

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN *SIKACIM CONCRETE ADDITIVE* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT FISIK BETON DENGAN ABU SERBUK KAYU SONOKELING SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN
(THE EFFECT OF SIKACIM CONCRETE ADDITIVE ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH ROSEWOOD ASH AS A PARTIAL SUBSTITUTE OF CEMENT)

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



**Haris Dwi Nurcahyo
19511090**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN *SIKACIM CONCRETE ADDITIVE* TERHADAP SIFAT MEKANIS DAN SIFAT FISIK BETON DENGAN ABU SERBUK KAYU SONOKELING SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN
(*THE EFFECT OF SIKACIM CONCRETE ADDITIVE ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE WITH ROSEWOOD ASH AS A PARTIAL SUBSTITUTE OF CEMENT*)**

Disusun Oleh:

Haris Dwi Nurcahyo
19511090

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

Diuji pada tanggal 13 November 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

 28/11 '23.

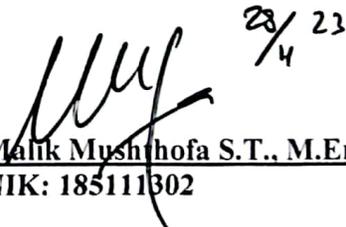
Ir. Helmy Akbar Bale M.T.
NIK: 885110105

Penguji I

 29.11.23

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

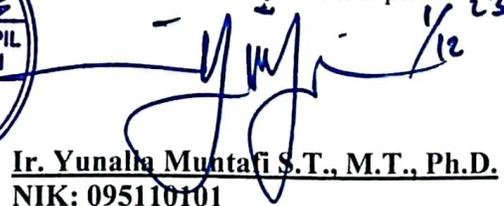
Penguji II

 28/11/23

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



Mengesahkan,
Ketua Prodi Teknik Sipil

 12/11/23
Ir. Yunalla Muntafi S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu prasyarat pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya 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 sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 13 November 2023

Yang membuat pernyataan,


Haris Dwi Nurcahyo
(19511090)



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas berkah, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga saya bisa menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* Terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisik Beton dengan Abu Serbuk Kayu Sonokeling Sebagai Substitusi Parsial Semen” secara maksimal. Sholawat serta salam selalu dilimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wasallam, keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, banyak hambatan yang telah dihadapi. Namun berkat saran, kritik, maupun dorongan dari berbagai pihak, Tugas akhir ini dapat diselesaikan. Maka dari itu, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat menemani saya dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Ir. Helmy Akbar Bale M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, nasihat, saran, dan dorongan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Astriana Hardawati S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu, nasihat, dan saran kepada saya untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

4. Malik Mushtofa S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu, nasihat, dan saran kepada saya untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Parni dan Bapak Sri Maryanto, selaku ibu dan bapak saya yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta doa yang tak pernah berhenti dalam menemani saya hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Kusuma dan Gadis, selaku kakak dan adik saya yang memberikan semangat, dukungan, serta doa yang tak pernah berhenti dalam menemani saya hingga selesainya Tugas Akhir ini.
7. Seluruh keluarga yang sudah memberikan semangat dan doa
8. Wisnu, Rifat, Raihan, dan Hasna Ang, teman-teman “NOMAD” yang selalu berjuang bersama-sama dalam suka maupun duka selama menempuh masa perkuliahan.
9. Sasa, Hanip, Hatta, Arkam, Alwan, dan pihak-pihak lainnya yang turut membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Keluarga Besar “*Unisi Music Community*” yang menjadi rumah dan keluarga baru bagi saya dalam menempuh masa perkuliahan.

Akhirnya semoga Allah Subhanahu wa ta’ala selalu melimpahkan rezeki dan hidayah-Nya dan harapannya Tugas Akhir ini dapat menjadi manfaat bagi siapapun yang membacanya khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 13 November 2023

Yang membuat pernyataan,

Haris Dwi Nurcahyo

19511090

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiii |
| ABSTRAK | xiv |
| ABSTRACT | xv |
| BAB I | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 4 |
| BAB II | 6 |
| 2.1 Penelitian Terdahulu | 6 |
| 2.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan | 7 |
| 2.3 Keaslian Penelitian | 11 |
| BAB III | 12 |
| 3.1 Beton | 12 |
| 3.2 Bahan Penyusun Beton | 13 |
| 3.2.1 Semen <i>Portland</i> | 13 |
| 3.2.2 Agregat | 15 |
| 3.2.3 Air | 16 |
| 3.2.4 Bahan Tambah | 17 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.5 | Abu Serbuk Kayu Sonokeling | 18 |
| 3.2.6 | <i>SikaCim Concrete Additive</i> | 18 |
| 3.3 | Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) | 19 |
| 3.4 | Sifat Mekanik Beton | 28 |
| 3.4.1 | Kuat Tekan Beton | 28 |
| 3.4.2 | Kuat Tarik Belah Beton | 30 |
| 3.5 | Sifat Fisik Beton | 31 |
| 3.5.1 | Penyerapan Air | 31 |
| 3.5.2 | Porositas Beton | 32 |
| BAB IV | | 33 |
| 4.1 | Jenis Penelitian | 33 |
| 4.2 | Benda Uji | 33 |
| 4.3 | Bahan Pembuatan Benda Uji | 34 |
| 4.4 | Peralatan | 34 |
| 4.4.1 | Peralatan Pembuatan Benda Uji | 34 |
| 4.4.2 | Peralatan Pengujian Benda Uji | 35 |
| 4.5 | Lokasi Penelitian | 35 |
| 4.6 | Tahapan Penelitian | 36 |
| 4.7 | Bagan Alir Tahapan Penelitian | 38 |
| BAB V | | 40 |
| 5.1 | Pemeriksaan Agregat Halus | 40 |
| 5.1.1 | Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus | 40 |
| 5.1.2 | Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Halus | 41 |
| 5.1.3 | Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Halus | 41 |
| 5.1.4 | Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus | 42 |
| 5.1.5 | Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus | 43 |
| 5.2 | Pemeriksaan Agregat Kasar | 44 |
| 5.2.1 | Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar | 44 |
| 5.2.2 | Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Kasar | 45 |
| 5.2.3 | Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Kasar | 46 |
| 5.2.4 | Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar | 46 |

| | | |
|----------------|--|----|
| 5.3 | Pemeriksaan Semen <i>Portland</i> | 48 |
| 5.4 | Pemeriksaan Air | 48 |
| 5.5 | Pemeriksaan Abu Kayu Sonokeling | 48 |
| 5.6 | Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>) | 48 |
| 5.7 | Pengujian <i>Slump</i> Beton | 52 |
| 5.8 | Pengujian Sifat Mekanis Beton | 54 |
| 5.8.1 | Pengujian Kuat Tekan Beton | 54 |
| 5.8.2 | Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 60 |
| 5.9 | Pengujian Sifat Fisik Beton | 67 |
| 5.9.1 | Pengujian Penyerapan Air | 67 |
| 5.9.2 | Pengujian Porositas Beton | 73 |
| BAB VI | | 79 |
| 6.1 | Kesimpulan | 79 |
| 6.2 | Saran | 80 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 81 |
| LAMPIRAN | | 83 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu | 8 |
| Tabel 3.1 Persentase Komposisi Beton Pada Umumnya | 13 |
| Tabel 3.2 Kandungan Oksida pada Semen Portland | 14 |
| Tabel 3.3 Persyaratan Batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar | 16 |
| Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar | 19 |
| Tabel 3.5 Nilai Deviasi Standar Untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan | 20 |
| Tabel 3.6 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia | 21 |
| Tabel 3.7 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum dan Jumlah Semen Minimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus | 23 |
| Tabel 3.8 Perkiraan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan per Meter Kubuk Beton | 24 |
| Tabel 3.9 Klasifikasi Kuat Tekan Beton | 29 |
| Tabel 4.1 Rincian Benda Uji | 33 |
| Tabel 4.2 Peralatan Pembuatan Benda Uji | 35 |
| Tabel 4.3 Peralatan Pengujian Benda Uji | 35 |
| Tabel 5.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus | 40 |
| Tabel 5.2 Berat Volume Padat Agregat Halus | 41 |
| Tabel 5.3 Berat Volume Gembur Agregat Halus | 42 |
| Tabel 5.4 Analisa Saringan Agregat Halus | 42 |
| Tabel 5.5 Kadar Lumpur Agregat Halus | 44 |
| Tabel 5.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar | 44 |
| Tabel 5.7 Berat Volume Padat Agregat Kasar | 45 |
| Tabel 5.8 Berat Volume Gembur Agregat Kasar | 46 |
| Tabel 5.9 Analisis Saringan Agregat Kasar | 46 |
| Tabel 5.10 Perencanaan Proporsi Campuran Beton (Mix Design) | 49 |

| | |
|---|----|
| Tabel 5.11 Volume Beton Normal Setiap Variasi | 50 |
| Tabel 5.12 Proporsi Campuran Beton Normal | 50 |
| Tabel 5.13 Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Variasi dengan Angka Penuysutan 20% | 51 |
| Tabel 5.14 Hasil Pengujian Slump Beton | 52 |
| Tabel 5.15 Kuat Tekan Beton Normal | 55 |
| Tabel 5.16 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%) | 55 |
| Tabel 5.17 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%) | 55 |
| Tabel 5.18 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%) | 56 |
| Tabel 5.19 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%) | 56 |
| Tabel 5.20 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%) | 56 |
| Tabel 5.21 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%) | 57 |
| Tabel 5.22 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%) | 57 |
| Tabel 5.23 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%) | 57 |
| Tabel 5.24 Kuat Tarik Belah Beton Normal | 61 |
| Tabel 5.25 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%) | 61 |
| Tabel 5.26 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%) | 62 |
| Tabel 5.27 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%) | 62 |
| Tabel 5.28 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%) | 63 |
| Tabel 5.29 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%) | 63 |
| Tabel 5.30 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%) | 63 |
| Tabel 5.31 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%) | 64 |
| Tabel 5.32 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%) | 64 |
| Tabel 5.33 Persentase Kuat Tarik Belah terhadap Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Variasi | 67 |
| Tabel 5.34 Penyerapan Air Beton Normal | 68 |
| Tabel 5.35 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%) | 68 |
| Tabel 5.36 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%) | 68 |
| Tabel 5.37 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%) | 69 |
| Tabel 5.38 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%) | 69 |
| Tabel 5.39 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%) | 69 |

| | |
|---|----|
| Tabel 5.40 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%) | 70 |
| Tabel 5.41 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%) | 70 |
| Tabel 5.42 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%) | 71 |
| Tabel 5.43 Porositas Beton Normal | 73 |
| Tabel 5.44 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%) | 74 |
| Tabel 5.45 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%) | 74 |
| Tabel 5.46 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%) | 74 |
| Tabel 5.47 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%) | 75 |
| Tabel 5.48 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%) | 75 |
| Tabel 5.49 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%) | 75 |
| Tabel 5.50 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%) | 76 |
| Tabel 5.51 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%) | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm) | 22 |
| Gambar 3.2 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 10 mm | 25 |
| Gambar 3.3 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 20 mm | 25 |
| Gambar 3.4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 40 mm | 26 |
| Gambar 3.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan | 27 |
| Gambar 3.6 Benda Uji Silinder | 29 |
| Gambar 3.7 Sketsa Bentuk Kehancuran pada Benda Uji Silinder | 30 |
| Gambar 3.8 Benda Uji Silinder | 31 |
| Gambar 4.1 Bagan Alir Tahapan Penelitian | 39 |
| Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Gradasi II | 43 |
| Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm | 47 |
| Gambar 5.3 Nilai <i>Slump</i> Campuran Beton Normal dan Beton Variasi | 53 |
| Gambar 5.4 Hubungan Kuat Tekan dengan Kandungan Abu Kayu | 58 |
| Gambar 5.5 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Variasi Penambahan <i>SikaCim</i> | 58 |
| Gambar 5.6 Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kandungan Abu Kayu | 65 |
| Gambar 5.7 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton dan Variasi Penambahan <i>SikaCim</i> | 65 |
| Gambar 5.8 Hubungan Penyerapan Air dengan Kandungan Abu Kayu | 71 |
| Gambar 5.9 Hubungan Penyerapan Air dan Variasi Penambahan <i>SikaCim</i> | 72 |
| Gambar 5.10 Hubungan Porositas dengan Kandungan Abu Kayu | 77 |
| Gambar 5.11 Hubungan Porositas Beton dan Variasi Penambahan <i>SikaCim</i> | 79 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium | 84 |
| Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat | 85 |
| Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran | 97 |
| Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton | 98 |
| Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton | 101 |
| Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Penyerapan Air | 104 |
| Lampiran 7 Laporan Sementara Hasil Pengujian Porositas Beton | 107 |
| Lampiran 8 Dokumentasi Material Penelitian | 110 |
| Lampiran 9 Dokumentasi Peralatan | 113 |
| Lampiran 10 Dokumentasi Pengujian | 119 |

ABSTRAK

Salah satu inovasi yang dilakukan dalam memanfaatkan limbah-limbah industri adalah menggunakannya sebagai salah satu bahan penyusun pada campuran beton, di antaranya adalah abu hasil pembakaran serbuk kayu sebagai substituter sebagian semen pada campuran beton. Namun, penggunaan abu kayu menunjukkan penurunan kekuatan pada beton baik dari segi kuat tekan maupun kuat tariknya seiring bertambahnya kadar abu kayu yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan struktur abu kayu yang berpori dapat menyerap air lebih banyak dan menyebabkan workability menjadi rendah. Untuk memperbaiki kekuatan pada campuran beton, dibutuhkan bahan tambah (admixture) yang dapat menjaga kelacakan campuran beton. Salah satunya adalah menambahkan *SikaCim Concrete Additive*. *SikaCim Concrete Additive* dapat mengurangi penggunaan air sampai dengan 20% yang akan memberikan efek kenaikan kuat tekan 40% pada usia 28 hari. Pada penelitian ini menggunakan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0%; 0,6%; 0,7%; dan 0,8% dari berat total semen dan mereduksi kadar air sebesar 15% pada beton dengan kadar abu kayu sonokeling 5% dan 10% dari berat total semen sebagai substitusi parsial semen. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, penyerapan air, dan porositas beton pada beton umur 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *SikaCim Concrete Additive* dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah, serta dapat menurunkan nilai penyerapan air dan porositas beton. Penggunaan kadar *SikaCim Concrete Additive* hingga 0,8% dapat memberikan kuat tekan beton sebesar 34,237 MPa pada beton variasi abu kayu 5% dan 27,506 MPa pada beton variasi abu kayu 10%. Kuat tarik belah sebesar 2,955 MPa pada beton variasi abu kayu 5% dan 2,763 MPa pada beton variasi abu kayu 10%. Penyerapan air sebesar 2,69% pada beton variasi abu kayu 5% dan 2,77% pada beton variasi abu kayu 10%. Porositas beton sebesar 5,24% pada beton variasi abu kayu 5% dan 5,38% pada beton variasi abu kayu 10%.

Kata kunci: Beton, Abu Kayu Sonokeling, *SikaCim Concrete Additive*, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Penyerapan Air, Porositas Beton.

ABSTRACT

One of the innovations made in utilizing industrial wastes is to use them as one of the constituent materials in concrete mixtures, including ash from burning wood powder as a partial substitute for cement in concrete mixtures. However, the use of wood ash shows a decrease in strength in concrete both in terms of compressive strength and tensile strength as the level of wood ash used increases. This is because the porous structure of wood ash can absorb more water and cause low workability. To improve the strength of the concrete mix, admixtures are needed that can maintain the randomness of the concrete mix. One of them is adding SikaCim Concrete Additive. SikaCim Concrete Additive can reduce the use of water by up to 20% which will have the effect of increasing compressive strength by 40% at the age of 28 days. In this study, SikaCim Concrete Additive was used at 0%; 0.6%; 0.7%; and 0.8% of the total weight of cement and reduced the water content by 15% in concrete with 5% and 10% of the total weight of rosewood ash as partial substitution of cement. This study was conducted to determine the value of compressive strength, split tensile strength, water absorption, and porosity of concrete at 28 days of age.

The results showed that SikaCim Concrete Additive can increase the compressive strength and split tensile strength, and can reduce the water absorption value and porosity of concrete. The use of SikaCim Concrete Additive content up to 0.8% can provide concrete compressive strength of 34.237 MPa in 5% wood ash variation concrete and 27.506 MPa in 10% wood ash variation concrete. Split tensile strength of 2,955 MPa in 5% wood ash variation concrete and 2,763 MPa in 10% wood ash variation concrete. Water absorption of 2.69% in 5% wood ash variation concrete and 2.77% in 10% wood ash variation concrete. Porosity of 5.24% in 5% wood ash variation concrete and 5.38% in 10% wood ash variation concrete.

Keywords: Concrete, Rosewood Ash, SikaCim Concrete Additive, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Water Absorption, Porosity.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di dunia konstruksi, inovasi yang dilakukan dalam memanfaatkan limbah-limbah industri adalah menggunakannya sebagai salah satu bahan penyusun pada campuran beton. Beton sendiri merupakan material yang tersusun dari campuran semen (*portland cement*), agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan (*admixture*) jika diperlukan dengan proporsi campuran tertentu.

Tujuan penggunaan limbah-limbah industri ini adalah sebagai salah satu upaya untuk meminimalisir dampak negatif dari pencemaran lingkungan yang masih sering terjadi akibat dari kurangnya pengetahuan dan inovasi dalam pengelolaan limbah-limbah industri, di antaranya adalah limbah serbuk kayu. Limbah serbuk kayu ini biasanya hanya dibiarkan menumpuk hingga membusuk atau dibakar begitu saja. Kurangnya pengetahuan tentang pengelolaan limbah serbuk kayu ini menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Pemanfaatan limbah serbuk kayu yang sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti adalah dengan menggunakan abu hasil pembakaran serbuk kayu sebagai substituter sebagian semen pada campuran beton.

Fengel dan Wegenre (1995) dalam Muhamad (2022) menyatakan bahwa komponen utama abu kayu pada daerah tropis yang terbanyak adalah silika. Berdasarkan jurnal penelitian Gustan dan Hartoyo (1990) menyatakan kayu di Indonesia memiliki kadar silika dan kadar abu yang bervariasi antara 0,07 - 2,47% dan 0,25 - 3,08%. Abu hasil pembakaran kayu terdiri dari beberapa senyawa anorganik seperti SiO_2 , Al_2O_3 , dan MgO yang dimana senyawa-senyawa tersebut juga dimiliki oleh semen sebagai bahan penyusunnya. Banyaknya kandungan silika menunjukkan abu kayu memiliki sifat pozolan. Pozolan merupakan bahan yang mengandung silika dan aluminium yang dimana jika dicampur dengan air dan kapur

akan membentuk benda padat yang keras. Namun, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penggunaan abu serbuk kayu sebagai substituter sebagian semen belum menunjukkan hasil yang maksimal. Hasil penelitian yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya menunjukkan penurunan kekuatan pada beton baik dari segi kuat tekan maupun kuat tariknya. Seiring bertambahnya kadar abu kayu yang digunakan, semakin menurun juga kekuatan pada beton tersebut. Menurut penelitian Indra dkk. (2013), penggunaan abu kayu pada campuran beton menunjukkan tingkat kelacakan yang lebih rendah dari beton normal. Hal tersebut dikarenakan struktur abu kayu yang berpori dapat menyerap air lebih banyak dan menyebabkan *workability* menjadi rendah. Semakin kering dan kaku beton, maka akan semakin sukar untuk dituang, dipadatkan, atau dirapikan sehingga saat sudah mengeras, ketahanan dan kekuatannya akan kurang optimal.

Untuk memperbaiki tingkat *workability* dan kekuatan pada campuran beton, dibutuhkan bahan tambah (*admixture*) yang dapat menjaga kelacakan campuran beton. Salah satunya adalah menambahkan *Superplactizier*. *SikaCim Concrete Additive* adalah bahan tambah jenis *High Range Water Reducing* dan *Superplactizier* yang sangat efektif dalam mempercepat proses pengerasan dengan tingkat *workability* yang tinggi pada campuran beton. Pada keterangan produk yang tertera, penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dengan dosis 0,3% - 2,0% dari berat semen dapat mengurangi penggunaan air sampai dengan 20% yang akan memberikan efek kenaikan kuat tekan 40% pada usia 28 hari. *SikaCim Concrete Additive* dapat mempercepat pengerasan beton, dapat mengurangi keropos, dan juga memudahkan pengecoran.

Pada penelitian Widiastuti dkk. (2017) menggunakan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0%; 0,5%; 0,7%; dan 0,9% dari berat semen pada campuran beton dengan pengurangan air sebanyak 15%. Penelitian tersebut menghasilkan nilai kuat tekan maksimum mencapai 23,78 MPa pada kadar 0,7% yang mana sudah mencapai kuat tekan yang diinginkan yaitu 20,7 MPa pada usia 28 hari. Pada penelitian Respati dkk. (2014) menggunakan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0%; 0,3%; 0,5%; dan 1% dari berat semen pada campuran beton dan melakukan pengujian kuat tekan beton pada umur 3, 7, dan 14 hari. Hasil penelitian

ini menunjukkan kuat tekan beton tertinggi dicapai pada beton dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0,5% pada umur 3 hari sebesar 363,64 kg/cm². Sedangkan pada beton dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 1% pada umur 3 hari memiliki kuat tekan beton sebesar 356,57 kg/cm². Penurunan kuat tekan pada beton dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* sebesar 1% dikarenakan kadar tersebut sudah tidak mampu menambah kekentalan pada campuran beton sehingga kepadatan pada beton berkurang yang mengakibatkan penurunan kekuatan beton. Sehingga disarankan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada rentang 0,5% - 1 % dari berat semen.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah (*admixture*) pada beton dengan abu serbuk kayu sebagai substitusi parsial semen terhadap beberapa sifat mekanis beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah beton, serta sifat fisik beton yaitu penyerapan air dan porositas beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan kedalam beberapa permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tarik belah beton?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap penyerapan air?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap porositas beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tarik belah beton.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap penyerapan air.
4. Mengetahui pengaruh penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen terhadap porositas beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan pengetahuan terkait pemanfaatan limbah abu serbuk kayu sebagai inovasi dalam ilmu pengetahuan dan teknologi beton.
2. Mengembangkan pengetahuan terkait penggunaan *SikaCim Concrete Additive* sebagai inovasi dalam ilmu pengetahuan dan teknologi beton.
3. Mengurangi dampak negatif pada lingkungan yang disebabkan ketidaktahuan akan pengelolaan limbah abu serbuk kayu.

1.5 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat batasan-batasan yang menjadi ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Metode perencanaan campuran beton (*Mix Design*) mengacu pada standar SNI-03-2834-2000.

2. Benda uji yang digunakan adalah beton dengan rancangan mutu beton normal $f'c$ 25 MPa.
3. Semen yang digunakan adalah Semen Portland tipe 1 dengan merk Tiga Roda
4. *Superplasticizer* yang digunakan adalah *SikaCim Concrete Additive*.
5. Abu kayu yang digunakan berasal dari pembakaran limbah kayu sonokeling tanpa kontrol suhu yang didapat dari pengrajin kayu Junk Factory di daerah Piyungan, Bantul, Yogyakarta.
6. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, kuat tarik beton, penyerapan air dan porositas beton.
7. Benda uji yang digunakan adalah beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
8. Jumlah benda uji yang digunakan sebanyak 90 buah yang terdiri dari beton normal dan beton variasi dengan kadar abu kayu sonokeling sebagai substitusi parsial pada semen sebanyak 5% dan 10% dari berat total semen. Untuk setiap kadar abu kayu pada campuran beton variasi dicampurkan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0%; 0,6%; 0,7%; dan 0,8% dari berat total semen dan mereduksi kadar air sebesar 15%.
9. Jumlah benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton adalah 45 buah dengan pembagian jumlah benda uji tiap variasinya adalah 5 buah.
10. Jumlah benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tarik belah beton adalah 45 buah dengan pembagian jumlah benda uji tiap variasinya adalah 5 buah.
11. Untuk pengujian penyerapan air dan porositas beton menggunakan benda uji yang sama sebelum nantinya dilakukan pengujian destruktif (kuat tekan dan kuat tarik belah). Jumlah benda uji yang digunakan pada masing-masing pengujian sebanyak 5 benda uji.
12. Pengujian benda uji beton dilakukan setelah umur beton 28 hari

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian berikut merupakan penelitian-penelitian terdahulu yang dapat dijadikan tinjauan pustaka dan juga sebagai acuan pada penelitian yang dilaksanakan peneliti. Penelitian yang digunakan sebagai acuan berasal dari penelitian-penelitian selama 10 tahun terakhir. Hal ini dikarenakan kurangnya penelitian yang cocok untuk dijadikan sebagai acuan pada penelitian ini selama 5 tahun terakhir. Penelitian-penelitian tersebut memiliki hasil sebagai berikut.

