

TUGAS AKHIR
PENGARUH ABU DAUN BAMBU DAN SILICA FUME SEBAGAI BAHAN
PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA UJI KUAT TEKAN BETON

(Studi Penelitian)

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

FAJAR ANSYARI

2207210036



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fajar Ansyari

NPM : 2207210036

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Abu Daun Bambu Dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Uji Kuat Tekan Beton

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 26 Agustus 2026

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'F' followed by a series of loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.,

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fajar Ansyari

NPM : 2207210036

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Abu Daun Bambu Dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Uji Kuat Tekan Beton

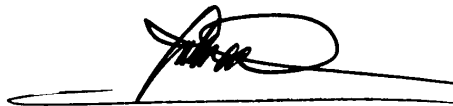
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Medan, 26 Agustus 2026

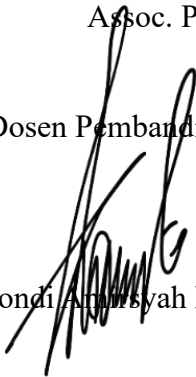
Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Dosen Pembimbing I



Ir. Tondi Anwar Syah Putera., ST., MT.

Dosen Pembimbing II



Rizki Efrida., ST., MT.

Ketua Prodi Teknik Sipil



Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fajar Ansyari

NPM : 2207210036

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Abu Daun Bambu Dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Uji Kuat Tekan Beton

Bidang Ilmu : Struktur

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tugas Laporan Akhir saya yang berjudul : “Pengaruh Abu Daun Bambu Dan *Silica Fume* Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Uji Kuat Tekan Beton”.

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian dan hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material, ataupun segala kemungkinan lainnya, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga adanya ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan untuk memverifikasi, dengan melakukan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/Kerjasama saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 26 Agustus 2026

Saya yang menyatakan



Fajar Ansyari

ABSTRAK

PENGARUH ABU DAUN BAMBU DAN SILICA FUME SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN SEMEN PADA UJI KUAT TEKAN BETON

Fajar Ansyari

220210036

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Peningkatan kebutuhan beton terus terjadi, sedangkan penggunaan semen Portland perlu diminimalkan sebagai upaya mendukung penerapan konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Abu daun bambu (ADB) dan *silica fume* (SF) berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen karena mengandung silika dalam jumlah tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ADB dan SF terhadap kelecakan serta kuat tekan beton dan memperoleh komposisi campuran yang optimum. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, menggunakan variasi ADB sebesar 4%, 6%, 8%, SF 5%, serta kombinasi keduanya berdasarkan ketentuan SNI. Pengujian slump dan kuat tekan dilaksanakan pada umur beton 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya penggunaan ADB dan SF menyebabkan nilai slump menurun akibat peningkatan kebutuhan air dan luas permukaan material. Kuat tekan tertinggi dihasilkan oleh kombinasi ADB 4% dan SF 5%, yaitu 26,2 MPa, atau meningkat 4,8% dari beton normal sebesar 25,0 MPa. Sebaliknya, penggunaan ADB lebih dari 4% tanpa SF menurunkan kuat tekan karena berkurangnya semen Portland aktif dan reaksi silika yang tidak optimal dalam pembentukan C-S-H. SF berlebihan juga meningkatkan kekentalan campuran sehingga pemadatan kurang optimal dan dapat membentuk rongga. Dengan demikian, ADB 4% dan SF 5% merupakan komposisi optimum.

Kata Kunci : Abu daun bambu, Beton, Kuat tekan, Semen, Silica fume.

ABSTRACT

EFFECT OF BAMBOO LEAF ASH AND SILICA FUME AS PARTIAL CEMENT REPLACEMENT MATERIALS ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Fajar Ansyari

220210036

Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc., Ph.D., IPM.

The increasing demand for concrete continues to occur, while the use of Portland cement needs to be minimized to support more environmentally friendly construction practices. Bamboo leaf ash (BLA) and silica fume (SF) have the potential to be used as partial cement substitutes due to their high silica content. This study aims to determine the effects of BLA and SF on the workability and compressive strength of concrete and to obtain the optimum mixture composition. The research was conducted using an experimental method in the laboratory with cylindrical specimens measuring 15 cm in diameter and 30 cm in height, using BLA variations of 4%, 6%, and 8%, SF of 5%, and their combinations based on SNI requirements. Slump and compressive strength tests were performed at 28 days. The results showed that increasing the use of BLA and SF reduced the slump value due to increased water demand and material surface area. The highest compressive strength was obtained from the combination of 4% BLA and 5% SF, reaching 26.2 MPa, or 4.8% higher than normal concrete at 25.0 MPa. In contrast, using more than 4% BLA without SF reduced compressive strength due to the decreased amount of active Portland cement and the incomplete reaction of silica in C-S-H formation. Excessive SF also increased the mixture viscosity, resulting in less effective compaction and potentially forming voids. Therefore, 4% BLA and 5% SF can be considered the optimum composition.

Keyword : Bamboo leaf ash, Concrete, Compressive strength, Cement, Silica fume,

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Abu Daun bambu Dan Silica Fume Sebagai Bahan Pengganti sebagian Semen Pada Uji Kuat Tekan Beton” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada :

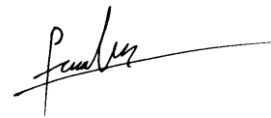
1. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T.,M.Sc., Ph.D., IPM., Selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera., ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida., ST.,MT. Selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Ir. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Syawal Asri dan Ibunda tercinta Zuraidah yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
9. Teristimewa sekali pada saudara kandung Abang Abang saya, Muhammad Rafiq S.T, MMuhammad Fauzan S.P, Muhammad Farhan S.Ak. yang telah menyemangati dan telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil, Dan Teman Teman MBKM Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2022. Khususnya pada teman sekaligus sahabat saya,

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 26 Agustus 2026

Penulis



Fajar Ansyari

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Bahan Tambah	8
2.2.1 Abu Daun Bambu	9
2.2.2 Silica Fume	14
2.3 Interaksi Abu Daun Bambu dan <i>Silica Fume</i> dalam Meningkatkan Kuat Tekan Beton	16
2.4 Workability	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1 Umum	20
3.1.1 Data Primer	20
3.1.2 Data Sekunder	21
3.2 Bagan Alir Penelitian	21
3.3 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	23
3.4 Alat Dan Bahan Penelitian	23

3.4.1	Peralatan	23
3.4.2	Bahan	24
3.5	Desain Dan Jumlah Benda Uji	25
3.6	Persiapan Penelitian	25
3.7	Tahapan Pengujian	26
3.7.1	Pengujian Analisa Saringan	26
3.7.2	Pengujian Spesific Gravity Agregat (Berat Jenis)	26
3.7.3	Pengujian Berat Isi	29
3.7.4	Pengujian Kadar Air	30
3.7.5	Pengujian Kadar Lumpur	31
3.8	Pembuatan Benda Uji	32
3.9	Slump Test	32
3.10	Perendaman Benda Uji	33
3.11	Pengujian Kuat Tekan	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Pemeriksaan Agregat Kasar	35
4.1.1	Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	35
4.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	37
4.1.3	Berat Isi Agregat Kasar	38
4.1.4	Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	39
4.1.5	Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar	39
4.2	Pemeriksaan Agregat Halus	40
4.2.1	Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	40
4.2.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	42
4.2.3	Berat Isi Agregat Halus	43
4.2.4	Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus	44
4.2.5	Kadar Lumpur Agregat Halus	45
4.3	Perencanaan Campuran Beton Material Pembentuk Beton	45
4.3.1	Mix Design Beton	46
4.3.2	Kebutuhan Beton	59
4.4	Hasil Pengujian Slump Test	64
4.5	Hasil Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton	66
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	68

5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Abu daun bambu	12
Tabel 2.2	Penelitian terdahulu Abu Daun Bambu	13
Tabel 2.3	Kandungan Kimia Silica Fume	14
Tabel 2.4	Penelitian terdahulu Penggunaan Silica fume pada beton	15
Tabel 2.5	Toleransi Waktu Pengujian Kuat Tekan Beton	19
Tabel 3.1	Peralatan Pembuatan Benda Uji	23
Tabel 3.2	Komposisi Campuran Dan Perendaman Benda Uji	25
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar.	36
Tabel 4.2	Daerah batas gradasi agregat kasar.	36
Tabel 4.3	Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	37
Tabel 4.4	Tabel Berat Isi Agregat	38
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	39
Tabel 4.6	Hasil nilai pengujian kadar lumpur agregat kasar.	39
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	41
Tabel 4.8	Daerah batas gradasi agregat halus.	41
Tabel 4.9	Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.	42
Tabel 4.10	Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus.	44
Tabel 4.11	Hasil pengujian kadar air agregat halus.	44
Tabel 4.12	Hasil pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus.	45
Tabel 4.13	Data hasil pengujian pada agregat.	46
Tabel 4.14	Menetapkan nilai standar deviasi berdasarkan SNI 03-2847-2002.	47
Tabel 4.15	Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum	49
Tabel 4.16	Tabel 4. 16: Perkiraan kadar air bebas	49
Tabel 4.17	Rekapitulasi mix design beton mutu 25 MPa	58
Tabel 4.18	Analisa gradasi agregat kasar	61
Tabel 4.19	Analisa gradasi agregat halus	61
Tabel 4.20	Jumlah abu daun bambu dan silica fume yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.	62

Tabel 4.21 Proporsi campuran beton dengan ADB dan Silica Fume	64
Tabel 4.22 Hasil pengujian nilai slump	65
Tabel 4.23 Hasil pengujian kuat tekan	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2 Ilustrasi Benda Uji.	32
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat kasar	37
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Halus	42
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara FAS dengan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata	48
Gambar 4.4 Grafik Gradasi Agregat Halus	52
Gambar 4.5 Grafik Gradasi Agregat Halus	52
Gambar 4.6 Persen Agregat Halus	53
Gambar 4.7 Hubungan Kandungan Air,Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Isi Beton	54
Gambar 4.8 Grafik Slump Test Beton	65
Gambar 4.9 Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan Rata-Rata	67

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di Indonesia, terutama dalam sektor konstruksi, terus berkembang dengan sangat cepat. Salah satu bahan konstruksi yang paling banyak dimanfaatkan adalah beton karena mempunyai kemampuan yang baik dalam menerima beban tekan. Beton digunakan pada berbagai macam konstruksi, seperti gedung, jembatan, jalan, bendungan, maupun berbagai infrastruktur sipil lainnya. Beton adalah material yang tersusun dari agregat kasar, agregat halus, semen, air, serta dapat diberikan bahan tambahan berupa bahan kimia maupun non-kimia sesuai dengan kebutuhan. Oleh sebab itu, diperlukan pengembangan dalam menentukan material penyusun beton untuk menghasilkan konstruksi yang berkualitas, memiliki kekuatan yang baik, mudah didapatkan, ekonomis, serta mudah dalam proses pemeliharannya (Arman *et al.*, 2023). Beton normal adalah campuran yang tersusun atas semen Portland atau jenis semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, baik menggunakan maupun tanpa bahan tambahan, yang setelah mengalami pengerasan akan membentuk massa yang padat. Beton normal mempunyai berat jenis antara 2.155 hingga 2.560 kg/m³, sedangkan nilai yang umum digunakan berada pada kisaran 2.320 hingga 2.400 kg/m³, (SNI 2847-2019, 2019).

Bambu merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak ditemukan di Indonesia dan memiliki berbagai manfaat dalam kehidupan. Sejak dahulu, bambu telah dimanfaatkan dalam berbagai keperluan, salah satunya sebagai material dalam pembangunan konstruksi. Namun, pemanfaatan tanaman bambu umumnya masih berfokus pada bagian batang dan akarnya, sedangkan bagian daunnya belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Daun bambu yang dibiarkan menumpuk dapat menjadi limbah yang kurang termanfaatkan. Kondisi tersebut mendorong berbagai penelitian untuk mengembangkan pemanfaatan limbah daun bambu, salah

satunya dengan mengolahnya menjadi bahan tambahan atau bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton,(Iskandar et al., 2024)

Salah satu alternatif dalam mengolah limbah daun bambu yaitu melalui proses pembakaran yang menghasilkan abu untuk kemudian dimanfaatkan sebagai material dalam campuran beton. Abu daun bambu diperoleh dari hasil pembakaran daun bambu yang mengalami perubahan secara kimia dan menghasilkan kandungan silika dalam jumlah relatif tinggi. Kandungan silika tersebut berpotensi mengalami reaksi dengan senyawa yang terdapat dalam beton sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan sifat mekanis beton. Dengan demikian, abu daun bambu berpeluang digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen sekaligus menjadi salah satu alternatif material yang lebih ramah lingkungan dalam pembuatan beton, (Iskandar et al., 2024).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Iskandar et al., 2024), Iskandar *et al.* (2024) menyatakan bahwa abu daun bambu mempunyai sifat pozzolanik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitian Amu dan Adetuberu (2010), yang menunjukkan bahwa pembakaran daun bambu pada suhu 600°C selama 2 jam dapat menghasilkan abu dengan kadar silika mencapai 75,9%. Kandungan silika pada abu daun bambu berpotensi berperan dalam proses pengikatan melalui reaksi dengan senyawa yang dihasilkan selama proses hidrasi semen, sehingga dapat membantu membentuk struktur beton yang lebih rapat.

Berdasarkan potensi tersebut, penelitian ini dilakukan dengan mengombinasikan abu daun bambu dan *silica fume* sebagai material substitusi sebagian semen dalam campuran beton. Penelitian ini mengangkat judul “Pengaruh Abu Daun Bambu dan *Silica Fume* sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton”. Penggunaan kedua material tersebut diharapkan dapat menghasilkan proporsi campuran yang optimal untuk memperoleh kuat tekan beton yang baik, sekaligus memberikan alternatif pemanfaatan limbah daun bambu sebagai material konstruksi yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas beton.

Aji Firmansyah, Anisah, dan Santoso Sri Handoyo (2023) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan abu daun bambu sebagai bahan substitusi sebagian semen

pada campuran beton. Abu daun bambu yang digunakan dalam penelitian tersebut berasal dari bambu jenis Andong yang diperoleh dari Hutan Sangga Buana, Lebak Bulus, Jakarta Selatan. Salah satu variasi campuran yang diteliti menggunakan abu daun bambu sebesar 5% dari berat semen sebagai bahan pengganti. Berdasarkan hasil pengujian pada umur 28 hari, campuran dengan substitusi tersebut menghasilkan kuat tekan sebesar 18,768 MPa dengan nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,5.

Penelitian tersebut dijadikan sebagai salah satu acuan dalam penelitian ini. Adapun perbedaannya terletak pada penggunaan kombinasi material, yaitu abu daun bambu yang dipadukan dengan *silica fume* sebagai substitusi sebagian semen. Penggunaan kombinasi kedua material tersebut diharapkan dapat memberikan peningkatan terhadap kuat tekan beton sehingga menghasilkan mutu beton yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan abu daun bambu secara tunggal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan abu daun bambu dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton terhadap kuat tekan beton?
2. Berapa komposisi & persentase pergantian campuran abu daun bambu dan *silica fume* pada beton yang optimum pada pengujian kuat tekan 28 hari.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

1. Campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas semen Portland Tipe I, agregat halus (pasir sungai), agregat kasar, air, abu daun bambu, dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen.
2. Beton yang dirancang memiliki mutu rencana sebesar $f'c$ 25 MPa.
3. Proses perawatan (*curing*) beton dilakukan dengan metode perendaman di dalam air.
4. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
5. Pengujian yang dilakukan hanya meliputi pengujian kuat tekan beton.

6. Seluruh pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari untuk setiap variasi campuran.
7. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Tipe I.
8. Penelitian ini tidak membahas maupun menganalisis reaksi kimia yang terjadi antar bahan penyusun beton selama proses pencampuran maupun pengerasan.
9. Pengaruh abu daun bambu sebagai pengganti Sebagian semen.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Bagaimana pengaruh penggunaan abu daun bambu dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam campuran beton terhadap kuat tekan beton?
2. Berapa komposisi & persentase pergantian campuran abu daun bambu dan *silica fume* pada beton yang optimum pada pengujian kuat tekan 28 hari.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif penggunaan abu daun bambu dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton.
2. Menjadi referensi dalam mendesain beton.
3. Menjadi penelitian yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini disusun secara sistematis ke dalam lima bab yang saling berkaitan. Setiap bab membahas materi yang berbeda sesuai dengan tahapan penelitian. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, diagram alir penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.

Bab ini berisi kajian teori dan hasil penelitian terdahulu yang menjadi dasar dalam penyusunan tugas akhir. Pembahasan meliputi teori mengenai beton, material penyusun beton, semen, agregat halus, agregat kasar, abu daun bambu, *silica fume*, serta konsep kuat tekan beton yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi lokasi dan waktu penelitian, bahan dan peralatan, prosedur pelaksanaan penelitian, pembuatan benda uji, metode perawatan (*curing*), pengujian kuat tekan beton, serta teknik analisis data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian yang telah dilakukan beserta analisis dan pembahasannya. Pembahasan difokuskan pada pengaruh penggunaan abu daun bambu dan *silica fume* sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya maupun penerapan hasil penelitian di lapangan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebagai landasan dalam penyusunan penelitian ini, penulis menggunakan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai bahan referensi. Penelitian-penelitian tersebut dijadikan acuan untuk memperkuat dasar teoritis serta mendukung pelaksanaan penelitian yang dilakukan. Selain itu, penulis juga menguraikan perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya sehingga kebaruan (*novelty*) dan kontribusi penelitian dapat terlihat dengan lebih jelas.

