) | 22 | MPa |
| 2 | Deviasi Standart | 7 | |
| 3 | Nilai Tambah | 12 | |
| 4 | Kuat Tekan Beton Ditargetkan (fcr) | 34 | MPa |
| 5 | Jenis Semen | Tipe 1 | |
| 6 | Faktor Air Semen (fas) | 0,52 | |
| 7 | <i>Slump</i> | 60-180 | mm |
| 8 | Ukuran Agregat Maksimum | 40 | mm |
| 9 | Wh | 175 | |
| 10 | Wk | 205 | |
| 11 | Kadar Air Bebas | 185 | kg |
| 12 | Jumlah Semen | 356 | kg |
| 13 | Kadar Semen Minimum | 325 | kg |
| 14 | Bj Agregat Halus | 2,577 | |
| 15 | Bj Agregat Kasar | 2,347 | |
| 16 | BJ Butiran Agregat Gabungan | 2,493 | |
| 17 | Persen Agregat Halus | 36,5 | % |
| 18 | Persen Agregat Kasar | 63,5 | % |
| 19 | Berat Isi Beton | 2300 | kg/ m ³ |
| 20 | Kadar Agregat Gabungan | 1759 | kg/ m ³ |
| 21 | Kadar Agregat Halus | 642,035 | kg/ m ³ |
| 22 | Kadar Agregat Kasar | 1116,965 | kg/ m ³ |

| No. | Uraian | Semen (kg) | Air (kg) | Agregat | |
|-----|--|------------|----------|------------|------------|
| | | | | Halus (kg) | Kasar (kg) |
| 23 | Proporsi Campuran Teoritis (Agregat Kondisi SSD) | | | | |
| | • Setiap m ³ | 356 | 185 | 642,035 | 1116,965 |
| | • Setiap Campuran Uji | 94,366 | 49,038 | 170,185 | 296,076 |
| 24 | Proporsi Campuran dengan Angka Penyusutan 15% | | | | |
| | • Setiap m ³ | 409,400 | 212,750 | 738,340 | 1284,510 |
| | • Setiap Campuran Uji | 108,5 | 56,394 | 195,713 | 340,487 |