1. Sulaiman YH (2010) menjelaskan pengaruh penggunaan abu serbuk kayu terhadap kuat tekan beton. Pengujian tersebut menggunakan abu kayu dari berbagai jenis limbah kayu sebagai substitusi parsial semen dengan kadar 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan kuat tekan beton seiring bertambahnya kadar abu kayu yang digunakan pada campuran beton.
2. Indra dkk. (2013) menjelaskan pengaruh penggunaan abu limbah gergaji kayu sebagai campuran pembuatan beton. Pengujian tersebut menggunakan abu limbah gergaji kayu jenis meranti, bengkirai, dan kamper sebagai substitusi parsial semen dengan kadar 10%, 15%, dan 20% dari berat semen. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa beton dengan abu limbah gergaji kayu memiliki *workability* yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, segi kekuatan juga memiliki kuat tekan dan kuat tarik yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal namun memiliki perkembangan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal.
3. Perdhana dkk. (2022) menjelaskan penggunaan limbah abu kayu halaban sebagai bahan tambahan sebagian semen pada campuran beton. Pengujian tersebut menggunakan abu limbah kayu halaban sebagai substitusi parsial semen dengan kadar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Hasil penelitian

tersebut menunjukkan penurunan hasil pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur dari beton normal

4. Respati dkk. (2014) menjelaskan pengaruh aditif *SikaCim Concrete Additive* terhadap campuran beton K350 ditinjau dari kuat tekan beton. Pengujian ini menggunakan beton tanpa aditif dan beton dengan *Sikacim Concrete Additive* sebagai bahan tambahan dengan persentase penambahan 0,3%; 0,5%; dan 1% dari berat semen. Hasil penelitian tersebut menunjukkan kuat tekan beton tertinggi yaitu beton dengan kadar 0,5% yaitu 363,64 kg/cm² pada umur 3 hari. Pada kadar 1%, kuat tekan beton mencapai 356,57% pada umur 3 hari. Sehingga disarankan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada rentang 0,5 – 1% dari berat semen.
5. Widiastuti dkk. (2017) menjelaskan pengaruh *SikaCim Concrete Additive* terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan agregat kasar bengalon dan agregat halus pasir mahakam. Pengujian ini menggunakan *Sikacim Concrete Additive* sebagai bahan tambahan dengan persentase penambahan 0,5%; 0,7%; dan 0,9% dari berat semen dan mereduksi kadar air sebesar 15% dari kadar air semula. Hasil penelitian tersebut mendapatkan kadar optimum penambahan *Sikacim Concrete Additive* pada campuran beton yaitu pada kadar 0,7% dengan nilai kuat tekan mencapai 23,78 Mpa.

2.2 Perbedaan Penelitian yang Dilakukan

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, berikut merupakan perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Sekarang |
|----------------------|--|--|--|--|---|---|
| Penelitian | Sulaiman YH (2010) | Indra dkk. (2013) | Respati dkk. (2014) | Widiastuti (2017) | Perdhana (2022) | Haris (2023) |
| Judul Penelitian | Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton | Pemanfaatan Abu Limbah Gergaji Kayu Sebagai Campuran Pembuatan Beton | Pengaruh Aditif <i>Sikacim Concrete Additive</i> Terhadap Campuran Beton K350 Ditinjau dari Kuat Tekan Beton | Pengaruh <i>SikaCim Concrete Additive</i> Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon dan Agregat Halus Pasir Mahakam | Penggunaan Limbah Abu Kayu Halaban Sebagai Bahan Tambahan Sebagian Semen pada Campuran Beton | Pengaruh Penggunaan <i>SikaCim Concrete Additive</i> Terhadap Sifat Mekanis dan Sifat Fisik Beton dengan Abu Serbuk Kayu Sonokeling Sebagai Substitusi Parsial Semen |
| Konten | Kadar abu serbuk kayu sebagai substitusi sebagian semen 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen | Bahan tambah serbuk gergaji kayu meranti, bengkirai, kamper 10%, 15%, dan 20% dari berat total semen | <i>SikaCim Concrete Additive</i> dengan kadar 0,3%; 0,5%; dan 1% dari berat semen | <i>SikaCim Concrete Additive</i> dengan kadar 0,5; 0,7%; dan 0,9% dari berat semen Reduksi kadar air sebesar 15% Agregat kasar Bengalon Agregat halus pasir Mahakam | Kadar abu serbuk kayu halaban sebagai substitusi sebagian semen 5%, 10%, dan 15% dari berat total semen | Kadar abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi sebagian semen 5% dan 10% dari berat total semen <i>SikaCim Concrete Additive</i> dengan kadar 0%; 0,6%; 0,7%; dan 0,8% dari berat total semen |

Lanjutan Tabel 2.1

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Sekarang |
|----------------------|--|--|---|---|---|---|
| Penelitian | Sulaiman YH (2010) | Indra dkk. (2013) | Respati dkk. (2014) | Widiastuti (2017) | Perdhana (2022) | Haris (2023) |
| | | | | | | Reduksi kadar air sebesar 15% |
| Umur Pengujian | 28 Hari | 7, 14 dan 28 Hari | 3, 7, dan 14 Hari | 7, 14 dan 28 Hari | 28 Hari | 28 Hari |
| Benda Uji | Kubus 15 x 15 x 15 cm | Silinder 15 x 30 cm Kubus 10 x 10 x 10 cm | Silinder 15 x 30 cm | Kubus 15 x 15 x 15 cm | Silinder 15 x 30 cm Balok 15 x 15 x 62 cm | Silinder 15 x 30 cm |
| Jenis Pengujian | Kuat tekan | Kuat tekan dan kuat tarik | Kuat tekan | Kuat tekan | Kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur beton | Kuat tekan, kuat tarik belah, penyerapan air, dan porositas beton |
| Hasil Penelitian | Hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan kuat tekan beton seiring bertambahnya kadar abu kayu yang digunakan pada campuran beton. | Hasil penelitian tersebut menunjukkan abu limbah gergaji kayu memiliki workability yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal. Nilai kuat tekan dan kuat | Hasil penelitian tersebut menunjukkan kuat tekan beton tertinggi yaitu beton dengan kadar 0,5% yaitu 363,64 kg/cm ² pada umur 3 hari. Pada kadar 1%, kuat tekan beton mencapai | Hasil penelitian tersebut mendapatkan kadar optimum penambahan <i>Sikacim Concrete Additive</i> pada campuran beton yaitu pada kadar 0,7% dengan nilai kuat tekan | Hasil penelitian tersebut menunjukkan penurunan hasil pada pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tarik lentur serta tidak adanya persentase yang | Hasil penelitian ini menunjukkan kenaikan kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton variasi seiring penambahan kadar <i>SikaCim Concrete Additive</i> . Selain itu, terjadi penurunan nilai penyerapan air dan |

Lanjutan Tabel 2.1

| Penelitian Terdahulu | | | | | | Penelitian Sekarang |
|-----------------------------|--------------------|---|---|---------------------|---|--|
| Penelitian | Sulaiman YH (2010) | Indra dkk. (2013) | Respati dkk. (2014) | Widiastuti (2017) | Perdhana (2022) | Haris (2023) |
| | | tarik lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, namun memiliki perkembangan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal. | 356,57% pada umur 3 hari. Sehingga disarankan penggunaan <i>SikaCim Concrete Additive</i> pada rentang 0,5 – 1% dari berat semen. | mencapai 23,78 Mpa. | optimum abu kayu halaban dari 5%, 10%, dan 15%. | porositas beton pada beton variasi seiring penambahan kadar <i>SikaCim Concrete Additive</i> . |

2.3 Keaslian Penelitian

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

1. Objek penelitian yang akan dilakukan adalah campuran beton normal dengan bahan abu serbuk kayu jenis kayu sonokeling sebagai substitusi parsial semen yang belum pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya
2. Pada penelitian sebelumnya penggunaan abu serbuk dari limbah beberapa jenis kayu tidak mampu meningkatkan kuat tekan maupun kuat tarik pada beton dengan persentase kadar 5%, 10%, dan 12%. Hasil penelitian lainnya juga menunjukkan penggunaan *Sikacim Concrete Additive* pada campuran beton dapat meningkatkan mutu beton pada kadar 0.7% dari berat semen dan mereduksi kadar air sebesar 15%. Sehingga pada penelitian ini mencoba penggunaan abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi parsial dengan kadar 5% dan 10% dari berat total semen. Untuk setiap kadar abu kayu pada campuran beton variasi dicampurkan *SikaCim Concrete Additive* dengan kadar 0%; 0,6%; 0,7%; dan 0,8% dari berat total semen dan mereduksi kadar air sebesar 15%.
3. Penggunaan dua parameter tersebut dilakukan dengan asumsi bahan tambahan *Sikacim Concrete Additive* dapat membantu abu serbuk kayu sonokeling sebagai substitusi parsial semen dalam meningkatkan mutu beton.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton menjadi salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan pada bangunan struktur sebagai bahan konstruksi utama, seperti struktur gedung, bangunan air, bangunan transportasi dan bangunan struktur lainnya. Menurut SNI 03-2834-2000, beton adalah salah satu material yang berasal dari campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa bahan tambah membentuk massa padat.

Kualitas beton tergantung pada komponen dasar beton, bahan tambahan, pelaksanaan pada saat pembuatan beton, dan alat yang digunakan untuk menyiapkan campuran beton. Mutu beton dapat dikatakan baik apabila bahan yang digunakan baik, proses pencampurannya baik (homogen), pelaksanaannya baik, alat yang digunakan juga baik dan derajat porositasnya rendah. Campuran beton yang baik akan menghasilkan beton yang bersifat homogen, yaitu saling mengisi dan mengikat, serta tidak mengalami segregasi antar bahan-bahan penyusun pada saat dilakukannya pengecoran beton (Hamdi, Fauzan & Masdiana, 2022).

Menurut Zulkarnain (2021), Beton memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai bahan pada konstruksi bangunan. Kelebihan yang dimiliki oleh beton adalah sebagai berikut.

1. Mampu memikul beban yang berat.
2. Mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan.
3. Mempunyai ketahanan terhadap api.
4. Biaya pemeliharaan kecil

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh beton adalah sebagai berikut.

1. Bobot termasuk berat
2. Bentuk beton yang telah jadi sulit diubah

3. Pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi
4. Daya pantul suara yang besar

3.2 Bahan Penyusun Beton

Beton tersusun dari tiga bahan penyusun utama antara lain semen portland, agregat, dan air. Penggunaan bahan tambah (admixture) menjadi opsi yang dilakukan untuk menambahkan sifat-sifat tertentu pada campuran beton yang akan dibuat. Bahan-bahan tersebut memiliki peranan dan komposisi yang mengacu pada standar acuan perencanaan pembuatan beton. Beton dapat dikatakan memiliki kualitas yang baik adalah ketika setiap butir agregatnya terbungkus oleh mortar (semen, air, dan agregat halus) dan ruang antar agregatnya juga harus terisi oleh mortar. Sehingga kualitas mortar dapat menentukan kualitas dari beton tersebut (Zulkarnain, Fahrizal, 2021). Komposisi bahan yang digunakan pada campuran beton dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Persentase Komposisi Beton Pada Umumnya

| Material | Persentase (%) |
|---------------|----------------|
| Semen | 10 |
| Air | 15 |
| Udara | 5 |
| Agregat Halus | 30 |
| Agregat Kasar | 40 |

Sumber: Zulkarnain, 2021

3.2.1 Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004, semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan dapat juga ditambahkan bahan tambah lainnya.

Semen *portland* memiliki berbagai kandungan kimia yang menjadi pengaruh penting dalam membentuk kualitas semen. Kandungan oksida yang dimiliki semen *portland* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Kandungan Oksida pada Semen *Portland*

| Oksida | Kandungan (%) |
|--------------------------------------|---------------|
| CaO | 60 – 67 |
| SiO ₂ | 17 – 25 |
| Al ₂ O ₃ | 3 – 8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,5 – 6 |
| MgO | 0,5 – 4 |
| SO ₃ | 2 – 3,5 |
| Na ₂ O + K ₂ O | 0,3 – 1,2 |

Sumber: Neville (2011)

Unsur-unsur oksida yang dimiliki oleh semen ketika melewati reaksi kimia akan menghasilkan senyawa-senyawa pembentuk semen *portland*. Senyawa-senyawa kimia tersebut apabila dicampur dengan air akan mengalami reaksi *hidraksi* menghasilkan jenis-jenis semen yang berbeda. Standar Nasional Indonesia (SNI) 15-2049-2004 membagi semen *portland* menjadi lima jenis berdasarkan jenis dan penggunaannya. Pembagian jenis semen *portland* tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tipe I, semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak menggunakan persyaratan-persyaratan khusus
2. Tipe II, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang
3. Tipe III, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap awal setelah proses pengikatan terjadi
4. Tipe IV, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah
5. Tipe V, semen *portland* yang penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat

3.2.2 Agregat

Agregat adalah bahan penyusun beton yang berbentuk butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi yang terikat dengan campuran semen *portland* dan air (pasta semen). Komposisi agregat pada campuran beton berkisar 60% - 70% dari volume total beton.

Menurut SNI 2847-2019, agregat adalah bahan berbutir, seperti pasir, kerikil batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang berfungsi sebagai media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Agregat dibedakan menjadi 2 berdasarkan ukurannya, yaitu agregat halus dan agregat kasar.

1. Agregat Halus

Menurut SNI 1970-2008, agregat halus merupakan pasir alam hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm. Agregat halus berfungsi sebagai material yang mengisi rongga antar kerikil dan menghasilkan adukan yang padat. Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, agregat halus yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- a. Agregat halus berupa butir-butir tajam dan keras yang tidak pecah atau hancur dikarenakan pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- b. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5% yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila lebih dari 5%, maka agregat halus harus dicuci.
- c. Agregat halus tidak mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak.
- d. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam ukurannya dan apabila diayak dengan susunan ayakan sesuai dengan pasal 3.5 ayat 1, harus memenuhi syarat-syarat berikut.
 - 1) Minimum 2% berat yang tersisa di atas ayakan 4 mm
 - 2) Minimum 10% berat yang tersisa di atas ayakan 1 mm
 - 3) Minimum berkisar 80 – 95% berat yang tersisa di atas ayakan 0,25 mm

2. Agregat Kasar

Menurut SNI 1969-2008, agregat kasar merupakan kerikil hasil disintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 – 40 mm. Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, agregat kasar yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut.

- a. Agregat kasar berupa butir-butir keras dan tidak berpori yang tidak pecah atau hancur dikarenakan pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- b. Agregat kasar tidak mengandung lumpur lebih dari 1% yang dapat melalui ayakan 0,063 mm. Apabila lebih dari 1%, maka agregat kasar harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak mengandung zat-zat raktif alkali yang dapat merusak beton.
- d. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam ukurannya dan apabila diayak dengan susunan ayakan harus lolos ayakan dengan persyaratan sesuai SNI 03-2834-2000 yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Batas Susunan Besar Butir Agregat Kasar

| Ukuran Mata Aayakan (mm) | Persentase Berat Bagian yang Lewat Ayakan | | |
|-----------------------------|---|----------|---------|
| | Ukuran Nominal Agregat (mm) | | |
| | Maks 40 | Maks 20 | Maks 10 |
| 38,1 | 95 - 100 | 100 | - |
| 19 | 37 – 70 | 95 – 100 | 100 |
| 9,52 | 10 – 40 | 30 – 60 | 50 – 85 |
| 4,76 | 0 – 5 | 0 – 10 | 0 – 10 |

Sumber: SNI 03-2834-2000

3.2.3 Air

Air menjadi bahan yang sangat dibutuhkan dalam proses pencampuran beton. Air dan semen ketika dicampur akan membentuk pasta semen. Dalam Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, air yang digunakan dalam pembuatan

ataupun perawatan beton tidak boleh mengandung bahan-bahan yang dapat merusak beton atau baja tulangan, seperti asam, minyak, garam-garam, alkali, dan bahan-bahan organis. Air yang digunakan sebaiknya bersih dan dapat diminum.

Air juga mempengaruhi kualitas pada campuran beton. Kadar air semen yang berlebihan akan menghasilkan campuran beton menjadi encer sehingga menyebabkan segregasi pada beton.

3.2.4 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) merupakan bahan-bahan yang digunakan pada campuran beton sebagai tambahan untuk mengubah sifat-sifat beton. Menurut SNI 7656-2012, bahan tambahan berbentuk bubuk atau cairan yang ditambahkan pada campuran beton selama pengadukan dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifatnya. Pengubahan sifat dan karakteristik pada beton ini digunakan untuk menyesuaikan kondisi pada pekerjaan tertentu seperti mempermudah pengerjaan ataupun penghematan energi (Zulkarnain, Fahrizal, 2021)

Dalam ASTM C494 “*Standart Specification for Chemical Admixture for Concrete*” (2001), bahan tambah dibagi menjadi tujuh jenis yang setiap jenisnya memiliki fungsi yang disesuaikan dengan penggunaannya pada pekerjaan konstruksi beton. Tujuh jenis bahan tambah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Tipe A (*Water Reducing Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya mengurangi kadar air yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
2. Tipe B (*Retarding Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya menghambat proses waktu pengikatan (*setting time*) campuran beton. Bahan tambah ini digunakan saat kondisi cuaca yang panas, jarak *batching plant* yang jauh dari proyek konstruksi, atau memperpanjang waktu pengecoran dan pematatan.
3. Tipe C (*Accelerating Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya dapat mempercepat waktu pengikatan (*setting time*) serta mempercepat tercapainya kekuatan pada beton.

4. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya mengurangi kadar air yang digunakan dan menghambat proses waktu pengikatan (*setting time*) campuran beton.
5. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya mengurangi kadar air yang digunakan dan mempercepat waktu pengikatan (*setting time*) campuran beton.
6. Tipe F (*Water Reducing, High Range Adimxture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya mengurangi kadar air yang digunakan sebanyak 12% atau lebih untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
7. Tipe G (*Water Reducing, High Range, and Retarding Admixture*), bahan tambah yang dalam penggunaannya mengurangi kadar air yang digunakan sebanyak 12% atau lebih dan menghambat proses waktu pengikatan (*setting time*) campuran beton.

3.2.5 Abu Serbuk Kayu Sonokeling

Serbuk kayu merupakan limbah hasil proses penggergajian kayu dengan cara manual maupun menggunakan alat mesin. Dalam industri kayu, saat ini serbuk kayu belum dikelola secara maksimal. Serbuk kayu biasanya dibakar kemudian dikubur. Menurut Gustan dan Hartoyo (1990), Abu hasil pembakaran kayu memiliki senyawa anorganik seperti CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O, dan TiO₂.

Pada penelitian ini menggunakan abu dari hasil pembakaran kayu sonokeling. Kayu sonokeling yang digunakan merupakan limbah dari industri kayu sonokeling berupa serbuk dan sisa pecahan dengan berbagai ukuran dan bentuk yang sudah tidak digunakan. Dalam jurnal "Analisis Kimia 9 Jenis Kayu Indonesia" oleh Gustan dan Hartoyo (1990), kayu sonokeling memiliki beberapa kandungan kimia yang terkandung didalamnya, beberapa diantaranya adalah kadar abu dan silika. Kadar abu dan silika yang terdapat pada kayu sonokeling adalah 0,83% dan 0,52%.

3.2.6 SikaCim Concrete Additive

SikaCim Concrete Additive adalah bahan tambah kimia jenis "*Water Reducing, High Range Admixture*" yang sangat efektif dalam mempercepat proses pengerasan dengan tingkat *workability* yang tinggi pada campuran beton. Pada

keterangan produk yang tertera, penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dengan dosis 0,3% - 2,0% dari berat semen dapat mengurangi penggunaan air sampai dengan 20% yang akan memberikan efek kenaikan kuat tekan 40% pada usia 28 hari dan dapat meningkatkan kekedapan air. *SikaCim Concrete Additive* dapat mempercepat pengerasan beton, dapat mengurangi keropos, dan juga memudahkan pengecoran (PT. Sika Indonesia, 2022).

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) merupakan perhitungan teoritis yang dilakukan untuk menentukan proporsi setiap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton. Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan acuan SNI 03-2834-2000 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan Nilai Deviasi Standar (Sd)

Nilai deviasi standar (Sd) ditetapkan berdasarkan tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran. Semakin baik mutu pelaksanaan akan semakin kecil nilai deviasi standarnya. Jika jumlah data hasil uji berkisar 15 – 29 buah maka nilai deviasi standar dilakukan pengkoreksian dengan faktor pengali yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Faktor Pengali Deviasi Standar

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali |
|------------------|----------------|
| < 15 | - |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| ≥ 30 | 1,00 |

Sumber: SNI 03-2834-2000

Apabila jumlah data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) yang digunakan tidak kurang dari 12 MPa. Nilai deviasi standar berdasarkan tingkat pengendalian mutu pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Nilai Deviasi Standar untuk Berbagai Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

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

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

Keterangan:

M = Nilai tambah (M)

Sd = Deviasi standar (MPa)

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

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

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

Keterangan:

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

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

M = Nilai tambah (MPa)

3. Menentukan Jenis Semen

Jenis semen yang digunakan dapat ditentukan sesuai tipe dan penggunaannya.