Penelitian yang dilakukan oleh Hardya *et al.* (2021) menggunakan pendekatan eksperimen untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan abu daun bambu (ADB) sebagai substitusi sebagian semen serta serat sabut kelapa sebagai bahan tambahan terhadap kuat tekan beton mutu K-300. Abu daun bambu digunakan dengan variasi sebesar 4%, 6%, dan 8% berdasarkan berat semen, sedangkan serat sabut kelapa diberikan dengan variasi masing-masing 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap berat beton.

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa variasi campuran dengan 4% abu daun bambu dan 1,5% serat sabut kelapa menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 26 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton normal. Akan tetapi, penambahan abu daun bambu dan serat sabut kelapa dalam kadar yang lebih tinggi menyebabkan penurunan kuat tekan beton akibat berkurangnya kualitas ikatan antar material penyusun beton. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan abu daun bambu dan serat sabut kelapa berpotensi meningkatkan kuat tekan beton apabila digunakan pada komposisi yang optimum (Hardya *et al.*, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Diana dkk. (2020) bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan abu daun bambu sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan beton mutu K-240. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variasi kadar abu daun bambu sebesar 0%, 3%, 5%, dan 7% dari berat semen. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada umur 14 hari dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus. Berdasarkan hasil analisis

regresi, penggunaan abu daun bambu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai kuat tekan beton, dengan komposisi optimum yang diperoleh pada variasi 5% dan 7%. Peningkatan kuat tekan tersebut berkaitan dengan tingginya kandungan silika yang terdapat pada abu daun bambu. Kandungan silika tersebut mempunyai sifat pozzolanik yang memungkinkan terjadinya reaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) yang terbentuk selama proses hidrasi semen, sehingga menghasilkan senyawa pengikat tambahan dan membantu meningkatkan kepadatan struktur beton. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, abu daun bambu dapat disimpulkan memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen dalam pembuatan beton normal. (Nura Diana et al., 2020)

Abebaw dkk. (2021) melakukan penelitian eksperimental untuk mengkaji pengaruh penggunaan abu daun bambu sebagai material substitusi sebagian semen pada beton mutu C-25. Variasi penggantian semen yang digunakan terdiri atas 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, dengan rasio air terhadap semen yang dipertahankan tetap. Pengujian dilakukan terhadap beberapa parameter, meliputi kemampuan pengerjaan campuran, kuat tekan, densitas, penyerapan air, serta ketahanan beton terhadap serangan sulfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu daun bambu sebesar 5% dan 10% mampu menghasilkan kuat tekan yang memenuhi bahkan melampaui nilai kuat tekan rencana pada umur 28 dan 56 hari. Selain itu, beton yang mengandung abu daun bambu pada kedua kadar tersebut menunjukkan nilai penyerapan air dan tingkat kerusakan akibat serangan sulfat yang lebih rendah dibandingkan beton normal. Namun, penggunaan abu daun bambu dengan kadar lebih dari 10% menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara signifikan. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian menyimpulkan bahwa abu daun bambu dapat digunakan secara efektif sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan batas penggunaan maksimum sebesar 10%. (Abebaw et al., 2021).

Nduka dkk. (2022) melakukan penelitian eksperimental untuk menganalisis penggunaan abu daun bambu sebagai material substitusi sebagian semen pada beton kinerja tinggi (*High Performance Concrete* atau HPC). Abu daun bambu digunakan dengan beberapa variasi kadar, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Selanjutnya, beton diuji berdasarkan beberapa parameter, meliputi *workability*, kuat tekan, kuat tarik

belah, kuat lentur, serta ketahanan beton pada berbagai umur pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu daun bambu sebesar 10% menghasilkan peningkatan paling optimal terhadap sifat mekanik dan durabilitas beton. Sifat pozzolanik yang dimiliki abu daun bambu berperan dalam memperbaiki struktur mikro beton melalui pengurangan porositas dan peningkatan kepadatan matriks beton. Sebaliknya, penggunaan abu daun bambu sebesar 15% memberikan dampak negatif terhadap kinerja beton akibat berkurangnya jumlah semen aktif dalam campuran. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, abu daun bambu dinilai memiliki potensi yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi semen yang lebih ramah lingkungan pada beton kinerja tinggi. (Nduka et al., 2022).

Berdasarkan hasil kajian terhadap berbagai jurnal yang telah dianalisis, dapat diketahui bahwa abu daun bambu berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi sebagian semen pada campuran beton. Potensi tersebut didukung oleh kandungan silika yang tinggi serta sifat pozzolanik yang dimiliki oleh abu daun bambu. Secara umum, pemanfaatan abu daun bambu dapat memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan, memperbaiki struktur mikro beton, serta menurunkan porositas dan penyerapan air, khususnya pada tingkat substitusi yang optimum, yaitu sekitar 5–10% dari berat semen. Pada kisaran tersebut, beton cenderung memiliki sifat mekanik dan durabilitas yang lebih baik dibandingkan beton normal. Sebaliknya, penggunaan abu daun bambu dengan kadar yang terlalu tinggi dan melampaui batas optimum dapat menyebabkan penurunan kualitas beton karena jumlah semen aktif dalam campuran menjadi semakin berkurang. Dengan demikian, abu daun bambu dapat dijadikan salah satu material alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pembuatan beton, dengan tetap memperhatikan proporsi penggunaannya agar diperoleh hasil yang optimal.

2.2 Bahan Tambah

Bahan tambah adalah suatu material, baik dalam bentuk bubuk maupun cair, yang ditambahkan ke dalam campuran beton ketika proses pencampuran berlangsung. Penggunaan material tersebut dimaksudkan untuk mengubah atau meningkatkan karakteristik adukan beton maupun beton yang sudah mengalami pengerasan sesuai dengan kebutuhan dalam pelaksanaan konstruksi. Pemberian

bahan tambah dapat memberikan berbagai keuntungan, seperti memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, meningkatkan kemudahan pengerjaan (*workability*), mengurangi tingkat kerapuhan beton, mengendalikan munculnya retak pada saat proses pengerasan, mengurangi panas hidrasi, meningkatkan kemampuan beton dalam menahan penetrasi air, serta meningkatkan ketahanan beton terhadap berbagai pengaruh dan kondisi lingkungan.(Tarru, 2018).

Pada dasarnya, bahan tambah yang digunakan dalam beton dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu bahan tambah kimia (*chemical admixture*) dan bahan tambah mineral (*mineral additive*). Bahan tambah kimia dimasukkan ke dalam campuran beton ketika proses pengadukan berlangsung maupun sebelum pelaksanaan pengecoran, sedangkan bahan tambah mineral pada umumnya dicampurkan bersamaan dengan material beton selama proses pengadukan.(Pratama et al., 2021).

Bahan tambah kimia digunakan untuk mengubah karakteristik beton segar sehingga pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih mudah, misalnya dengan mengendalikan waktu pengikatan, meningkatkan *workability*, serta mempercepat atau memperlambat proses pengerasan. Di sisi lain, bahan tambah mineral memiliki karakteristik sementisius maupun pozzolan yang dapat membantu meningkatkan mutu beton setelah mengeras, khususnya dalam hal kuat tekan, kepadatan, dan ketahanan (*durabilitas*) beton. Dengan demikian, bahan tambah mineral sering digunakan sebagai salah satu material untuk meningkatkan kinerja serta kualitas beton,(Tarru, 2018).

2.2.1 Abu Daun Bambu

Bambu merupakan salah satu tanaman tropis yang banyak ditemukan di berbagai wilayah Indonesia. Tanaman ini termasuk dalam kelompok rumput-rumputan yang memiliki pertumbuhan relatif cepat, batang beruas, serta kemampuan beradaptasi terhadap beragam kondisi lingkungan. Masyarakat Indonesia telah memanfaatkan bambu sejak lama untuk berbagai kebutuhan, seperti material bangunan tradisional, peralatan rumah tangga, furnitur, serta bahan dasar pembuatan kerajinan dan kertas. Dalam bidang konstruksi, bambu juga dapat digunakan sebagai material perancah, penyangga beton, maupun alternatif bahan struktural yang lebih ramah lingkungan.

Ketersediaan bambu yang melimpah dan sifatnya sebagai sumber daya alam terbarukan menjadikan tanaman ini memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai material alternatif secara berkelanjutan, (Nura Diana et al., 2020).

Namun demikian, pemanfaatan bambu selama ini masih lebih banyak berfokus pada bagian batang, sedangkan bagian lainnya, seperti daun, belum dimanfaatkan secara optimal. Daun bambu umumnya dianggap sebagai limbah yang memiliki nilai ekonomi relatif rendah. Setelah tanaman dipanen, daun bambu sering dibiarkan membusuk atau dibakar untuk mengurangi jumlah limbah. Pembakaran yang dilakukan tanpa pengendalian dapat menimbulkan pencemaran udara akibat pelepasan karbon dioksida dan partikel debu. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengolah daun bambu menjadi material yang memiliki nilai tambah sekaligus ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang mulai banyak dikaji adalah mengolah daun bambu melalui proses pembakaran sehingga menghasilkan abu yang berpotensi digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton, (Huang, 2025).

Menurut penelitian Nura Diana *et al.* (2020), daun bambu dapat dimanfaatkan melalui proses pembakaran terkendali pada suhu sekitar 600°C selama 2 jam. Proses tersebut menghasilkan abu daun bambu yang memiliki kandungan silika (SiO_2) sekitar 75%. Kandungan silika yang tinggi menyebabkan abu daun bambu memiliki karakteristik pozzolanik sehingga berpotensi memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas beton. Penggunaan material ini sebagai pengganti sebagian semen dapat membantu meningkatkan kuat tekan dan ketahanan beton. Dengan demikian, pemanfaatan bambu tidak hanya terbatas pada bagian batang, tetapi juga dapat mencakup bagian daun sebagai salah satu inovasi material konstruksi yang ramah lingkungan serta mendukung pengelolaan limbah organik. Daun bambu yang sebelumnya kurang termanfaatkan dapat diolah menjadi material konstruksi yang memiliki nilai ekonomis dan fungsional, (Nura Diana et al., 2020).

Abu daun Bambu memiliki sifat dan karakteristik seperti berikut yang dapat meningkatkan kuat tekan beton :

1. Bersifat Pozzolanik

Silika (SiO_2) amorf yang terkandung dalam abu daun bambu mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang terbentuk akibat hidrasi semen. Reaksi pozzolanik tersebut menjadikan abu daun bambu berpotensi digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen.

2. Kandungan silika yang tinggi

Karena kadar silikanya tinggi, abu daun bambu bersifat reaktif secara kimia dan berperan penting dalam pembentukan senyawa pengikat tambahan di dalam beton.

3. Ukuran partikel yang halus

Setelah dihaluskan, abu daun bambu memiliki ukuran partikel lebih kecil dibandingkan semen, sehingga mampu mengisi pori-pori kecil dalam struktur beton.

4. Luas permukaan yang besar

Partikel halus abu daun bambu memiliki luas permukaan yang luas, sehingga mempercepat proses kontak dan reaksi antara silika dengan kalsium hidroksida.

5. Berbentuk amorf (tidak memiliki struktur kristal)

Struktur silika yang amorf dalam abu daun bambu lebih reaktif dibandingkan silika yang berbentuk kristal, sehingga lebih efektif dalam reaksi pozzolanik.

6. Sumber dari limbah biomassa

Sebagai hasil pengolahan limbah daun bambu, abu daun bambu memiliki nilai tambah karena dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Nduka, Olawuyi, Ajao, Okoye, dan Okigbo mengkaji pengaruh penggunaan abu daun bambu (*Bamboo Leaf Ash/BLA*) sebagai bahan pengganti sebagian semen terhadap sifat mekanik dan durabilitas beton mutu tinggi, (*High-Performance Concrete/HPC*). Penelitian

tersebut menggunakan variasi kadar penggantian BLA sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15% dari berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu daun bambu memiliki kandungan silika sekitar 75%, sehingga memiliki sifat pozzolan yang baik. Penggunaan BLA sebesar 10% memberikan kinerja paling optimal, yang ditunjukkan dengan peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dibandingkan variasi lainnya. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa abu daun bambu berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen pada beton mutu tinggi apabila digunakan pada komposisi yang tepat, (Nduka et al., 2022).

Abu daun bambu memiliki sifat fisik yang halus atau setara dengan semen yang berfungsi sebagai filler dan mengisi rongga rongga mikro dalam beton, dan memiliki kadar silika tinggi, Penggunaan serbuk besi sebagai bahan tambah pada campuran beton berpotensi meningkatkan beberapa sifat mekanis beton, antara lain:

1. Kuat tekan, melalui peningkatan kepadatan mikrostruktur beton sehingga menghasilkan beton yang lebih kompak.
2. Kuat tarik belah, karena serbuk besi dapat memperbaiki ikatan antar material penyusun beton sehingga meningkatkan ketahanan terhadap gaya tarik.
3. Daya tahan terhadap beban, yaitu kemampuan beton dalam menahan beban mekanis dan mendistribusikan tegangan secara lebih merata sehingga meningkatkan kinerja struktur.

Abu daun bambu yang diperoleh melalui proses pembakaran pada suhu 600°C selama 2 jam menghasilkan kandungan senyawa kimia dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 2. 1: Komposisi Kimia Abu daun bambu

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	LoI
BLA composition	75,10	3,55	1,34	4,22	4,04	2,76	4,84	1,03	5,32

Sumber : (Nduka et al., 2022)

Melalui proses pembakaran, daun bambu menghasilkan abu yang mengandung silika (SiO_2) dengan sifat reaktif sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pozzolan dalam campuran beton. (Nura Diana et al., 2020). Abu daun bambu memiliki kandungan silika sekitar 75,9% yang berperan dalam pembentukan senyawa pengikat pada beton. Sifat pozzolan yang dimiliki abu daun bambu memungkinkan terjadinya reaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasil proses hidrasi semen sehingga menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (*calcium silicate hydrate* atau C-S-H) yang dapat meningkatkan kekuatan dan kepadatan beton. Namun demikian, abu daun bambu tidak mengandung aluminium oksida (Al_2O_3), yang umumnya merupakan salah satu senyawa penyusun utama pada semen dan berperan dalam proses hidrasi.

Pengaruh penggunaan abu daun bambu terhadap karakteristik beton:

1. Meningkatkan kuat tekan beton:
2. Memperbaiki workability beton bila butiran cukup halus

Tabel 2. 2 : Hasil Penelitian Terdahulu tentang Penggunaan Abu Daun Bambu.

No	Judul Jurnal	Filler dan Campuran	Hasil (Kuat Tekan 28 Hari)
1	Penambahan Abu Daun Bambu dan Serat Serabut Kelapa terhadap Kuat Tekan Beton (Antariksani, 2021)	ADB 4%, 6%, 8% + serat kelapa 1,5%	0% = 24,9 Mpa ADB 4% = 25,6 MPa ADB 4% = 26,0 MPa ADB 6% = 24,1 MPa ADB 8% = 23,5 MPa
2	Penambahan Abu Daun Bambu sebagai Substitusi Semen terhadap Kinerja Beton (Diana dkk., 2020)	ADB 0%, 3%, 5%, 7%	0% = 24,0 MPa ADB 3% = 25,2 MPa ADB 5% = 26,1 MPa ADB 7% = 26,0 MPa
3	Effect of Partial Replacement of Cement with Bamboo Leaf Ash on Concrete Property (Abebaw dkk., 2021)	ADB 0%, 5%, 10%, 15%, 20%	0% = 33,5 Mpa ADB 5% = 34,1 MPa ADB 10% = 33,6 MPa ADB 15% = 31,2 MPa ADB 20% = 29,4 MPa
4	Mechanical and Durability Properties of BLA in HPC (Nduka dkk., 2022)	ADB 0%, 5%, 10%, 15%	0% = 52,0 Mpa ADB 5% = 54,3 MPa ADB 10% = 56,8 MPa ADB 15% = 51,5 MPa

2.2.2 Silica Fume

Silica fume atau yang juga dikenal sebagai *microsilica* merupakan salah satu bahan tambah mineral (*mineral admixture*) yang banyak dimanfaatkan dalam teknologi beton modern untuk meningkatkan mutu dan kinerja beton.(Zulkarnain, Siregar, et al., 2026). *Silica fume* merupakan produk samping (*by-product*) dari industri produksi silikon maupun ferrosilikon. Material ini dihasilkan melalui proses reduksi kuarsa murni (SiO_2) menggunakan batubara di dalam tanur listrik (*electric arc furnace*) pada suhu yang sangat tinggi, yaitu sekitar 2.000°C , sehingga menghasilkan partikel silika yang sangat halus dengan kandungan silika amorf yang tinggi,(Fahrizal Zulkarnain, 2021) .

Secara kimia, silica fume terutama terdiri dari silika (SiO_2) dengan kadar sangat tinggi, biasanya lebih dari 85% hingga mencapai 98%, dalam bentuk amorf yaitu tidak memiliki struktur kristal(Zulkarnain, Hasibuan, et al., 2026). Bentuk amorf ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan reaksi pozzolaniknya. Selain itu, ukuran partikel silica fume jauh lebih kecil dibandingkan partikel semen Portland, yaitu sekitar 100 kali lebih halus. Rata-rata diameter partikel silica fume berkisar antara 0,1 hingga 0,3 mikrometer, sehingga memiliki luas permukaan yang sangat besar, mencapai lebih dari 15.000 hingga 25.000 m^2/kg . Karena sifat-sifat tersebut, Kandungan silika reaktif pada *silica fume* memungkinkan terjadinya reaksi pozzolanik dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) hasil hidrasi semen. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa C-S-H sekunder yang mampu memperbaiki struktur mikro dan meningkatkan kekuatan beton,(Arman et al., 2023).