Lampiran 13

HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

| Jenis Benda Uji | NO sampel | Jumlah sampel | Kode Benda Uji | Diameter Benda Uji | Tinggi Benda Uji | Berat Benda Uji | Luas Benda Uji Tekan | Luas Benda Uji Tekan | Volume Benda Uji | Berat Volume | Berat Volume Rata - Rata | Hasil Pengujian | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|----------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------------------|--------|
| | | | | | | | | | | | | Slump | Beban Tekan (P) | Desak | Hasil Rata - Rata Pengujian Tekan | |
| | | | | | | | | | | | | (cm) | N | (MPa) | (MPa) | |
| Beton Normal | 1 | 5 | BN | 15.01 | 30.21 | 11.83 | 176.950 | 17695.028 | 5345.6681 | 0.002213 | 0.002226 | 12 | 223000 | 12.602 | 12.664 | |
| | 2 | | | 14.98 | 30.15 | 11.90 | 176.244 | 17624.366 | 5313.7464 | 0.002239 | | | 239000 | 13.561 | | |
| | 3 | | | 14.97 | 30.12 | 11.89 | 176.008 | 17600.844 | 5301.3741 | 0.002243 | | | 230000 | 13.068 | | |
| | 4 | | | 15.02 | 30.11 | 11.98 | 177.186 | 17718.614 | 5335.0747 | 0.002246 | | | 210000 | 11.852 | | |
| | 5 | | | 15.13 | 30.23 | 11.90 | 179.791 | 17979.091 | 5435.0793 | 0.002189 | | | 220000 | 12.236 | | |
| Silica Fume | Limbah Genteng Keramik | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9% | 0% | 5 | BS 9 | 15.06 | 30.3 | 11.79 | 178.131 | 17813.113 | 5397.3733 | 0.002184 | 0.002176 | 9.1 | 246000 | 13.810 | 13.982 | |
| | | | | 2 | 14.89 | 30.22 | 11.76 | 174.132 | 17413.228 | 5262.2774 | | | 0.002235 | 260000 | | 14.931 |
| | | | | 3 | 15.11 | 30.25 | 11.68 | 179.316 | 17931.590 | 5424.3061 | | | 0.002153 | 257000 | | 14.332 |
| | | | | 4 | 14.99 | 30.18 | 11.65 | 176.479 | 17647.905 | 5326.1376 | | | 0.002187 | 234000 | | 13.259 |
| | | | | 5 | 15.19 | 30.29 | 11.64 | 181.220 | 18121.971 | 5489.1450 | | | 0.002121 | 246000 | | 13.575 |
| | 10% | 5 | BGs 10 | 14.9 | 30.26 | 11.66 | 174.366 | 17436.625 | 5276.3226 | 0.002210 | 0.002171 | 9.4 | 193000 | 11.069 | 12.748 | |
| | | | | 2 | 14.89 | 30.27 | 11.75 | 174.132 | 17413.228 | 5270.9840 | | | 0.002229 | 188000 | | 10.796 |
| | | | | 3 | 14.92 | 30.28 | 11.60 | 174.835 | 17483.466 | 5293.9934 | | | 0.002191 | 220000 | | 12.583 |
| | | | | 4 | 15.13 | 30.24 | 11.59 | 179.791 | 17979.091 | 5436.8772 | | | 0.002132 | 267000 | | 14.851 |
| | | | | 5 | 15.2 | 30.33 | 11.53 | 181.458 | 18145.839 | 5503.6330 | | | 0.002095 | 262000 | | 14.439 |
| | 15% | 5 | BGs 15 | 14.99 | 30.08 | 11.50 | 176.479 | 17647.905 | 5308.4897 | 0.002166 | 0.002165 | 8.7 | 213000 | 12.069 | 11.421 | |
| | | | | 2 | 15.02 | 30.12 | 11.42 | 177.186 | 17718.614 | 5336.8465 | | | 0.002140 | 189000 | | 10.667 |
| | | | | 3 | 14.98 | 30.17 | 11.53 | 176.244 | 17624.366 | 5317.2713 | | | 0.002168 | 204000 | | 11.575 |
| | | | | 4 | 15.01 | 30.21 | 11.54 | 176.950 | 17695.028 | 5345.6681 | | | 0.002159 | 191000 | | 10.794 |
| | | | | 5 | 14.89 | 30.01 | 11.46 | 174.132 | 17413.228 | 5225.7096 | | | 0.002193 | 209000 | | 12.002 |
| | 20% | 5 | BGs 20 | 15.21 | 30.13 | 11.23 | 181.697 | 18169.723 | 5474.5376 | 0.002051 | 0.002053 | 7.3 | 210000 | 11.558 | 11.407 | |
| | | | | 2 | 15.22 | 30.29 | 11.26 | 181.936 | 18193.623 | 5510.8483 | | | 0.002043 | 198000 | | 10.883 |
| | | | | 3 | 15.25 | 30.23 | 11.25 | 182.654 | 18265.416 | 5521.6353 | | | 0.002037 | 217000 | | 11.880 |
| | | | | 4 | 15.15 | 30.2 | 11.30 | 180.267 | 18026.655 | 5444.0498 | | | 0.002076 | 207000 | | 11.483 |
| | | | | 5 | 15.17 | 30.15 | 11.21 | 180.743 | 18074.282 | 5449.3959 | | | 0.002057 | 203000 | | 11.231 |