4. Menentukan Jenis Agregat

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

5. Menentukan Nilai Faktor Air Semen (FAS)

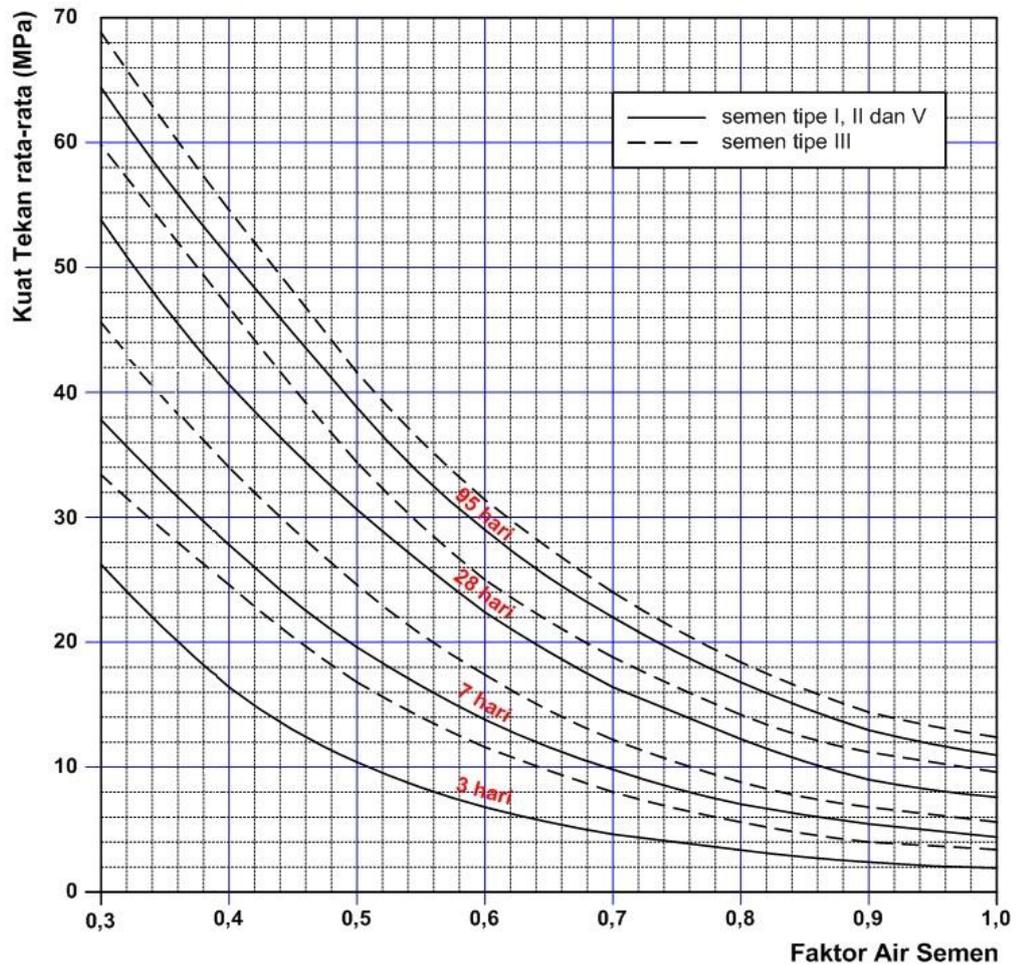
Nilai Faktor Air Semen (FAS) dapat ditentukan dengan memperkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 menggunakan Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Perkiraan Kuat Tekan Beton (MPa) dengan Faktor Air Semen, dan Agregat Kasar yang Biasa Dipakai di Indonesia

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kuat Tekan (MPa) | | | | Bentuk Benda Uji |
|-------------------------|---------------------|------------------|----|----|----|------------------|
| | | Umur (Hari) | | | | |
| | | 3 | 7 | 28 | 29 | |
| Semen Portland Tipe I | Batu Tak Dipecahkan | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| Semen Portland Tipe II | 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

Kemudian menghubungkan antara kuat tekan beton perkiraan yang didapat dengan FAS 0,5 menggunakan grafik pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Benda Uji Berbentuk Silinder Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm)
(Sumber: SNI 03-2834-2000)**

6. Menentukan Faktor Air Semen Maksimum dan Jumlah Semen Minimum
Faktor air semen maksimum dan jumlah semen minimum dapat ditentukan sesuai lokasi pembetonan yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Persyaratan Faktor Air Semen Maksimum dan Jumlah Semen Minimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (Kg) | Nilai Faktor Air Semen Maksimum |
|---|--|---------------------------------|
| Beton di dalam ruang bangunan | | |
| a. Keadaan keliling non-korosif | 275 | 0,60 |
| b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 325 | 0,52 |
| Beton di luar ruangan bangunan | | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325 | 0,55 |
| b. Terlindung 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 | | Tabel 5 |
| Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut | | Tabel 6 |

Sumber: SNI 03-2834-2000

7. Menentukan Nilai *Slump*

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

8. Menentukan Ukuran Butir Agregat Maksimum

9. Syarat dalam menentukan ukuran butir agregat maksimum adalah sebagai berikut.

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

10. Menghitung Kadar Air Bebas Agregat Campuran

Kadar air bebas agregat campuran diperoleh dengan memperhitungkan gabungan antara kadar air agregat halus dan agregat kasar. Perkiraan kadar air tiap agregat dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Perkiraan Kadar Air Bebas yang Dibutuhkan per Meter Kubuk Beton

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

Sumber: SNI 03-2834-2000

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

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

Keterangan:

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

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

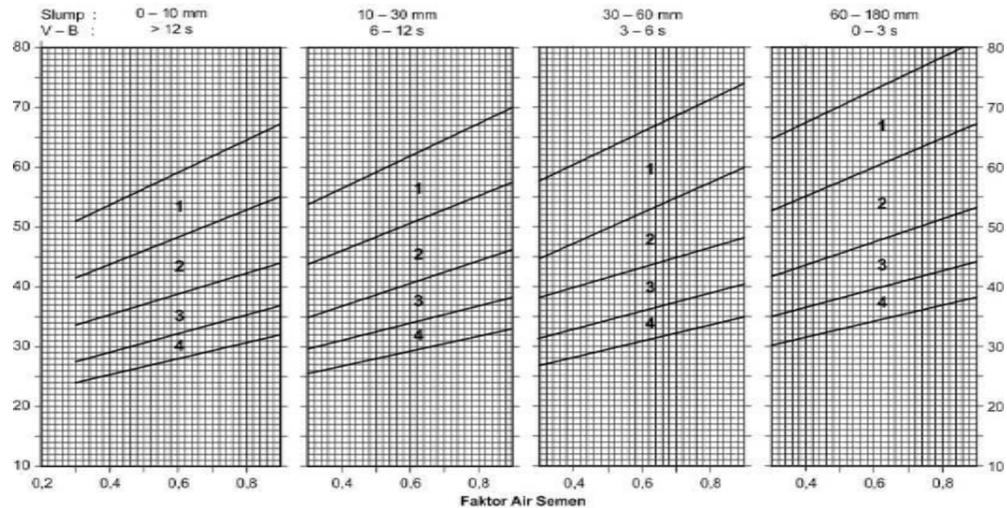
11. Menghitung Kadar Semen per m³ Beton

Kadar semen yang dibutuhkan tiap m³ beton dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

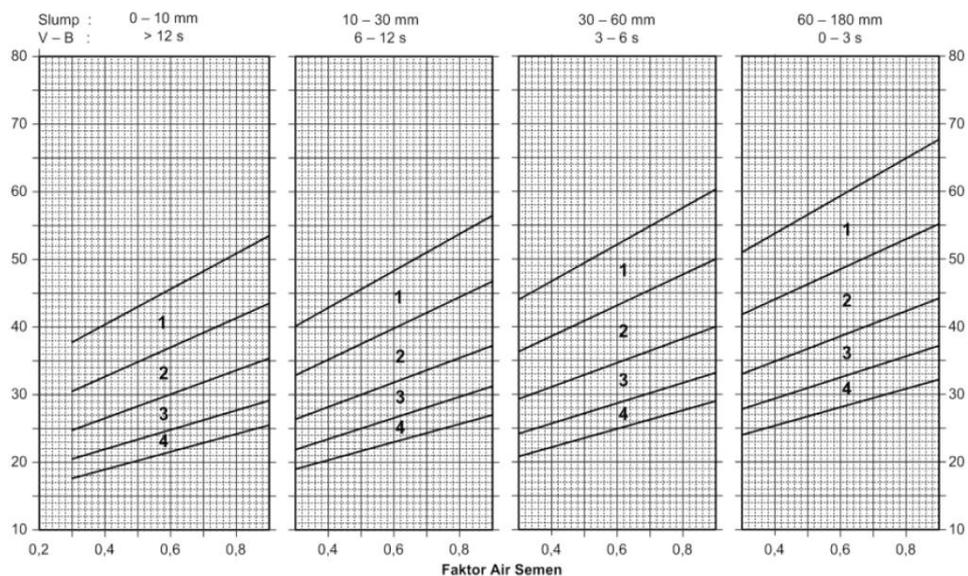
$$\text{Jumlah Semen per } m^3 \text{ beton} = \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{FAS} \quad (3.4)$$

12. Menentukan Persentase Agregat

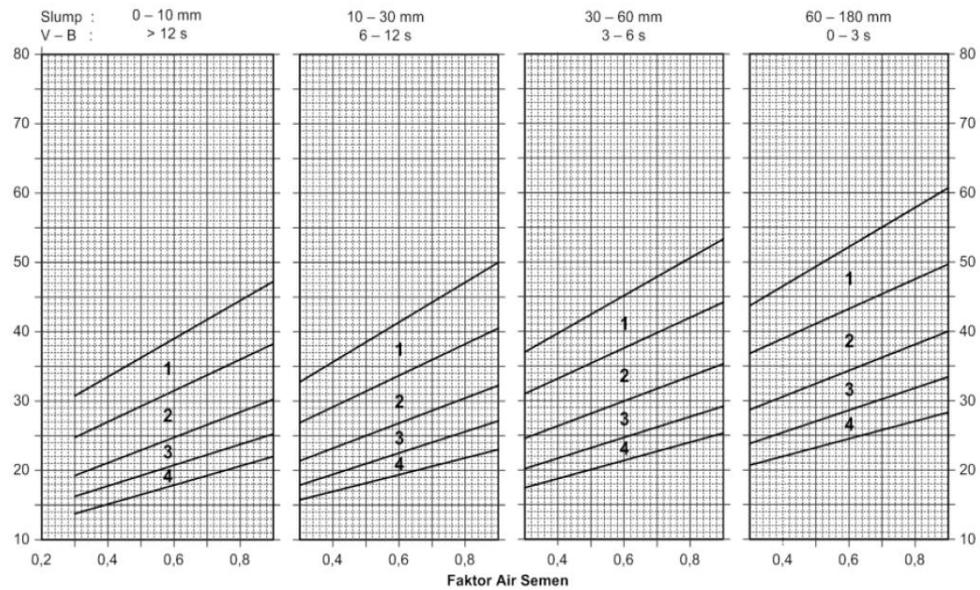
Persentase agregat halus dan agregat kasar dapat ditentukan menggunakan grafik yang sesuai dengan ukuran maksimum agregat halus yang digunakan. Grafik-grafik yang dapat digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2, 3.3, dan 3.4 berikut.



Gambar 3.2 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 10 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.3 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)



Gambar 3.4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Untuk Ukuran Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

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

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

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

13. Menghitung Berat Jenis Agregat Gabungan

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

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

Keterangan:

BJ_{AG} = Berat jenis agregat gabungan

BJ_{AH} = Berat jenis agregat halus

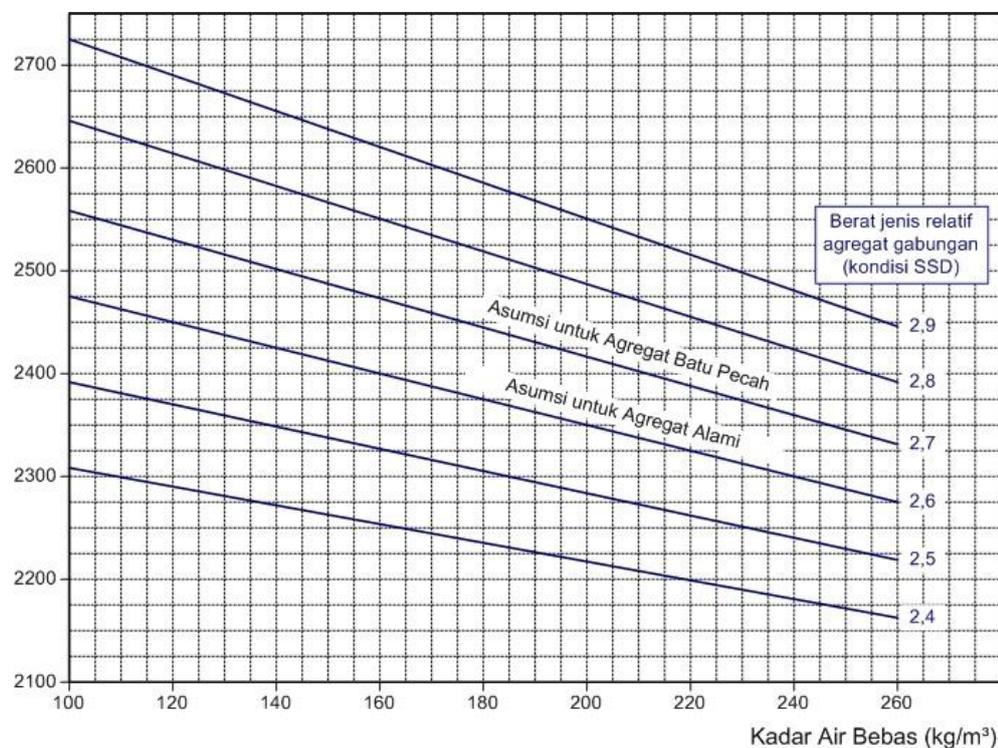
BJ_{AK} = Berat jenis agregat kasar

$\%AH$ = Persentase agregat halus

$\%AK$ = Persentase agregat kasar

14. Mencari Nilai Perkiraan Berat Isi Beton

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



Gambar 3.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

15. Menghitung Kadar Agregat Gabungan

Kadar agregat gabungan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$\text{Kadar Ag. Gabungan} = \text{Berat Isi Beton} - \text{Kadar Semen} - \text{Kadar Air Bebas} \quad (3.8)$$

16. Menghitung Kadar Agregat Halus dan Kasar

Kadar agregat halus dan kasar dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$Kadar\ Ag.\ Halus = \frac{\% Agregat\ Halus}{100} \times Kadar\ Ag,\ Gabungan \quad (3.9)$$

$$Kadar\ Ag.\ Kasar = Kadar\ Ag.\ Gabungan - Kadar\ Ag.\ Halus \quad (3.10)$$

17. Menghitung Kadar Abu Kayu

Kadar abu kayu yang digunakan dapat dihitung berdasarkan berat semen yang didapat dan dikali sesuai persentase kadar abu kayu yang digunakan.

18. Menghitung Kadar *Superplasticizer*

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

3.4 Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton merupakan sifat yang mempresentasikan kualitas atau mutu pada suatu beton. Sifat mekanik beton ini berupa respon dari gaya-gaya yang bekerja dari luar beton. Dalam penelitian ini, sifat mekanis beton yang akan ditinjau adalah kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton. Penjelasan dari sifat mekanis beton tersebut adalah sebagai berikut.

3.4.1 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan perhitungan dari besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan hancurnya beton tersebut apabila diberikan suatu gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Kuat tekan pada beton menjadi salah satu yang mendasari untuk mengendalikan mutu beton. Semakin tinggi kuat tekan beton maka kualitas dan mutu beton tersebut semakin baik. Baiknya kualitas dan mutu pada beton menandakan komposisi campuran pada beton tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi.

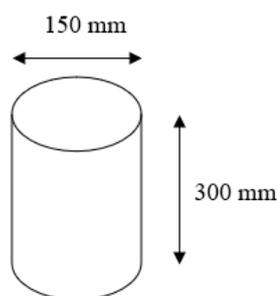
Menurut Tjokrodimulyo (2007) dalam Setianto (2022), beton dapat diklasifikasikan berdasarkan kuat tekan yang didapat dari pengujian kuat tekan beton. Klasifikasi beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.9 Klasifikasi Kuat Tekan Beton

| Jenis Beton | Kuat Tekan (MPa) | Tujuan Konstruksi |
|---------------------|------------------|--------------------------------|
| Beton Sederhana | ≤ 15 | Non struktur |
| Beton Normal | 15 – 30 | Struktur penahan beban |
| Beton Pra-tegang | 30 – 40 | Balok prategang, tiang pancang |
| Beton Tinggi | 40 – 80 | Struktur khusus |
| Beton Sangat Tinggi | > 80 | Struktur khusus |

Sumber: Setianto (2022)

Dalam ASTM C39 “*Standart Test Methode for Compressive Strenght of Cylindrical Concrete Speciments*” menyebutkan benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tekan adalah berbentuk silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm seperti pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Benda Uji Silinder

Menurut SNI 1974-2011, Pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder dapat dihitung menggunakan persamaan (3.11) sebagai berikut.

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

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

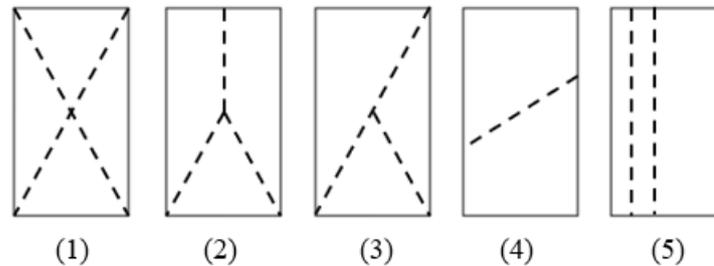
P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm^2)

Pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin tekan mengakibatkan hancurnya benda uji silinder yang diakibatkan oleh pembebanan. Ada lima bentuk kehancuran benda uji silinder akibat pembebanan yang sering dijumpai yaitu sebagai berikut.

1. Bentuk kerucut
2. Bentuk kerucut dan belah
3. Bentuk kerucut dan geser
4. Bentuk geser
5. Bentuk sejajar sumbu tegak (kolumnar)

Bentuk-bentuk kehancuran di atas jika digambarkan dengan sketsa akan menjadi sebagai berikut.



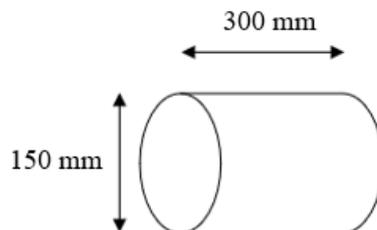
Gambar 3.7 Sketsa Bentuk Kehancuran pada Benda Uji Silinder

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

3.4.2 Kuat Tarik Belah Beton

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

Pengujian kuat tarik belah beton menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan panjang 300 mm dan diameter 150 mm seperti pada gambar 3.8 berikut



Gambar 3.8 Benda Uji Silinder

Menurut SNI 03-2491-2002, Pengujian kuat tarik belah beton pada benda uji silinder dapat dihitung menggunakan persamaan (3.12) sebagai berikut.

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

Keterangan:

f_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter benda uji (mm)

L = Panjang benda uji (mm)

3.5 Sifat Fisik Beton

Sifat fisik pada beton dapat dilihat dari berat dan volumenya. Volume pada beton diisi oleh campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan bahan tambah. Selain campuran tersebut, volume pada beton juga dipengaruhi oleh pori-pori yang kosong dan pori-pori yang terisi oleh air. Dalam penelitian ini, sifat fisik beton yang akan ditinjau adalah penyerapan air dan porositas beton. Penjelasan dari sifat fisik beton tersebut adalah sebagai berikut.

3.5.1 Penyerapan Air

Penyerapan air adalah parameter yang menentukan persentase air yang diserap oleh beton. Semakin kecil jumlah air yang terserap menandakan beton tersebut memiliki kerapatan antar partikel yang baik dengan pori-pori yang sedikit. Menurut SNI 03-2914-1992, beton dengan kekedapan air yang normal apabila selama 10+0,5 menit direndam dalam air, nilai penyerapan air yang terjadi

maksimum adalah 2,5% terhadap berat beton kering oven. Apabila selama 24 jam direndam dalam air, nilai penyerapan air yang terjadi maksimum adalah 6,5% terhadap berat beton kering oven.

Dalam ASTM C642-2013 “*Standart Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*”, nilai penyerapan air setelah perendaman dapat dihitung menggunakan persamaan (3.13) sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (3.13)$$

Keterangan:

A = Massa benda uji kering oven (g)

B = Massa benda uji setelah perendaman (g)

3.5.2 Porositas Beton

Porositas beton adalah persentase perbandingan volume pori-pori pada beton dengan volume total beton. Porositas beton menunjukkan besar kadar pori-pori yang dimiliki oleh beton tersebut yang akan mempengaruhi kekuatan dan mutu beton. Pori atau rongga yang ada didalam beton diisi oleh gelembung-gelembung udara dan air yang saling berhubungan. Ketika air tersebut menguap, rongga tersebut akan tetap ada dan akan mengurangi kepadatan dan kerapatan pada beton. Sehingga semakin tinggi nilai porositas pada beton maka kekuatan beton akan semakin rendah

Dalam ASTM C642-2013 “*Standart Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*”, nilai porositas beton dapat dihitung menggunakan persamaan (3.14) sebagai berikut.

$$\text{Porositas beton} = \frac{B-A}{B-C} \times 100\% \quad (3.14)$$

Keterangan:

A = Massa benda uji kering oven (g)

B = Massa benda uji basah setelah perendaman (g)

C = Massa benda uji dalam air (g)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Jenis Penelitian

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

4.2 Benda Uji

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian yang menggunakan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, penyerapan air, dan porositas beton. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 90 buah dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

| Variasi (%) | | | Kode Benda Uji | Jumlah Benda Uji untuk Setiap Pengujian (buah) | |
|--------------|--|-------------|----------------|--|------------------|
| Kadar Abu | Kadar <i>SikaCim Concrete Additive</i> | Reduksi Air | | Kuat Tekan | Kuat Tarik Belah |
| 0 | 0 | 0 | BN | 5 | 5 |
| 5 | 0 | 0 | A1 | 5 | 5 |
| | 0.6 | 15 | A2 | 5 | 5 |
| | 0.7 | 15 | A3 | 5 | 5 |
| | 0.8 | 15 | A4 | 5 | 5 |
| 10 | 0 | 0 | B1 | 5 | 5 |
| | 0.6 | 15 | B2 | 5 | 5 |
| | 0.7 | 15 | B3 | 5 | 5 |
| | 0.8 | 15 | B4 | 5 | 5 |
| Total | | | | 45 | 45 |
| | | | | 90 | |

Untuk pengujian penyerapan air dan porositas beton menggunakan benda uji yang sama sebelum nantinya dilakukan pengujian destruktif (kuat tekan dan kuat tarik belah). Jumlah benda uji yang digunakan pada masing-masing pengujian sebanyak 5 benda uji.

4.3 Bahan Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan pada penelitian ini yaitu jenis semen *portland* tipe 1 dengan merk Tiga Roda.

2. Agregat

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

3. Air

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

4. Abu Kayu

Abu kayu yang digunakan pada penelitian ini merupakan abu hasil pembakaran limbah kayu sonokeling. Abu kayu ini digunakan sebagai substitusi parsial dari semen dengan variasi kadar 5% dan 10% dari berat total semen.

5. *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini adalah *SikaCim Concrete Additive* dengan variasi penambahan 0,6%; 0,7%; dan 0,8% dari berat total semen dan mereduksi kadar air sebesar 15% di setiap variasi kadar abu kayu.

4.4 Peralatan

4.4.1 Peralatan Pembuatan Benda Uji

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

Tabel 4.2 Peralatan Pembuatan Benda Uji

| No. | Nama Alat | Kegunaan |
|------------|-------------------------|--|
| 1 | Ayakan Agregat Halus | Untuk mengayak agregat halus |
| 2 | Ayakan Agregat Kasar | Untuk mengayak agregat kasar |
| 3 | Timbangan | Untuk menimbang material |
| 4 | Cetakan Silinder | Untuk mencetak benda uji silinder |
| 5 | <i>Mixer</i> Beton | Untuk mengaduk campuran beton |
| 6 | Sekop | Untuk memasukkan campuran beton ke dalam cetakan |
| 7 | Sendok Semen | Untuk meratakan campuran beton pada cetakan |
| 8 | Tongkat Penumbuk | Untuk memadatkan campuran beton pada cetakan |
| 9 | Ember | Untuk menampung material |
| 10 | Gelas Ukur | Untuk mengukur takaran air |
| 11 | Troli/Gerobak Pendorong | Untuk membantu mobilitas material |

4.4.2 Peralatan Pengujian Benda Uji

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

Tabel 4.3 Peralatan Pengujian Benda Uji

| No. | Nama Alat | Kegunaan |
|------------|----------------------------------|---|
| 1 | <i>Commpressing Test Machine</i> | Untuk menguji kuat tekan dan kuat tarik belah beton |
| 2 | Oven | Untuk mengeringkan benda uji |
| 3 | Kaliper | Untuk mengeringkan dimensi benda uji |
| 4 | Timbangan | Untuk menimbang benda uji |

4.5 Lokasi Penelitian

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

4.6 Tahapan Penelitian

Penelitian dalam tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan. Tahapan-tahapan penelitian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Persiapan

Persiapan dilakukan mulai dari studi pustaka, literatur, menyiapkan laboratorium, serta menyiapkan alat dan bahan.

2. Persiapan Abu kayu sonokeling

Pada penelitian ini, persiapan abu kayu sonokeling dilakukan mulai dari pembakaran limbah kayu sonokeling, lalu diayak menggunakan saringan no. 100.

3. Pengujian Agregat

Pada penelitian ini, pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari agregat yang digunakan telah memenuhi standar sesuai spesifikasi perencanaan campuran beton (*mix design*). Pengujian agregat yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus
- b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
- c. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat halus
- d. Pemeriksaan berat volume padat dan gembur agregat kasar
- e. Pengujian analisa saringan agregat halus
- f. Pengujian analisa saringan agregat kasar
- g. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (lolos saringan no. 200)

4. Pemeriksaan Semen

Pada penelitian ini, semen yang digunakan diperiksa secara visual mulai dari kantong semen yang tertutup rapat dan tidak ada penggumpalan pada semen.

5. Pemeriksaan Air

Pada penelitian ini, air yang digunakan diperiksa secara visual mulai dari kebersihan air, tidak mengandung lumpur, tidak bau, dan tidak berasa.

6. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan acuan SNI 03-2834-2000. Perencanaan ini dilakukan untuk mengetahui

proporsi setiap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji beton yang memenuhi syarat mutu 25 MPa.

7. Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini, pembuatan benda uji dilakukan mulai dari pembuatan campuran beton segar, pencetakan benda uji beton silinder, pelepasan benda uji dari cetakan, dan perawatan benda uji.

8. Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini, pengujian benda uji dilakukan pada beton setelah umur 28 hari. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, penyerapan air, dan porositas beton.