Tabel 2. 3: Kandungan Kimia Silica Fume

Unsur Kimia	Kandungan (%)	<u>Keterangan</u>
SiO_2 (Silicon Dioksida)	85–98	Komponen utama, bersifat amorf dan reaktif pozzolanik
Karbon (C)	Trace (<5)	Jejak dari proses produksi ferrosilikon
Fe (Besi)	Trace (<2)	Kontaminan minor dari reduksi kuarsa
Al (Aluminium)	Trace (<1)	Elemen pendukung minor
Ca (Kalsium)	Trace (<1)	Bergantung proses tungku listrik

Sumber : (Hadrian, 2025)

Manfaat dan pengaruh penggunaan Silica fume pada beton :

Silica fume merupakan salah satu bahan tambah mineral yang tergolong sebagai material pozzolan dengan ukuran partikel sangat halus. Material ini memiliki kandungan silika yang lebih tinggi dibandingkan sebagian besar bahan pozzolan lainnya. *Silica fume* dihasilkan sebagai produk samping (*by-product*) dari proses produksi silikon atau paduan ferrosilikon (*ferrosilicon alloy*) di dalam tanur listrik, sehingga memiliki kandungan silika amorf yang tinggi dan sangat reaktif. Secara fisik, silika fume berwarna abu-abu dan memiliki ukuran partikel sekitar 0,1 hingga 0,2 mikrometer. Dalam hal sifat kimia, kandungan SiO₂ pada silika fume mendominasi, mencapai lebih dari 90%, dan sisanya terdiri dari senyawa lainnya. Karena ukuran partikelnya sangat kecil, silika fume mampu mengisi celah-celah kecil dalam beton, (Satria et al., 2019).

Hal ini membuat campuran beton menjadi lebih rapat dan padat, sehingga meningkatkan daya tekan serta ketahanan terhadap air. Selain itu, silika fume juga berfungsi sebagai bahan pozzolan. Komponen SiO₂ dalam silika fume bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang merupakan hasil samping dari proses hidrasi semen melalui reaksi pozzolanik. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (*calcium silicate hydrate* atau C-S-H), yang juga merupakan produk utama hasil hidrasi semen. Pembentukan C-S-H tambahan ini berlangsung secara merata di dalam campuran beton, sehingga memperbaiki ikatan antara pasta semen dan agregat, memperpadat struktur mikro beton, serta meningkatkan kuat tekan dan durabilitas beton, (Satria et al., 2019).

Tabel 2. 4 :Hasil Penelitian terdahulu Penggunaan Silica fume pada beton

No	Judul Penelitian	Filler dan Campuran	Hasil Kuat Tekan (MPa 28 Hari)
1	Pengaruh Penambahan Silica Fume terhadap Kuat Tekan Beton (Arman dkk., 2024)	Silica fume 0%, 4%, 7%, 10%	0% = 27,03 Mpa 4% = 27,46 MPa 7% = 24,77 MPa 10% = 19,77 MPa

Tabel 2. 4 : *Lanjutan*

No	Judul Penelitian	Filler dan Campuran	Hasil Kuat Tekan (MPa 28 Hari)
2	Pengaruh Kadar Silica Fume terhadap Kuat Tekan pada HSSCC (Wicaksono dkk., 2018)	Silica fume 0%, 8%, 9%, 10%, 11% (HSSCC)	0% = 60,00 MPa 8% = 65,20 MPa 9% = 67,65 MPa 10% = 66,10 MPa 11% = 64,30 MPa
3	Pengaruh Penambahan Silica Fume terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25 (Yra Maya Sopha N.R. dkk., 2023)	Silica fume 0%, 10%, 20%	0% = 25,00 MPa 10% = 26,40 MPa 20% = 27,20 MPa

Secara umum, hasil dari ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan material tersebut pada campuran beton mampu memengaruhi karakteristik dan kinerja beton yang dicampur dengan silica fume menunjukkan peningkatan kekuatan tekan yang cukup besar dibandingkan beton biasa. Kekuatan tekan terbaik tercapai pada kadar silica fume antara 4 hingga 20%, tergantung pada jenis bahan yang digunakan dan tingkat kualitas beton yang direncanakan.

2.3 Interaksi Abu Daun Bambu dan *Silica Fume* dalam Meningkatkan Kuat Tekan Beton

Abu daun bambu dan *silica fume* merupakan bahan tambah mineral yang banyak dimanfaatkan dalam penelitian beton karena memiliki kandungan silika yang tinggi serta sifat pozzolan yang dapat meningkatkan kuat tekan beton. Abu daun bambu diperoleh melalui proses pembakaran daun bambu pada suhu tertentu sehingga menghasilkan silika amorf yang bersifat reaktif. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Asha *et al.* (2014), Abebaw *et al.* (2021), dan Nduka *et al.* (2022), abu daun bambu mampu bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan selama proses hidrasi semen melalui reaksi pozzolanik. Reaksi tersebut menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (*calcium silicate hydrate* atau C-S-H) tambahan yang berperan dalam memperbaiki struktur mikro beton, meningkatkan kepadatan beton, serta meningkatkan kuat tekan beton.

Penggunaan abu daun bambu sebagai bahan pengganti sebagian semen pada kadar optimum dapat meningkatkan kuat tekan beton, terutama pada umur 28 hari. Peningkatan tersebut terjadi karena reaksi pozzolanik yang menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) tambahan sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan kuat, biasanya antara 5–10%, abu daun bambu dapat memperbaiki struktur mikro beton dengan mengurangi porositas dan meningkatkan kepadatan pasta semen. Namun, jika kadar abu daun bambu terlalu tinggi, Namun, penggunaan abu daun bambu dalam kadar yang berlebihan dapat menurunkan kuat tekan beton. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah semen yang berperan sebagai bahan pengikat. jumlah semen aktif dalam campuran berkurang dan abu daun bambu tidak bisa menggantikan fungsi semen sepenuhnya. Oleh karena itu, pemilihan kadar penggantian abu daun bambu sangat penting untuk mencapai peningkatan kekuatan tekan yang maksimal.

Silica fume adalah bahan tambahan mineral yang memiliki ukuran partikel yang sangat halus serta kandungan silika amorf yang tinggi. Partikel yang sangat halus ini memungkinkan silica fume berfungsi sebagai pengisi pori mikro di dalam beton, sehingga memperkecil rongga dan meningkatkan kepadatan matriks beton. Penelitian oleh Arman dkk. (2024) serta Wicaksono dkk. (2018) menunjukkan bahwa penambahan silica fume dalam kadar rendah hingga menengah bisa meningkatkan kekuatan tekan beton yang signifikan. Hal ini disebabkan *silica fume* tidak hanya bekerja sebagai pengisi, tetapi juga sebagai pozzolan yang sangat reaktif, yang mempercepat pembentukan C–S–H dan meningkatkan zona transisi antar muka (ITZ) antara agregat dan pasta semen.

Kombinasi penggunaan abu daun bambu dan *silica fume* dalam campuran beton bisa memberikan efek sinergis dalam meningkatkan kekuatan tekan. Abu daun bambu berperan sebagai pozzolan sekunder yang membantu mengurangi penggunaan semen dan meningkatkan keberlanjutan beton, sedangkan silica fume meningkatkan kualitas struktur mikro beton secara signifikan. Kehadiran silica fume juga bisa mengompensasi penurunan kekuatan tekan akibat penggunaan abu daun bambu dalam kadar tinggi dengan meningkatkan kepadatan pasta semen dan memperkuat ikatan antar partikel. Dengan demikian, beton yang mengandung

kedua bahan tersebut memiliki struktur yang lebih padat, porositas yang lebih rendah, dan kemampuan menahan beban tekan yang lebih baik.

2.4 Workability

Workability merupakan sifat beton segar yang mencakup seluruh aspek kemudahan dalam proses pengerjaan, mulai dari pemilihan material penyusun, pencampuran, pengangkutan, pengecoran, pemadatan, hingga proses *finishing*.

Workability beton merupakan tingkat kemudahan dalam menangani beton segar, mulai dari proses pencampuran, pengangkutan, hingga pengecoran ke lokasi yang telah ditentukan. Sifat ini menunjukkan kemampuan beton untuk dicampur, dipindahkan, dan dikerjakan tanpa mengalami segregasi atau kehilangan homogenitas, sehingga seluruh bahan penyusun tetap tercampur secara merata.

Pada umumnya, *workability* beton diklasifikasikan ke dalam tiga karakteristik utama yang digunakan sebagai parameter untuk menilai kemudahan pengerjaan beton segar, yaitu:

1. Konsistensi, yaitu tingkat kekentalan atau kemudahan alir beton segar yang dipengaruhi oleh komposisi campuran, sifat fisik semen, agregat, serta jumlah air yang digunakan.
2. Mobilitas, yaitu kemampuan beton segar untuk dicampur, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa mengalami segregasi atau kehilangan homogenitas selama proses pengerjaan.
3. Kompaktibilitas, yaitu kemampuan beton segar untuk dipadatkan sehingga dapat mengisi seluruh rongga cetakan dan membungkus tulangan secara sempurna. Untuk memperoleh *workability* yang baik diperlukan kadar semen yang memadai, penggunaan agregat dengan kualitas yang baik, proporsi agregat kasar yang sesuai, serta jumlah air yang cukup. Selain itu, distribusi ukuran partikel yang seimbang akan menghasilkan campuran beton yang lebih plastis dan mudah dikerjakan.

Kekakuan beton sangat bergantung pada jenis bahan campuran yang digunakan. Semakin banyak bahan agregat kasar yang terdapat dalam campuran beton, maka semakin rendah tingkat kekakuan beton tersebut. Namun, adanya

agregat kasar dalam campuran beton sangat penting untuk mengisi bagian yang kosong agar beton dapat menahan beban yang besar.

Workability beton juga dipengaruhi oleh proses hidrasi dan laju penguapan air dari campuran beton segar. Semakin tinggi suhu lingkungan, semakin cepat proses penguapan air yang terjadi, sehingga *workability* beton cenderung menurun.

Tabel 2. 5: Toleransi Waktu Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur Pengujian	Toleransi Waktu
24 jam	0,5 jam atau 2,1%
3 hari	2 jam atau 2,8%
7 hari	6 jam atau 3,6%
28 hari	20 jam atau 3,0%
90 hari	48 jam atau 2,2%

Sumber : (ASTM C-39, 2003)

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh umur beton. Seiring bertambahnya umur, kuat tekan beton akan terus meningkat akibat berlangsungnya proses hidrasi semen. Peningkatan kekuatan berlangsung paling cepat hingga beton mencapai umur 28 hari, kemudian laju peningkatannya cenderung melambat. Pada konstruksi yang memerlukan kuat tekan awal yang tinggi, dapat digunakan semen dengan karakteristik khusus atau ditambahkan bahan tambah kimia untuk mempercepat perkembangan kekuatan beton, (Rhobani, 2018).

Pengujian kuat tekan beton umumnya dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Nilai kuat tekan pada umur tertentu dapat digunakan untuk memperkirakan kuat tekan rencana dengan mengacu pada koefisien perkembangan kuat tekan sesuai dengan umur beton.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian dalam tugas akhir ini menggunakan metode penelitian, yaitu metode yang dilakukan melalui serangkaian percobaan untuk memperoleh data yang selanjutnya dianalisis guna mencapai tujuan penelitian. Tahap awal penelitian diawali dengan memperoleh persetujuan dari Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara untuk melaksanakan penelitian yang berjudul "Pengaruh Penambahan Abu Daun Bambu dan *Silica Fume* sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton." Selanjutnya dilakukan studi literatur dengan mengumpulkan berbagai referensi yang relevan, seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, dan hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan abu daun bambu, *silica fume*, teknologi beton, serta metode pengujian dan perawatan beton.

Penelitian eksperimen ini dilaksanakan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Pengujian kuat tekan terhadap benda uji kemudian dilakukan di Laboratorium Universitas Sumatera Utara. Dalam penelitian ini, metodologi penelitian digunakan sebagai pedoman dalam proses pengumpulan data agar pelaksanaan penelitian berlangsung secara sistematis dan terarah.

3.1.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui pengujian dan pengamatan di laboratorium. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Analisis saringan agregat berdasarkan SNI ASTM C136:2012.
2. Pengujian berat jenis dan daya serap air agregat kasar berdasarkan SNI 1970:2016.
3. Pengujian berat jenis dan daya serap air agregat halus berdasarkan SNI 1970:2016.
4. Pengujian berat isi agregat berdasarkan SNI 1973:2008.

5. Pengujian kadar air agregat berdasarkan SNI 1971:2011.
6. Pengujian kadar lumpur agregat berdasarkan SNI 03-4142-1996.
7. Perancangan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 7656:2012.
8. Pembuatan dan perawatan benda uji beton berdasarkan SNI 2393:2011.
9. Pengujian nilai slump beton segar berdasarkan SNI 1972:2008.
10. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974:2011.

3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari berbagai sumber referensi yang relevan dengan penelitian, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI), buku, artikel ilmiah, jurnal, serta hasil konsultasi dengan dosen pembimbing. Data tersebut digunakan sebagai landasan teori dan acuan dalam pelaksanaan penelitian mengenai pembuatan beton. Adapun standar SNI yang dijadikan pedoman dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

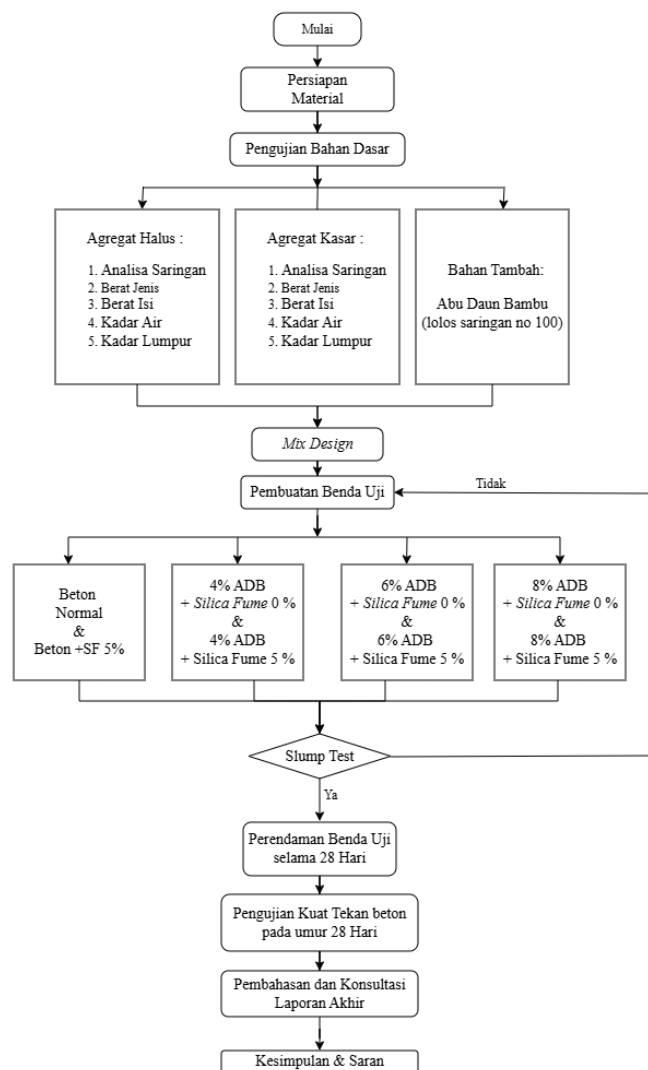
1. Peraturan SNI 03-2834-2000 tentang tata cara perancangan campuran beton normal.
2. Peraturan SNI 1974-2011 tentang metode pengujian kuat tekan beton.

3.2 Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu daun bambu sebagai bahan pengganti sebagian semen dan *silica fume* terhadap kualitas beton dengan metode perawatan melalui perendaman air pada umur beton 14 dan 28 hari. Untuk mencapai tujuan penelitian tersebut, dilakukan beberapa tahapan pelaksanaan yang disusun secara sistematis dalam bentuk diagram alir penelitian.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan informasi melalui studi literatur dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang digunakan sebagai dasar teori serta acuan penelitian. Selanjutnya dilakukan persiapan alat dan bahan yang diperlukan dalam proses penelitian. Setelah itu, dilakukan pengujian karakteristik material penyusun beton, meliputi agregat kasar dan agregat halus, dengan beberapa pengujian seperti analisis saringan, berat jenis, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur. Setelah seluruh material memenuhi

persyaratan pengujian, tahap berikutnya adalah melakukan perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 7656:2012. Beton yang telah dibuat kemudian dilakukan pengujian *slump test* untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton segar. Apabila hasil pengujian memenuhi standar yang ditentukan, benda uji beton selanjutnya dilakukan proses perawatan (*curing*) dengan metode perendaman menggunakan air tawar. Setelah mencapai umur 14 dan 28 hari, benda uji dilakukan pengujian kuat tekan beton. Seluruh tahapan pelaksanaan penelitian tersebut disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 : Diagram Alir Penelitian

3.3 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian

Eksperimen bertempat di Laboratorium Beton Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan. Waktu penelitian ini direncanakan dilakukan pada bulan April-Juli 2025.

3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

Agar memperoleh hasil percobaan yang optimal, diperlukan penggunaan peralatan dan bahan berkualitas yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Berikut ini 23 adalah daftar peralatan dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini.