Lampiran 14

HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK BETON

| Jenis Benda Uji | No sampel | Jumlah sampel | Diameter Benda Uji | Tinggi Benda Uji | Berat Benda Uji | Luas Benda Uji Tarik | Luas Benda Uji Tarik | Volume Benda Uji | Berat Volume | Berat Volume Rata - Rata | Hasil Pengujian | | | | | |
|-----------------|------------------------|---------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|-----------------------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | Slump | Beban Tarik | Beban Tarik | Tarik | Hasil Rata - Rata Pengujian Tarik | |
| | | | | | | | | | | | (cm) | kN | N | (MPa) | (MPa) | |
| Beton Normal | 1 | 5 | 15.02 | 30.11 | 11.81 | 1420.792 | 142079.2189 | 5335.0747 | 0.00221365 | 0.002227 | 11.9 | | 129 | 129000 | 1.816 | 1.734 |
| | 2 | | 14.95 | 30.22 | 11.92 | 1419.337 | 141933.7003 | 5304.7721 | 0.00224703 | | | 116 | 116000 | 1.635 | | |
| | 3 | | 14.93 | 30.12 | 11.85 | 1412.748 | 141274.7827 | 5273.0813 | 0.00224726 | | | 119 | 119000 | 1.685 | | |
| | 4 | | 15.01 | 30.28 | 11.96 | 1427.863 | 142786.2658 | 5358.0546 | 0.00223215 | | | 121 | 121000 | 1.695 | | |
| | 5 | | 15.11 | 30.19 | 11.89 | 1433.103 | 143310.3148 | 5413.5471 | 0.00219634 | | | 132 | 132000 | 1.842 | | |
| Silica Fume | Limbah Genteng Keramik | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9% | 0% | 5 | 15.09 | 30.33 | 11.77 | 1437.843 | 143784.3183 | 5424.2634 | 0.002170 | 0.002163 | 8.6 | | 131 | 131000 | 1.822 | 1.826 |
| | | | 14.88 | 30.29 | 11.75 | 1415.964 | 141596.3561 | 5267.3844 | 0.002231 | | | 120 | 120000 | 1.695 | | |
| | | | 15.14 | 30.36 | 11.63 | 1444.034 | 144403.4320 | 5465.6699 | 0.002128 | | | 102 | 102000 | 1.413 | | |
| | | | 14.97 | 30.12 | 11.54 | 1416.533 | 141653.2818 | 5301.3741 | 0.002177 | | | 177 | 177000 | 2.499 | | |
| | | | 15.2 | 30.31 | 11.61 | 1447.369 | 144736.9435 | 5500.0039 | 0.002111 | | | 123 | 123000 | 1.700 | | |
| | 10% | 5 | 15.17 | 30.38 | 11.74 | 1447.849 | 144784.8842 | 5490.9667 | 0.002138 | 0.002168 | 7.7 | | 122 | 122000 | 1.685 | 1.549 |
| | | | 14.89 | 30.25 | 11.77 | 1415.044 | 141504.4017 | 5267.5014 | 0.002234 | | | 106 | 106000 | 1.498 | | |
| | | | 14.92 | 30.22 | 11.50 | 1416.489 | 141648.8835 | 5283.5034 | 0.002177 | | | 120 | 120000 | 1.694 | | |
| | | | 15.13 | 30.35 | 11.62 | 1442.605 | 144260.5209 | 5456.6542 | 0.002130 | | | 126 | 126000 | 1.747 | | |
| | | | 14.99 | 30.33 | 11.57 | 1428.315 | 142831.4733 | 5352.6095 | 0.002162 | | | 80 | 80000 | 1.120 | | |
| | 15% | 5 | 15.1 | 30.05 | 11.55 | 1425.513 | 142551.3375 | 5381.3130 | 0.002146 | 0.002145 | 8 | | 106 | 106000 | 1.487 | 1.484 |
| | | | 15.13 | 30.14 | 11.62 | 1432.623 | 143262.3427 | 5418.8981 | 0.002144 | | | 107 | 107000 | 1.494 | | |
| | | | 15.14 | 30.19 | 11.53 | 1435.948 | 143594.8489 | 5435.0650 | 0.002121 | | | 114 | 114000 | 1.588 | | |
| | | | 15.21 | 30.24 | 11.55 | 1444.977 | 144497.6798 | 5494.5243 | 0.002102 | | | 98 | 98000 | 1.356 | | |
| | | | 14.89 | 30.03 | 11.55 | 1404.753 | 140475.2788 | 5229.1923 | 0.002209 | | | 105 | 105000 | 1.495 | | |
| | 20% | 5 | 14.91 | 30.12 | 11.26 | 1410.855 | 141085.5332 | 5258.9632 | 0.002141 | 0.002120 | 7 | | 98 | 98000 | 1.389 | 1.453 |
| | | | 14.96 | 30.22 | 11.26 | 1420.286 | 142028.6393 | 5311.8711 | 0.002120 | | | 104 | 104000 | 1.464 | | |
| | | | 15.12 | 30.19 | 11.34 | 1434.052 | 143405.1595 | 5420.7150 | 0.002092 | | | 102 | 102000 | 1.423 | | |
| | | | 15.03 | 30.2 | 11.36 | 1425.988 | 142598.7755 | 5358.1490 | 0.002120 | | | 110 | 110000 | 1.543 | | |
| | | | 15.04 | 30.14 | 11.38 | 1424.102 | 142410.1543 | 5354.6218 | 0.002125 | | | 103 | 103000 | 1.447 | | |