9. Analisis Hasil dan Pembahasan

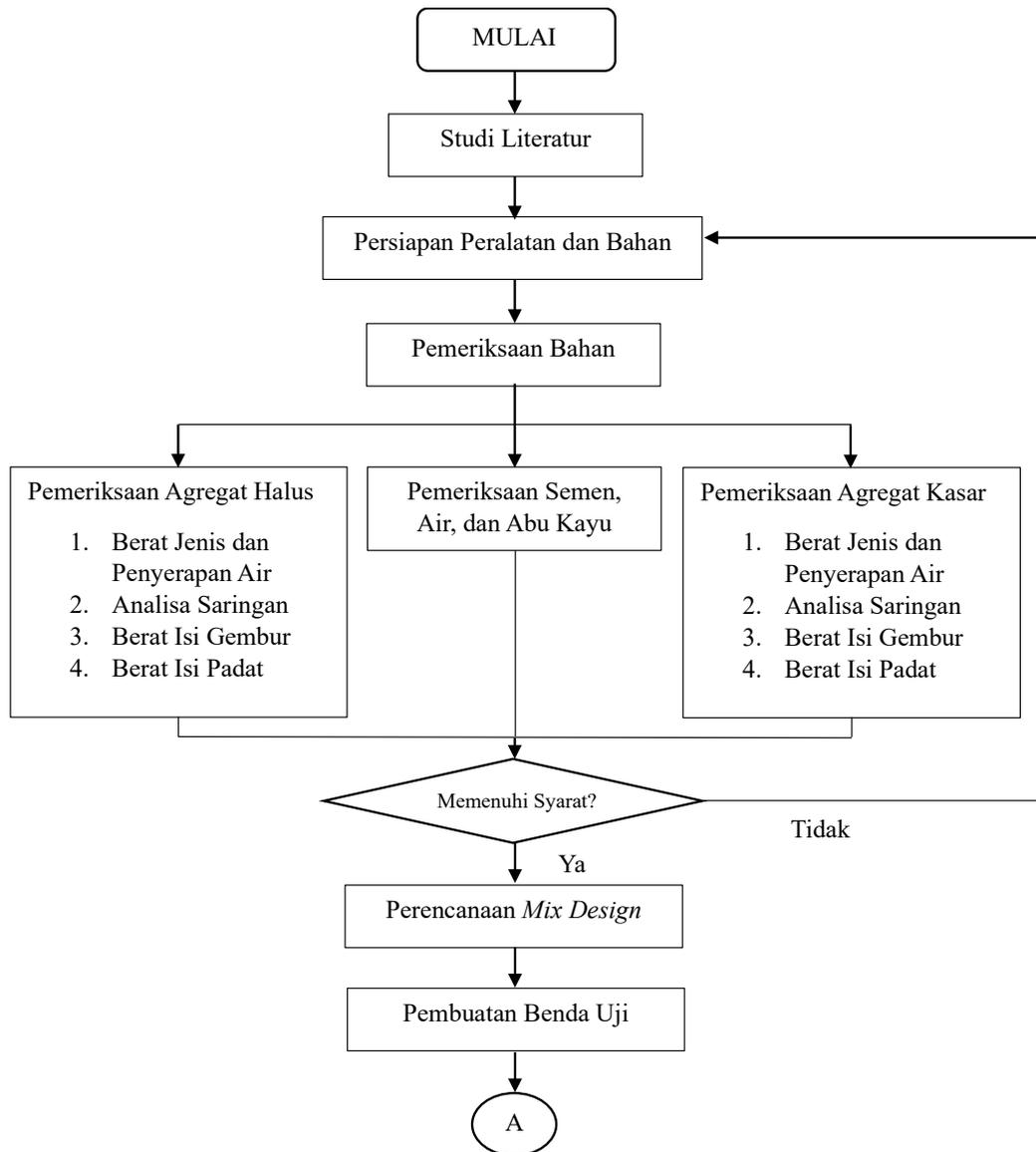
Pada tahap ini, setelah melakukan pengujian terhadap benda uji akan dilakukan analisis data dari hasil pengujian tersebut. Analisis data dilakukan dengan metode perhitungan dari hasil pengujian untuk mengetahui hubungan antar variabel yang diteliti yaitu *SikaCim Concrete Additive* dan abu kayu sebagai variabel bebas dan juga sifat mekanis dan fisik beton sebagai variabel terikat. Hasil analisis dari hubungan antar variabel tersebut nantinya dapat diambil kesimpulan yang dapat menjawab rumusan masalah dari penelitian ini.

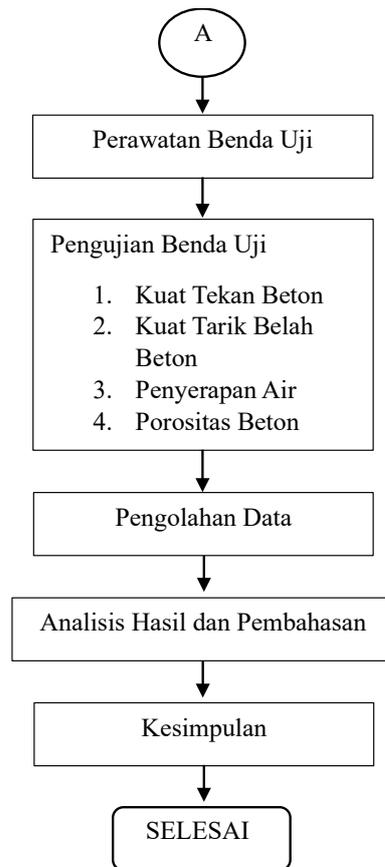
10. Kesimpulan

Pada tahap ini menjadi tahapan akhir dimana data hasil analisis dihubungkan dalam bentuk grafik yaitu grafik hubungan antara penambahan *SikaCim Concrete Additive* dan abu kayu dengan sifat mekanis beton yaitu kuat tekan dan kuat tarik belah beton, serta grafik antara penambahan *SikaCim Concrete Additive* dan abu kayu dengan sifat fisik beton yaitu penyerapan air dan porositas beton. Hasil dari grafik tersebut dapat diketahui perubahan yang terjadi pada beton akibat penggunaan *SikaCim Concrete Additive* dan abu kayu. Kemudian dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan dari penelitian serta dapat memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

4.7 Bagan Alir Tahapan Penelitian

Secara keseluruhan tahapan penelitian pada Tugas Akhir ini dapat dirangkum menjadi skema bagan alir yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





Gambar 4.1 Bagan Alir Tahapan Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat halus dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari agregat halus yang digunakan sebagai bahan penyusun beton. Ketika karakteristik dari agregat halus tersebut memenuhi persyaratan, maka mutu beton yang dihasilkan akan dapat terpenuhi. Pemeriksaan agregat halus ini dilakukan di laboratorium dan dilakukan analisis data dari hasil pemeriksaan yang dilakukan. Pemeriksaan-pemeriksaan agregat halus tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

5.1.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis curah, berat jenis jenuh permukaan air (*SSD*), berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat halus yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|------------------|----------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat halus kering mutlak (<i>Bk</i>), gram | 483 | 490 | 486,5 |
| Berat agregat halus jenuh kering muka (<i>SSD</i>), gram | 500 | 500 | 500 |
| Berat piknometer berisi agregat halus dan air (<i>Bt</i>), gram | 983 | 987 | 673 |
| Berat piknometer berisi air (<i>B</i>), gram | 673 | 673 | 673 |
| Berat jenis curah ($Bk/B+500-Bt$) | 2,542 | 2,634 | 2,588 |
| Berat jenis jenuh kering muka ($500/B+500-Bt$) | 2,632 | 2,688 | 2,66 |
| Berat jenis semu ($Bk/B+Bk-Bt$) | 2,792 | 2,784 | 2,788 |
| Penyerapan air ($(500-Bk)/Bk \times 100\%$) | 3,520 | 2,041 | 2,78 |

Dari hasil pemeriksaan di atas, didapat nilai berat jenis jenuh kering muka (*SSD*) rerata pada agregat halus adalah 2,66. Nilai tersebut memenuhi persyaratan SK SNI T-15-1990-1, yaitu rentang nilai berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal adalah 2,5 – 2,7. Dari hasil di atas juga didapat nilai penyerapan air rerata pada agregat halus adalah 2,78%. Nilai tersebut juga memenuhi persyaratan SNI 1737-1989-F, yaitu rentang nilai penyerapan air agregat normal adalah $\leq 3\%$. Maka dari itu, agregat halus yang digunakan pada penelitian ini memenuhi standar agregat normal.

5.1.2 Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume padat ini dilakukan untuk memperoleh nilai perbandingan antara berat dari agregat halus dan volume silinder yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Berat Volume Padat Agregat Halus

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|---|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (<i>W1</i>), gram | 10663 | 10658 | 10660,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (<i>SSD</i>), gram | 19194 | 19187 | 19190,5 |
| Berat agregat halus (<i>W3</i>), gram | 8531 | 8529 | 8530 |
| Volume silinder (<i>V</i>), cm ³ | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (<i>W3/V</i>), gram/cm ³ | 1,443 | 1,464 | 1,454 |

Dari hasil pemerikasan di atas, didapat nilai berat volume padat rerata pada agregat halus adalah 1,454 gram/cm³. Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33 yaitu nilai berat volume padat agregat halus adalah ≥ 1120 kg/m³.

5.1.3 Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Halus

Pemeriksaan berat volume gembur ini dilakukan untuk memperoleh nilai perbandingan antara berat dari agregat halus dan volume silinder yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Berat Volume Gembur Agregat Halus

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|---|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (<i>W1</i>), gram | 10663 | 10658 | 10660,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (<i>SSD</i>), gram | 17520 | 17511 | 17515,5 |
| Berat agregat halus (<i>W3</i>), gram | 6857 | 6853 | 6855 |
| Volume silinder (<i>V</i>), cm ³ | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (<i>W3/V</i>), gram/cm ³ | 1,16 | 1,176 | 1,168 |

Dari hasil pemeriksaan di atas, didapat nilai berat volume gembur rerata pada agregat halus adalah 1,168 gram/cm³. Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33 yaitu nilai berat volume gembur agregat halus adalah ≥ 1120 kg/m³.

5.1.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan ini dilakukan untuk memperoleh gradasi pada agregat halus yang digunakan. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

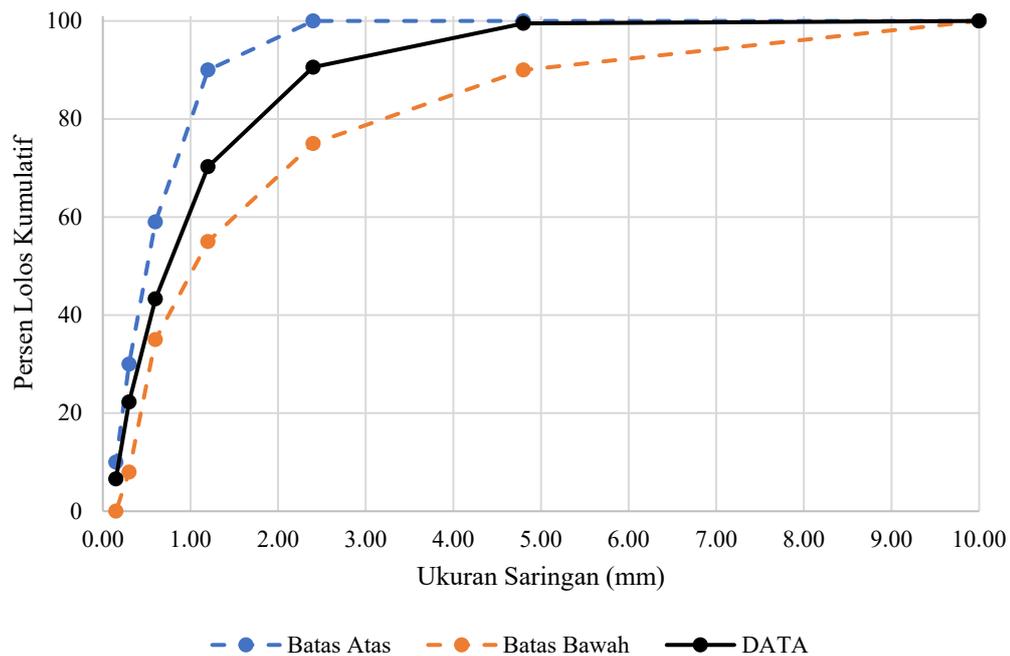
Tabel 5.4 Analisis Saringan Agregat Halus

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | | Persen Lolos Kumulatif (%) | | Rerata (%) | Spesifikasi |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|-------|--------------------------------|--------|----------------------------|-------|------------|-------------------|
| | Sampel | | Sampel | | Sampel | | Sampel | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | |
| 10,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 11 | 9 | 0.55 | 0.45 | 0,55 | 0,45 | 99,45 | 99,55 | 99,5 | 90 - 100 |
| 2,4 | 176 | 179 | 8.85 | 9.01 | 9,41 | 9,47 | 90,59 | 90,53 | 90,56 | 75 - 100 |
| 1,2 | 402 | 405 | 20,22 | 20,39 | 29,63 | 29,63 | 70,37 | 70,14 | 70,26 | 55 - 90 |
| 0,6 | 537 | 534 | 27,01 | 26,89 | 56,64 | 56,64 | 43,36 | 43,25 | 43,31 | 35 - 59 |
| 0,3 | 412 | 424 | 20,72 | 21,35 | 77,36 | 77,36 | 22,64 | 21,9 | 22,27 | 8 - 30 |
| 0,15 | 315 | 308 | 15,85 | 15,51 | 93,21 | 93,21 | 6,79 | 6,39 | 6,59 | 0 - 10 |
| Sisa | 135 | 127 | 6,79 | 6,39 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | - |
| Jumlah | 1988 | 1986 | 100,0 | 100,0 | 266,8 | 268,23 | - | - | - | Gradasi II |
| Rerata | 1987 | | 100 | | 267,51 | | | | | |

Dari hasil pengujian di atas, kemudian dapat dihitung modulus halus butir (MHB) agregat halus yang digunakan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB) rerata} &= \frac{267,51}{100} \\ &= 2,68 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai modulus halus butir (MHB) rerata agregat halus adalah 2,68. Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33, yaitu rentang nilai modulus halus butir (MHB) agregat halus adalah 2,3 – 3,1. Selain itu, hasil analisis gradasi di atas dapat digambarkan melalui kurva gradasi yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Gradasi II

Berdasarkan kurva pada gambar di atas, didapat gradasi agregat halus yang digunakan termasuk ke daerah Gradasi II yaitu jenis pasir sedang.

5.1.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur ini dilakukan untuk memperoleh nilai kadar lumpur yang ada pada agregat halus yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|--|-------------------|----------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat halus kering mutlak ($W1$), gram | 500 | 500 | 500 |
| Berat agregat halus setelah dicuci dan dioven ($W2$), gram | 483 | 475 | 479 |
| Berat lumpur ($W3$) = ($W1-W2$), gram | 17 | 25 | 21 |
| Kadar Lumpur ($W3 \times 100\%$), % | 3,4 | 5 | 4,2 |

Dari hasil pengujian di atas, didapat nilai kadar lumpur rerata pada agregat halus yang digunakan adalah 4,2%. Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33 yaitu nilai kandungan lumpur agregat normal adalah $\leq 5\%$.

5.2 Pemeriksaan Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat kasar dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun beton. Ketika karakteristik dari agregat kasar tersebut memenuhi persyaratan, maka mutu beton yang dihasilkan akan dapat terpenuhi. Pemeriksaan agregat kasar ini dilakukan di laboratorium dan dilakukan analisis data dari hasil pemeriksaan yang dilakukan. Pemeriksaan-pemeriksaan agregat kasar tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

5.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis curah, berat jenis jenuh permukaan air (SSD), berat jenis semu, dan penyerapan air pada agregat kasar yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|------------------|----------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat kasar kering mutlak (Bk), gram | 4981 | 4988 | 4984,5 |
| Berat agregat kasar jenuh kering muka (SSD), gram | 5000 | 5000 | 5000 |
| Berat agregat kasar dalam air (Ba), gram | 3110 | 31116 | 3113 |
| Berat jenis curah ($Bk/Bj-Ba$) | 2,635 | 2,648 | 2,642 |

Lanjutan Tabel 5.6

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|------------------|----------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat jenis jenuh kering muka (B_j/B_j-B_a) | 2,646 | 2,654 | 2,65 |
| Berat jenis semu (B_k/B_k-B_a) | 2,662 | 2,665 | 2,663 |
| Penyerapan air ($(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$) | 0,381 | 0,241 | 0,311 |

Dari hasil pemeriksaan di atas, didapat nilai berat jenis jenuh kering muka (SSD) rerata pada agregat kasar adalah 2,65. Nilai tersebut memenuhi persyaratan SK SNI T-15-1990-1, yaitu rentang nilai berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal adalah 2,5 – 2,7. Dari hasil di atas juga didapat nilai penyerapan air rerata pada agregat kasar adalah 0,311%. Nilai tersebut juga memenuhi persyaratan SNI 1737-1989-F, yaitu rentang nilai penyerapan air agregat normal adalah $\leq 3\%$. Maka dari itu, agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini memenuhi standar agregat normal.

5.2.2 Pemeriksaan Berat Volume Padat Agregat Kasar

Pemeriksaan berat volume padat ini dilakukan untuk memperoleh nilai perbandingan antara berat dari agregat kasar dan volume silinder yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Berat Volume Padat Agregat Kasar

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|---|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (W_1), gram | 10665 | 10658 | 10661,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 18954 | 18893 | 18923,5 |
| Berat agregat kasar (W_3), gram | 8289 | 8235 | 8262 |
| Volume silinder (V), cm^3 | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (W_3/V), gram/cm^3 | 1,402 | 1,414 | 1,408 |

Dari hasil pemeriksaan di atas, didapat nilai berat volume padat rerata pada agregat kasar adalah 1,408 gram/cm^3 . Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33 yaitu nilai berat volume padat agregat kasar adalah $\geq 1120 \text{ kg}/\text{m}^3$.

5.2.3 Pemeriksaan Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Pemeriksaan berat volume gembur ini dilakukan untuk memperoleh nilai perbandingan antara berat dari agregat kasar dan volume silinder yang digunakan. Hasil pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.8 Berat Volume Gembur Agregat Kasar

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|--|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder ($W1$), gram | 10665 | 10658 | 10661,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 17931 | 17884 | 17907,5 |
| Berat agregat kasar ($W3$), gram | 7266 | 7226 | 7246 |
| Volume silinder (V), cm^3 | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat ($W3/V$), gram/cm^3 | 1,245 | 1,24 | 1,235 |

Dari hasil pemeriksaan di atas, didapat nilai berat volume padat pada agregat halus rerata adalah $1,235 \text{ gram}/\text{cm}^3$. Nilai tersebut memenuhi persyaratan pada ASTM C33 yaitu nilai berat volume padat agregat kasar adalah $\geq 1120 \text{ kg}/\text{m}^3$.

5.2.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisa saringan ini dilakukan untuk memperoleh gradasi pada agregat kasar yang digunakan. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.9 Analisis Saringan Agregat Kasar

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | | Persen Lolos Kumulatif (%) | | Rerata (%) | Spesifikasi |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|-------|--------------------------------|-------|----------------------------|-------|------------|-------------|
| | Sampel | | Sampel | | Sampel | | Sampel | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | |
| 40,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 20,0 | 74 | 82 | 1,48 | 1,64 | 1,48 | 1,64 | 98,52 | 98,36 | 98,44 | 95 – 100 |
| 10,0 | 3137 | 3154 | 62,77 | 63,12 | 64,25 | 64,76 | 35,75 | 35,24 | 35,5 | 25 – 55 |
| 4,8 | 1664 | 1649 | 33,29 | 33 | 97,54 | 97,76 | 2,46 | 2,24 | 2,35 | 0 – 10 |
| 2,4 | 88 | 73 | 1,76 | 1,46 | 99,3 | 99,2 | 0,7 | 0,78 | 0,74 | - |
| 1,2 | 7 | 11 | 0,14 | | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | - |
| 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | - |
| 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | - |
| 0,15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 | - |
| Sisa | 0 | 0 | 0 | 0 | 100,0 | 100,0 | 0 | 0 | 0 | - |

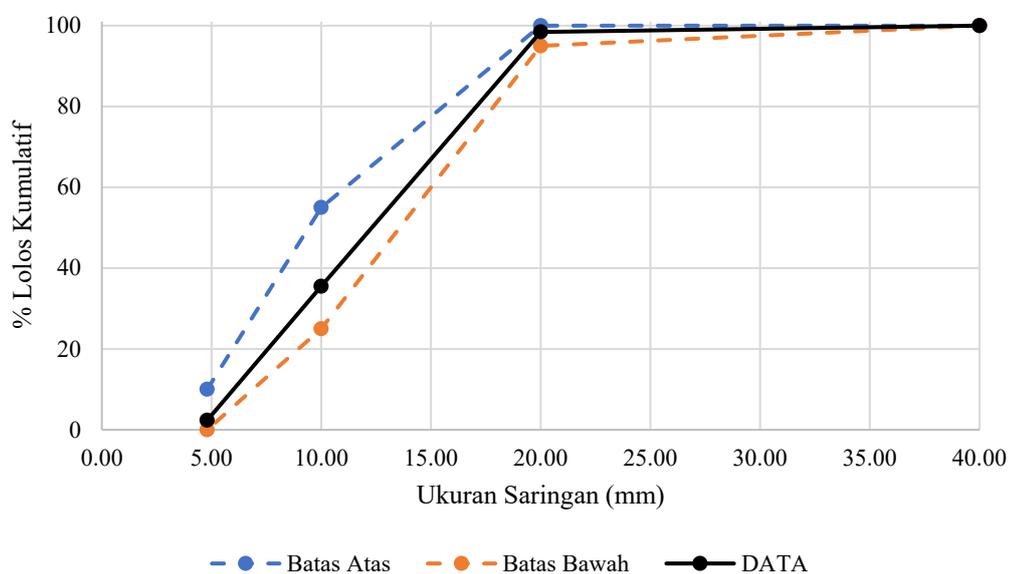
Lanjutan Tabel 5.9

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | | Persen Lolos Kumulatif (%) | | Rerata (%) | Spesifikasi |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|-------|--------------------------------|--------|----------------------------|---|------------|-------------|
| | Sampel | | Sampel | | Sampel | | Sampel | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | | |
| Jumlah | 4998 | 4997 | 100,0 | 100,0 | 660,32 | 660,32 | - | - | - | Maks 20 mm |
| Rerata | 4997,5 | | 100 | | 660,73 | | | | | |

Dari hasil pengujian di atas, kemudian dapat dihitung modulus halus butir (MHB) agregat kasar yang digunakan dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir (MHB) rerata} &= \frac{660,73}{100} \\ &= 6,61 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapat nilai modulus halus butir (MHB) rerata agregat halus adalah 6,61. Selain itu, hasil analisis gradasi di atas dapat digambarkan melalui kurva gradasi yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

Berdasarkan kurva pada gambar di atas, didapat agregat kasar yang digunakan sesuai dengan persyaratan gradasi ukuran maksimum 20 mm.

5.3 Pemeriksaan Semen *Portland*

Pada penelitian ini menggunakan semen *portland* dengan merek Tiga Roda. Pada pengamatan yang dilakukan secara visual, semen dalam kondisi baik dengan penyimpanan yang terlindung dari paparan sinar matahari secara langsung. Kemasan semen yang digunakan masih tersegel dengan baik dan tidak mengalami penggumpalan sehingga semen dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton.

5.4 Pemeriksaan Air

Pada penelitian ini menggunakan air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengamatan yang dilakukan secara visual, air dalam kondisi bersih dan bening. Air yang digunakan tidak terkontaminasi bahan lain yang menyebabkan berwarna dan berbau.

5.5 Pemeriksaan Abu Kayu Sonokeling

Pada penelitian ini menggunakan abu kayu yang berasal dari hasil pembakaran limbah kayu sonokeling secara manual. Kemudian abu kayu diayak menggunakan saringan no.100 untuk mendapatkan butiran halus layaknya semen. pada pengamatan yang dilakukan secara visual, abu kayu yang digunakan dalam kondisi bersih dari kotoran dan terbakar sempurna.

5.6 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Berdasarkan hasil yang didapat dari pemeriksaan agregat halus dan kasar yang telah dilakukan, kemudian data-data tersebut dapat digunakan untuk merencanakan proporsi campuran beton sesuai dengan jumlah beton yang akan diuji. Perencanaan proporsi campuran beton normal (*Mix Design*) mengacu pada SNI 03-2834-2000. Hasil perhitungan *mix design* beton normal dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5.10 Perencanaan Proporsi Campuran Beton (*Mix Design*)

| No. | Uraian | Tabel/Grafik/ Perhitungan | | Nilai | |
|-----|--|------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|
| 1. | Kuat tekan yang diisyaratkan (benda uji silinder) | Ditetapkan | | 25 MPa | |
| 2. | Deviasi standar | Diketahui | | 7 MPa | |
| 3. | Nilai tambah (margin) | | | 12 MPa | |
| 4. | Kekuatan rata-rata yang ditargetkan | 1 + 3 | | 37 MPa | |
| 5. | Jenis semen | Ditetapkan | | Semen <i>Portland</i> Tipe I | |
| 6. | Jenis agregat halus | Ditetapkan | | Alami | |
| | Jenis agregat kasar | Ditetapkan | | Batu Pecah | |
| 7. | Faktor air semen bebas | Tabel 2, Grafik 1 dan 2 | | 0.5 | |
| | Faktor air semen maksimum | Ditetapkan | | 0.6 | |
| 8. | Faktor air semen yang digunakan | Ditetapkan | | 0.5 | |
| 9. | <i>Slump</i> | Ditetapkan | | 60 – 180 mm | |
| 10. | Ukuran agregat maksimum | Ditetapkan | | 20 mm | |
| 11. | Kadar air bebas | Tabel 3 | | 205 Kg/m ³ | |
| 12. | Kadar semen | 11 : 8 | | 410 Kg/m ³ | |
| 13. | Kadar semen maksimum | Tidak Ditetapkan | | - | |
| 14. | Kadar semen minimum | Ditetapkan | | 275 Kg/m ³ | |
| 15. | Kadar semen yang digunakan | | | 410 Kg/m ³ | |
| 16. | Faktor air semen yang disesuaikan | | | - | |
| 17. | Susunan besar butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | | Gradasi I | |
| 18. | Berat jenis agregat halus | | | 2,6455 | |
| | Berat jenis agregat kasar | | | 2,6316 | |
| 19. | Persentase agregat halus | Grafik 13 s/d 15 | | 41,5% | |
| 20. | Persentase agregat kasar | | | 58,5% | |
| 21. | Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD) | | | 2,64 | |
| 22. | Berat isi beton | Grafik 16 | | 2373 Kg/m ³ | |
| 23. | Kadar agregat gabungan | 22 – 15 - 11 | | 1758 Kg/m ³ | |
| 24. | Kadar agregat halus | 19 x 23 | | 729,57 Kg/m ³ | |
| 25. | Kadar agregat kasar | 23 – 24 | | 1028,43 Kg/m ³ | |
| | Proporsi Campuran | Semen (Kg) | Air (Kg) | Agregat | |
| | | | | Halus (Kg) | Kasar (Kg) |
| 26. | Proporsi campuran teoritis agregat kondisi (SSD) | | | | |
| | Tiap m ³ | 410 | 205 | 729,57 | 1028,43 |
| 27. | Proporsi campuran dengan angka penyusutan (20%) | | | | |
| | Tiap m ³ | 492 | 246 | 875,48 | 1234,12 |

Pada penelitian ini membutuhkan 10 beton silinder pada setiap variasinya. Perhitungan volume total beton silinder dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5.11 Volume Beton Normal Setiap Variasi

| Uraian | Nilai | Satuan |
|--------------------------|--------|----------------|
| Diameter | 0,15 | m |
| Tinggi | 0,3 | m |
| Volume | 0,0053 | m ³ |
| Jumlah Sekali Pengecoran | 10 | buah |
| Volume Total | 0,053 | m ³ |

Perhitungan volume total beton silinder pada setiap variasinya menghasilkan volume sebesar 0.053 m³. Sehingga proporsi campuran beton normal yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5.12 Proporsi Campuran Beton Normal

| Proporsi Campuran | Semen (Kg) | Air (Kg) | Agregat | |
|--|------------|----------|------------|------------|
| | | | Halus (Kg) | Kasar (Kg) |
| Proporsi campuran teoritis agregat kondisi (SSD) | | | | |
| Tiap m ³ | 410 | 205 | 729,57 | 1028,43 |
| Tiap 0,053 m ³ | 21,74 | 10,87 | 38,68 | 54,52 |
| Proporsi campuran dengan angka penyusutan (20%) | | | | |
| Tiap m ³ | 492 | 246 | 875,48 | 1234,12 |
| Tiap 0,053 m ³ | 26,083 | 13,042 | 46,413 | 65,426 |

Pada penelitian ini, pengadukan beton setiap variasinya dilaksanakan 9 kali pengadukan, terdiri dari 1 kali pengadukan beton normal dan 8 kali pengadukan beton variasi. Sehingga sesuai perhitungan *mix design* didapatkan proporsi setiap adukan variasi uji beserta dengan angka penyusutan sebesar 20% didapatkan hasil yang disajikan pada Tabel 5.13 sebagai berikut ini.

Tabel 5.13 Proporsi Campuran Beton Normal dan Beton Variasi dengan Angka Penyusutan 20%

| Kode Benda Uji | Semen (Kg) | Air (Kg) | Agregat | | Abu Kayu (Kg) | <i>SikaCim Concrete Additive</i> (Kg) |
|----------------|------------|----------|------------|------------|---------------|---------------------------------------|
| | | | Halus (Kg) | Kasar (Kg) | | |
| BN | 26,083 | 13,042 | 46,413 | 65,426 | 0 | 0 |
| A1 | 24,779 | 13,042 | 46,413 | 65,426 | 1,304 | 0 |
| A2 | 24,779 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 1,304 | 0,156 |
| A3 | 24,779 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 1,304 | 0,183 |
| A4 | 24,779 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 1,304 | 0,209 |
| B1 | 23,475 | 13,042 | 46,413 | 65,426 | 2,608 | 0 |
| B2 | 23,475 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 2,608 | 0,156 |
| B3 | 23,475 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 2,608 | 0,183 |
| B4 | 23,475 | 12,892 | 46,413 | 65,426 | 2,608 | 0,209 |

Keterangan:

BN = Beton normal tanpa modifikasi campuran beton

A1 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 5%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 0%

A2 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 5%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,6% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

A3 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 5%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,7% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

A4 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 5%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,8% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

B1 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 10%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 0%

B2 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 10%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,6% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

B3 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 10%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,7% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

B4 = Beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen sebanyak 10%, *SikaCim Concrete Additive* sebagai bahan tambah sebanyak 0,8% dari berat semen, dan pengurangan kadar air sebanyak 15%

5.7 Pengujian *Slump* Beton

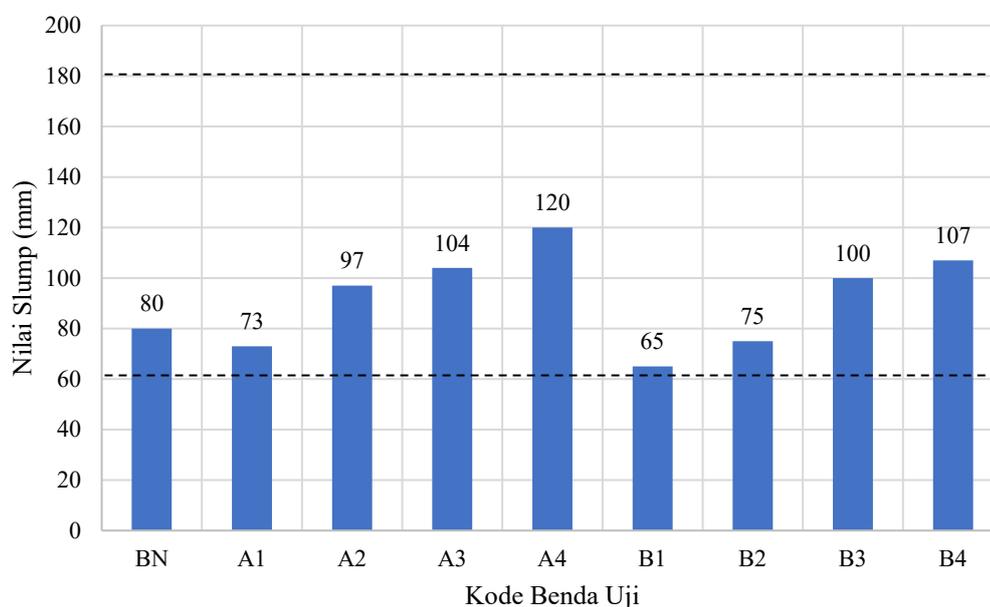
Pada penelitian ini menggunakan nilai *slump* rencana sebesar 60-180 mm. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* pada saat pengerjaan campuran beton segar. Penelitian ini menggunakan abu kayu sebagai substitusi sebagian semen, sehingga mengurangi jumlah penggunaan semen. Untuk memperbaiki *workability* pada campuran beton segar, digunakan bahan tambah *SikaCim Concrete Additive*. Penggunaan bahan tambah ini juga dapat mengurangi penggunaan air dan menaikkan kekuatan dari beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen. Hasil pengujian *slump* beton dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Hasil Pengujian *Slump* Beton

| No. | Kode Benda Uji | Nilai <i>Slump</i> (mm) | Keterangan |
|-----|----------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | BN | 80 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 2 | A1 | 73 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 3 | A2 | 97 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 4 | A3 | 104 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 5 | A4 | 120 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 6 | B1 | 65 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 7 | B2 | 75 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 8 | B3 | 100 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |
| 9 | B4 | 107 | Memenuhi <i>slump</i> rencana |

Tabel 5.14 menunjukkan nilai *slump* pada beton normal sebesar 80 mm yang menandakan nilai tersebut memenuhi syarat nilai *slump*. Kemudian terjadi penurunan nilai *slump* pada beton variasi dengan kadar abu kayu sebesar 5% dari berat semen tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Pada beton variasi selanjutnya, nilai *slump* terus meningkat seiring pertambahan persentase *SikaCim Concrete Additive*. Hal yang sama terjadi pada beton variasi dengan kadar abu kayu sebesar 10%. Nilai *slump* kembali mengalami penurunan pada beton variasi tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Namun pada variasi selanjutnya, nilai *slump* kembali meningkat seiring penambahan persentase *SikaCim Concrete Additive*.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan *SikaCim Concrete Additive* berperan dalam mengencerkan pasta semen walaupun terjadi pengurangan air beton variasi tersebut. *SikaCim Concrete Additive* dapat meningkatkan nilai *slump* dan memperbaiki *workability* pada campuran beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen. Peningkatan nilai *slump* dapat dilihat lebih jelas pada gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Nilai *Slump* Campuran Beton Normal dan Beton Variasi

5.8 Pengujian Sifat Mekanis Beton

5.8.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan beton dilakukan pada benda uji dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur beton 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 45 buah dengan jumlah masing-masing benda uji di setiap variasinya sebanyak 5 buah. Pada persiapan pengujian, dilakukan proses pengkapingan menggunakan cairan belerang. Proses ini dilakukan untuk meratakan permukaan benda uji agar beban dapat terdistribusi secara merata. Hal tersebut ditujukan untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

Pengujian ini dilakukan menggunakan *Compressing Test Machine*. Pembebanan dilakukan secara konstan hingga terjadi keretakan (*crack*) pada beton. Hal tersebut menandakan bahwa beton tersebut tidak lagi mampu menahan beban yang diberikan oleh mesin tekan tersebut. Data-data yang telah didapatkan kemudian dilakukan perhitungan kuat tekan beton dan menghasilkan nilai-nilai kuat tekan beton normal dan beton variasi.

Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton pada benda uji beton normal (BN.1) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Diameter (D)} = 150,85 \text{ mm}$$

$$\text{Beban Maks (P)} = 486,06 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150,85^2 \\ &= 17872,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton (f'c)} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{486,06 \times 1000}{17872,3} \\ &= 27,196 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan kuat tekan beton. Hasil perhitungan kuat tekan beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 sampai 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5.15 Kuat Tekan Beton Normal

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| BN.1 | 150,85 | 301,9 | 12,815 | 486,06 | 27,196 |
| BN.2 | 150,9 | 304,3 | 12,763 | 465,42 | 26,024 |
| BN.3 | 150,7 | 301,3 | 12,683 | 482,13 | 27,030 |
| BN.4 | 151,15 | 305 | 12,833 | 508,35 | 28,331 |
| BN.5 | 150,3 | 303,6 | 12,632 | 473,7 | 26,699 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,056 |

Tabel 5.16 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A1.1 | 150 | 300,2 | 12,805 | 487,92 | 27,611 |
| A1.2 | 150,25 | 301,3 | 12,513 | 414,54 | 23,380 |
| A1.3 | 150,15 | 299,5 | 12,501 | 402,35 | 22,723 |
| A1.4 | 151,25 | 300,8 | 12,514 | 473,86 | 26,374 |
| A1.5 | 150,8 | 297,8 | 12,543 | 483,66 | 27,080 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 25,433 |

Tabel 5.17 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A2.1 | 151,6 | 300,3 | 12,74 | 533,75 | 29,570 |
| A2.2 | 151 | 300,8 | 12,476 | 519,34 | 29,001 |
| A2.3 | 151,6 | 300,25 | 12,536 | 466,81 | 25,861 |
| A2.4 | 150,75 | 299,65 | 12,442 | 451,79 | 25,312 |
| A2.5 | 151,35 | 300,5 | 12,573 | 505,65 | 28,106 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,570 |

Tabel 5.18 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A3.1 | 150,2 | 300,35 | 12,451 | 540,24 | 30,49 |
| A3.2 | 149,85 | 303 | 12,563 | 451,79 | 25,617 |
| A3.3 | 150,75 | 301,3 | 12,571 | 458,65 | 25,697 |
| A3.4 | 151 | 303,45 | 12,719 | 523,01 | 29,206 |
| A3.5 | 151,16 | 304,25 | 12,629 | 611,45 | 34,072 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 29,016 |

Tabel 5.19 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A4.1 | 150,65 | 301,5 | 12,52 | 581,03 | 32,596 |
| A4.2 | 150,9 | 303,75 | 12,653 | 589,82 | 32,98 |
| A4.3 | 151,25 | 300,65 | 12,445 | 661,06 | 37,086 |
| A4.4 | 150,65 | 302,35 | 12,452 | 519,34 | 28,905 |
| A4.5 | 150,8 | 302 | 12,413 | 707,57 | 39,617 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 34,237 |

Tabel 5.20 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B1.1 | 150,9 | 300,2 | 12,571 | 427,37 | 23,897 |
| B1.2 | 150,3 | 299,5 | 12,638 | 402,35 | 22,678 |
| B1.3 | 150,95 | 302,3 | 12,573 | 458,65 | 25,629 |
| B1.4 | 150,75 | 301,3 | 12,516 | 456,41 | 25,571 |
| B1.5 | 150,6 | 300,85 | 12,424 | 466,81 | 26,206 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 24,796 |

Tabel 5.21 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B2.1 | 151,25 | 301,75 | 12,595 | 427,66 | 23,802 |
| B2.2 | 149,4 | 302,45 | 12,666 | 483,25 | 27,566 |
| B2.3 | 150,5 | 300,15 | 12,49 | 473,7 | 26,628 |
| B2.4 | 150,8 | 302,65 | 12,576 | 458,65 | 25,68 |
| B2.5 | 150,1 | 300,2 | 12,492 | 489,61 | 27,669 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 26,269 |

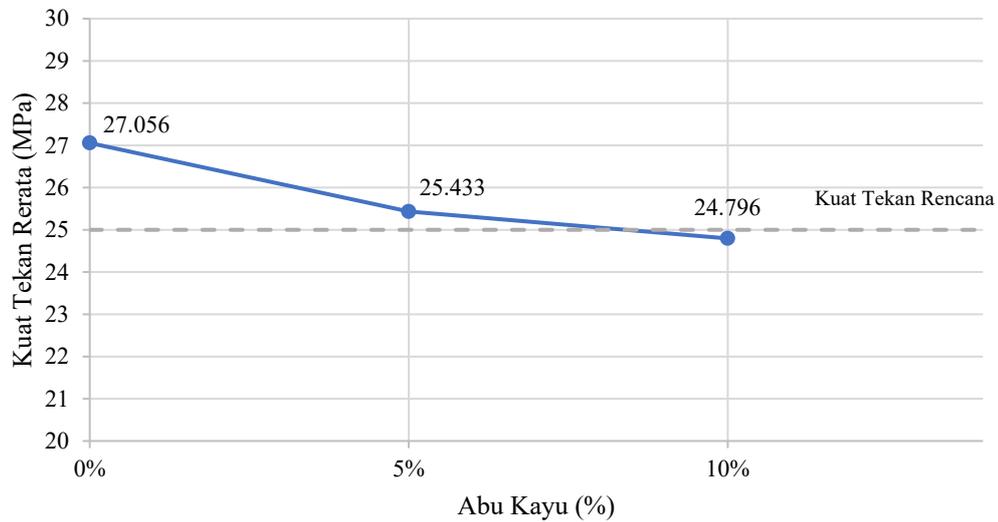
Tabel 5.22 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B3.1 | 151,1 | 300,45 | 12,776 | 434,8 | 24,248 |
| B3.2 | 151,4 | 300,95 | 12,553 | 483,25 | 26,843 |
| B3.3 | 151,05 | 301,55 | 12,765 | 473,7 | 26,435 |
| B3.4 | 151,2 | 302,15 | 12,548 | 497,43 | 27,704 |
| B3.5 | 151,3 | 300,2 | 12,725 | 489,61 | 27,232 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 26,492 |

Tabel 5.23 Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

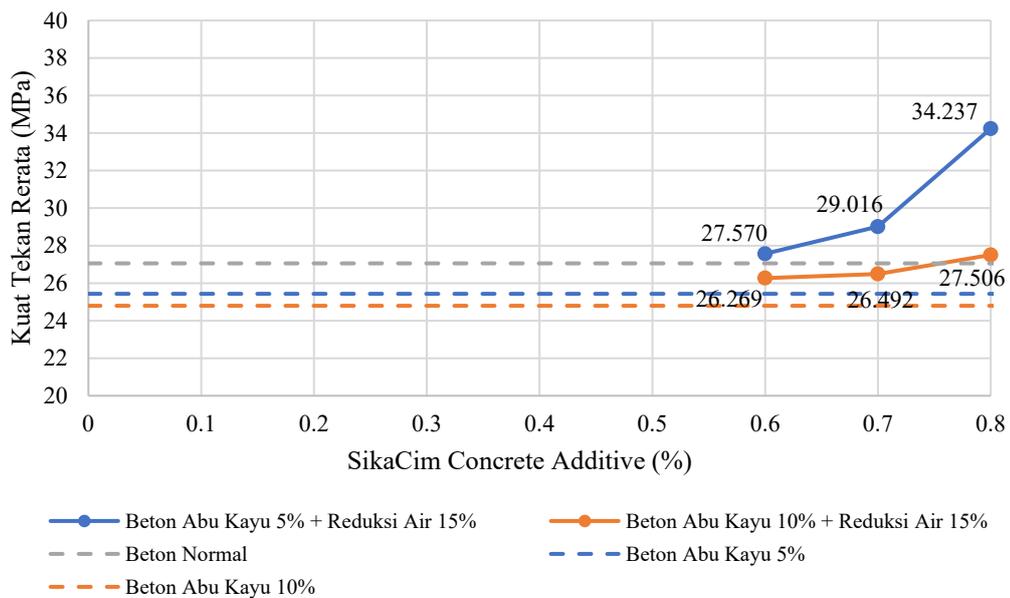
| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B4.1 | 151 | 300,75 | 12,957 | 509,47 | 28,45 |
| B4.2 | 150,25 | 305,15 | 12,685 | 521,99 | 29,44 |
| B4.3 | 150,2 | 303,15 | 12,38 | 489,14 | 27,606 |
| B4.4 | 150,85 | 303,2 | 12,667 | 488,25 | 27,319 |
| B4.5 | 150,25 | 300,55 | 12,662 | 438,19 | 24,714 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,506 |

Selanjutnya hubungan kuat tekan beton antara beton normal dan beton variasi abu kayu sebagai substitusi parsial semen digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 Hubungan Kuat Tekan dengan Kandungan Abu Kayu

Adapun hubungan kuat tekan beton dengan variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Hubungan Kuat Tekan Beton dan Variasi Penambahan *SikaCim*

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel-tabel dan gambar di atas, pada variasi beton normal menghasilkan kuat tekan rerata sebesar 27,056 MPa. Terjadi penurunan kuat tekan sebesar 1,623% pada variasi abu kayu 5% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kuat tekan rerata sebesar 25,433 MPa. Kemudian pada variasi abu kayu 5%, terjadi peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Peningkatan paling tinggi terjadi pada variasi abu kayu 5% dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* 0,8% yaitu dengan kuat tekan rerata sebesar 34,237 MPa.

Namun, kuat tekan kembali terjadi penurunan sebesar 2,260% terhadap kuat tekan beton normal pada variasi abu kayu 10% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kuat tekan rerata sebesar 24,796 MPa. Kemudian sama seperti variasi abu kayu 5%, terjadi peningkatan kuat tekan pada variasi abu kayu 10% seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Peningkatan paling tinggi terjadi pada variasi abu kayu 5% dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* 0,8% yaitu dengan kuat tekan rerata sebesar 27,506 MPa.

Pada penelitian ini, terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tekan beton pada variasi abu kayu 5% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dan juga pada variasi abu kayu 10% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Hal tersebut terjadi dikarenakan penggunaan abu kayu sebagai substitusi parsial semen menyerap air lebih banyak dan menurunkan *workability* yang mengakibatkan sulit untuk dipadatkan. Sehingga penggunaan abu kayu sebagai substitusi parsial semen tidak mampu menambah kekuatan pada beton tersebut. Hal ini sesuai dengan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Indra dkk. (2013), yang mengatakan bahwa kuat tekan beton dengan abu kayu masih lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.

Di sisi lain, terjadi peningkatan nilai kuat tekan beton pada beton variasi abu kayu 5% dan 10% seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Hal ini dapat terjadi akibat penggunaan kadar *SikaCim Concrete Additive* yang tepat dalam mengikat semen dan abu kayu sebagai substitusi parsial semen dan menjadikannya mortar yang baik untuk mengikat agregat kasar maupun halus. Sehingga campuran beton yang dihasilkan menjadi lebih homogen dan padat. Hal tersebut juga

dibuktikan dengan nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton variasi tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*, yang menandakan bahwa *SikaCim Concrete Additive* dapat menggantikan jumlah air telah yang direduksi. Hal tersebut meningkatkan *workability* pada campuran beton dengan abu kayu ketika pemadatan sehingga kemungkinan timbulnya pori-pori semakin kecil. Pori-pori yang sedikit dapat memberikan kuat tekan yang baik dikarenakan gaya tekan dapat tersalurkan secara merata.

Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian yang serupa oleh Indra dkk. (2013) dengan penggunaan abu kayu sebagai substitusi parsial semen dengan variasi abu kayu 10%, 15%, dan 20% memiliki persamaan pada kuat tekan yang menurun seiring penambahan kadar abu kayu. Sehingga kadar optimum penggunaan kadar abu kayu adalah kadar awal dari variasi penggunaan abu kayu. Penelitian serupa lainnya oleh Respati dkk. (2014) dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* pada beton K-350 dengan variasi penambahan 0,3%; 0,5%; dan 1% memiliki persamaan yaitu meningkatnya nilai kuat tekan beton pada variasi 0,5% dan 1%. Sehingga kadar optimum penggunaan *SikaCim Concrete Additive* adalah 0,5 – 1%.

Dari hasil penelitian ini, penggunaan kadar *SikaCim Concrete Additive* hingga 0.8% dari berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada beton dengan abu kayu sebagai substitusi parsial semen.

5.8.2 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pada penelitian ini, pengujian kuat tarik belah beton dilakukan pada benda uji dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur beton 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 45 buah dengan jumlah masing-masing benda uji di setiap variasinya sebanyak 5 buah. Pengujian ini dilakukan menggunakan *Compressing Test Machine*. Benda uji diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan penekan. Pembebanan dilakukan secara konstan hingga terjadi keretakan (*crack*) pada beton. Hal tersebut menandakan bahwa beton tersebut tidak lagi mampu menahan beban yang diberikan oleh mesin tekan tersebut. Data-data

yang telah didapatkan kemudian dilakukan perhitungan kuat tarik belah beton dan menghasilkan nilai-nilai kuat tarik belah beton normal dan beton variasi.

Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton pada benda uji beton normal (BN.8) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter (D)} &= 151,25 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi (L)} &= 301,3 \text{ mm} \\
 \text{Beban Maks (P)} &= 178 \text{ kN} \\
 \text{Kuat Tarik Belah Beton (f'ct)} &= \frac{2P}{\pi LD} \\
 &= \frac{2 \times 178 \times 1000}{\pi \times 301,3 \times 151,25} \\
 &= 2,487 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan kuat tekan beton. Hasil perhitungan kuat tarik belah beton tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.24 sampai 5.32 berikut.

Tabel 5.24 Kuat Tarik Belah Beton Normal

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| BN.6 | 151,7 | 300,35 | 12,567 | 165,7 | 2,315 |
| BN.7 | 150,65 | 303 | 12,476 | 152,2 | 2,123 |
| BN.8 | 151,25 | 301,3 | 12,461 | 178 | 2,487 |
| BN.9 | 150,2 | 303,45 | 12,584 | 140 | 1,955 |
| BN.10 | 150,2 | 304,25 | 12,653 | 141 | 1,964 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,169 |

Tabel 5.25 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|----------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A1.6 | 150 | 301,25 | 12,265 | 140,5 | 1,979 |
| A1.7 | 150,25 | 304 | 12,602 | 143,1 | 1,994 |
| A1.8 | 151,35 | 303 | 12,350 | 153,5 | 2,131 |

Lanjutan 5.25

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A1.9 | 151,5 | 303,65 | 11,985 | 162,5 | 2,249 |
| A1.10 | 150,2 | 300,25 | 12,264 | 168,2 | 2,374 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,146 |

Tabel 5.26 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan *SikaCim* 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A2.6 | 150 | 300,3 | 12,3 | 168,9 | 2,387 |
| A2.7 | 149,35 | 300,8 | 12,512 | 161,9 | 2,294 |
| A2.8 | 149 | 300,25 | 12,434 | 160,8 | 2,288 |
| A2.9 | 150,2 | 299,65 | 12,418 | 166,6 | 2,357 |
| A2.10 | 150,25 | 300,5 | 12,359 | 183,3 | 2,585 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,382 |

Tabel 5.27 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan *SikaCim* 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A3.6 | 150,25 | 299,7 | 12,446 | 212,9 | 3,01 |
| A3.7 | 149 | 299,65 | 12,256 | 191,4 | 2,729 |
| A3.8 | 151,35 | 296,5 | 12,358 | 195,3 | 2,771 |
| A3.9 | 151,25 | 305,65 | 12,179 | 192,9 | 2,656 |
| A3.10 | 150,25 | 300,25 | 12,354 | 181,9 | 2,567 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,747 |

Tabel 5.28 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan *SikaCim* 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A4.6 | 150 | 301,9 | 12,264 | 232,1 | 3,263 |
| A4.7 | 150,25 | 304,3 | 12,348 | 226,8 | 3,158 |
| A4.8 | 150,15 | 301,3 | 12,487 | 205,4 | 2,890 |
| A4.9 | 151,25 | 305 | 12,426 | 193,1 | 2,665 |
| A4.10 | 150,8 | 303,6 | 12,458 | 201,3 | 2,799 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,955 |

Tabel 5.29 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B1.6 | 150,85 | 300,35 | 12,243 | 136,68 | 1,920 |
| B1.7 | 150,9 | 303 | 12,251 | 161,5 | 2,249 |
| B1.8 | 150,7 | 301,3 | 12,228 | 123,5 | 1,732 |
| B1.9 | 151,15 | 303,45 | 12,598 | 162,5 | 2,255 |
| B1.10 | 150,3 | 304,25 | 12,164 | 168,2 | 2,342 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,1 |

Tabel 5.30 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|----------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B2.6 | 150,35 | 302,5 | 12,115 | 167,1 | 2,339 |
| B2.7 | 151,05 | 302,8 | 12,059 | 159,5 | 2,220 |
| B2.8 | 150,55 | 301,9 | 12,235 | 157,7 | 2,209 |
| B2.9 | 150,95 | 299,3 | 12,147 | 152,1 | 2,143 |
| B2.10 | 150,65 | 303,5 | 11,962 | 177,1 | 2,466 |

Lanjutan Tabel 5.30

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,275 |

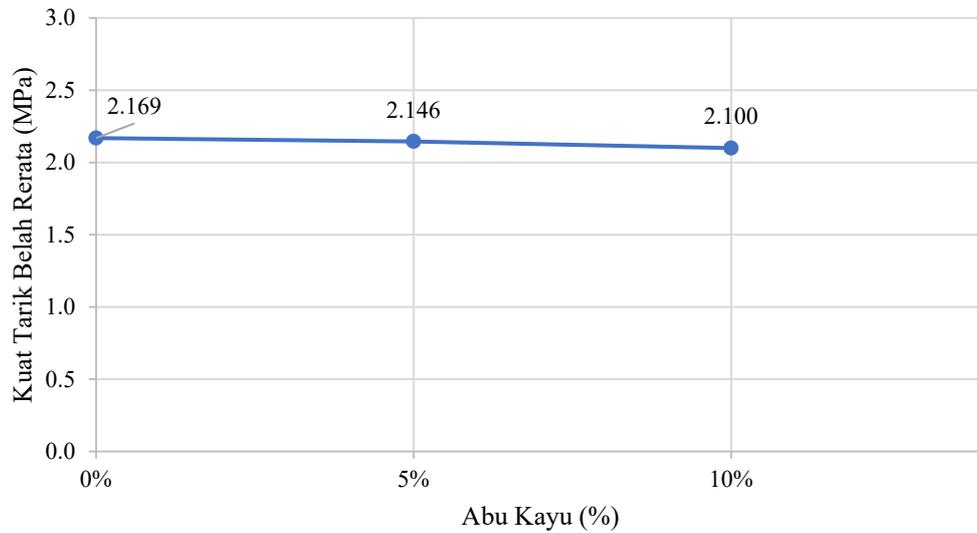
Tabel 5.31 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B3.6 | 151,6 | 300,2 | 12,153 | 205,7 | 2,877 |
| B3.7 | 151 | 301,3 | 12,226 | 165,6 | 2,317 |
| B3.8 | 151,6 | 299,5 | 12,486 | 157,5 | 2,208 |
| B3.9 | 150,75 | 300,8 | 12,364 | 163,2 | 2,291 |
| B3.10 | 151,35 | 297,8 | 12,569 | 193,4 | 2,732 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,485 |

Tabel 5.32 Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,8%)

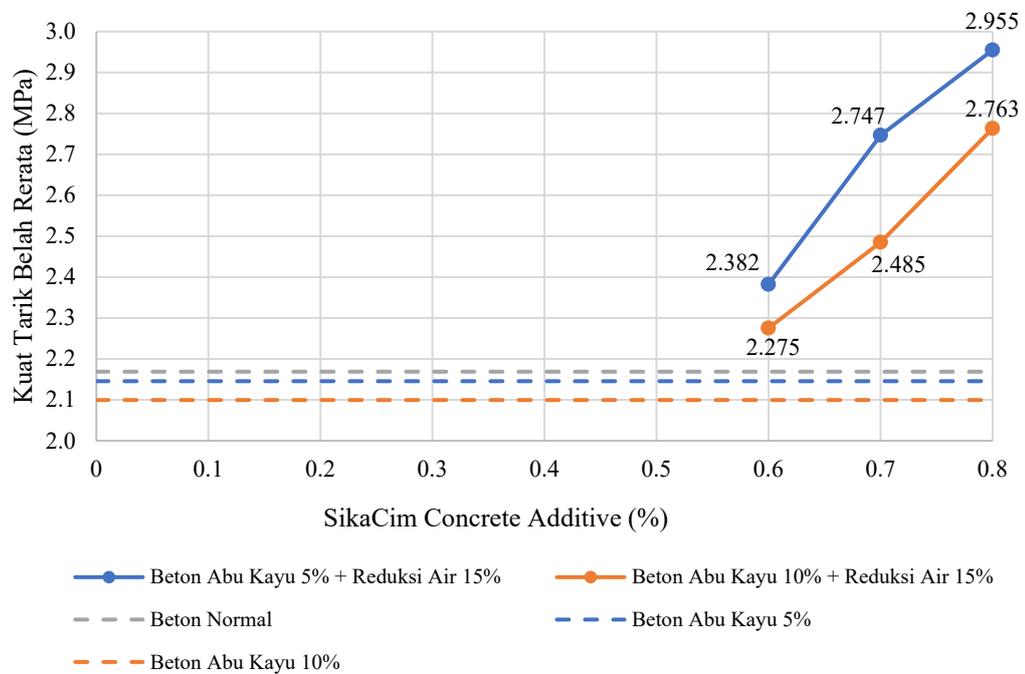
| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B4.6 | 150,9 | 300,45 | 12,554 | 216,5 | 3,04 |
| B4.7 | 150,3 | 300,95 | 12,526 | 192,1 | 2,704 |
| B4.8 | 150,95 | 301,55 | 12,659 | 198,7 | 2,779 |
| B4.9 | 150,75 | 302,15 | 12,572 | 183,9 | 2,570 |
| B4.10 | 150,6 | 300,2 | 12,633 | 193,4 | 2,723 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,763 |

Selanjutnya hubungan kuat tarik belah beton antara beton normal dan beton variasi abu kayu sebagai substitusi parsial semen digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut



Gambar 5.6 Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kandungan Abu Kayu

Adapun hubungan kuat tarik belah beton dengan variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Hubungan Kuat Tarik Belah Beton dan Variasi Penambahan *SikaCim*

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel-tabel dan gambar di atas, pada variasi beton normal menghasilkan kuat tarik belah rerata sebesar 2,169 MPa. Terjadi penurunan kuat tarik belah sebesar 0,023% pada variasi abu kayu 5% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kuat tarik belah rerata sebesar 2,146 MPa. Kemudian pada variasi abu kayu 5%, terjadi peningkatan kuat tarik belah seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Peningkatan paling tinggi terjadi pada variasi abu kayu 5% dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* 0,8% yaitu dengan kuat tarik belah rerata sebesar 2,955 MPa.

Namun, kembali terjadi penurunan kuat tarik belah sebesar 0,069% terhadap kuat tarik belah beton normal pada variasi abu kayu 10% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dengan kuat tarik belah rerata sebesar 2,1 MPa. Sama seperti variasi abu kayu 5%, terjadi peningkatan kuat tarik belah pada variasi abu kayu 10% seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Peningkatan paling tinggi terjadi pada variasi abu kayu 5% dengan penambahan *SikaCim Concrete Additive* 0,8% yaitu dengan kuat tarik belah rerata sebesar 2,763 MPa.

Pada penelitian ini, terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tarik belah beton pada variasi abu kayu 5% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive* dan juga pada variasi abu kayu 10% tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Hal tersebut terjadi akibat penggunaan abu kayu sebagai substitusi parsial semen meningkatkan sifat getas pada beton, sehingga mengakibatkan kekuatan pada beton tersebut menurun.

Di sisi lain, terjadi peningkatan nilai kuat tarik belah beton pada beton variasi abu kayu 5% dan 10% seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Hal ini dapat terjadi akibat penggunaan kadar *SikaCim Concrete Additive* yang tepat dalam mengikat semen dan abu kayu sebagai substitusi parsial semen dan menjadikannya mortar yang baik untuk mengikat agregat kasar maupun halus. Sehingga campuran beton yang dihasilkan menjadi lebih homogen. Hal tersebut juga dibuktikan dengan nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan beton variasi tanpa penambahan *SikaCim Concrete Additive*, yang menandakan bahwa *SikaCim Concrete Additive* dapat menggantikan jumlah air telah yang direduksi. Hal tersebut meningkatkan *workability* pada campuran beton dengan abu kayu ketika pemadatan

sehingga kemungkinan timbulnya pori-pori semakin kecil. Pori-pori yang sedikit dapat memberikan kuat tarik belah yang baik dikarenakan beban yang diberikan dapat tersalurkan secara merata.

Hasil kuat tarik belah beton normal maupun beton variasi memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai kuat tekannya. Menurut Ronny dan Reky (2017), nilai kuat tarik belah beton berkisar antara 9 – 15% dari kuat tekannya. Pada penelitian ini, persentase kuat tarik belah beton terhadap kuat tekannya dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut.

Tabel 5.33 Persentase Kuat Tarik Belah terhadap Kuat Tekan Beton Normal dan Beton Variasi

| No. | Kode Benda Uji | Kuat Tarik Belah Rerata (Kg) | Kuat Tekan Rerata (Kg) | Persentase Kuat Tarik Belah Terhadap Kuat Tekan (%) |
|-----|----------------|------------------------------|------------------------|---|
| 1 | BN | 2,169 | 27,056 | 12,475 |
| 2 | A1 | 2,146 | 25,604 | 11,933 |
| 3 | A2 | 2,382 | 27,570 | 11,574 |
| 4 | A3 | 2,747 | 29,016 | 10,564 |
| 5 | A4 | 2,955 | 34,619 | 11,715 |
| 6 | B1 | 2,1 | 24,796 | 11,810 |
| 7 | B2 | 2,275 | 26,269 | 11,545 |
| 8 | B3 | 2,485 | 26,492 | 10,660 |
| 9 | B4 | 2,763 | 27,506 | 9,954 |

5.9 Pengujian Sifat Fisik Beton

5.9.1 Pengujian Penyerapan Air

Pada penelitian ini, pengujian penyerapan air dilakukan pada benda uji dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur beton 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 45 buah dengan jumlah masing-masing benda uji di setiap variasinya sebanyak 5 buah.

Adapun contoh perhitungan penyerapan air pada benda uji beton normal (BN.10) yang dapat dilihat sebagai berikut.

Berat Kering Oven (A) = 12,653 Kg

Berat Kering Permukaan (B) = 12,983 Kg

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air} &= \frac{B-A}{A} \times 100\% \\
 &= \frac{12,983-12,653}{12,653} \times 100\% \\
 &= 2,61\%
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan penyerapan air. Hasil perhitungan penyerapan air pada beton normal dan beton variasi dapat dilihat pada Tabel 5.34 sampai 5.42 berikut.

Tabel 5.34 Penyerapan Air Beton Normal

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| BN.6 | 12,961 | 12,567 | 3,14 |
| BN.7 | 12,868 | 12,476 | 3,14 |
| BN.8 | 12,931 | 12,461 | 3,77 |
| BN.9 | 12,93 | 12,584 | 2,75 |
| BN.10 | 12,983 | 12,653 | 2,61 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,08 |

Tabel 5.35 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| A1.6 | 12,835 | 12,265 | 4,65 |
| A1.7 | 12,884 | 12,602 | 2,24 |
| A1.8 | 12,714 | 12,35 | 2,95 |
| A1.9 | 12,505 | 11,985 | 4,34 |
| A1.10 | 12,662 | 12,264 | 3,25 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,48 |

Tabel 5.36 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|----------------|----------------|------------------------|--------------------|
| A2.6 | 12,870 | 12,300 | 4,63 |
| A2.7 | 12,788 | 12,512 | 2,21 |

Lanjutan Tabel 5.36

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A2.8 | 12,738 | 12,434 | 2,44 |
| A2.9 | 12,921 | 12,418 | 4,05 |
| A2.10 | 12,775 | 12,359 | 3,37 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,34 |

Tabel 5.37 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan *SikaCim* 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A3.6 | 12,783 | 12,446 | 2,71 |
| A3.7 | 12,653 | 12,256 | 3,24 |
| A3.8 | 12,701 | 12,358 | 2,78 |
| A3.9 | 12,545 | 12,179 | 3,01 |
| A3.10 | 12,731 | 12,354 | 3,05 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,96 |

Tabel 5.38 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan *SikaCim* 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A4.6 | 12,580 | 12,264 | 2,58 |
| A4.7 | 12,68 | 12,348 | 2,69 |
| A4.8 | 12,841 | 12,487 | 2,83 |
| A4.9 | 12,726 | 12,426 | 2,41 |
| A4.10 | 12,822 | 12,458 | 2,92 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,69 |

Tabel 5.39 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|----------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| B1.6 | 12,653 | 12,243 | 3,35 |
| B1.7 | 12,696 | 12,251 | 3,63 |

Lanjutan 5.39

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| B1.8 | 12,702 | 12,228 | 3,88 |
| B1.9 | 12,804 | 12,598 | 1,64 |
| B1.10 | 12,818 | 12,164 | 5,38 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,57 |

Tabel 5.40 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| B2.6 | 12,505 | 12,115 | 3,22 |
| B2.7 | 12,662 | 12,059 | 5 |
| B2.8 | 12,484 | 12,235 | 2,04 |
| B2.9 | 12,559 | 12,147 | 3,39 |
| B2.10 | 12,371 | 11,962 | 3,42 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,41 |

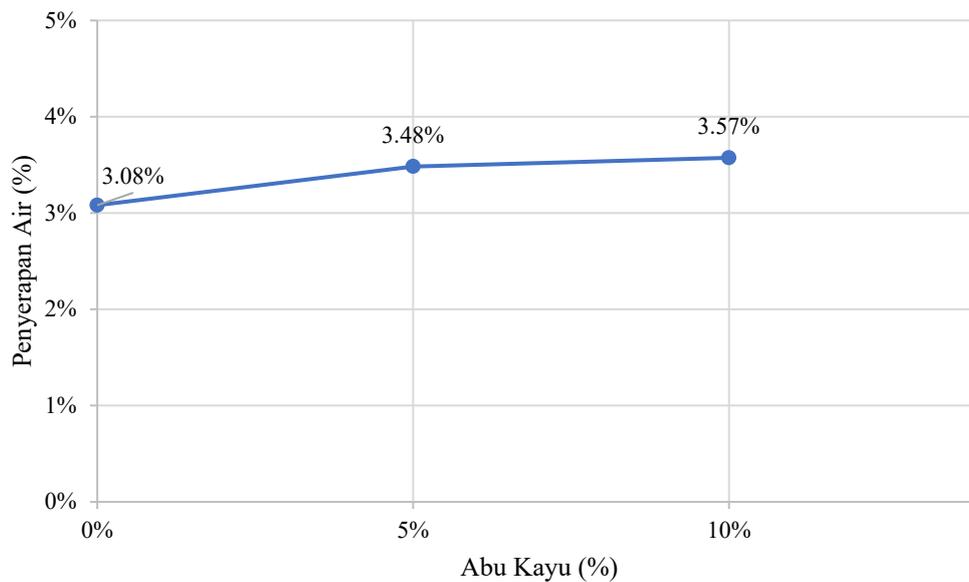
Tabel 5.41 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| B3.6 | 12,580 | 12,153 | 3,51 |
| B3.7 | 12,68 | 12,226 | 3,71 |
| B3.8 | 12,841 | 12,486 | 2,84 |
| B3.9 | 12,726 | 12,364 | 2,93 |
| B3.10 | 12,822 | 12,569 | 2,01 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,00 |

Tabel 5.42 Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan *SikaCim* 0,8%)

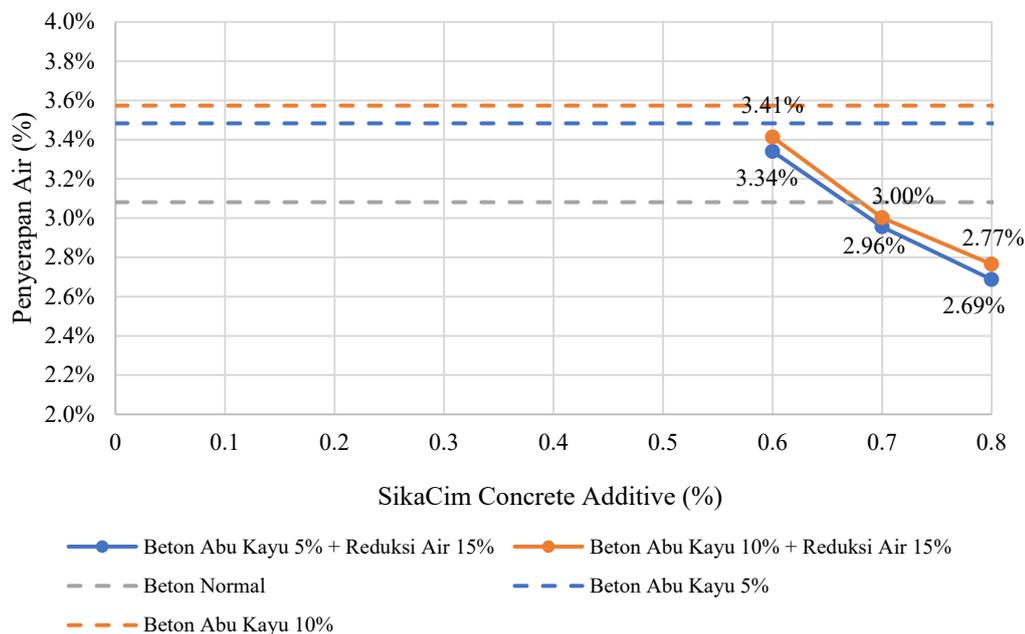
| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| B4.6 | 12,961 | 12,554 | 3,24 |
| B4.7 | 12,868 | 12,526 | 2,73 |
| B4.8 | 12,931 | 12,659 | 2,15 |
| B4.9 | 12,93 | 12,572 | 2,85 |
| B4.10 | 12,994 | 12,633 | 2,86 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,77 |

Selanjutnya hubungan penyerapan air antara beton normal dan beton variasi abu kayu sebagai substitusi parsial semen digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 Hubungan Penyerapan Air dengan Kandungan Abu Kayu

Adapun hubungan penyerapan air dengan variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Hubungan Penyerapan Air dan Variasi Penambahan *SikaCim Concrete Additive*

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel-tabel dan gambar di atas, terlihat bahwa nilai penyerapan air untuk semua variasi berada dibawah 6,5%. Menurut SNI 03-2914-1992, beton dengan kedapapan air yang normal apabila selama 24 jam direndam dalam air, nilai penyerapan air yang terjadi maksimum adalah 6,5% terhadap berat beton kering oven. Hal ini menunjukkan bahwa baik beton normal maupun beton variasi termasuk beton yang memiliki durabilitas yang baik. Pada beton variasi abu kayu 5% dan 10%, nilai penyerapan air meningkat sebelum dilakukan penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Kemudian nilai penyerapan air semakin menurun seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Hal ini mengindikasikan bahwa *SikaCim Concrete Additive* membantu merekatkan semen dan abu kayu pada campuran beton tersebut serta membantu mengisi rongga-rongga antar agregat kasar maupun halus. Sehingga beton tersebut memiliki kerapatan dan kepadatan yang baik yang membuat daya serap air pada beton tersebut menurun.

5.9.2 Pengujian Porositas Beton

Pada penelitian ini, pengujian porositas beton dilakukan pada benda uji dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur beton 28 hari. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 45 buah dengan jumlah masing-masing benda uji di setiap variasinya sebanyak 5 buah.

Adapun contoh perhitungan porositas beton pada benda uji beton normal (BN.9) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kering Oven (A)} &= 12,584 \text{ Kg} \\
 \text{Berat Kering Permukaan (B)} &= 12,930 \text{ Kg} \\
 \text{Berat Dalam Air (C)} &= 6,467 \text{ Kg} \\
 \text{Penyerapan Air} &= \frac{B-A}{B-C} \times 100\% \\
 &= \frac{12,930-12,584}{12,930-6,467} \times 100\% \\
 &= 5,35\%
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan porositas beton. Hasil perhitungan porositas beton pada beton normal dan beton variasi dapat dilihat pada Tabel 5.43 sampai 5.51 berikut.

Tabel 5.43 Porositas Beton Normal

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dalam Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| BN.6 | 12,961 | 6,482 | 12,567 | 6,08 |
| BN.7 | 12,868 | 6,431 | 12,476 | 6,09 |
| BN.8 | 12,931 | 6,464 | 12,461 | 7,27 |
| BN.9 | 12,930 | 6,467 | 12,584 | 5,35 |
| BN.10 | 12,983 | 6,490 | 12,653 | 5,08 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,97 |

Tabel 5.44 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| A1.6 | 12,835 | 6,416 | 12,265 | 8,88 |
| A1.7 | 12,884 | 6,442 | 12,602 | 4,38 |
| A1.8 | 12,714 | 6,355 | 12,350 | 5,72 |
| A1.9 | 12,505 | 6,250 | 11,985 | 8,31 |
| A1.10 | 12,662 | 6,333 | 12,264 | 6,29 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,72 |

Tabel 5.45 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| A2.6 | 12,870 | 6,436 | 12,300 | 8,86 |
| A2.7 | 12,788 | 6,392 | 12,512 | 4,32 |
| A2.8 | 12,738 | 6,370 | 12,434 | 4,77 |
| A2.9 | 12,921 | 6,458 | 12,418 | 7,78 |
| A2.10 | 12,775 | 6,385 | 12,359 | 6,51 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,45 |

Tabel 5.46 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| A3.6 | 12,783 | 6,390 | 12,446 | 5,27 |
| A3.7 | 12,653 | 6,325 | 12,256 | 6,27 |
| A3.8 | 12,701 | 6,352 | 12,358 | 5,40 |
| A3.9 | 12,545 | 6,271 | 12,179 | 5,83 |
| A3.10 | 12,731 | 6,365 | 12,354 | 5,92 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,74 |

Tabel 5.47 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| A4.6 | 12,580 | 6,292 | 12,264 | 5,03 |
| A4.7 | 12,680 | 6,358 | 12,348 | 5,25 |
| A4.8 | 12,841 | 6,422 | 12,487 | 5,51 |
| A4.9 | 12,726 | 6,364 | 12,426 | 4,72 |
| A4.10 | 12,822 | 6,410 | 12,458 | 5,68 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,24 |

Tabel 5.48 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B1.6 | 12,653 | 6,325 | 12,243 | 6,48 |
| B1.7 | 12,696 | 6,349 | 12,251 | 7,01 |
| B1.8 | 12,702 | 6,350 | 12,228 | 7,46 |
| B1.9 | 12,804 | 6,400 | 12,598 | 3,22 |
| B1.10 | 12,818 | 6,412 | 12,164 | 10,21 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,88 |

Tabel 5.49 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B2.6 | 12,505 | 6,254 | 12,115 | 6,24 |
| B2.7 | 12,662 | 6,330 | 12,059 | 9,52 |
| B2.8 | 12,484 | 6,241 | 12,235 | 3,99 |
| B2.9 | 12,559 | 6,278 | 12,147 | 6,56 |
| B2.10 | 12,371 | 6,186 | 11,962 | 6,61 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,58 |

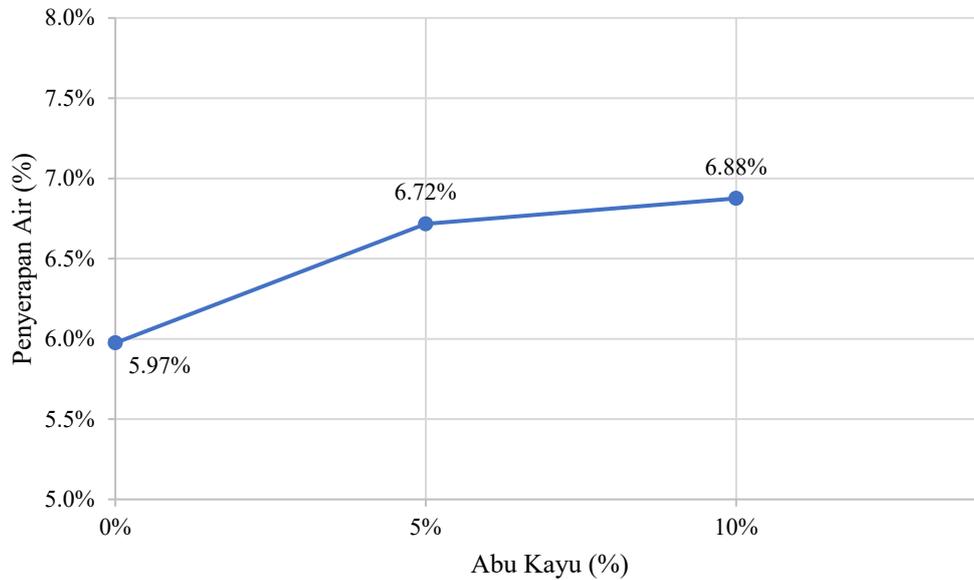
Tabel 5.50 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| B3.6 | 12,580 | 6,288 | 12,153 | 6,79 |
| B3.7 | 12,680 | 6,342 | 12,226 | 7,16 |
| B3.8 | 12,841 | 6,422 | 12,486 | 5,53 |
| B3.9 | 12,726 | 6,365 | 12,364 | 5,69 |
| B3.10 | 12,822 | 6,413 | 12,569 | 3,95 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,82 |

Tabel 5.51 Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

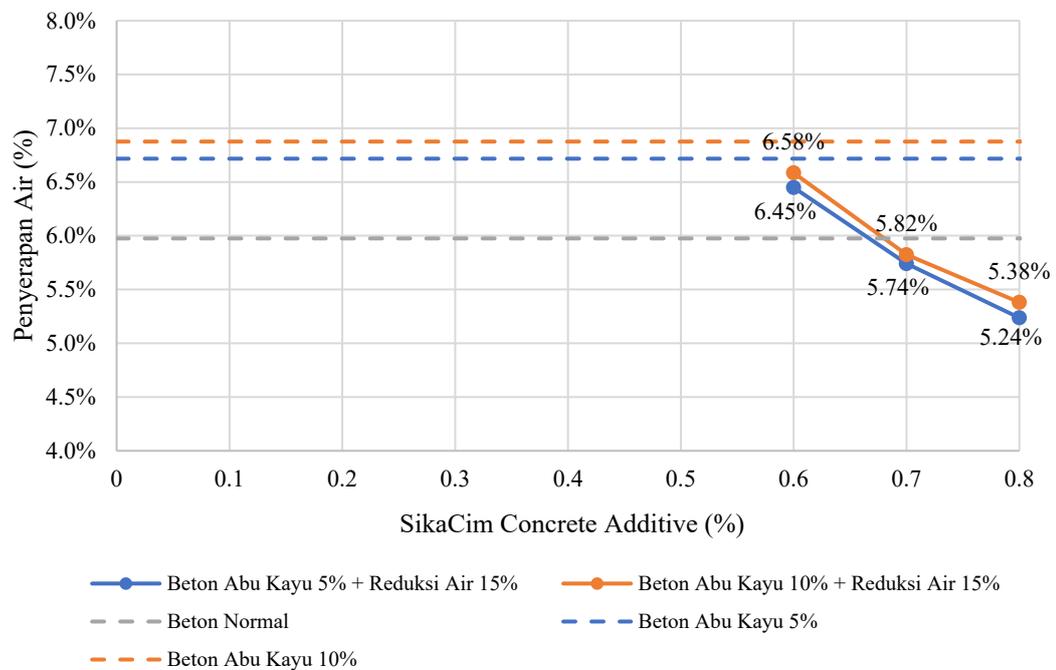
| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| B4.6 | 12,961 | 6,482 | 12,554 | 6,28 |
| B4.7 | 12,868 | 6,440 | 12,526 | 5,32 |
| B4.8 | 12,931 | 6,468 | 12,659 | 4,21 |
| B4.9 | 12,930 | 6,462 | 12,572 | 5,53 |
| B4.10 | 12,994 | 6,498 | 12,633 | 5,56 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,38 |

Selanjutnya hubungan nilai porositas antara beton normal dan beton variasi abu kayu sebagai substitusi parsial semen digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Hubungan Porositas dengan Kandungan Abu Kayu

Adapun hubungan porositas beton dengan variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* digambarkan dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut



Gambar 5.11 Hubungan Porositas Beton dan Variasi Penambahan *SikaCim*

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel-tabel dan gambar di atas, Pada beton variasi abu kayu 5% dan 10%, nilai porositas beton meningkat sebelum dilakukan penambahan *SikaCim Concrete Additive*. Kemudian nilai porositas beton semakin menurun seiring bertambahnya kadar *SikaCim Concrete Additive*. Hal ini mengindikasikan bahwa *SikaCim Concrete Additive* membantu merekatkan semen dan abu kayu pada campuran beton tersebut serta membantu mengurangi rongga-rongga antar agregat kasar maupun halus yang terbentuk pada saat pencetakan maupun setelah beton mengeras. Sehingga beton tersebut memiliki kerapatan dan kepadatan yang baik yang membuat kekuatan beton tersebut meningkat.

Porositas beton berbanding lurus dengan penyerapan air. Apabila suatu beton memiliki nilai penyerapan air yang tinggi, dapat diindikasikan terdapat banyak rongga di dalam beton tersebut yang mengakibatkan daya serap airnya meningkat. Hal tersebut terlihat pada nilai terendah penyerapan air dan porositas beton yaitu pada beton variasi abu kayu 5% dengan kadar *SikaCim Concrete Additive* 0,8% memiliki nilai penyerapan air sebesar 2,69% serta nilai porositas sebesar 5,24%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis data-data pengujian dan pembahasan mengenai penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada beton dengan abu kayu sonokeling sebagai substitusi parsial semen terhadap pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, penyerapan air, serta porositas beton. Penulis dapat mengambil kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* hingga 0,8% dari berat total semen membantu meningkatkan nilai kuat tekan beton mencapai nilai sebesar 34,237 MPa untuk beton variasi abu kayu 5% dan nilai kuat tekan sebesar 27,056 MPa untuk beton variasi abu kayu 10%. Ini menunjukkan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada kadar optimum memiliki nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tekan beton normal.
2. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* hingga 0,8% dari berat total semen membantu meningkatkan nilai kuat tarik belah beton mencapai nilai sebesar 2,955 MPa untuk beton variasi abu kayu 5% dan nilai kuat tarik belah sebesar 2,763 MPa untuk beton variasi abu kayu 10%. Ini menunjukkan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada kadar optimum memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan nilai kuat tarik belah beton normal.
3. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* hingga 0,8% dari berat total semen membantu menurunkan nilai penyerapan air mencapai nilai sebesar 2,69% untuk beton variasi abu kayu 5% dan nilai penyerapan air sebesar 2,77% untuk beton variasi abu kayu 10%. Ini menunjukkan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada kadar optimum memiliki daya serap air yang lebih rendah dibandingkan daya serap air pada beton normal.

4. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* hingga 0,8% dari berat total semen membantu menurunkan nilai porositas beton mencapai nilai sebesar 5,24% untuk beton variasi abu kayu 5% dan nilai porositas sebesar 5,38% untuk beton variasi abu kayu 10%. Ini menunjukkan penggunaan *SikaCim Concrete Additive* pada kadar optimum memiliki angka pori yang lebih rendah dibandingkan angka pori pada beton normal.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis memberikan saran yang bertujuan untuk mengembangkan penelitian yang telah dilakukan ini untuk melakukan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut

1. Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* ini dapat dilakukan penelitian pada beton dengan jenis abu kayu lainnya untuk mengetahui jenis kayu mana yang lebih baik agar memberikan hasil penelitian yang lebih akurat pada penelitian selanjutnya.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan menggunakan *SikaCim Concrete Additive* tanpa mengurangi kadar air yang digunakan pada campuran beton.
3. Metode pembakaran limbah serbuk kayu dapat dilakukan menggunakan mesin pembakaran yang lebih modern agar menghasilkan abu kayu yang berbentuk *amorf* untuk mendapatkan hasil yg lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2001. *ASTM C 494-01: Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. ASTM International. United States.
- American Society for Testing and Materials. 2001. *ASTM C39-01: Standart Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International. United States.
- American Society for Testing and Materials. 2013. *ASTM C 642-13: Standart Test Method of Density, Absorption, and Void's in Hardened Concrete*. ASTM International. United States.
- Anonim. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. 1992. *SNI 03-2914-1992: Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2491-2002: Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *SNI 15-2049-2004: Semen Portland*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 1969-2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 1970-2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan air Agregat Halus*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *SNI 1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. BSN. Jakarta.

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI 7656-2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. BSN. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. BSN. Jakarta.
- Gustan Pari dan Hartoyo. 1990. Analisis Kimia 9 Jenis Kayu Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. Vol. 7 No. 4. Jakarta
- Hamdi, Fauzan dan Masdiana. 2022. *Teknologi Beton*. Tohar Media. Makassar.
- Indra, M. J., Tjondro, C., dan Sugiharto, H. 2013. Pemanfaatan Abu Limbah Gergaji Kayu Sebagai Campuran Pembuatan Beton. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*. Vol. 2 No. 2. Surabaya.
- Irlando, A. 2018. Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Sisa Penggergajian Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton dengan *Superplasticizer*. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Perdhana, J., Wedyantadji, B., dan Aditama, V. 2022. Pengaruh Limbah Abu Kayu Halaban Sebagai Bahan Tambahan Sebagian Semen pada Campuran Beton. *Jurnal Sondir*. Vol. 6 No.1. Malang.
- Respati, R., dan Muda, A. 2014. Pengaruh Aditif Sikacim Terhadap Campuran Beton K 350 Ditinjau dari Kuat Tekan Beton. *Media Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 2 No. 2. Palangkaraya
- Setianto, R. A. 2022. Pengaruh Limbah Bata Ringan sebagai Substitusi Parsial Semen dan Penambahan SikaCim Concrete Additive dalam Campuran Beton Normal Mutu Sedang. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sulaiman, Y. H. 2010. Pengaruh Penggunaan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton. *Portal Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 2 No. 2. Lhokseumawe.
- Widiastuti, M., Jamal, M., dan Anugrah, A. T. 2017. Pengaruh Penggunaan *SikaCim Concrete Additive* Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon dan Agregat Halus Pasir Mahakam. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*. E-ISSN:2598-7429. Samarinda
- Zulkarnain, Fahrizal. 2021. *Teknologi Beton*. UMSU Press. Medan.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Ijin Pemakaian Laboratorium



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Nomor : 148/Sek. Prodi PSTS/20/TA/VII/2023
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:
**KEPALA LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : HARIS DWI NURCAHYO
NIM : 19511090
JUDUL TUGAS AKHIR : PENGARUH PENGGUNAAN SIKACIM CONCRETE ADDITIVE TERHADAP
SIFAT MEKANIS DAN SIFAT FISIK BETON DENGAN ABU KAYU
SONOKELING SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN
DOSEN PEMBIMBING : IR. HELMY AKBAR BALE, M.T.

Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

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

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Yogyakarta, 1 Agustus 2023

Pemohon


HARIS DWI NURCAHYO
NIM. 19511090

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN
AGREGAT HALUS**

| | |
|-------------------|-------------|
| Asal Pasir | Merapi |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|-------------------------|-----------------|---------------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat halus kering mutlak (B_k), gram | 483 | 490 | 486,5 |
| Berat agregat halus jenuh kering muka (SSD), gram | 500 | 500 | 500 |
| Berat piknometer berisi agregat halus dan air (B_t), gram | 983 | 987 | 673 |
| Berat piknometer berisi air (B), gram | 673 | 673 | 673 |
| Berat jenis curah ($B_k/B+500-B_t$) | 2,542 | 2,634 | 2,588 |
| Berat jenis jenuh kering muka ($500/B+500-B_t$) | 2,632 | 2,688 | 2,66 |
| Berat jenis semu ($B_k/B+B_k-B_t$) | 2,792 | 2,784 | 2,788 |
| Penyerapan air ($(500-B_k)/B_k \times 100\%$) | 3,520 | 2,041 | 2,78 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikis Oleh:

Dikerjakan Oleh:

Laboran

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT
HALUS**

| | |
|-------------------|-------------|
| Asal Pasir | Merapi |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|--|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder ($W1$), gram | 10663 | 10658 | 10660,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 19194 | 19187 | 19190,5 |
| Berat agregat halus ($W3$), gram | 8531 | 8529 | 8530 |
| Diameter tabung (d), cm | 15,09 | 15,05 | 15,07 |
| Tinggi tabung (t), cm | 33,05 | 32,75 | 32,9 |
| Volume silinder (V), cm ³ | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat ($W3/V$), gram/cm ³ | 1,443 | 1,464 | 1,454 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikis Oleh:

Laboran

Dikerjakan Oleh:

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT
HALUS**

| | |
|-------------------|-------------|
| Asal Pasir | Merapi |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|---|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (W_1), gram | 10663 | 10658 | 10660,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 17520 | 17511 | 17515,5 |
| Berat agregat halus (W_3), gram | 6857 | 6853 | 6855 |
| Diameter tabung (d), cm | 15,09 | 15,05 | 15,07 |
| Tinggi tabung (t), cm | 33,05 | 32,75 | 32,9 |
| Volume silinder (V), cm^3 | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (W_3/V), gram/cm^3 | 1,16 | 1,176 | 1,168 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:

Laboran

Dikerjakan Oleh:

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) /
ANALISIS SARINGAN AGREGAT HALUS**

| | |
|-------------------|-------------|
| Asal Pasir | Merapi |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | | Persen Lolos Kumulatif (%) | | Rerata (%) |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|-------|--------------------------------|--------|----------------------------|-------|------------|
| | Sampel | | Sampel | | Sampel | | Sampel | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 10,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 4,8 | 11 | 9 | 0.55 | 0.45 | 0,55 | 0,45 | 99,45 | 99,55 | 99,5 |
| 2,4 | 176 | 179 | 8.85 | 9.01 | 9,41 | 9,47 | 90,59 | 90,53 | 90,56 |
| 1,2 | 402 | 405 | 20,22 | 20.39 | 29,63 | 29,63 | 70,37 | 70,14 | 70,26 |
| 0,6 | 537 | 534 | 27,01 | 26.89 | 56,64 | 56,64 | 43,36 | 43,25 | 43,31 |
| 0,3 | 412 | 424 | 20,72 | 21.35 | 77,36 | 77,36 | 22,64 | 21,9 | 22,27 |
| 0,15 | 315 | 308 | 15,85 | 15.51 | 93,21 | 93,21 | 6,79 | 6,39 | 6,59 |
| Sisa | 135 | 127 | 6,79 | 6.39 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Jumlah | 1988 | 1986 | 100,0 | 100.0 | 266,8 | 268,23 | - | - | - |
| Rerata | 1987 | | 100 | | 267,51 | | | | |

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{267,51}{100} \\ &= 2,675 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan | | | |
|--------------------|--|------------|-------------|------------|
| | Gradasi I | Gradasi II | Gradasi III | Gradasi IV |
| 10 | 100 – 100 | 100 – 100 | 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 – 90 | 60 – 79 | 80 – 100 |
| 0,3 | 5 – 20 | 8 – 30 | 12 – 40 | 15 – 50 |
| 0,15 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 – 10 | 0 - 15 |

Keterangan:

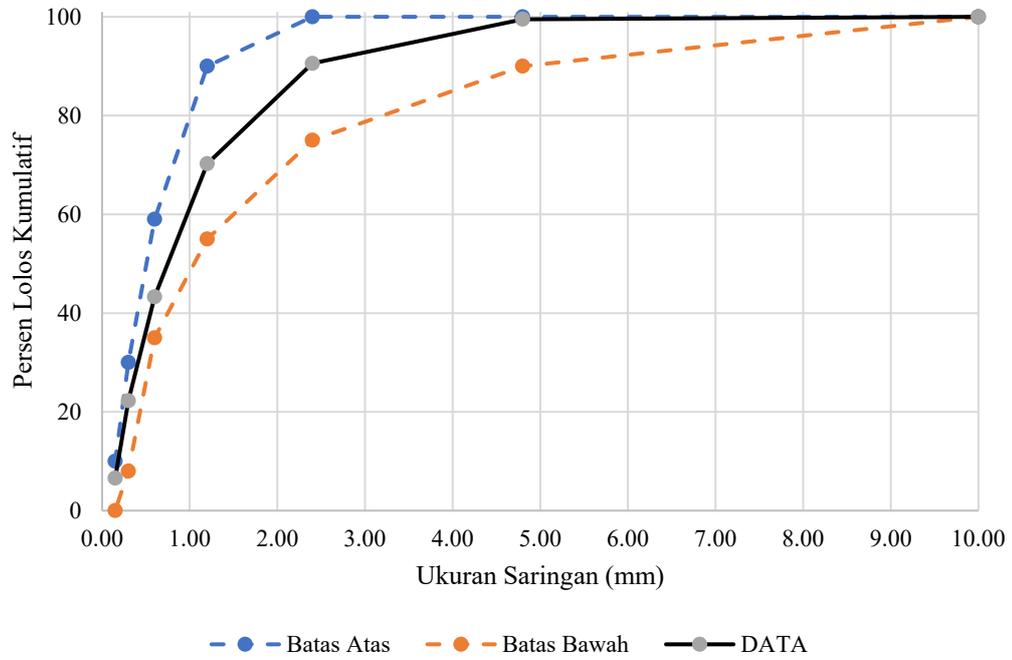
Gradasi I = Pasir Kasar

Gradasi II = Pasir Agar Kasar

Gradasi III = Pasir Agak Halus

Gradasi IV = Pasri Halus

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Hasil Analisa Saringan:

Gradasi Pasir = Gradasi II

Jenis Pasir = Pasir Agak Kasar

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:

Dikerjakan Oleh:

Laboran

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200 /
UJI KANDUNGAN LUMPUR AGREGAT HALUS**

| | |
|-------------------|-------------|
| Asal Pasir | Merapi |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|--|-------------------|-------------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat halus kering mutlak ($W1$), gram | 500 | 500 | 500 |
| Berat agregat halus setelah dicuci dan dioven ($W2$), gram | 483 | 475 | 479 |
| Berat lumpur ($W3$) = ($W1 - W2$), gram | 17 | 25 | 21 |
| Kadar Lumpur ($W3 \times 100\%$), % | 3,4 | 5 | 4,2 |

3Yogyakarta, 13 November
2023

Diperikas Oleh:
Laboran

Dikerjakan Oleh:

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN
AGREGAT KASAR**

| | |
|---------------------|-------------|
| Asal Kerikil | Clereng |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pengamatan | | |
|---|------------------|----------|--------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat agregat kasar kering mutlak (B_k), gram | 4981 | 4988 | 4984,5 |
| Berat agregat kasar jenuh kering muka (SSD), gram | 5000 | 5000 | 5000 |
| Berat agregat kasar dalam air (B_a), gram | 3110 | 31116 | 3113 |
| Berat jenis curah (B_k/B_j-B_a) | 2,635 | 2,648 | 2,642 |
| Berat jenis jenuh kering muka (B_j/B_j-B_a) | 2,646 | 2,654 | 2,65 |
| Berat jenis semu (B_k/B_k-B_a) | 2,662 | 2,665 | 2,663 |
| Penyerapan air ($(B_j-B_k)/B_k \times 100\%$) | 0,381 | 0,241 | 0,311 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:

Laboran

Dikerjakan Oleh:

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT AGREGAT
KASAR**

| | |
|---------------------|-------------|
| Asal Kerikil | Clereng |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|---|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (W_1), gram | 10665 | 10658 | 10661,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 18954 | 18893 | 18923,5 |
| Berat agregat kasar (W_3), gram | 8289 | 8235 | 8262 |
| Diameter tabung (d), cm | 15,09 | 15,05 | 15,07 |
| Tinggi tabung (t), cm | 33,05 | 32,75 | 32,9 |
| Volume silinder (V), cm^3 | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (W_3/V), gram/cm^3 | 1,402 | 1,414 | 1,408 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:

Laboran

Dikerjakan Oleh:

(Haris Dwi Nurcahyo)

(.....)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR AGREGAT
KASAR**

| | |
|---------------------|-------------|
| Asal Kerikil | Clereng |
| Keperluan | Tugas Akhir |

| Uraian | Hasil Pemeriksaan | | |
|--|-------------------|----------|---------|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rerata |
| Berat silinder (W_1), gram | 10665 | 10658 | 10661,5 |
| Berat silinder + agregat kering muka (SSD), gram | 17931 | 17884 | 17907,5 |
| Berat agregat kasar (W_3), gram | 7266 | 7226 | 7246 |
| Diameter tabung (d), cm | 15,09 | 15,05 | 15,07 |
| Tinggi tabung (t), cm | 33,05 | 32,75 | 32,9 |
| Volume silinder (V), cm ³ | 5910,71 | 5826,05 | 5868,38 |
| Berat volume padat (W_3/V), gram/cm ³ | 1,245 | 1,24 | 1,235 |

Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:
Laboran

Dikerjakan Oleh:

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) /
ANALISIS SARINGAN AGREGAT KASAR**

| | |
|---------------------|-------------|
| Asal Kerikil | Clereng |
| Keperluan | Tugas Akhir |

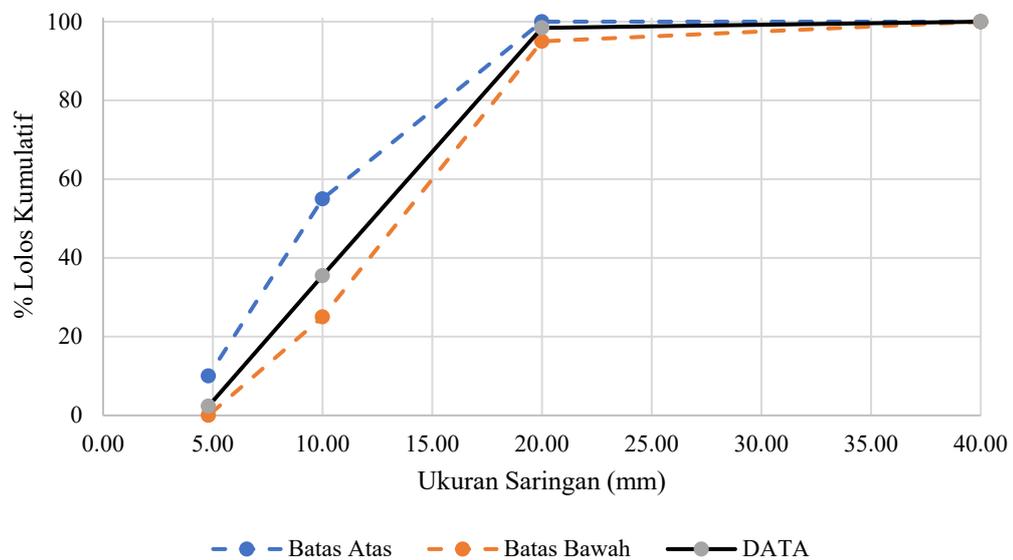
| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | | Berat Tertinggal (%) | | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | | Persen Lolos Kumulatif (%) | | Rerata (%) |
|--------------------|-------------------------|------|----------------------|-------|--------------------------------|--------|----------------------------|-------|------------|
| | Sampel | | Sampel | | Sampel | | Sampel | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 40,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 |
| 20,0 | 74 | 82 | 1,48 | 1,64 | 1,48 | 1,64 | 98,52 | 98,36 | 98,44 |
| 10,0 | 3137 | 3154 | 62,77 | 63,12 | 64,25 | 64,76 | 35,75 | 35,24 | 35,5 |
| 4,8 | 1664 | 1649 | 33,29 | 33 | 97,54 | 97,76 | 2,46 | 2,24 | 2,35 |
| 2,4 | 88 | 73 | 1,76 | 1,46 | 99,3 | 99,2 | 0,7 | 0,78 | 0,74 |
| 1,2 | 7 | 11 | 0,14 | | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| 0,15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 99,44 | 99,44 | 0,56 | 0,56 | 0,56 |
| Sisa | 0 | 0 | 0 | 0 | 100,0 | 100,0 | 0 | 0 | 0 |
| Jumlah | 4998 | 4997 | 100,0 | 100,0 | 660,32 | 661,14 | - | - | - |
| Rerata | 4997,5 | | 100 | | 660,73 | | | | |

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{660,73}{100} \\ &= 6,61 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

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

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Yogyakarta, 13 November 2023

Diperikas Oleh:

Dikerjakan Oleh:

Laboran

(.....)

(Haris Dwi Nurcahyo)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

| No. | Uraian | Tabel/Grafik/ Perhitungan | Nilai | | |
|-----|--|------------------------------|------------------------------|---------------|---------------|
| 1. | Kuat tekan yang diisyaratkan (benda uji silinder) | Ditetapkan | 25 MPa | | |
| 2. | Deviasi standar | Diketahui | 7 MPa | | |
| 3. | Nilai tambah (margin) | | 12 MPa | | |
| 4. | Kekuatan rata-rata yang ditargetkan | 1 + 3 | 37 MPa | | |
| 5. | Jenis semen | Ditetapkan | Semen <i>Portland</i> Tipe I | | |
| 6. | Jenis agregat halus | Ditetapkan | Alami | | |
| | Jenis agregat kasar | Ditetapkan | Batu Pecah | | |
| 7. | Faktor air semen bebas | Tabel 2, Grafik 1 dan 2 | 0.5 | | |
| | Faktor air semen maksimum | Ditetapkan | 0.6 | | |
| 8. | Faktor air semen yang digunakan | Ditetapkan | 0.5 | | |
| 9. | <i>Slump</i> | Ditetapkan | 60 – 180 mm | | |
| 10. | Ukuran agregat maksimum | Ditetapkan | 20 mm | | |
| 11. | Kadar air bebas | Tabel 3 | 205 Kg/m ³ | | |
| 12. | Kadar semen | 11 : 8 | 410 Kg/m ³ | | |
| 13. | Kadar semen maksimum | Tidak Ditetapkan | - | | |
| 14. | Kadar semen minimum | Ditetapkan | 275 Kg/m ³ | | |
| 15. | Kadar semen yang digunakan | | 410 Kg/m ³ | | |
| 16. | Faktor air semen yang disesuaikan | | - | | |
| 17. | Susunan besar butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | Gradasi I | | |
| 18. | Berat jenis agregat halus | | 2,6455 | | |
| | Berat jenis agregat kasar | | 2,6316 | | |
| 19. | Persentase agregat halus | Grafik 13 s/d 15 | 41,5% | | |
| 20. | Persentase agregat kasar | | 58,5% | | |
| 21. | Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD) | | 2,64 | | |
| 22. | Berat isi beton | Grafik 16 | 2373 Kg/m ³ | | |
| 23. | Kadar agregat gabungan | 22 – 15 - 11 | 1758 Kg/m ³ | | |
| 24. | Kadar agregat halus | 19 x 23 | 729,57 Kg/m ³ | | |
| 25. | Kadar agregat kasar | 23 – 24 | 1028,43 Kg/m ³ | | |
| | Proporsi Campuran | Semen (Kg) | Air (Kg) | Agregat | |
| | | | | Halus (Kg) | Kasar (Kg) |
| 26. | Proporsi campuran teoritis agregat kondisi (SSD) | | | | |
| | Tiap m ³ | 410 | 205 | 729,57 | 1028,43 |
| 27. | Proporsi campuran dengan angka penyusutan (20%) | | | | |
| | Tiap m ³ | 492 | 246 | 875,48 | 1234,12 |

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton Normal

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| BN.1 | 150,85 | 301,9 | 12,815 | 486,06 | 27,196 |
| BN.2 | 150,9 | 304,3 | 12,763 | 465,42 | 26,024 |
| BN.3 | 150,7 | 301,3 | 12,683 | 482,13 | 27,030 |
| BN.4 | 151,15 | 305 | 12,833 | 508,35 | 28,331 |
| BN.5 | 150,3 | 303,6 | 12,632 | 473,7 | 26,699 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,056 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A1.1 | 150 | 300,2 | 12,805 | 487,92 | 27,611 |
| A1.2 | 150,25 | 301,3 | 12,513 | 414,54 | 23,380 |
| A1.3 | 150,15 | 299,5 | 12,501 | 402,35 | 22,723 |
| A1.4 | 151,25 | 300,8 | 12,514 | 473,86 | 26,374 |
| A1.5 | 150,8 | 297,8 | 12,543 | 483,66 | 27,080 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 25,433 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A2.1 | 151,6 | 300,3 | 12,74 | 533,75 | 29,570 |
| A2.2 | 151 | 300,8 | 12,476 | 519,34 | 29,001 |
| A2.3 | 151,6 | 300,25 | 12,536 | 466,81 | 25,861 |
| A2.4 | 150,75 | 299,65 | 12,442 | 451,79 | 25,312 |
| A2.5 | 151,35 | 300,5 | 12,573 | 505,65 | 28,106 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,570 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A3.1 | 150,2 | 300,35 | 12,451 | 540,24 | 30,490 |
| A3.2 | 149,85 | 303 | 12,563 | 451,79 | 25,617 |
| A3.3 | 150,75 | 301,3 | 12,571 | 458,65 | 25,697 |
| A3.4 | 151 | 303,45 | 12,719 | 523,01 | 29,206 |
| A3.5 | 151,16 | 304,25 | 12,629 | 611,45 | 34,072 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 29,016 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A4.1 | 150,65 | 301,5 | 12,52 | 581,03 | 32,596 |
| A4.2 | 150,9 | 303,75 | 12,653 | 589,82 | 32,980 |
| A4.3 | 151,25 | 300,65 | 12,445 | 661,06 | 37,086 |
| A4.4 | 150,65 | 302,35 | 12,452 | 519,34 | 28,905 |
| A4.5 | 150,8 | 302 | 12,413 | 707,57 | 39,617 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 34,237 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B1.1 | 150,9 | 300,2 | 12,571 | 427,37 | 23,897 |
| B1.2 | 150,3 | 299,5 | 12,638 | 402,35 | 22,678 |
| B1.3 | 150,95 | 302,3 | 12,573 | 458,65 | 25,629 |
| B1.4 | 150,75 | 301,3 | 12,516 | 456,41 | 25,571 |
| B1.5 | 150,6 | 300,85 | 12,424 | 466,81 | 26,206 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 24,796 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B2.1 | 151,25 | 301,75 | 12,595 | 427,66 | 23,802 |
| B2.2 | 149,4 | 302,45 | 12,666 | 483,25 | 27,566 |
| B2.3 | 150,5 | 300,15 | 12,49 | 473,7 | 26,628 |
| B2.4 | 150,8 | 302,65 | 12,576 | 458,65 | 25,680 |
| B2.5 | 150,1 | 300,2 | 12,492 | 489,61 | 27,669 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 26,269 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B3.1 | 151,1 | 300,45 | 12,776 | 434,8 | 24,248 |
| B3.2 | 151,4 | 300,95 | 12,553 | 483,25 | 26,843 |
| B3.3 | 151,05 | 301,55 | 12,765 | 473,7 | 26,435 |
| B3.4 | 151,2 | 302,15 | 12,548 | 497,43 | 27,704 |
| B3.5 | 151,3 | 300,2 | 12,725 | 489,61 | 27,232 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 26,492 |

Kuat Tekan Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tekan (MPa) |
|--------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B4.1 | 151 | 300,75 | 12,957 | 509,47 | 28,45 |
| B4.2 | 150,25 | 305,15 | 12,685 | 521,99 | 29,44 |
| B4.3 | 150,2 | 303,15 | 12,38 | 489,14 | 27,606 |
| B4.4 | 150,85 | 303,2 | 12,667 | 488,25 | 27,319 |
| B4.5 | 150,25 | 300,55 | 12,662 | 438,19 | 24,714 |
| Kuat Tekan Rerata | | | | | 27,506 |

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Kuat Tarik Belah Beton Normal

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| BN.6 | 151,7 | 300,35 | 12,567 | 165,7 | 2,315 |
| BN.7 | 150,65 | 303 | 12,476 | 152,2 | 2,123 |
| BN.8 | 151,25 | 301,3 | 12,461 | 178 | 2,487 |
| BN.9 | 150,2 | 303,45 | 12,584 | 140 | 1,955 |
| BN.10 | 150,2 | 304,25 | 12,653 | 141 | 1,964 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,169 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A1.6 | 150 | 301,25 | 12,265 | 140,5 | 1,979 |
| A1.7 | 150,25 | 304 | 12,602 | 143,1 | 1,994 |
| A1.8 | 151,35 | 303 | 12,350 | 153,5 | 2,131 |
| A1.9 | 151,5 | 303,65 | 11,985 | 162,5 | 2,249 |
| A1.10 | 150,2 | 300,25 | 12,264 | 168,2 | 2,374 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,146 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A2.6 | 150 | 300,3 | 12,300 | 168,9 | 2,387 |
| A2.7 | 149,35 | 300,8 | 12,512 | 161,9 | 2,294 |
| A2.8 | 149 | 300,25 | 12,434 | 160,8 | 2,288 |
| A2.9 | 150,2 | 299,65 | 12,418 | 166,6 | 2,357 |
| A2.10 | 150,25 | 300,5 | 12,359 | 183,3 | 2,585 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,382 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A3.6 | 150,25 | 299,7 | 12,446 | 212,9 | 3,010 |
| A3.7 | 149 | 299,65 | 12,256 | 191,4 | 2,729 |
| A3.8 | 151,35 | 296,5 | 12,358 | 195,3 | 2,771 |
| A3.9 | 151,25 | 305,65 | 12,179 | 192,9 | 2,656 |
| A3.10 | 150,25 | 300,25 | 12,354 | 181,9 | 2,567 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,747 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| A4.6 | 150 | 301,9 | 12,264 | 232,1 | 3,263 |
| A4.7 | 150,25 | 304,3 | 12,348 | 226,8 | 3,158 |
| A4.8 | 150,15 | 301,3 | 12,487 | 205,4 | 2,890 |
| A4.9 | 151,25 | 305 | 12,426 | 193,1 | 2,665 |
| A4.10 | 150,8 | 303,6 | 12,458 | 201,3 | 2,799 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,955 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B1.6 | 150,85 | 300,35 | 12,243 | 136,68 | 1,920 |
| B1.7 | 150,9 | 303 | 12,251 | 161,5 | 2,249 |
| B1.8 | 150,7 | 301,3 | 12,228 | 123,5 | 1,732 |
| B1.9 | 151,15 | 303,45 | 12,598 | 162,5 | 2,255 |
| B1.10 | 150,3 | 304,25 | 12,164 | 168,2 | 2,342 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,100 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B2.6 | 150,35 | 302,5 | 12,115 | 167,1 | 2,339 |
| B2.7 | 151,05 | 302,8 | 12,059 | 159,5 | 2,220 |
| B2.8 | 150,55 | 301,9 | 12,235 | 157,7 | 2,209 |
| B2.9 | 150,95 | 299,3 | 12,147 | 152,1 | 2,143 |
| B2.10 | 150,65 | 303,5 | 11,962 | 177,1 | 2,466 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,275 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B3.6 | 151,6 | 300,2 | 12,153 | 205,7 | 2,877 |
| B3.7 | 151 | 301,3 | 12,226 | 165,6 | 2,317 |
| B3.8 | 151,6 | 299,5 | 12,486 | 157,5 | 2,208 |
| B3.9 | 150,75 | 300,8 | 12,364 | 163,2 | 2,291 |
| B3.10 | 151,35 | 297,8 | 12,569 | 193,4 | 2,732 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,485 |

Kuat Tarik Belah Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Dimensi Benda Uji | | Berat Beton (Kg) | Beban Maks (kN) | Kuat Tarik Belah (MPa) |
|--------------------------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------------|
| | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | | | |
| B4.6 | 150,9 | 300,45 | 12,554 | 216,5 | 3,040 |
| B4.7 | 150,3 | 300,95 | 12,526 | 192,1 | 2,704 |
| B4.8 | 150,95 | 301,55 | 12,659 | 198,7 | 2,779 |
| B4.9 | 150,75 | 302,15 | 12,572 | 183,9 | 2,570 |
| B4.10 | 150,6 | 300,2 | 12,633 | 193,4 | 2,723 |
| Kuat Tarik Belah Rerata | | | | | 2,763 |

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Penyerapan Air

Tabel 5.34 Penyerapan Air Beton Normal

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| BN.6 | 12,961 | 12,567 | 3,14 |
| BN.7 | 12,868 | 12,476 | 3,14 |
| BN.8 | 12,931 | 12,461 | 3,77 |
| BN.9 | 12,93 | 12,584 | 2,75 |
| BN.10 | 12,983 | 12,653 | 2,61 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,08 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A1.6 | 12,835 | 12,265 | 4,65 |
| A1.7 | 12,884 | 12,602 | 2,24 |
| A1.8 | 12,714 | 12,35 | 2,95 |
| A1.9 | 12,505 | 11,985 | 4,34 |
| A1.10 | 12,662 | 12,264 | 3,25 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,48 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A2.6 | 12,870 | 12,300 | 4,63 |
| A2.7 | 12,788 | 12,512 | 2,21 |
| A2.8 | 12,738 | 12,434 | 2,44 |
| A2.9 | 12,921 | 12,418 | 4,05 |
| A2.10 | 12,775 | 12,359 | 3,37 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,34 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A3.6 | 12,783 | 12,446 | 2,71 |
| A3.7 | 12,653 | 12,256 | 3,24 |
| A3.8 | 12,701 | 12,358 | 2,78 |
| A3.9 | 12,545 | 12,179 | 3,01 |
| A3.10 | 12,731 | 12,354 | 3,05 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,96 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| A4.6 | 12,580 | 12,264 | 2,58 |
| A4.7 | 12,68 | 12,348 | 2,69 |
| A4.8 | 12,841 | 12,487 | 2,83 |
| A4.9 | 12,726 | 12,426 | 2,41 |
| A4.10 | 12,822 | 12,458 | 2,92 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,69 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|
| B1.6 | 12,653 | 12,243 | 3,35 |
| B1.7 | 12,696 | 12,251 | 3,63 |
| B1.8 | 12,702 | 12,228 | 3,88 |
| B1.9 | 12,804 | 12,598 | 1,64 |
| B1.10 | 12,818 | 12,164 | 5,38 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,57 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| B2.6 | 12,505 | 12,115 | 3,22 |
| B2.7 | 12,662 | 12,059 | 5,00 |
| B2.8 | 12,484 | 12,235 | 2,04 |
| B2.9 | 12,559 | 12,147 | 3,39 |
| B2.10 | 12,371 | 11,962 | 3,42 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,41 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| B3.6 | 12,580 | 12,153 | 3,51 |
| B3.7 | 12,68 | 12,226 | 3,71 |
| B3.8 | 12,841 | 12,486 | 2,84 |
| B3.9 | 12,726 | 12,364 | 2,93 |
| B3.10 | 12,822 | 12,569 | 2,01 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 3,00 |

Penyerapan Air Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Penyerapan Air (%) |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| B4.6 | 12,961 | 12,554 | 3,24 |
| B4.7 | 12,868 | 12,526 | 2,73 |
| B4.8 | 12,931 | 12,659 | 2,15 |
| B4.9 | 12,93 | 12,572 | 2,85 |
| B4.10 | 12,994 | 12,633 | 2,86 |
| Penyerapan Air Rerata | | | 2,77 |

Lampiran 7 Laporan Sementara Hasil Pengujian Porositas Beton

Porositas Beton Normal

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dalam Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| BN.6 | 12,961 | 6,482 | 12,567 | 6,08 |
| BN.7 | 12,868 | 6,431 | 12,476 | 6,09 |
| BN.8 | 12,931 | 6,464 | 12,461 | 7,27 |
| BN.9 | 12,930 | 6,467 | 12,584 | 5,35 |
| BN.10 | 12,983 | 6,490 | 12,653 | 5,08 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,97 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| A1.6 | 12,835 | 6,416 | 12,265 | 8,88 |
| A1.7 | 12,884 | 6,442 | 12,602 | 4,38 |
| A1.8 | 12,714 | 6,355 | 12,350 | 5,72 |
| A1.9 | 12,505 | 6,250 | 11,985 | 8,31 |
| A1.10 | 12,662 | 6,333 | 12,264 | 6,29 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,72 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| A2.6 | 12,870 | 6,436 | 12,300 | 8,86 |
| A2.7 | 12,788 | 6,392 | 12,512 | 4,32 |
| A2.8 | 12,738 | 6,370 | 12,434 | 4,77 |
| A2.9 | 12,921 | 6,458 | 12,418 | 7,78 |
| A2.10 | 12,775 | 6,385 | 12,359 | 6,51 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,45 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| A3.6 | 12,783 | 6,390 | 12,446 | 5,27 |
| A3.7 | 12,653 | 6,325 | 12,256 | 6,27 |
| A3.8 | 12,701 | 6,352 | 12,358 | 5,40 |
| A3.9 | 12,545 | 6,271 | 12,179 | 5,83 |
| A3.10 | 12,731 | 6,365 | 12,354 | 5,92 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,74 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 5% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| A4.6 | 12,580 | 6,292 | 12,264 | 5,03 |
| A4.7 | 12,680 | 6,358 | 12,348 | 5,25 |
| A4.8 | 12,841 | 6,422 | 12,487 | 5,51 |
| A4.9 | 12,726 | 6,364 | 12,426 | 4,72 |
| A4.10 | 12,822 | 6,410 | 12,458 | 5,68 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,24 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B1.6 | 12,653 | 6,325 | 12,243 | 6,48 |
| B1.7 | 12,696 | 6,349 | 12,251 | 7,01 |
| B1.8 | 12,702 | 6,350 | 12,228 | 7,46 |
| B1.9 | 12,804 | 6,400 | 12,598 | 3,22 |
| B1.10 | 12,818 | 6,412 | 12,164 | 10,21 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,88 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,6%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B2.6 | 12,505 | 6,254 | 12,115 | 6,24 |
| B2.7 | 12,662 | 6,330 | 12,059 | 9,52 |
| B2.8 | 12,484 | 6,241 | 12,235 | 3,99 |
| B2.9 | 12,559 | 6,278 | 12,147 | 6,56 |
| B2.10 | 12,371 | 6,186 | 11,962 | 6,61 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 6,58 |

Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,7%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B3.6 | 12,580 | 6,288 | 12,153 | 6,79 |
| B3.7 | 12,680 | 6,342 | 12,226 | 7,16 |
| B3.8 | 12,841 | 6,422 | 12,486 | 5,53 |
| B3.9 | 12,726 | 6,365 | 12,364 | 5,69 |
| B3.10 | 12,822 | 6,413 | 12,569 | 3,95 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,82 |

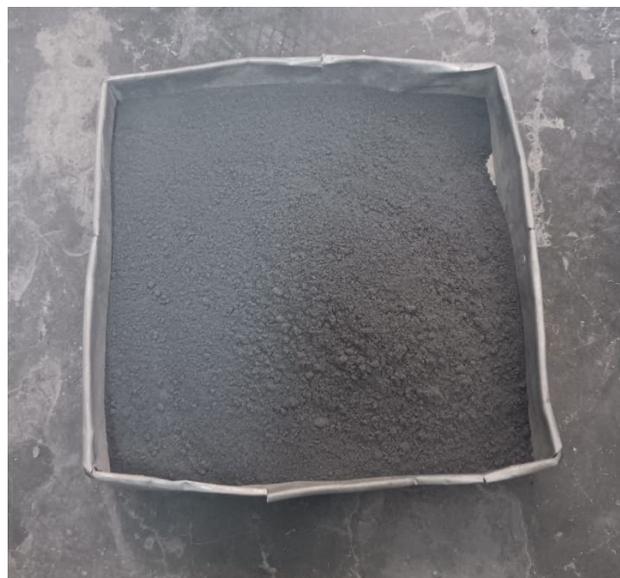
Porositas Beton Variasi (Abu Kayu 10% dan SikaCim 0,8%)

| Kode Benda Uji | Berat SSD (Kg) | Berat dlm Air (Kg) | Berat Kering Oven (Kg) | Porositas Beton (%) |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| B4.6 | 12,961 | 6,482 | 12,554 | 6,28 |
| B4.7 | 12,868 | 6,440 | 12,526 | 5,32 |
| B4.8 | 12,931 | 6,468 | 12,659 | 4,21 |
| B4.9 | 12,930 | 6,462 | 12,572 | 5,53 |
| B4.10 | 12,994 | 6,498 | 12,633 | 5,56 |
| Porositas Beton Rerata | | | | 5,38 |

Lampiran 8 Dokumentasi Material Penelitian



Gambar L-8.1 Limbah Serbuk Kayu Sonokeling



Gambar L-8.2 Abu Kayu SonoKeling



Gambar L-8.3 Semen *Portland*



Gambar L-8.4 Kerikil



Gambar L-8.5 Pasir



Gambar L-8.6 SikaCim Concrete Additive

Lampiran 9 Dokumentasi Peralatan



Gambar L-9.1 Cetakan Beton Silinder



Gambar L-9.2 Kerucut *Abrams*



Gambar L-9.3 Besi Penumbuk



Gambar L-9.4 Sekop



Gambar L-9.5 Timbangan



Gambar L-9.6 Gelas Ukur



Gambar L-9.7 Mixer



Gambar L-9.8 Pan



Gambar L-9.9 Sieve Shaker Agregat Halus



Gambar L-9.10 Sieve Shaker Agregat Kasar



Gambar L-9.11 Compressive Test Machine



Gambar L-9.12 *Compressive Test Machine*

Lampiran 10 Dokumentasi Pengujian



Gambar L-10.1 Pembakaran Limbah Serbuk Kayu Sonokeling



Gambar L-10.2 Pengujian Nilai *Slump* Beton



Gambar L-10.3 Pencetakan Beton Segar



Gambar L-10.4 Perendaman Beton Silinder



Gambar L-10.5 Proses *Capping* Beton Silinder



Gambar L-10.6 Pengujian Kuat Tekan Beton



Gambar L-10.7 Pengujian Kuat Tekan Beton