3.4.1 Peralatan

Adapun peralatan yang saya gunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1: Peralatan Pembuatan Benda Uji

No	Nama Alat	Fungsi
1	Concrete Compression Mechine	Menguji kuat tekan beton
2	Saringan Agregat Kasar	Memisahkan agregat kasar sesuai ukuran
3	Saringan Agregat Halus	Memisahkan agregat halus sesuai ukuran
4	Timbangan digital	Untuk menimbang benda uji
5	Ember	Wadah saat penyimpanan benda uji
6	Pan	Wadah saat menyaring agregat
7	Kerucut Abrams	Uji slump test
8	Skrap	Meratakan campuran beton
9	Cetakan silinder	Mencetak benda uji
10	Mixer Beton	Membuat campuran beton
11	Tongkat Penumbuk	Memadatkan benda uji
12	Mixer Beton	Membuat campuran beton
13	Sendok semen	Meratakan campuran beton saat diletakkan pada cetakan
14	Sekop tangan	Mengaduk dan memasukkan agregat ke dalam cetakan

Tabel 3. 1 *Lanjutan*

No	Nama Alat	Fungsi
15	Plastik	Sebagai wadah agregat yang telah disaring
16	Triplek Ukuran 1x2 meter	Alas dalam pengujian slump test
17	Gelas Ukur	Mengukur takaran air
18	Oven	Mengeringkan agregat kasar dan halus
19	Sarung Tangan	Melindungi tangan
20	Penggaris	Mengukur slump test

3.4.2 Bahan

Mengacu pada ketentuan SNI 03-2834-2002, berikut adalah bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Semen Portland

Penelitian ini menggunakan semen Portland tipe I sebagai bahan pengikat utamanya. Setelah pemeriksaan pada semen ini, ditemukan bahwa semen ini tidak menggumpal, berwarna abu abu dan halus.

2. Agregat Kasar dan Agregat Halus

Dalam penelitian ini, agregat halus dan agregat kasar diambil dari daerah Binjai. Agregat halus digunakan setelah disaring menggunakan saringan nomor 4, sedangkan Penelitian ini memanfaatkan batu pecah dengan ukuran maksimal 20 mm sebagai agregat kasar.

3. Air

Air yang digunakan untuk benda uji diperoleh dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam percobaan ini, air berfungsi dalam proses pengolahan semen menjadi pasta semen yang mampu mengikat agregat serta mengeras setelah proses pengecoran beton.

4. Abu Daun Bambu

Abu Daun bambu yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari pembakaran daun bambu duri yang didapatkan dari online shop.

5. Silica fume

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini Adalah silica fume yang didapatkan dari online shop.

3.5 Desain Dan Jumlah Benda Uji

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. dengan persentase abu Daun bambu 4%,6% dan 8%. Serta persentase Silica Fume 5%.

Tabel 3. 2 : Komposisi Campuran Dan Perendaman Benda Uji

Umur Benda Uji	Persentase Kombinasi Abu Daun Bambu dan Silica Fume					
	Kode	Semen	Faktor Air Semen	Abu Daun Bambu	Silica Fume	Jumlah
28 Hari	BN	100%	0,50	0%	0%	3
	ADB 4%	96%	0,50	4%	0%	3
	ADB 6%	94%	0,50	6%	0%	3
	ADB 8%	92%	0,50	8%	0%	3
	SF 5%	95%	0,50	0%	5%	3
	ADB 4%+SF 5 %	91%	0,50	4%	5%	3
	ADB 6%+SF 5%	89%	0,50	6%	5%	3
	ADB 8%+SF 5%	87%	0,50	8%	5%	3
Jumlah						24

Keterangan :

BN : Beton Normal

ADB : Abu daun bambu lolos saringan No.100

SF : Silica Fume

3.6 Persiapan Penelitian

Setelah semua bahan sampai di tempat, bahan-bahan tersebut dipisahkan berdasarkan jenisnya agar proses penelitian lebih mudah dan menghindari

kemungkinan terkontaminasi oleh bahan lain yang bisa memengaruhi kualitasnya. Selain itu, bahan yang kotor dibersihkan dari tanahnya, sedangkan bahan yang basah dikeringkan dengan cara dijemur. Langkah ini harus dilakukan sebelum memulai penelitian agar semua bahan yang digunakan dalam penelitian dalam kondisi bersih dan terhindar dari gangguan kotoran yang bisa menambah berat bahan atau merusak kualitasnya.

3.7 Tahapan Pengujian

Untuk mendapatkan hasil yang tepat, dilakukan beberapa tahapan pengujian terhadap bahan dan material menggunakan metode yang sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan standar pengujian. Tahapan-tahapan pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

3.7.1 Pengujian Analisa Saringan

Menurut SNI ASTM C136-2012, urutan langkah dalam pengujian analisa saringan agregat adalah sebagai berikut:

- a. Bahan uji dikerjakan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ \text{C}$ sampai beratnya tidak berubah atau tetap.
- b. Saring sampel melalui susunan saringan, dengan saringan berukuran terbesar berada di bagian atas dan saringan terkecil di bagian bawah. Masukkan agregat dari bagian atas saringan, lalu tutup saringan dengan penutupnya. Guncang saringan selama 15 menit dengan tangan atau mesin pengguncang agar hasil ayakan terpisah secara merata dan benar-benar terpisah.
- c. Setelah saringan selesai, hitung persentase benda sampel yang tertahan diatas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji.

3.7.2 Pengujian Spesific Gravity Agregat (Berat Jenis)

Berat jenis agregat adalah pengujian yang mengukur perbandingan antara massa dan volume material. Penyerapan menunjukkan seberapa banyak air yang bisa diserap oleh material tersebut. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dalam beberapa kondisi, yaitu berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat

jenis semu (Apparent), berat jenis kering oven (Bulk), serta penyerapan air pada pasir dan abu batu yang akan digunakan dalam campuran beton. Dalam pengujian ini, baik agregat kasar maupun halus menggunakan standar SNI 1970-2016.

1. Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)

Karakteristik berat jenis curah umumnya digunakan untuk menghitung volume agregat dalam berbagai campuran yang terdiri dari agregat, seperti semen, aspal, dan campuran lainnya yang dibuat atau dianalisis berdasarkan volume absolut. Perhitungannya dilakukan dengan cara berikut:

a. Agregat Halus

$$\text{Berat jenis curah (Sd)} = \frac{A}{B+S-C}$$

Keterangan :

A : Berat benda uji dalam kondisi kering (Gr)

B : Berat piknometer yang telah diisi air (gr)

C : Berat piknometer yang berisi benda uji dan air hingga mencapai batas pembacaan (gr)

S : Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*)(gr)

b. Agregat Kasar

$$\text{Berat jenis curah (Sd)} = \frac{A}{B-C}$$

Keterangan :

A : Berat benda uji kering oven (gr)

B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan udara (gr)

C : Berat benda uji dalam air (gr)

2. Berat Jenis Jenuh (Bulk Gravity SSD)

Perbandingan berat air suling bebas gelembung di udara dengan volume dan suhu yang sama, dibandingkan dengan berat satuan volume yang terdapat

dalam rongga setelah direndam selama 15 hingga 19 jam. Perhitungannya Adalah sebagai berikut:

a. Agregat Halus

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan } (S_s) = \frac{A}{B+S-C}$$

Keterangan :

A : Berat Benda Uji Kering (Gr)

B : Berat benda piknometer berisi air (gr)

C : Berat benda piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr)

S : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gr)

b. Agregat Kasar

$$\text{Berat Jenis Curah } (S_a) = \frac{B}{B-C}$$

Keterangan :

B : Berat benda uji dalam kondisi jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry/SSD*) di udara (gr)

C : Berat benda uji saat ditimbang di dalam air (gr)

3. Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)

Perbandingan berat bagian per satuan volume terhadap berat di udara pada air suling yang bebas gelembung, dengan volume dan suhu yang sama, dihitung dengan cara berikut :

a. Agregat Halus

$$\text{Berat Jenis Semu } (S_a) = \frac{A}{B+A-C}$$

Keterangan :

A : Berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven (gr)

B : Berat piknometer yang telah diisi air (gr)

C : Berat piknometer yang berisi benda uji dan air hingga mencapai batas pembacaan (gr)

b. Agregat Kasar

$$\text{Berat Jenis Semu } (S_a) = \frac{A}{A-C}$$

A : Berat benda uji kering oven (gr)

C : Berat benda uji dalam air (gr)

4. Penyerapan(Absorption)

Perbandingan berat bagian per satuan volume dibandingkan berat di udara pada air suling yang bebas gelembung, dengan volume dan suhu yang sama, dihitung sebagai berikut:

a. Agregat Halus

$$\text{Penyerapan } (A_w) = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100 \%$$

Keterangan :

A : Berat Benda Uji Kering Oven (gr)

S : Berat Benda Uji kondisi kering permukaan(gr)

b. Agregat Kasar

$$\text{Penyerapan } (A_w) = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100 \%$$

Keterangan :

A : Berat benda uji kering oven (gr)

B : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gr)

3.7.3 Pengujian Berat Isi

Berat isi adalah cara mengukur perbandingan antara berat agregat dan volumenya. Berat isi ini penting untuk menghitung campuran beton, terutama ketika bahan diukur berdasarkan volume. Dengan mengetahui berat isi, kita juga bisa memahami sifat-sifat fisik dan mekanik bahan tersebut serta pengaruhnya secara tepat (Hidayat et al., 2021). Rumus berat isi adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Keterangan :

D : Berat isi beton (kg/m³)

M_c : Berat wadah ukur yang diisi beton (kg)

M_m : Berat Wadah Ukur (Kg)

V_m : Volume wadah ukur (m³)

Alat, bahan, dan cara melakukan pengujian mengikuti SNI 1973:2008 serta panduan praktikum beton dari program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara terkait berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Langkah-langkah dalam percobaan mengukur berat isi agregat adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Menimbang dan mencatat berat wadah.
3. Mengukur tinggi dan berat wadah.
4. Mencari volume wadah.
5. Mengisi wadah dengan agregat setinggi 1/3 dari wadah kemudian merojoknya 25 kali lalu isi 1/3 lagi dan merojoknya 25 kali kemudian isi penuh wadah.
6. Meratakan permukaan benda uji dengan mistar perata.
7. Menimbang dan mencatat berat wadah beserta isinya.
8. Menghitung berat isi berdasarkan data yang diperoleh.

3.7.4 Pengujian Kadar Air

Kadar air agregat adalah perbandingan antara berat isi yang ada dalam agregat saat dalam kondisi kering dengan berat isi agregat yang sama saat dalam kondisi kering, dimana hasilnya dinyatakan dalam bentuk persen (%). Berikut adalah cara menghitung kadar air berdasarkan metode uji yang tercantum dalam SNI 1971-2011:

$$P = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

Keterangan :

P : Kadar Air benda uji (%)

W1 : Berat sampel SSD + berat wadah

W2 : Berat wadah

3.7.5 Pengujian Kadar Lumpur

Uji kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak lumpur yang ada dalam agregat pasir. Jika kadar lumpur terlalu tinggi, maka ikatan antara agregat dan semen akan menjadi lemah, sehingga mengurangi daya tahan beton. Tingkat lumpur dalam agregat disebut dengan kadar lumpur. Rumus untuk menghitung kadar lumpur adalah sebagai berikut :

1. Berat sampel kering (A)
2. Berat sampel kering setelah dicuci (B)
3. Berat kotoran agregat lolos saringan No.100 setelah dicuci
(C) = A-B

Persentase Kotoran Agregat lolos saringan No.100 Setelah Dicuci

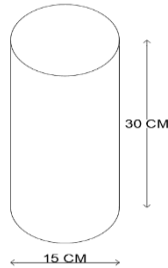
$$(D) = \frac{C}{A} \times 100\%$$

Prosedur percobaan kadar lumpur agregat adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan.
2. Mengambil contoh sampel agregat kasar dan agregat halus.
3. Menyaring benda uji menggunakan saringan.
4. Menimbang berat benda uji.
5. Mencuci contoh bahan dengan air bersih, lalu digantung hingga beratnya tetap konstan. Setelah itu, menimbang kembali.
6. Mengayak agregat halus dan agregat kasar.
7. Menyiapkan bahan yang diperlukan.
8. Memindahkan contoh bahan ke dalam wadah, lalu memasukkan wadah tersebut ke dalam oven dengan suhu 100 ± 5 derajat Celsius selama 24 jam.

3.8 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa silinder dengan ukuran 15 cm untuk lebar dan 30 cm untuk tinggi. Gambar 3.2 menampilkan ilustrasi dari benda uji tersebut.



Gambar 3. 2 : Ilustrasi Benda Uji.

3.9 Slump Test

Alat, bahan, dan cara kerja pengujian mengikuti SNI 1972:2008 dan mengikuti buku panduan praktikum beton program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang slump test. Prosedur percobaan slump test adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan.
2. Letakkan kerucut abrams di atas papan.
3. Menekan pegangan dasar kerucut dengan kaki dan posisi yang membungkuk.
4. Mengisi kerucut dengan adukan beton sebanyak $\frac{1}{3}$ tinggi kerucut, lalu merojoknya dengan batang baja 25 kali di tempat yang berlainan.
5. Mengisi lagi $\frac{2}{3}$ tinggi kerucut dan merojoknya 25 kali.
6. Mengisi kerucut dengan adukan beton sampai penuh.
7. Merojoknya 25 kali lalu ratakan permukaannya.
8. Tunggu selama 30 detik kemudian angkat kerucut secara vertical dengan hati-hati sampai adukan beton terlepas.
9. Mengukur tinggi adukan beton dengan penggaris.
10. Selisih tinggi antara adukan beton dengan tinggi kerucut merupakan nilai slump.

11. Jika nilai slump yang didapat <3-6 cm maka belum memenuhi syarat yang ditetapkan.
12. Ulangi lagi langkah 4-10 jika belum memenuhi syarat.

3.10 Perendaman Benda Uji

Setelah beton selesai dibuat dan dikeluarkan dari cetakan, maka dilakukan perawatan benda uji dengan cara direndam dalam air. Perendaman beton dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan air laut dan air tawar. Air laut yang digunakan berasal dari daerah pesisir timur Sumatera Utara, khususnya dari wilayah Deli Serdang. Perawatan benda uji dilakukan sesuai dengan jumlah sampel yang tercantum pada tabel 3.2 agar bisa dibandingkan hasil perawatan dari kedua metode perendaman tersebut. Proses perendaman dilakukan hingga beton mencapai usia 28 hari, lalu dilakukan pengujian kuat tekan.

3.11 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besar gaya tekan yang diterima oleh benda uji beton per satuan luas, sehingga menyebabkan benda uji itu rusak ketika diberi beban tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. (Risdiyanto, 2013)

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan menggunakan mesin uji tekan (*compression testing machine*). Benda uji diletakkan tepat pada bagian tengah bidang tekan mesin agar beban terdistribusi secara merata. Selanjutnya, pembebanan diberikan secara bertahap dan kontinu hingga benda uji mengalami keruntuhan. Nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji ditunjukkan oleh mesin uji dalam satuan ton.

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P = Berat beban Maksimum (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

- a. Nilai rata-rata dari setiap tiga hasil pengujian kuat tekan berturut-turut harus sama dengan atau lebih besar daripada kuat tekan rencana (f_c').
- b. Tidak terdapat nilai kuat tekan yang diperoleh dari rata-rata dua benda uji silinder yang lebih rendah dari nilai kuat tekan rencana (f_c') dengan selisih melebihi 3,5 MPa.

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2011), pengujian kuat tekan beton tidak keluar dari batas waktu yang telah ditentukan. Batas waktu tersebut dijelaskan pada Tabel di bawah ini.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terhadap agregat kasar dan agregat halus penelitian mendapatkan data bahan berupa hasil analisis saringan, berat jenis, penyerapan, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur. Pemeriksaan dilakukan di laboratorium teknik sipil sesuai dengan panduan SNI mengenai pemeriksaan agregat serta mengacu pada buku panduan praktikum beton yang diterbitkan oleh Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4.1 Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar dilakukan agar bisa mengetahui sifat-sifat fisik dari agregat tersebut yang nantinya akan digunakan sebagai bahan pembuatan campuran beton. Agregat kasar adalah bagian penting dalam campuran beton yang membantu meningkatkan kekuatan, ketangguhan, dan kemampuan beton untuk bertahan terhadap tekanan. Oleh karena itu, agregat kasar yang digunakan harus memenuhi syarat kualitas sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) agar beton yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik.

Dalam penelitian ini, pemeriksaan agregat kasar mencakup beberapa jenis pengujian, antara lain analisis saringan, kadar air, berat jenis dan penyerapan air, berat isi, serta uji keausan agregat jika pengujian tersebut dilakukan. Hasil dari setiap pengujian digunakan sebagai bahan bukti dalam merancang campuran beton dan untuk memastikan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi standar teknis sebagai bahan pembentuk beton.

4.1.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian analisis gradasi agregat kasar — Spesifikasi ukuran maksimum 20 mm, Oktober 2018 Berdasarkan standar pengujian: SNI 03-1968-1990 Pengujian analisis ayakan agregat kasar, hasil gradasi agregat kasar disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar.

(SNI) (mm)	ASTM (in)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Total (gr)	Tertahan: (%)	Kumulatif	
						Tertahan: (%)	Persen Lolos (%)
38,1	1 ½"	0	0	0	0	0	100
19,1	¾"	56	53	109	5,45	5,45	94,55
9,52	⅜"	534	541	1075	53,75	59,20	40,80
4,75	No. 4	383	374	757	37,85	97,05	2,95
Pan		27	32	59	2,95	100,00	0
Jumlah		1000	1000	2000	100	646,95	253,05
FM (Modulus Kehalusan)		6,47					

Jumlah komulatif agregat tertahan (%) = 646,47 %

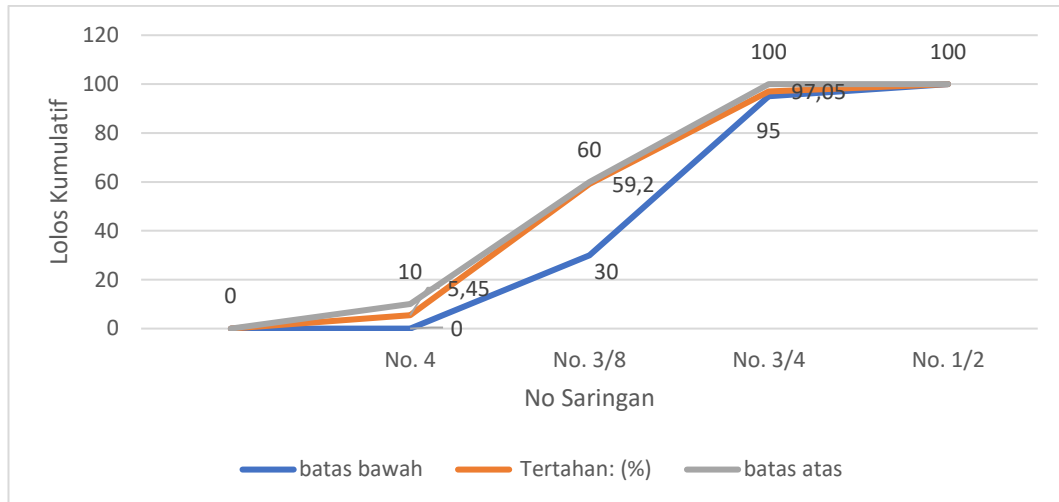
$$FM \text{ (Modulus Kehausan)} = \frac{\text{Jumlah Persentase Komulatif Tertahan}}{100} = 6,47 \%$$

Spesifikasi modulus kehalusan agregat kasar adalah 5,5 – 7,5. Maka hasil pemeriksaan memenuhi persyaratan. Selain menentukan nilai modulus kehalusan juga untuk mengetahui batas agregat kasar. Batas daerah gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.2 .

Tabel 4.2 : Daerah batas gradasi agregat kasar.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Lolos (%)		
	Gradasi Agregat		
	40 mm	20 mm	10 mm
76	100	-	-
38	95 - 100	100	-
19	37 - 70	95 - 100	100
9,6	10-40	30 - 60	50 - 85
4,8	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Berdasarkan hasil pengujian, agregat kasar berukuran maksimum 20 mm memenuhi batas gradasi dan cenderung bergradasi kasar.



Gambar 4.1: Grafik Gradasi Agregat kasar

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada hasil berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 4.3 : Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Nama Contoh		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Wt of SSD sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh)	A	1000	1000	1000
Wt of SSD sample in Water (Berat contoh (SSD) didalam air)	B	623	621	622
Wt of Oven Dry Sample (Berat contoh (SSD) kering oven (110°C) Sampai Konstan)	C	994,8	994,2	994,5
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat Jenis contoh kering)	$\frac{C}{A - B}$	2,639	2,623	2,631
Bulk Sp. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{A}{A - B}$	2,653	2,639	2,646
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)	$\frac{C}{C - B}$	2,676	2,664	2,670

Tabel 4.3 : *Lanjutan*

Nama Contoh		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Penyerapan air (%)	$\frac{A - C}{C} \times 100$	0,52	0,58	0,55

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, diperoleh berat rata-rata kondisi jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 1000 g. Nilai rata-rata *bulk specific gravity*, *SSD specific gravity*, dan *apparent specific gravity* masing-masing sebesar 2,646; 2,670; dan 2,670.

4.1.3 Berat Isi Agregat Kasar

Analisis berat isi agregat dalam penelitian ini menerapkan tiga metode standar, yakni cara tusuk, penggoyangan, dan lepas. Eksperimen tersebut menghasilkan data parameter berat isi agregat sebagai berikut.

Tabel 4.4: Tabel Berat Isi Agregat

Pengujian	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata	Satuan
Berat Contoh Kering (Netto)	20620	21350	19480	20483,33	gr
Berat Wadah Silinder	6475	6475	6475	6475	gr
Berat Contoh + Wadah	27095	27825	25955	26958	gr
Volume Wadah	10990	10990	10990	10990	cm ³
Berat Isi Agregat	1,88	1,94	1,77	1,86	gr/cm ³

4.1.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Hasil pengujian kadar air agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.5: Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Uraian		Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Berat Benda Uji + Berat Wadah	W1	gr	1450	1450
Berat Benda Uji	-	gr	1000	1000
Berat Benda Uji Kering Oven + Berat Wadah	W2	gr	1437	1435
Berat Air	W1 - W2	gr	13	15
Berat Wadah	W3	gr	450	450
Berat Contoh Kering	W2 - W3	gr	987	985
Kadar Air	$\left[\frac{w1 - w2}{w2 - w3}\right] \times 100\%$	%	1,32%	1,52%
Rata-rata	-	%	1,42%	

Analisis kadar air pada dua sampel agregat kasar menghasilkan nilai 1,32 % untuk sampel I dan 1,52 % untuk sampel II, dengan capaian nilai rata-rata sebesar 1,42 %.

4.1.5 Pemerikaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Analisa kadar lumpur agregat kasar berdasarkan SNI 03-4142-1996 menghasilkan nilai rata-rata sebesar 0,43 %. Sesuai ketentuan SK SNI S-04-1989-F, nilai tersebut dinyatakan memenuhi syarat karena berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, yaitu 1%. Agregat kasar hanya diwajibkan untuk dicuci kembali apabila kadar lumpurnya melebihi 1%. Rincian data hasil pengujian ini disajikan secara lengkap pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 6: Hasil nilai analisa kadar lumpur agregat kasar.

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Contoh Kering A (gr)	1500	1500	gr

Tabel 4.6 : *Lanjutan*

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Kering Setelah Dicuci B (gr)	1494	1493	gr
Berat Lolos Saringan No.200 Setelah Dicuci C (gr)	6	7	gr
Agregat Kasar Lolos Saringan No.200 Setelah dicuci (%)	0,40	0,47	%
Rata-rata Kadar Lumpur	0,43		%

4.2 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus dilakukan agar mengetahui sifat fisik dari bahan yang akan dipakai sebagai komponen dalam campuran beton. Sifat-sifat agregat halus sangat berpengaruh terhadap kualitas beton, khususnya dalam hal mudah tidaknya pekerjaan, jumlah air yang dibutuhkan, serta daya tahan dan kekuatan beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, sebelum digunakan dalam proses pencampuran, agregat halus harus diperiksa untuk memastikan bahwa bahan tersebut memenuhi syarat yang ditentukan dalam Standar Nasional Indonesia, (SNI).

Dalam penelitian ini, pemeriksaan terhadap agregat halus mencakup beberapa jenis pengujian, seperti analisis saringan, kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan kemampuan menyerap air, serta berat isi. Hasil dari setiap pengujian digunakan sebagai dasar dalam membuat rencana campuran beton dan untuk memastikan bahwa agregat halus yang digunakan memiliki kualitas yang memenuhi persyaratan teknis.

4.2.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan dilaksanakan dengan merujuk pada standar SNI 03-1968-1990 mengenai metode pengujian analisis saringan agregat halus. Adapun data hasil dari penelitian ini disajikan secara lengkap pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 7 : Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Ayakan (SNI)	ASTM (in)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Total (gr)	Tertahan (%)	Kumulatif	
						Tertahan: (%)	Persen Lolos (%)
4,75	No. 4	0	0	0	0	0	100
2,36	No. 8	163	166	329	16,45	16,45	83,55
1,18	No. 16	282	285	567	28,35	44,8	55,2
0,6	No. 30	224	221	445	22,25	67,05	32,95
0,3	No. 50	181	184	365	18,25	85,3	14,7
0,15	No. 100	88	83	171	8,55	93,85	6,15
Pan		62	61	123	6,15	100	0
Jumlah		1000	1000	2000	100	307,45	292,55
FM (Modulus Kehalusan)		3,07					

Berdasarkan Tabel 4.7 Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus maka diperoleh Nilai Modulus Halus Butir (MHB) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{FM (Modulus Kehalusan)} &= \frac{\text{Jumlah Kumulatif Tertahan (\%)}}{100} \\
 &= \frac{307,45}{100} \\
 &= 3,07
 \end{aligned}$$

Hasil uji analisis saringan digunakan untuk menentukan nilai modulus kehalusan dan gradasi agregat halus selain menentukan nilai modulus didapat sebesar 3,07. Adapun standar dan batasan daerah gradasi untuk agregat halus tersebut tertera pada Tabel 4.8.

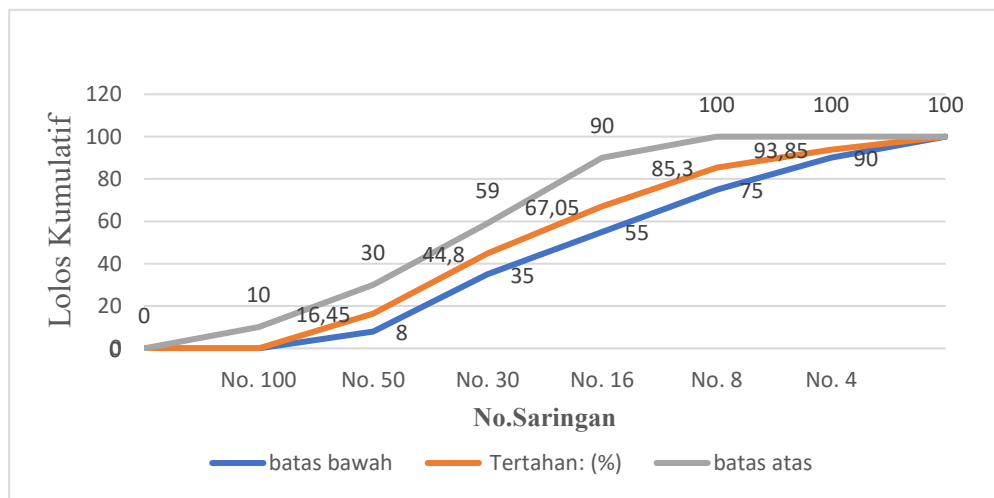
Tabel 4. 8: Daerah batas gradasi agregat halus.

Nomor Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Yang Lolos Saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
4	4,8	90-100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
8	2,4	60-95	75 - 10	85 - 100	95 - 100
16	1,2	30-70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
30	0,6	15-34	35 - 59	60 - 79	80 - 100

Tabel 4.8: *Lanjutan*

Nomor Saringan	Lubang Saringan (mm)	Persen Butiran Yang Lolos Saringan			
		Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
50	0,3	5-20	8-30	12-40	15 - 50
100	0,15	0-10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Berdasarkan Tabel 4.8, agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi Daerah II dan termasuk kategori pasir agak kasar. Hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 : Grafik Gradasi Agregat Halus

4.2.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pada hasil berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 4. 9: Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.

Uraian		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Wt of SSD Sample in Air (Berat contoh (SSD) kering permukaan jenuh)	B	500	500	500
Wt of Flask + Water (Berat Piknometer penuh air)	D	683	683	683

Tabel 4. 9 : *Lanjutan*

Uraian		Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Wt. of Flask + Water + Sample (Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air)	C	973	971	972
Wt. of Oven Dry Sample (Berat contoh kering oven (110° C) Sampai Konstan)	E	486,5	487,2	486,85
Bulk Sp. Gravity-Dry (berat jenis contoh kering)	$\frac{E}{(B + D - C)}$	2,32	2,30	2,307
Bulk SP. Gravity-SSD (Berat jenis contoh SSD)	$\frac{B}{(B + D - C)}$	2,38	2,36	2,370
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh semu)	$\frac{E}{(E + D - C)}$	2,48	2,45	2,461
Absorption	$\frac{(B - E)}{E} \times 100\%$	2,77%	2,63%	2,700

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dari dua sampel, diperoleh berat rata-rata kondisi jenuh kering permukaan (SSD) sebesar 500 g. Nilai rata-rata *bulk specific gravity*, *SSD specific gravity*, dan *apparent specific gravity* masing-masing sebesar 2,31; 2,37; dan 2,66.

4.2.3 Berat Isi Agregat Halus

Analisis berat isi agregat dalam penelitian ini menerapkan tiga metode standar, yakni cara tusuk, penggoyangan, dan lepas. Eksperimen tersebut menghasilkan data parameter berat isi agregat sebagai berikut.

Tabel 4. 10 : Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus.

Pengujian	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Penggoyangan	Rata-rata	Satuan
Berat Contoh Kering (Netto)	19120	21850	20130	20367	gr
Berat Wadah Silinder	6475	6475	6475	6475	gr
Berat Contoh + Wadah	25595	28325	26605	26842	gr
Volume Wadah	10990	10990	10990	10990	cm ³
Berat Isi Agregat	1,74	1,99	1,83	1,85	gr/cm ³

4.2.4 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Berdasarkan peraturan SNI 1971:2011 dan Buku Panduan Praktikum Program Studi Teknik Sipil UMSU mengenai pengujian kadar air agregat kasar dan halus, pemeriksaan sifat fisis agregat halus telah selesai dilaksanakan. Rekapitulasi hasil pengujian kadar air tersebut tertera pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 11: Hasil pengujian kadar air agregat halus.

Uraian		Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Berat Benda Uji + Berat Wadah	W1	gr	835	840
Berat Benda Uji	-	gr	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven + Berat Wadah	W2	gr	822	825
Berat Air	W1 - W2	gr	13	15
Berat Wadah	W3	gr	335	340
Berat Contoh Kering	W2 - W3	gr	487	485
Kadar Air	$\left[\frac{w1 - w2}{w2 - w3} \right] \times 100\%$	%	2,67%	3,09%
Rata-rata	-	%	2,88%	

Dari hasil pengujian kadar air agregat halus didapatkan nilai sampel 1 dan sampel 2 sebesar 2,67 % dan 3,09 % maka didapatkan nilai rata ratanya 2,88 %.

4.2.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 12: Hasil pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus.

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat Contoh Kering A (gr)	1000	1000	gr
Berat Kering Setelah Dicuci B (gr)	976	969	gr
Berat Lolos Saringan No.200 Setelah Dicuci C (gr)	24	31	gr
Agregat Kasar Lolos Saringan No.200 Setelah dicuci (%)	2,40	3,10	%
Rata-rata Kadar Lumpur	2,75		%

Pengujian kadar lumpur agregat halus berdasarkan (SNI 03-4142-1996) menghasilkan nilai rata-rata sebesar 2,75 % (di mana Sampel 1 sebesar 2.40% dan Sampel 2 sebesar 3.10 %). Kandungan tersebut memenuhi kriteria mutu (SK SNI S-04-1989-F)karena berada di bawah batas maksimum yang disyaratkan, yaitu 5%, sehingga agregat halus ini aman digunakan.

4.3 Perencanaan Campuran Beton Material Pembentuk Beton

Tahapan ini berfokus pada perhitungan rancang campur (mix design) material pembentuk beton. Tujuan utamanya adalah menghasilkan komposisi campuran yang memenuhi target kuat tekan rencana sekaligus menjaga nilai konsistensi atau kelecakan (workability) beton demi mempermudah proses pengerjaan (handling) di lapangan. Adapun rekapitulasi data hasil pengujian karakteristik material yang digunakan sebagai parameter dasar perhitungan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 13 : Data hasil pengujian pada agregat.

Keterangan	Nilai		Satuan
	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Modulus Kehalusan	3,07	6,47	%
Berat Jenis	2,46	2,67	gr/cm ³
Kadar Air	2,88	1,42	%
Kadar Lumpur	2,75	0,43	%
Berat Isi	1,85	1,86	%

Setelah mendapatkan data dari pengujian dasar pada agregat, nilai-nilai yang telah diperoleh akan digunakan untuk melakukan perhitungan campuran beton (Mix Design) yang diperlukan. Berikut merupakan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan perencanaan beton (Mix Design):

4.3.1 Mix Design Beton

Perhitungan *mix design* pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan mutu beton rencana sebesar 25 MPa. Tahapan perhitungannya disajikan sebagai berikut.

1. Kuat tekan direncanakan = 25 MPa
2. Deviasi standart

Penentuan faktor pengali deviasi standar dilakukan apabila jumlah data hasil uji kurang dari 15 sampel. Apabila data deviasi standar laboratorium tidak tersedia, maka digunakan nilai deviasi standar sesuai ketentuan yang berlaku. maka kuat tekan rata-rata target (f'_{cr}) ditetapkan tidak boleh kurang dari ($f'_c + 12$ MPa), dengan asumsi nilai margin (M) sebesar 12 MPa. Mengingat jumlah benda uji yang direncanakan dalam penelitian ini hanya sebanyak 12 sampel (kurang dari 15 sampel), maka nilai kuat tekan rata-rata perlu (f'_{cr}) secara otomatis wajib diambil tidak kurang dari rumus standar tanpa data, yaitu sebesar ($f'_c + 12$ MPa).

Tabel 4. 14 : Menetapkan nilai standar deviasi berdasarkan SNI 03-2847-2002.

Jumlah Pengujian	Faktor penggalan deviasi standart
Kurang dari 15	$f_c' + 12 \text{ Mpa}$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1

3. Menghitung Nilai Tambah Margin

Menghitung nilai tambah (Margin)

$$\begin{aligned}
 M &= 1,64 \times S \\
 &= 11,48 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

4. Menghitung Kuat Tekan Rata-Rata yang ditargetkan (f_{cr})

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= f_c' + M \\
 &= 25 + 11.48 \\
 &= 37 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

5. Semen yang digunakan

Semen Portland Tipe 1

6. Menentukan Jenis Agregat

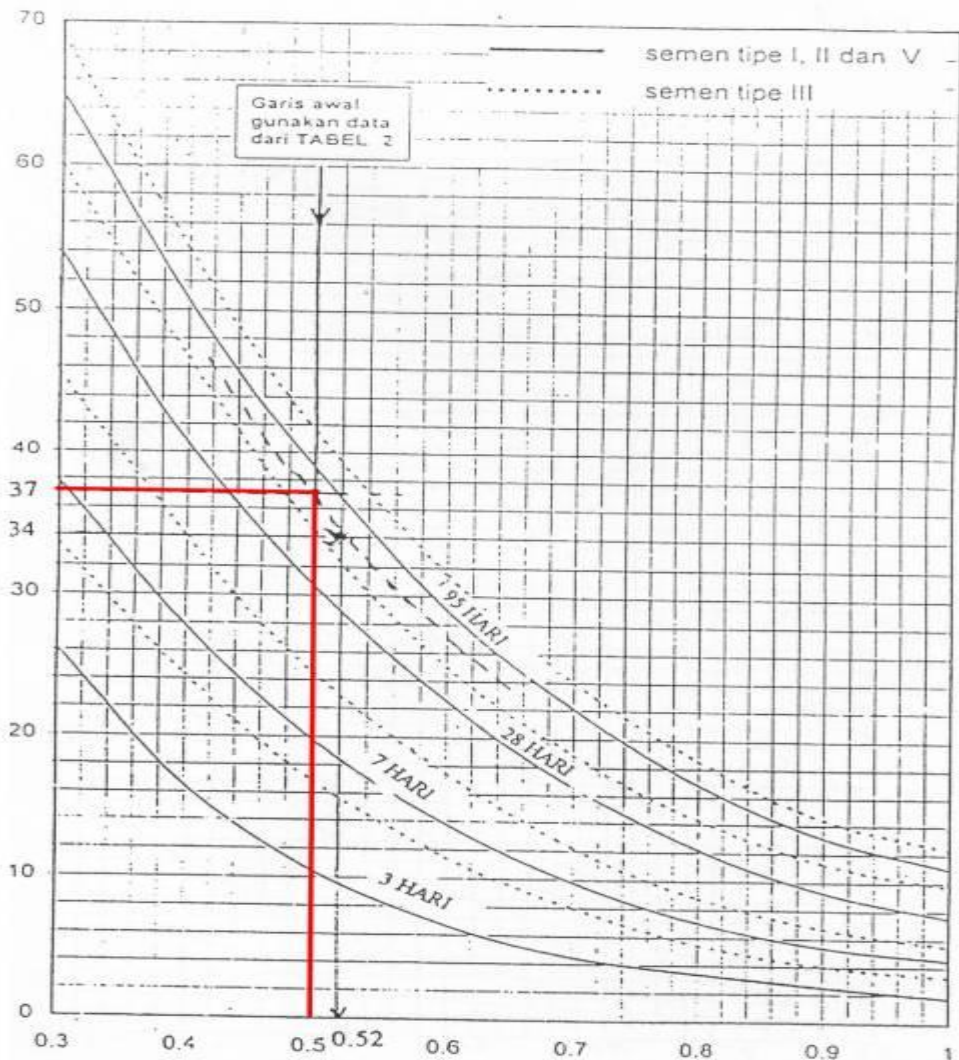
Agregat Kasar = Batu Pecah (binjai)

Agregat Halus = Pasir (binjai)

7. Menentukan Faktor Air Semen Bebas

Nilai faktor air semen (FAS) ditentukan berdasarkan kurva hubungan antara FAS dan kuat tekan beton rata-rata. Dengan kuat tekan rencana sebesar 37 MPa,

penggunaan semen Portland Tipe I, serta pengujian pada umur 28 hari menggunakan benda uji silinder, diperoleh nilai FAS sebesar



Gambar 4. 3:Grafik Hubungan Antara FAS dengan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata

8. Faktor Air Semen Maksimun

Ditetapkan 0,50 dikarenakan sebagai persyaratan jumlah dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembebanan dalam lingkungan khusus.

Tabel 4. 15: Persyaratan jumlah semen minimum dan faktor air semen maksimum

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (kg)	Nilai Faktor AirSemen 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	0,60
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
c. Tidak terlindung dari hujan dan Terik matahari langsung	325	0,55

Sumber : (SNI 03-2834, 2000).

9. Menentukan Nilai Slump

Tabel 4. 16: Tabel 4. 16: Perkiraan kadar air bebas

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

Sumber : (SNI 03-2834,2000).

Ukuran Slump yang digunakan Adalah dari 60-180 mm

Dimana :

Batu tidak pecah = 60

Batu pecah = 180

10. Penetapan Besar Butir Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum pada beton standar yaitu 20 mm.

$$\frac{3}{4}'' \times 2,54$$

$$= 20 \text{ mm}$$

11. Jumlah Kadar Air Bebas

1. Agregat tak dipecah oleh Tabel 4.16

2. Agregat campuran (tak dipecah), dihitung berdasarkan rumus dibawah ini:

$$\frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_h$$

Dimana :

W_h = perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

$$W_h = 195$$

$$W_k = 225$$

Perhitungan kadar air bebas:

$$W_{air} = \frac{2}{3} \text{agregat halus} + \frac{1}{3} \text{agregat kasar}$$

$$\begin{aligned} W_{air} &= \frac{2}{3}(195) + \frac{1}{3}(225) \\ &= 205 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

12. Jumlah Semen

Jumlah semen yang dibutuhkan per meter kubik dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Dimana :

$$W_{Semen} = \frac{1}{FAS} \times W_{air}$$

Fas = factor air semen per meter kubik beton

$$\begin{aligned} &= W_{Semen} = \frac{1}{0,50} \times 205 \\ &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

13. Jumlah Semen Maksimum

Jumlah semen maksimum ditetapkan dari hasil pada persamaan yaitu:

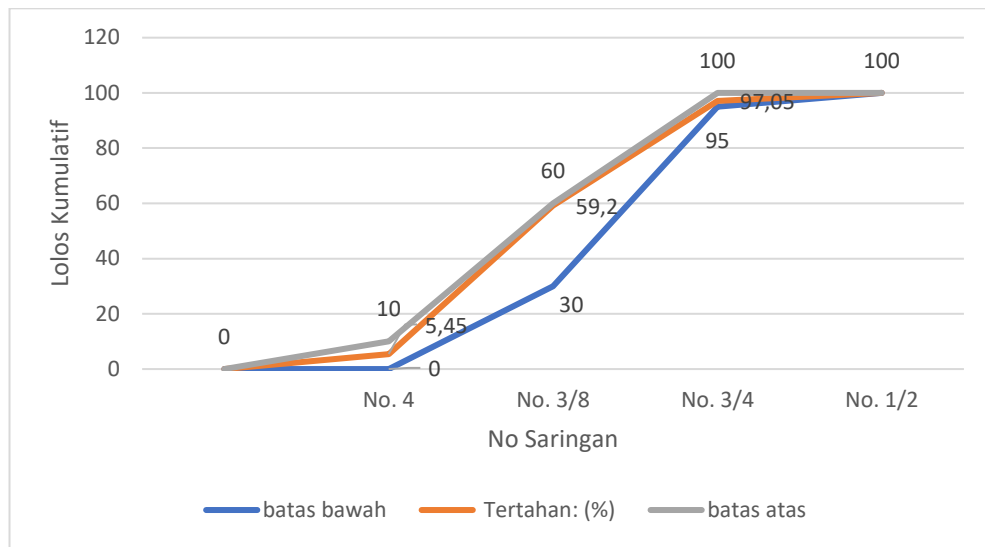
$$= 410 \text{ kg/m}^3$$

14. Jumlah Semen Minimum

Penentuan kadar semen minimum dan faktor air semen (FAS) maksimum didasarkan pada parameter kondisi lingkungan khusus yang merujuk pada Tabel 4.15. Berdasarkan ketentuan tersebut, untuk elemen beton di luar ruangan yang kondisinya terlindung dari air hujan dan terik matahari langsung, ditetapkan jumlah pemakaian semen minimum adalah sebesar 275 kg/m^3 .

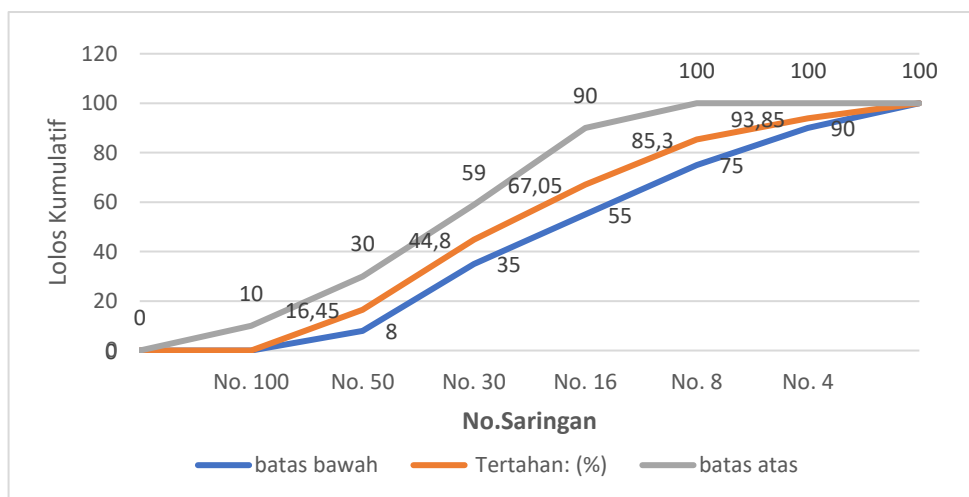
Faktor air semen yang disesuaikan ditetapkan dari point nomor 7 atau nomor 8 yang paling minimum yaitu 0,50

15. Susunan besar butir agregat kasar ditetapkan pada gradasi kerikil pada grafik



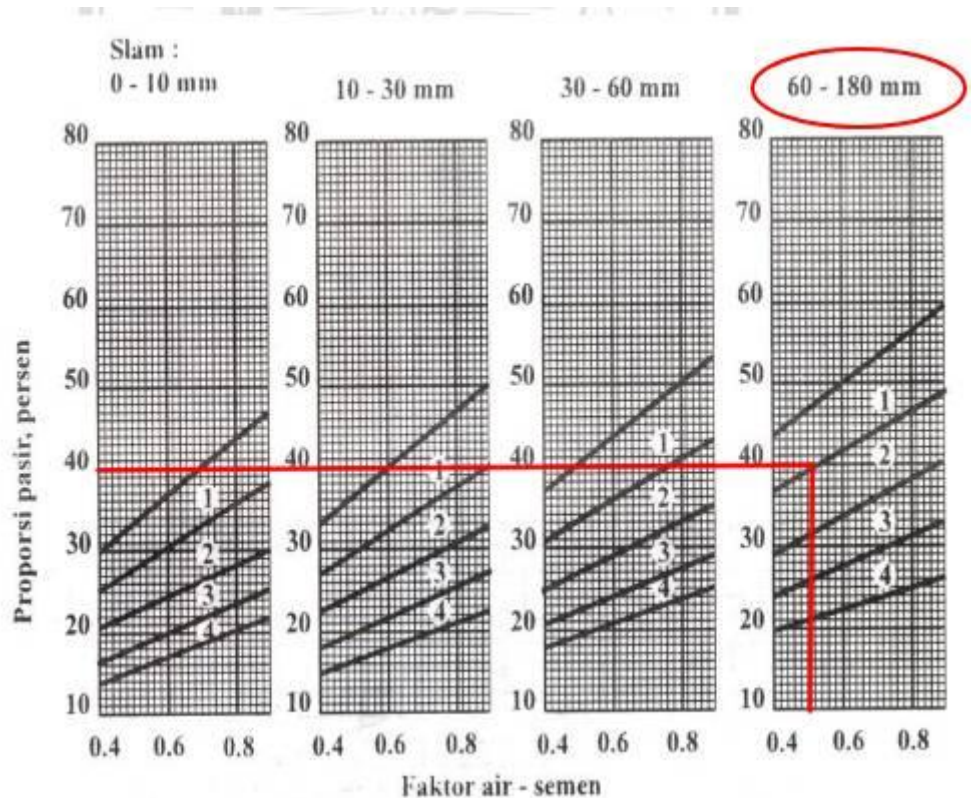
Gambar 4. 4: Grafik Gradasi Agregat Halus

16. Susunan besar butir agregat halus ditetapkan pada gradasi pasir pada grafik



Gambar 4. 5:Grafik Gradasi Agregat Halus

17. Persen Agregat Halus



Gambar 4. 6: Persen Agregat Halus

Dari tabel tersebut persen agregat agregat halus memiliki nilai 39 %

18. Berat jenis relatif agregat (kering permukaan)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis relative} &= (\text{B.Jenis Agregat Halus} \times \text{Persen Agregat Halus}) + \\
 &\quad (\text{B.Jenis Agregat Kasar} \times \text{Persen Agregat Kasar}) \\
 &= (2,37 \times 39 \%) + (2,63 \times 61 \%) \\
 &= 0,93 + 1,60 \\
 &= 2,53 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

19. Menentukan Berat Isi Beton

Penentuan berat isi beton teoritis dilakukan dengan mengacu pada grafik pada Gambar 4.7. dengan kadar air bebas sebesar 205 kg/m^3 dan nilai berat jenis

agregat gabungan sebesar 2,53, maka diperoleh nilai perkiraan berat isi beton segar sebesar 2290 kg/m³.

20. Menghitung Kebutuhan Agregat Campuran

Menghitung kebutuhan agregat sesuai dengan pers.

$$W_{\text{agregat campuran}} = W_{\text{beton}} - (W_{\text{air}} + W_{\text{semen}})$$

Dimana :

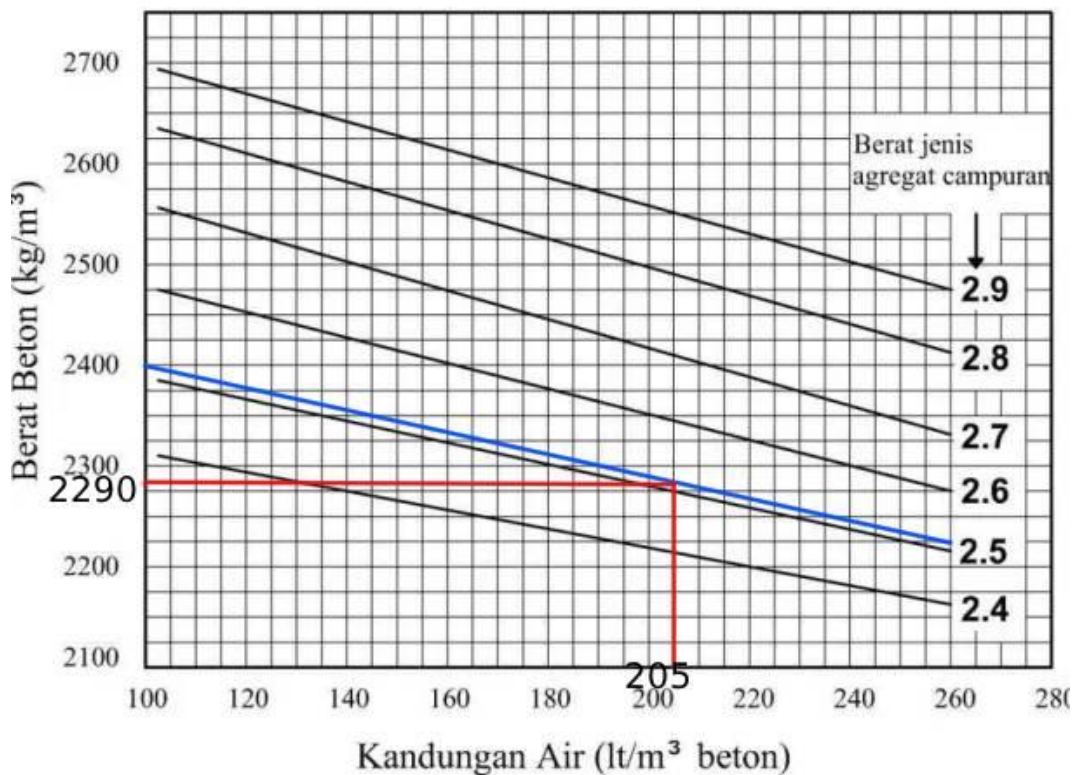
$W_{\text{agregat campuran}}$ = Kebutuhan berat agregat campuran beton (Kg/m³)

W_{beton} = Berat beton per meter kubik beton (Kg/m³)

W_{air} = Berat air per meter kubik beton (Kg/m³)

W_{semen} = Berat semen per meter kubik beton (Kg/m³)

Maka :



Gambar 4. 7: Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Isi Beton

$$\begin{aligned}
 W_{\text{agregat campuran}} &= W_{\text{beton}} - (W_{\text{air}} + W_{\text{semen}}) \\
 &= 2290 - (205 + 410) \\
 &= 1675 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

21. Hitung Berat Agregat Halus Yang Diperlukan

Menghitung kebutuhan agregat halus sesuai dengan pers.

$$W_{\text{agregat halus}} = KH \times W_{\text{agregat campuran}}$$

Dimana:

$$KH = \text{Persentase agregat halus terhadap agregat campuran}$$

$$W_{\text{agregat campuran}} = \text{Kebutuhan berat agregat campuran beton (Kg/m}^3\text{)}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{agregat halus}} &= 0,39 \times 1675 \\
 &= 654 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

22. Hitung Berat Agregat Kasar yang Diperlukan

Berdasarkan hasil Langkah pada tahap (18) dan (21). Kebutuhan agregat kasar dihitung dengan persamaan berikut :

$$W_{\text{agregat kasar}} = W_{\text{agregat campuran}} - W_{\text{agregat halus}}$$

Dimana:

$$W_{\text{agregat campuran}} = \text{Kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{\text{agregat halus}} = \text{Kebutuhan agregat halus per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{agregat kasar}} &= 1675 - 653.25 \\
 &= 1022 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

23. Proporsi Campuran

$$\text{Semen} = 410 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pasir} = 654 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Batu Pecah} = 1022 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Air} = 205 \text{ kg/m}^3$$

Kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m³ adukan

$$\begin{aligned} \text{a. Semen} &= \frac{410}{410} = 1 \\ \text{b. Pasir} &= \frac{654}{410} = 1.60 \\ \text{c. Batu pecah} &= \frac{1022}{410} = 2.49 \\ \text{d. Air} &= \frac{205}{410} = 0,5 \end{aligned}$$

24. Koreksi Proporsi Campuran.

Jika kondisi agregat aktual tidak berada dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD), proporsi campuran beton wajib dikoreksi terhadap kandungan airnya. Rumus yang digunakan untuk mengoreksi proporsi campuran tersebut adalah sebagai berikut:

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air (B)} &= 205 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Jumlah agregat halus (C)} &= 654 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Jumlah agregat kasar (D)} &= 1022 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Absorpsi air pada agregat halus (Ca)} &= 2,70 \\ \text{Kandungan air dalam agregat halus (Ck)} &= 2,88 \% \\ \text{Absorpsi air pada agregat kasar (Da)} &= 0,55 \\ \text{Kandungan air dalam agregat kasar (Dk)} &= 1,42 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air} &= B - (Ck - Ca) \times \frac{C}{100} - [(Dk - Da) \times \frac{D}{100}] \\ &= 205 - (2,88 - 2,70) \times \frac{654}{100} - [(1,42 - 0,55) \times \frac{1022}{100}] \\ &= 203,8 - 8,89 \\ &= 194,91 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \\ &= 654 + (2,88 - 2,70) \times \frac{654}{100} \\ &= 655.2 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agregat Kasar} &= D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 1022 + (1,42 - 0,55) \times \frac{1022}{100} \\ &= 1080.39 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Maka, untuk kebutuhan tiap m³ diperlukan :

$$\begin{aligned}\text{a. Semen} &= \frac{410}{410} = 1 \\ \text{b. Pasir} &= \frac{655.2}{410} = 1.59 \\ \text{c. Batu pecah} &= \frac{1080.39}{410} = 2.64 \\ \text{d. Air} &= \frac{194.91}{410} = 0.47\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil mix design beton normal mutu sedang, maka kebutuhan bahan untuk campuran beton dengan kebutuhan 1 m³ sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= 410 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Air} &= 194.91 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregat Halus} &= 655.2 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Agregat Kasar} &= 1080.39 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Rekapitulasi mix design beton dengan mutu 25 MPa menggunakan metode SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut.

Tabel 4. 17: Rekapitulasi mix design beton mutu 25 MPa

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan rencana (f_c)	25	Mpa
2	Deviasi Standart	$f_c + 12$ Mpa	Mpa
3	Nilai tambah	12	Mpa
4	Kuat tekan beton ditargetkan (f_{cr})	37	Mpa
5	Jenis semen	Tipe I	-
6	Jenis Agregat kasar dan halus	Batu Pecah dan pasir	-
7	Faktor air semen	0,5	-
8	Faktor air semen maksimum	195	-
9	Slump	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	20	mm
11	Kadar air bebas	205	Kg/m ³
12	Jumlah semen	410	Kg/m ³
13	Jumlah semen maksimum	410	Kg/m ³
14	Jumlah semen minimum	275	Kg/m ³
15	Faktor air semen yang disesuaikan	0,5	-
16	Susunan besar butir agregat halus	Zona 2	
17	Susunan agregat kasar gabungan	Zona no. 3/4	
18	Persen agregat halus	31%,69% Agregat kasar	
19	Berat jenis relative, agregat kering permukaan	2,53	gr
20	Berat isi beton	2290	Kg/m ³
21	Kadar air agregat gabungan	1675	Kg/m ³
22	Kadar air agregat halus	654	Kg/m ³
23	Kadar air agregat kasar	1022	Kg/m ³
24	Proporsi campuran semen : pasir : batu pecah : air	1 : 1,60 : 2,49 : 0,50	-
25	Koreksi proporsi campuran semen : pasir : batu pecah : air	1 : 1,59 : 2,64 : 0,47	-

4.3.2 Kebutuhan Beton

A. Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan

a. Tinggi $= 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$

b. Diameter $= 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \pi r^2 t \\ &= \frac{22}{7} \times \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka :

1. Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$= \text{Banyak semen} \times \text{Volume 1 benda uji}$$

$$= 410 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 2,173 \text{ kg}$$

Semen yang dibutuhkan untuk 3 benda uji

$$= 2,173 \times 3$$

$$= 6,519 \text{ kg}$$

2. Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

$$= \text{Banyak pasir} \times \text{Volume 1 benda uji}$$

$$= 655.2 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 3,47 \text{ kg}$$

Pasir yang dibutuhkan untuk 3 benda uji

$$= 3,47 \times 3$$

$$= 10,41 \text{ kg}$$

3. Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

= Banyak batu pecah x Volume 1 benda uji

$$= 1080.39 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 5,73 \text{ kg}$$

Batu Pecah yang dibutuhkan untuk 3 benda uji

$$= 5,73 \times 3$$

$$= 17,19 \text{ kg}$$

4. Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

= Banyak air x Volume 1 benda uji

$$= 194.91 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 1,03 \text{ kg}$$

Air yang dibutuhkan untuk 3 benda uji

$$= 1,03 \times 3$$

$$= 3,09 \text{ kg}$$

Proporsi campuran untuk 1 benda uji dengan volume $0,00583 \text{ m}^3$ dalam satuan kg adalah:

Semen	:	Pasir	;	Batu Pecah	:	Air
2,173	:	3.47	:	5,73	:	1,03

Total berat beton

= Semen + agregat halus + agregat kasar + air

$$= 2,173 + 3.47 + 5,73 + 1,03$$

$$= 12,403 \text{ kg}$$

Berdasarkan analisa saringan maka didapat berat untuk masing-masing 1 benda uji tertera pada Tabel 4.18 untuk agregat kasar dan Tabel 4.19 untuk agregat halus:

Tabel 4. 18:Analisa gradasi agregat kasar

Nomor Saringan	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{Jlh Agregat Kasar}$
38,1	0	0
19,1 (3/4 In)	5,45	0,312
9,52 (3/8 In)	53,75	3,080
4,75 (No 4)	37,85	2,169
Pan	2,95	0,169
Total	100	100

Tabel 4. 19: Analisa gradasi agregat halus

Nomor Saringan	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{Jlh Agregat Halus}$
4,75(No. 4)	0	0
2,36(No. 8)	16,45	0,615
1,18 (No 16)	28,35	1,060
0,6 (No 30)	22,25	0,832
0,3 (No 50)	18,25	0,683
0,15 (No 100)	8,55	0,320
Pan	6,15	0,230
Jumlah	100	100

Abu Daun Bambu dan Slica Fume

Pada penelitian ini, abu daun bambu digunakan sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi persentase sebesar 4%, 6%, dan 8% dari berat semen. Sementara itu, silica fume digunakan dengan proporsi tetap sebesar 5% yang dikombinasikan pada masing-masing variasi persentase abu daun bambu tersebut. Berat masing-masing variasi dijelaskan pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20: Jumlah abu daun bambu dan silica fume yang dibutuhkan untuk 1 benda uji silinder.

Persentase Banyaknya Abu Daun Bambu (%)	Banyaknya Abu Daun Bambu dari Berat Semen (kg)	Persentase Banyaknya Silica Fume (%)	Banyaknya Silica Fume dari Berat Semen (kg)
4	0,04	5	0,05
6	0,06	5	0,05
8	0,08	5	0,05

Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan untuk setiap variasi abu daun bambu (ADB) adalah sebanyak 6 benda uji silinder, sedangkan untuk setiap variasi silica fume (SF) digunakan sebanyak 4 benda uji silinder. Kebutuhan abu daun bambu (ADB) dan silica fume (SF) sebagai bahan pengganti sebagian semen adalah sebagai berikut:

1. ADB sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 4% dari berat semen. Berikut perhitungan ADB setiap 1 benda uji dengan variasi 4%:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4}{100} \times \text{Jumlah Semen} \\
 &= \frac{4}{100} \times 2,173 \text{ kg} \\
 &= 0,087 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. ADB sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 6% dari berat semen. Berikut perhitungan ADB setiap 1 benda uji dengan variasi 6%:

$$\begin{aligned}
 &= \frac{6}{100} \times \text{Jumlah Semen} \\
 &= \frac{6}{100} \times 2,173 \text{ kg} \\
 &= 0,130 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

3. ADB sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 8% dari berat semen. Berikut perhitungan ADB setiap 1 benda uji dengan variasi 8%:

$$= \frac{8}{100} \times \text{Jumlah Semen}$$

$$= \frac{8}{100} \times 2,173 \text{ kg}$$

$$= 0,174 \text{ kg}$$

4. Silica Fume sebagai pengganti sebagian semen dengan variasi 5% dari berat semen. Berikut perhitungan Silica Fume setiap 1 benda uji dengan variasi 5%:

$$= \frac{5}{100} \times \text{Jumlah Semen}$$

$$= \frac{5}{100} \times 2,173 \text{ kg}$$

$$= 0,108 \text{ kg}$$

5. Jumlah semen yang digunakan untuk 1 bunda uji beton variasi dengan ADB konstan 4 % , 6 % dan 8 % .

$$\begin{aligned} \text{Semen dengan 4 \% ADB} &= 2,173 - 0,087 \\ &= 2,086 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Semen dengan 6 \% ADB} &= 2,173 - 0,130 \\ &= 2,043 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Semen dengan 8 \% ADB} &= 2,173 - 0,174 \\ &= 1,999 \text{ kg} \end{aligned}$$

6. Jumlah semen yang digunakan untuk 1 bunda uji beton variasi dengan ADB konstan 4 % , 6 % dan 8 % + SF 5%.

$$\begin{aligned} \text{Semen dengan 4 \% ADB + SF 5\%} &= 2,173 - 0,087 - 0,108 \\ &= 1,978 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Semen dengan 6 \% ADB + SF 5\%} &= 2,390 - 0,1434 - 0,108 \\ &= 1,935 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Semen dengan 8 \% ADB + SF 5\%} &= 2,390 - 0,1912 - 0,108 \\ &= 1,891 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel 4. 21: Proporsi campuran beton dengan ADB dan Silica Fume

Variasi	Persentase Bahan Campuran		Proporsi Campuran Beton untuk 1 benda uji (kg)					
	ADB (%)	SF (%)	Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	ADB	SF
BN	0	0	2,173	3,47	5,73	1,03	0	0
ADB 4%	4	0	2,086	3,47	5,73	1,03	0,087	0
ADB 6%	6	0	2,043	3,47	5,73	1,03	0,130	0
ADB 8%	8	0	1,999	3,47	5,73	1,03	0,174	0
SF 5%	0	5	2,065	3,47	5,73	1,03	0	0,108
ADB 4%+SF 5%	4	5	1,978	3,47	5,73	1,03	0,087	0,108
ADB 6%+SF 5%	6	5	1,935	3,47	5,73	1,03	0,130	0,108
ADB 8%+SF 5%	8	5	1,891	3,47	5,73	1,03	0,174	0,108

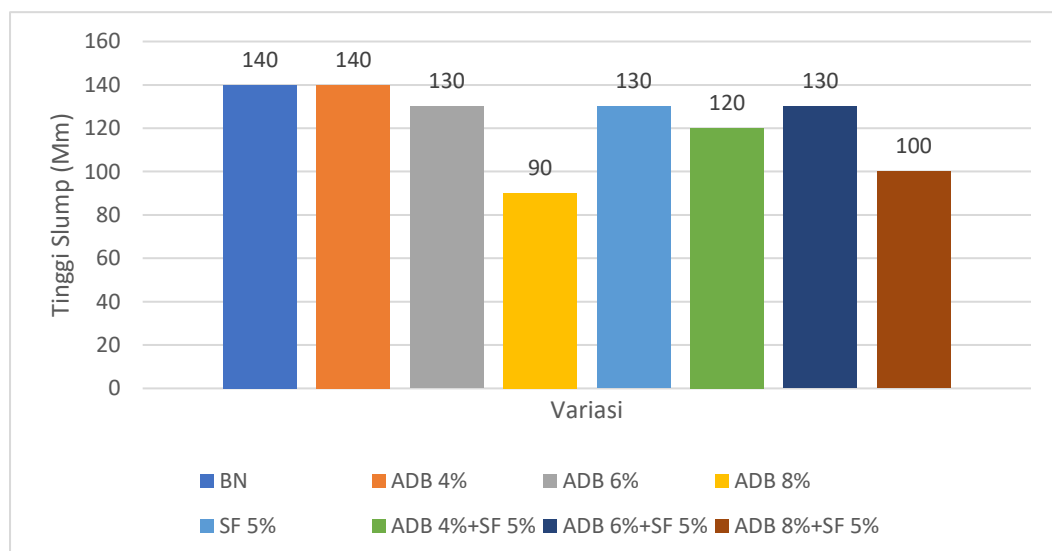
4.4 Hasil Pengujian Slump Test

Guna mengevaluasi tingkat kemudahan pengerjaan (workability) dari beton segar, pengujian slump test dilakukan pada 3 sampel benda uji untuk masing-masing variasi campuran, baik beton normal maupun beton modifikasi. Pengujian ini menggunakan alat cetak kerucut Abrams yang diisi adukan beton segar dalam 3 tahap pelapisan, di mana setiap lapisannya dipadatkan dengan cara ditusuk sebanyak 25 kali menggunakan tongkat pemadat standar. Setelah cetakan terisi penuh dan permukaannya diratakan, kerucut didiamkan selama 10 detik sebelum ditarik ke atas secara vertikal (tegak lurus). Nilai slump diperoleh dengan mengukur selisih penurunan tinggi dari beton segar tersebut setelah cetakan diangkat. Hasil pengukuran nilai slump untuk setiap variasi campuran dalam penelitian ini disajikan secara lengkap pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22: Hasil pengujian nilai slump

Variasi	Slump(mm)
BN	140
ADB 4%	140
ADB 6%	130
ADB 8%	90
SF 5%	130
ADB 4%+SF 5%	120
ADB 6%+SF 5%	130
ADB 8%+SF 5%	100

Berdasarkan hasil pengujian slump yang disajikan pada tabel perbandingan antara beton normal dan beton dengan variasi substitusi abu daun bambu (ADB) sebesar 4%, 6%, dan 8% serta *silica fume*, dapat diamati adanya kecenderungan penurunan nilai slump. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kelecakan (*workability*) beton yang mengandung ADB dan *silica fume* cenderung lebih rendah dibandingkan beton normal. Penurunan nilai slump tersebut diduga terjadi karena sebagian air dalam campuran diserap oleh partikel ADB yang memiliki sifat higroskopis atau mudah menyerap air. Selain itu, *silica fume* memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi sehingga menyebabkan kebutuhan air dalam proses pencampuran menjadi lebih besar.



Gambar 4. 8: Grafik Slump Test Beton

4.5 Hasil Analisa Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dalam penelitian ini dilakukan saat beton sudah berumur 28 hari. Hari dengan jumlah benda uji sebanyak 3 untuk setiap variasi. Pengujian kuat tekan beton pada Penelitian ini menggunakan mesin tekan dengan kekuatan besar yang mampu memberikan tekanan hingga 2000 KN. Dengan Benda uji yang akan diuji adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. berikut adalah hasil uji tekanan beton.

a. Hasil Kuat Tekan Beton Normal

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (A1)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{441,45}{17662,5} = 25.5 \text{ MPa}$$

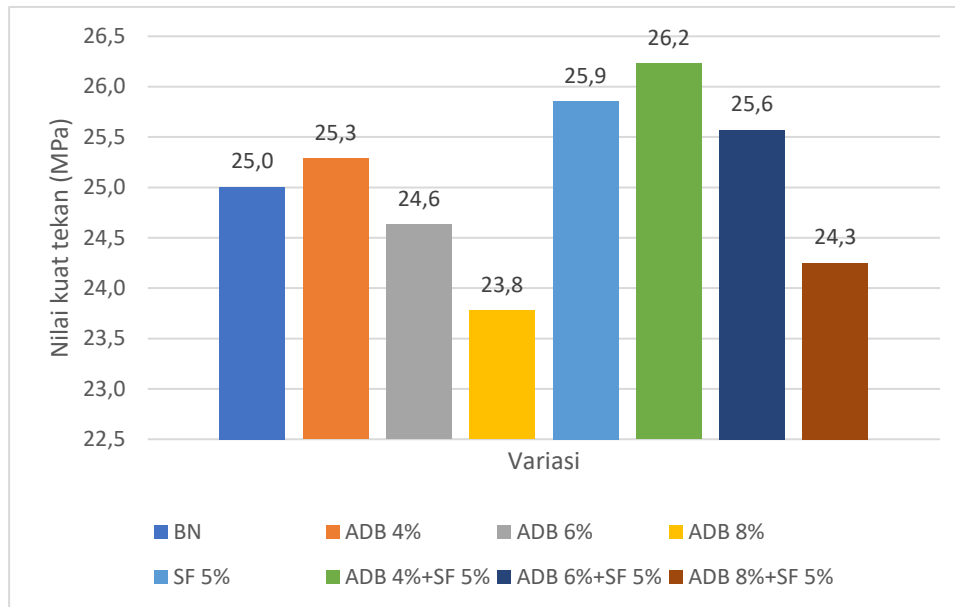
Hasil dari pengujian kuat tekan pada variasi lain nya bisa dilihat di lampiran :

Tabel 4. 23: Hasil pengujian kuat tekan

Variasi	Kuat Tekan (MPa)			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Standar Deviasi
	1	2	3		
BN	25,5	25,5	24,1	25,0	0,81
ADB 4%	26	26	23,8	25,3	1,27
ADB 6%	24,3	23,8	25,8	24,6	1,02
ADB 8%	22,1	24,3	24,9	23,8	1,47
SF 5%	24,9	26	26,6	25,8	0,86
ADB 4% + SF 5%	27,2	25,5	26,0	26,2	0,86

Tabel 4. 24: *Lanjutan*

Variasi	Kuat Tekan (MPa)			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	Standar Deviasi
	1	2	3		
ADB 6% + SF 5%	25,5	26,3	25,5	25,8	0,46
ADB 8% + SF 5%	25,5	22,9	24,3	24,2	1,30



Gambar 4. 9 : Grafik Hasil Nilai Kuat Tekan Rata-Rata

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan abu daun bambu (ADB) sebagai bahan substitusi semen pada kadar 6% dan 8% menyebabkan nilai kuat tekan beton berada di bawah target rencana sebesar 25 MPa. Kondisi ini terjadi karena jumlah semen Portland aktif dalam campuran semakin berkurang, sementara kandungan silika pada ADB tidak seluruhnya mampu bereaksi secara optimal dalam pembentukan C-S-H. Selain itu, semakin tinggi kadar ADB dapat meningkatkan kebutuhan air serta kekentalan campuran, sehingga proses pemadatan menjadi kurang efektif dan menyebabkan peningkatan porositas beton. Di sisi lain, campuran ADB 4% dengan *silica fume* 5% menghasilkan kuat tekan paling tinggi, yaitu sebesar 26,2 MPa. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kandungan silika yang tinggi pada kedua material yang dapat menghasilkan tambahan C-S-H serta memberikan efek pengisi (*filler effect*).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian substitusi Sebagian semen dengan abu daun bambu dan silica fume didapat Kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan abu daun bambu (ADB) dengan kadar lebih dari 5% menunjukkan kecenderungan menurunkan nilai kuat tekan beton. Berdasarkan hasil pengujian, campuran dengan ADB 6% memperoleh kuat tekan sebesar 24,6 MPa atau mengalami penurunan sebesar 1,6%, sedangkan pada penggunaan ADB 8% diperoleh kuat tekan sebesar 23,8 MPa atau turun sebesar 4,8% jika dibandingkan dengan beton normal yang memiliki kuat tekan 25,0 MPa. Penurunan tersebut berkaitan dengan semakin berkurangnya kandungan semen Portland aktif dalam campuran, sehingga jumlah Ca(OH)_2 yang tersedia untuk bereaksi dengan silika dari ADB menjadi lebih sedikit. Di samping itu, kandungan silika dalam ADB tidak sepenuhnya dapat mengalami reaksi secara optimal untuk menghasilkan C-S-H. Partikel ADB yang berukuran halus dan bersifat higroskopis juga menyebabkan kebutuhan air dan kekentalan adukan meningkat, sehingga tingkat kelecakan serta efektivitas pemadatan menjadi berkurang. Akibatnya, rongga udara dan porositas beton dapat meningkat, yang menyebabkan ikatan antarpartikel serta kepadatan beton menurun dan pada akhirnya berdampak pada berkurangnya kuat tekan.
2. Penggunaan kombinasi abu daun bambu (ADB) sebesar 4% dan *silica fume* sebesar 5% menghasilkan kuat tekan beton yang paling optimum, yaitu mencapai 26,2 MPa atau mengalami peningkatan sekitar 4,8% dibandingkan beton normal. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh tingginya kandungan silikon dioksida (SiO_2) atau silika pada kedua material, yaitu sekitar 75,9% pada abu daun bambu dan lebih dari 85–90% pada *silica fume*. Kandungan silika tersebut memiliki sifat pozzolanik yang reaktif sehingga mampu menghasilkan tambahan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang dapat memperkuat

ikatan pada pasta semen. Selain itu, partikel halus dari *silica fume* dapat memberikan efek *filler* dengan mengisi rongga-rongga berukuran kecil pada matriks beton, sehingga struktur beton menjadi lebih padat dan kuat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil peneelitan yang telah dilakukan, penulis memiliki beberaa saran yang bertujuan untuk mengembangkan penelititan ini lebih lanjut, Adapun saran yang perlu diperhatiakn Adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan Bahan Tambahan Kimia untuk Mempertahankan Kelayakan Kerja. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan mengenai penerapan bahan tambahan kimia seperti superplasticizer (Pengurang Air Rentang Tinggi) dalam campuran beton yang mengandung kombinasi abu daun bambu dan *silica fume*. Ini sangat krusial karena sifat butiran yang sangat halus serta karakteristik higroskopis dari kedua material tambahan tersebut selalu menyebabkan penurunan nilai slump dan menyulitkan proses pengerjaan beton. Dengan adanya superplasticizer, diharapkan campuran beton dapat menjaga tingkat kelancaran yang baik tanpa perlu meningkatkan kadar air secara signifikan, sehingga kepadatan struktur dan kekuatan tekan beton tetap terjaga dengan optimal.
2. Pengujian Ketahanan Jangka Panjang dan Tahan Lingkungan. Diperlukan uji tambahan yang berkaitan dengan ketahanan jangka panjang serta kemampuan beton dalam menghadapi lingkungan yang bersifat agresif, seperti paparan bahan kimia atau kontaminasi sulfat. Material pozzolan, seperti abu daun bambu dan *silica fume*, diketahui memiliki reaksi pozzolanik yang berlangsung lebih lambat tetapi mampu menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan stabil seiring bertambahnya usia beton. Pengujian pada umur lebih lanjut, contohnya pada 56 atau 90 hari, serta uji ketahanan terhadap serangan kimia, akan memberikan informasi yang lebih lengkap mengenai daya guna dan kehandalan beton jika digunakan dalam konstruksi.

3. Perluasan Pengujian Karakteristik Mekanis dan Optimasi Kadar. Penelitian mendatang disarankan untuk memperluas cakupan pengujian karakteristik mekanis beton lainnya, seperti pengujian kuat tarik belah, kuat lentur, dan modulus elastisitas guna memahami perilaku struktural beton secara lebih utuh. Selain itu, disarankan untuk melakukan optimasi variasi kadar substitusi dengan mempersempit rentang persentase di sekitar titik optimum (misalnya dalam rentang 3% hingga 6%) untuk mendapatkan angka komposisi yang benar-benar akurat dan spesifik bagi mutu beton rencana. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa pemanfaatan limbah biomassa dapat memberikan kontribusi performa maksimal sesuai standar teknis yang berlaku.
4. Berdasarkan hasil penelitian, campuran ADB 6% ditambah SF 5% memiliki standar deviasi terkecil yaitu 0,46 MPa, yang menunjukkan hasil pengujian memiliki konsistensi terbaik. Sementara itu, variasi ADB 4% ditambah SF 5% memiliki standar deviasi terbesar yaitu 2,00 MPa, yang menunjukkan bahwa hasil kuat tekan pada ketiga benda uji menunjukkan perbedaan nilai yang lebih besar dibandingkan variasi lainnya. Meskipun begitu, variasi tersebut tetap menghasilkan nilai tekan rata-rata yang paling besar, yaitu 26,4 MPa. Secara umum, nilai deviasi standar pada semua variasi masih terletak dalam rentang yang cukup kecil, yaitu antara 0,46 hingga 2,00 MPa. Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan adanya variasi yang masih masuk akal, sehingga data yang didapat cukup mewakili untuk menunjukkan dampak penggunaan abu daun bambu dan silica fume terhadap kuat tekan beton.

DAFTAR PUSTAKA

- A, A., Mulyati, M., Nugroho, F., Fakhrizal, F., & Fadhil Azman, H. (2023). Pengaruh Penambahan Silika Fume Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknologi Dan Vokasi*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/10.21063/jtv.2024.2.1.9-16>
- Abebaw, G., Bewket, B., & Getahun, S. (2021). Experimental Investigation on Effect of Partial Replacement of Cement with Bamboo Leaf Ash on Concrete Property. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6468444>
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI- Cara Uji Kuat Tekan. *Badan Standardisasi Nasional*, Jakarta. <https://www.academia.edu/download/57886647/SNI-1974-2011-.pdf>
- Fahrizal Zulkarnain, B. K. (2021). Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Silika Fume Pada Perendaman Air Laut. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1–10. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Hadrian, M. A. (2025). Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Kapur dan Silika Fume Sebagai Bahan Tambah Semen. *X(4)*, 15877–15885.
- Hardya, B., Suharto, I. H., & Faqih, N. (2021). Penambahan Abu Daun Bambu Sebagai Substitusi Material Semen Dan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Tekan Beton. *3(11)*, 1–9.
- Huang, J. (2025). The Research Progress and Application Prospects of Bamboo Leaf Ash Concrete. *Frontiers in Science and Engineering*, 5(3), 288–295. <https://doi.org/10.54691/gj9wn206>
- Iskandar, A., M. Hidayat, & Jepriani, S. (2024). Abu Daun Bambu Sebagai Bahan Substitusi Semen Terhadap Kinerja Beton Normal. *Jurnal Inersia*, 15(1), 35–40. <https://doi.org/10.46964/inersia.v15i1.880>
- Nduka, D. O., Olawuyi, B. J., Ajao, A. M., Okoye, V. C., & Okigbo, O. M. (2022). Mechanical and durability property dimensions of sustainable bamboo leaf ash in high-performance concrete. *Cleaner Engineering and Technology*, 11(October), 100583. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100583>
- Nura Diana, A. I., Fansuri, S., & Desharyanto, D. (2020). Penambahan Abu Daun Bambu Sebagai Substitusi Material Semen Terhadap Kinerja Beton. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 9(2), 172–182. <https://doi.org/10.22225/pd.9.2.1788.172-182>
- Pratama, L. A., Rifqi, A. H., & Riyadi, M. (2021). Kinerja Serat Kawat Bendrat Sebagai Bahan Tambah Beton Fas 0.4. *Construction and Material Journal*,

3(1), 33–40. <https://doi.org/10.32722/cmj.v3i1.3744>

- Risdiyanto, Y. (2013). Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Perbandingan Volume dan Perbandingan Berat untuk Produksi Beton Massa menggunakan Agregat Kasar Batu Pecah Merapi (studi kasus pada proyek pembangunan sabo dam). *Tugas Akhir, D*, 1–11.
- Satria, R. G., Wibowo, W., & Safitri, E. (2019). Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Pada High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (Hvfa-Scc) Benda Uji Silinder D 7,5 Cm X 15 Cm Usia 14, 28 Dan 90 Hari. *Matriks Teknik Sipil*, 7(3), 638–645. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v7i3.36492>
- SNI 2847-2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). *Sni 2847-2019*, 8, 653–659.
- Tarru, R. O. (2018). Studi Penggunaan Silica Fume Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Beton. *Journal Dynamic Saint*, 3(1), 472–485. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v3i1.271>
- Zulkarnain, F., Hasibuan, D. K., Siregar, Z., & Muthusamy, K. (2026). *The Effect of Fly Ash and Silica Fume As Filler Materials on The Tensile Strength and Modulus of Elasticity of Self-Compacting Concrete*. 18(1). <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.18.1.49-56>
- Zulkarnain, F., Siregar, Z., & Yahaya, F. M. (2026). The effect of Mount Sinabung volcanic ash and the addition of silica fume as a partial substitution of cement weight on the compressive strength of concrete. *Challenge Journal of Concrete Research Letters*, 17(2), 192–206. <https://doi.org/10.20528/cjcr.2026.02.009>

LAMPIRAN

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 2 (A2)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} \\ &= 25.5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Benda Uji 3 (A3)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 43,34 \text{ t} \\ &= 43,34 \times 9,81 &= 425 \text{ kN} \\ &= 425 \times 1000 &= 425 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{425 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} = 24,1 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{25,5 + 25,5 + 24}{3} = 25 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 4 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (B1)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 46,91 \text{ t} \\
 &= 46,91 \times 9,81 &= 460 \text{ kN} \\
 &= 460 \times 1000 &= 460 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa}$$

Benda Uji 2 (B2)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 46,91 \text{ t} \\
 &= 46,91 \times 9,81 &= 460 \text{ kN} \\
 &= 460 \times 1000 &= 460 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa}$$

Benda Uji 2 (B3)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 42,83 \text{ t} \\
 &= 42,83 \times 9,81 &= 420 \text{ kN} \\
 &= 420 \times 1000 &= 420 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{420}{17662,5} = 23,8 \text{ MPa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\
 &= \frac{26 + 26 + 23,8}{3}
 \end{aligned}$$

$$= 25,3 \text{ MPa}$$

c. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 6 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (C1)

$$\begin{aligned} \text{Beban (P)} &= 43,85 \text{ t} \\ &= 43,85 \times 9,81 &= 430 \text{ kN} \\ &= 430 \times 1000 &= 430 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{430}{17662,5} = 24,3 \text{ MPa}$$

Benda Uji 2 (C2)

$$\begin{aligned} \text{Beban (P)} &= 42,83 \text{ t} \\ &= 42,83 \times 9,81 &= 420 \text{ kN} \\ &= 420 \times 1000 &= 420 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{420}{17662,5} = 23,8 \text{ MPa}$$

Benda Uji 3 (C3)

$$\begin{aligned} \text{Beban (P)} &= 46,40 \text{ t} \\ &= 46,40 \times 9,81 &= 455 \text{ kN} \\ &= 455 \times 1000 &= 455 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{455}{17662,5} = 25,8 \text{ MPa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{23,8 + 23,8 + 25,8}{3} = 24,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 8 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (D1)

$$\begin{aligned} \text{Beban (P)} &= 39,77 \text{ t} \\ &= 39,77 \times 9,81 = 390 \text{ kN} \\ &= 390 \times 1000 = 390 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{390}{17662,5} = 22,1 \text{ MPa}$$

Benda Uji 2 (D2)

$$\begin{aligned} \text{Beban (P)} &= 43,85 \text{ t} \\ &= 43,85 \times 9,81 = 430 \text{ kN} \\ &= 430 \times 1000 = 430 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{430}{17662,5} = 24,3 \text{ MPa}$$

Benda Uji 3 (D3)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 44,87 \text{ t} \\
 &= 44,87 \times 9,81 &= 440 \text{ kN} \\
 &= 440 \times 1000 &= 440 \text{ N} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{440}{17662,5} = 24,9 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\
 &= \frac{22,1 + 24,3 + 24,9}{3} = 23,8 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Kuat Tekan Beton SF 5%

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (E1)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 44,87 \text{ t} \\
 &= 44,87 \times 9,81 &= 440 \text{ kN} \\
 &= 440 \times 1000 &= 440 \text{ N} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{440}{17662,5} = 24,9 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Benda Uji 2 (E2)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 460 \text{ kN} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Benda Uji 3 (E3)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 46,91 \text{ t} \\
 &= 46,91 \times 9,81 &= 460 \text{ kN} \\
 &= 460 \times 1000 &= 460 \text{ N} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{470}{17662,5} = 26,6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\
 &= \frac{24,9 + 26,0 + 26,6}{3} \\
 &= 25,9 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

f. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 4 % + SF 5 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (F1)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban (P)} &= 48,95 \text{ t} \\
 &= 48,95 \times 9,81 &= 480 \text{ kN} \\
 &= 480 \times 1000 &= 480 \text{ N} \\
 \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{480}{17662,5} = 27,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Benda Uji 2 (F2)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} \\ &= 25.5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Benda Uji 3 (F3)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 46,91 \text{ t} \\ &= 46,91 \times 9,81 &= 460 \text{ kN} \\ &= 460 \times 1000 &= 460 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{470}{17662,5} = 26,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{27,2 + 25,5 + 26}{3} \\ &= 26,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

g. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 6 % + SF 5 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (G1)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} \\ &= 25.5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Benda Uji 2 (G2)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 46,91 \text{ t} \\ &= 46,91 \times 9,81 &= 460 \text{ kN} \\ &= 460 \times 1000 &= 460 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{460}{17662,5} = 26,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Benda Uji 3 (G3)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} \\ &= 25.5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned}\text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{24,9 + 26,3 + 25,5}{3} \\ &= 25,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

h. Perhitungan Kuat Tekan Beton ADB 8 % + SF 5 %

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut:

Benda Uji 1 (H1)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 45 \text{ t} \\ &= 45 \times 9,81 &= 441,45 \text{ kN} \\ &= 441,45 \times 1000 &= 441,45 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2} \\ &= 25.5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Benda Uji 2 (H2)

$$\begin{aligned}\text{Beban (P)} &= 41,30 \text{ t} \\ &= 41,30 \times 9,81 &= 405 \text{ kN} \\ &= 405 \times 1000 &= 405 \text{ N} \\ \text{Luas silinder (A)} &= 17662,5 \text{ mm}^2 \\ \text{Kuat Tekan Beton} &= \frac{441,45 \text{ N}}{17662,5 \text{ mm}^2}\end{aligned}$$

$$= 22.9 \text{ N/mm}^2$$

Benda Uji 3 (H3)

$$\text{Beban (P)} = 43,85 \text{ t}$$

$$= 43,85 \times 9,81 = 430 \text{ kN}$$

$$= 430 \times 1000 = 430 \text{ N}$$

$$\text{Luas silinder (A)} = 17662,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{430}{17662,5} = 24,3 \text{ MPa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata-Rata} &= \frac{\text{Hasil B1} + \text{Hasil B2} + \text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{25,5 + 22,9 + 24,3}{3} \\ &= 24,3 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Gambar L. 1: Persiapan material abu daun bambu



Gambar L. 2: Persiapan material agreagat halus



Gambar L. 3: Persiapan material agregat kasar



Gambar L. 6: proses pembuatan benda uji beton



Gambar L. 4: Pengujian nilai slump



Gambar L. 5 : memasukkan benda uji
kedalam cetakkan silinder



Gambar L. 7: benda uji beton basah



Gambar L. 9 : Benda uji beton kering dalam cetakkan



Gambar L. 8 : Pengujian kuat tekan beton

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap	Fajar Ansyari
Tempat, Tanggal Lahir	Medan, 27 Juni 2004
Jenis Kelamin	Laki-Laki
Alamat	Jl. KL. Yos Sudarso Simp Atap Martubung
Agama	Islam
Nama Orang Tua	
Ayah	Syawal Asri
Ibu	Zuraidah
No. HP	82269827464
E-mail	fajaransyari11@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa	2207210036
Fakultas	Teknik
Program Studi	Sipil
Perguruan Tinggi	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar	SD Al-Washliyah 29	2011-2016
Sekolah Menengah pertama	MTs YASPI	2016-2019
Sekolah Menengah Kejuruan	SMK N 5 Medan	2019-2022