Lampiran 15

HASIL PENGUJIAN ABSORBSI BETON

| ABSORBSI BENDA UJI TEKAN | | | |
|--------------------------|----------------|--------------------|------------------------------|
| No. | Kode Benda Uji | Penyerapan Air (%) | Penyerapan Air Rata-rata (%) |
| 1 | BN | 1 | 0.509 |
| 2 | | 2 | 2.234 |
| 3 | | 3 | 0.765 |
| 4 | | 4 | 0.166 |
| 5 | | 5 | 0.335 |
| 6 | BS9 | 1 | 0.508 |
| 7 | | 2 | 0.253 |
| 8 | | 3 | 0.252 |
| 9 | | 4 | 0.339 |
| 10 | | 5 | 0.168 |
| 11 | BGs10 | 1 | 0.512 |
| 12 | | 2 | 0.602 |
| 13 | | 3 | 0.343 |
| 14 | | 4 | 0.427 |
| 15 | | 5 | 0.255 |
| 16 | BGs15 | 1 | 0.689 |
| 17 | | 2 | 0.429 |
| 18 | | 3 | 0.339 |
| 19 | | 4 | 0.528 |
| 20 | | 5 | 0.342 |
| 21 | BGs20 | 1 | 0.354 |
| 22 | | 2 | 0.355 |
| 23 | | 3 | 0.704 |
| 24 | | 4 | 0.624 |
| 25 | | 5 | 0.535 |

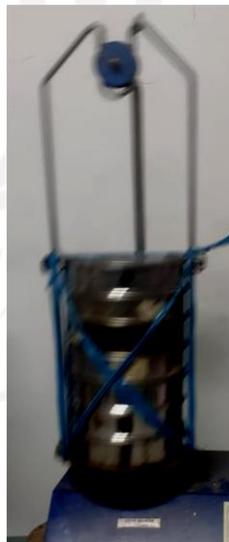
Lampiran 16

HASIL PENGUJIAN ABSORBSI BETON

| ABSORBSI BENDA UJI TARIK | | | | |
|--------------------------|----------------|---|--------------------|------------------------------|
| No. | Kode Benda Uji | | Penyerapan Air (%) | Penyerapan Air Rata-rata (%) |
| 1 | BN | 1 | 0.593 | 0.606 |
| 2 | | 2 | 0.671 | |
| 3 | | 3 | 0.591 | |
| 4 | | 4 | 0.585 | |
| 5 | | 5 | 0.589 | |
| 6 | BS9 | 1 | 0.425 | 0.549 |
| 7 | | 2 | 0.596 | |
| 8 | | 3 | 0.516 | |
| 9 | | 4 | 0.607 | |
| 10 | | 5 | 0.603 | |
| 11 | BGs10 | 1 | 0.681 | 0.757 |
| 12 | | 2 | 0.595 | |
| 13 | | 3 | 0.783 | |
| 14 | | 4 | 0.775 | |
| 15 | | 5 | 0.951 | |
| 16 | BGs15 | 1 | 0.779 | 0.882 |
| 17 | | 2 | 0.775 | |
| 18 | | 3 | 0.867 | |
| 19 | | 4 | 1.039 | |
| 20 | | 5 | 0.952 | |
| 21 | BGs20 | 1 | 1.243 | 0.937 |
| 22 | | 2 | 1.155 | |
| 23 | | 3 | 0.617 | |
| 24 | | 4 | 0.616 | |
| 25 | | 5 | 1.054 | |

Lampiran 17

Gambar L-1.1 Sieve Shaker Electric



Gambar L-1.2 Saringan



Gambar L-1.3 Neraca Ohaus



Gambar L-1.4 Oven



Gambar L-1.5 Piknometer



Gambar L-1.6 Mixer Listrik (Molen)



Gambar L-1.7 Portable Electronic Scale



Gambar L-1.8 Pan



Gambar L-1.9 Mesin Uji Tekan

UNIVERSITAS
INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاندونيسية