

TUGAS AKHIR
PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK CANGKANG TIRAM
DAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN
DENGAN VARIASI FAKTOR AIR SEMEN (FAS)
TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR
(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh:

APUAN JULIANDI
2107210130



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Apuan Juliandi

NPM : 2107210130

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram Dan *Fly Ash*
Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Variasi Faktor Air
Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Mortar

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.

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 12 September 2025

Dosen Pembimbing



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Apuan Juliandi

NPM : 2107210130

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram Dan *Fly Ash*
Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Variasi Faktor Air
Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Mortar

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, 12 September 2025

Mengetahui Dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji I



Dr Fetra Veny Riza, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., IPM

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Josef Hadipramana, S.T., M.Sc.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Apuan Juliandi

NPM : 2107210130

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Mortar”

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

Bila kemudian hari diduga kuat dan ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan 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, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 September 2025

Saya yang menyatakan


Apuan Juliandi



ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK CANGKANG TIRAM DAN FLY ASH SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN DENGAN VARIASI FAKTOR AIR SEMEN (FAS) TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR (Studi Penelitian)

Apuan Juliandi
2107210130

Dr. Josef Hadipramana S.T., M.Sc

Mortar merupakan gabungan yang terdiri dari pasir, semen, dan air. Kekuatan tekan mortar bervariasi tergantung pada bahan yang digunakan dan proporsi dari bahan-bahan tersebut. Cangkang Tiram kaya akan kalsium yang berperan sebagai elemen utama dalam struktur kerasnya. *Fly ash* adalah salah satu produk sampingan dari industri yang bersifat pozzolan dan dapat berfungsi sebagai bahan pengikat dalam pembuatan beton. Penelitian ini menggunakan variasi Serbuk Cangkang Tiram 5%, 10%, 15% dan *Fly Ash* 5%, 10%, 15% sebagai bahan pengganti semen dengan variasi faktor air semen. Rancangan campuran menggunakan metode SNI 03-6882-2002. Dimensi benda uji kubus 5x5x5 cm. Proses perawatan dengan merendamnya dalam air pada umur 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *Fly Ash* dan Serbuk Cangkang Tiram dapat meningkatkan kuat tekan mortar pada variasi tertentu. Pada FAS 0,4% variasi optimal MFA 5% dan MFA 5% + SCT 15% mendapatkan hasil kuat tekan sebesar 12,03 MPa dan 21,45 MPa. Sedangkan pada FAS 0,5% variasi optimal MFA 15% dan MFA 15% + SCT 5% mendapatkan hasil kuat tekan sebesar 22,24 MPa dan 15,30 MPa. Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram dan *Fly Ash* sebagai bahan pengganti semen menjadikannya alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Serbuk Cangkang Tiram, *Fly Ash*, Kuat Tekan Mortar.

ABSTRACT

THE EFFECT OF USING OYSTER SHELL POWDER AND FLY ASH AS CEMENT REPLACEMENT MATERIALS WITH VARIATIONS IN WATER-CEMENT RATIO (W/C) ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTAR (Research Study)

Apuan Juliandi
2107210130

Dr. Josef Hadipramana S.T., M.Sc

Mortar is a mixture consisting of sand, cement, and water. The compressive strength of mortar varies depending on the materials used and the proportions of these materials. Oyster shells are rich in calcium which acts as the main element in their hard structure. Fly ash is one of the by-products of the industry that is pozzolanic and can function as a binding material in making concrete. This study used variations of Oyster Shell Powder 5%, 10%, 15% and Fly Ash 5%, 10%, 15% as a cement substitute with variations in the water cement factor. The mixture design uses the SNI 03-6882-2002 method. The dimensions of the cube test specimen are 5x5x5 cm. The curing process is by soaking it in water at the age of 28 days. The test results show that the use of Fly Ash and Oyster Shell Powder can increase the compressive strength of mortar in certain variations. At FAS 0.4%, the optimal variations of MFA 5% and MFA 5% + SCT 15% yielded compressive strengths of 12.03 MPa and 21.45 MPa, respectively. Meanwhile, at FAS 0.5%, the optimal variations of MFA 15% and MFA 15% + SCT 5% yielded compressive strengths of 22.24 MPa and 15.30 MPa, respectively. The use of Oyster Shell Powder and Fly Ash as cement substitutes makes it an economical and environmentally friendly alternative.

Keywords: Oyster Shell Powder, Fly Ash, Mortar Compressive Strength.

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk-Nya kepada kita semua sehingga kita dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Mortar". Tugas Akhir ini merupakan bagian dari silabus untuk mata kuliah yang wajib diambil oleh mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, serta merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dalam proses penulisan laporan dan penyelesaian tugas akhir ini, penulis dengan tulus hati ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Josef Hadipramana S.T., M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sekaligus Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc selaku Dosen Penguji I yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc.,Ph.D.,IPM., selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membantu dan memberikan serta masukan demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. selaku Sekretaris 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 kepada penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Terima kasih yang teristimewa kepada Kedua Orang Tua tercinta Usman Him dan Darmi yang telah bersusah payah mendidik saya serta menjadi penyemangat saya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
9. Terima kasih juga kepada abang saya Yusmahdi Syahputra dan Afriyan Khauser yang telah terus mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya.
10. Sahabat-sahabat penulis yaitu Adek, Ardian, Putri, dan juga seluruh teman-teman yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis memahami bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya masukan dan kritik yang positif untuk meningkatkan kualitas penulisan tugas akhir ini. Sebagai penutup, penulis menyampaikan terima kasih dan berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua.

Medan, 12 September 2025

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Apuan Juliandi', with a stylized, cursive script.

Apuan Juliandi

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Mortar	5
2.2. Bahan Campuran Mortar	6
2.2.1. Semen	6
2.2.2. Agregat Halus	7
2.2.3. Air	10
2.2.4. <i>Fly Ash</i>	11
2.2.5. Serbuk Cangkang Tiram	14
2.3. Perencanaan Campuran Mortar	15
2.4. Perawatan Mortar (<i>Curing</i>)	16
2.5. Kuat Tekan Mortar	17
BAB 3 METODE PENELITIAN	18
3.1. Metode Penelitian	18
3.1.1. Data Primer	19
3.1.2. Data Sekunder	19

3.2.	Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.3.	Bahan dan Peralatan Penelitian	22
3.3.1.	Bahan	22
3.3.2.	Peralatan	22
3.4.	Persiapan Penelitian	23
3.5.	Pemeriksaan Agregat Agregat Halus	23
3.5.1.	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	24
3.5.2.	Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus	24
3.5.3.	Kadar Lumpur Agregat Halus	24
3.5.4.	Berat Isi Agregat Halus	25
3.5.5.	Analisa Saringan Agregat Halus	25
3.6.	Pemeriksaan <i>Fly Ash</i>	25
3.6.1.	Analisa Saringan	25
3.6.2.	Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	25
3.7.	Rancangan Campuran Mortar	26
3.8.	Pelaksanaan Penelitian	27
3.8.1.	<i>Mix Design</i>	27
3.8.2.	<i>Mix Design</i> perbandingan campuran mortar 1:3	27
3.8.3.	Pembuatan Benda Uji	28
3.8.4.	Perawatan (<i>Curing</i>) Mortar	30
3.8.5.	Pengujian Kuat Tekan	30
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1.	Hasil Dan Analisa Pemeriksaan Agregat	31
4.2.	Pemeriksaan Agregat Halus	31
4.2.1.	Analisa Saringan Agregat Halus	31
4.2.2.	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	32
4.2.3.	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	33
4.2.4.	Pengujian Berat Isi Agregat Halus	34
4.2.5.	Kadar Air Agregat Halus	34
4.3.	Pemeriksaan <i>Fly Ash</i>	35
4.3.1.	Analisa Saringan <i>Fly Ash</i>	35
4.3.2.	Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	36
4.4.	Perencanaan Campuran Mortar (<i>Mix Design</i>)	36

4.5. Kebutuhan Material	37
4.6. Hasil dan Analisa Pengujian Kuat Tekan Mortar	38
4.6.1. Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Mortar FAS 0,4%	38
4.6.2. Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%	40
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1. Kesimpulan	45
5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	49
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Daerah Gradasi Agregat Halus.	8
Tabel 2.2: Hasil XRF <i>Fly Ash</i> .	12
Tabel 2.3: Kandungan unsur kimia dalam serbuk cangkang tiram.	15
Tabel 3.1: Variasi campuran mortar dengan FAS 0,4%, 0,5%.	26
Tabel 4.1: Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.	31
Tabel 4.2: Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus.	32
Tabel 4.3: Pengujian Kadar Lumpur Angregat Halus.	33
Tabel 4.4: Berat Isi Agregat Halus.	34
Tabel 4.5: Kadar Air Agregat Halus.	34
Tabel 4.6: Pengujian Analisa Saringan <i>Fly Ash</i> .	35
Tabel 4.7: Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan <i>Fly Ash</i> .	36
Tabel 4.8: Data-data Hasil Tes Dasar.	36
Tabel 4.9: Data Kebutuhan <i>Mix Design</i> .	37
Tabel 4.10: Kebutuhan Material Tiap Variasi Campuran.	38
Tabel 4.11: Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,4%.	38
Tabel 4.12: Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%.	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Daerah Gradasi I Agregat Halus: Pasir Kasar.	8
Gambar 2.2: Daerah Gradasi II Agregat Halus: Pasir Agak Kasar.	9
Gambar 2.3: Daerah Gradasi III Agregat Halus: Pasir Halus.	9
Gambar 2.4: Daerah Gradasi IV Agregat Halus: Pasir Agak Halus.	10
Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian.	20
Gambar 3.2: Lanjutan.	21
Gambar 3.3: Benda Uji Kubus.	28
Gambar 3.4: Konfigurasi Alat Pemadat Benda Uji.	29
Gambar 4.1: Gradasi Agregat Halus (Zona 2 Pasir Sedang).	32
Gambar 4.2: Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,4%.	39
Gambar 4.3: Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%.	41
Gambar 4.4: Perbandingan Kuat Tekan MN, MFA FAS 0,4% dan FAS 0,5%.	42
Gambar 4.5: Perbandingan Kuat Tekan MFASCT FAS 0,4% dan FAS 0,5%.	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selain beton, dalam dunia konstruksi bangunan ada istilah mortar. Mortar ini terdiri dari agregat halus (pasir), bahan pengikat (tanah liat, kapur, semen Portland), dan air. Tujuan dari mortar adalah sebagai pengikat atau pengisi yang menyatukan elemen-elemen dalam suatu konstruksi, baik yang bersifat struktural maupun non-struktural. Contoh pemakaian mortar secara struktural adalah untuk menyusun bata belah pada pondasi, sementara untuk penggunaan non-struktural yaitu untuk merekatkan bata pada dinding (Sujatmiko, 2024).

Mortar merupakan gabungan yang terdiri dari pasir, semen, dan air. Kekuatan tekan mortar bervariasi tergantung pada bahan yang digunakan dan proporsi dari bahan-bahan tersebut. Rasio semen, pasir, dan air yang tepat untuk mortar yang memenuhi syarat adalah 1 : 3 : 0,4% dan 1 : 3 : 0,5% dalam cetakan kubus ukuran 5x5x5 cm. Sebagai bahan pengikat, mortar perlu memiliki konsistensi atau kekentalan yang standar. Kualitas konsistensi ini nantinya akan berpengaruh pada daya tahan mortar yang digunakan untuk spesi, plesteran dinding, batako, dan sebagainya. Oleh karena itu, diharapkan mortar dapat menahan tekanan dari beban tanpa mengalami kerusakan (Mulyadi dkk., 2021).

Salah satu bahan utama untuk pembuatan mortar adalah semen. Saat ini, industri semen telah memperkenalkan produk yang lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi kualitas mortar yang dihasilkan, yaitu *Portland Cement Composite* (PCC). Semen PCC kini banyak dipakai oleh konsumen di sektor konstruksi, sementara *Ordinary Portland Cement* (OPC) semakin sedikit digunakan, karena harganya yang tinggi dan tidak lebih ramah lingkungan dibandingkan PCC (Kiptiah & Giarto, 2023).

Tiram daging di Aceh saat ini adalah salah satu produk yang berasal dari sektor perikanan. Hewan tiram daging, yang dalam istilah lokal disebut tirom, dibudidayakan oleh masyarakat dengan memanfaatkan dagingnya. Meskipun dagingnya digunakan sebagai sumber makanan, hingga kini cangkangnya belum

dimanfaatkan sepenuhnya, yang bisa berdampak buruk bagi lingkungan. Di sisi lain, bahan cangkangnya memiliki kekerasan yang cukup tinggi secara mekanik (Mukhlis dkk., 2022).

Cangkang tiram yang ditemukan di berbagai limbah perikanan masih memiliki tingkat pemanfaatan yang rendah dan dapat merusak keindahan alam sekitar serta berkontribusi pada penurunan kualitas udara yang bersih. Jika kita perhatikan komposisi mineralnya, cangkang tiram kaya akan kalsium yang berperan sebagai elemen utama dalam struktur kerasnya. Keunggulan cangkang tiram dalam sektor perikanan adalah kandungan tinggi kalsium karbonat (CaCO_3) yang dimilikinya. Cangkang tiram digunakan sebagai alternatif untuk batu kapur dalam bentuk CaO dengan persentase sebanyak 56,77 % (Bunyamin dkk., 2023).

Fly ash adalah salah satu produk sampingan dari industri yang bersifat pozzolan dan dapat berfungsi sebagai bahan pengikat dalam pembuatan beton. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika dan alumina yang bereaksi kimia dengan kalsium hidroksida, menghasilkan senyawa yang bersifat *cementitious*. Abu terbang (*fly ash*) ini diperoleh dari pembakaran batubara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang sudah tidak digunakan lagi dan tidak tergolong sebagai limbah berbahaya (B3). Karena *fly ash* memiliki kadar senyawa pozzolan berupa silika (SiO_2) dan alumina yang tinggi, bahan ini bisa digunakan sebagai pengganti semen. Penambahan *fly ash* ke dalam beton dapat menjadi solusi untuk menciptakan beton yang ramah lingkungan sekaligus meningkatkan kualitas beton, termasuk kekuatan tekan (Kuncoro, 2021).

Untuk semen yang diperlukan dalam campuran mortar, jumlah semen ditentukan berdasarkan nilai faktor air semen (FAS). Faktor air semen (FAS) adalah rasio antara volume semen dan volume air, yang dinyatakan dalam persen. Nilai faktor air semen (FAS) dipengaruhi oleh kekuatan tekan yang diinginkan dalam beton. Hubungan antara faktor air semen (FAS) dan kekuatan tekan beton diukur pada beton berumur 28 hari. Hubungan ini mencakup beton tanpa bahan pengisi udara dan beton yang menggunakan bahan pengisi udara. Dari hubungan tersebut, jumlah semen dapat ditentukan dengan membandingkan jumlah air yang dibutuhkan sebelumnya dengan nilai faktor air semen (FAS) (Mukhlis, dkk., 2022).

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk membandingkan mutu kuat tekan mortar biasa dan mortar yang menggunakan *fly ash* dan serbuk cangkang tiram pada variasi faktor air semen (FAS) dalam proporsi tertentu untuk membantu memperoleh campuran mortar yang kuat dengan menggunakan bahan yang ekonomis.

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran mortar menggunakan bahan tambah serbuk cangkang tiram dan zat aditif *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, sebagai bahan pengganti sebagian semen dengan variasi faktor air semen (FAS) 0,4%, 0,5%, yang bertujuan untuk meningkatkan kuat tekan mortar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen pada variasi faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan mortar.
2. Bagaimana pengaruh penambahan *fly ash* dan serbuk cangkang tiram sebagai bahan pengganti sebagian semen pada variasi faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan mortar.

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan penelitian dibatasi pada:

1. Perencanaan campuran mortar berdasarkan SNI 03-6882-2002.
2. Penambahan serbuk cangkang tiram dan zat aditif *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, sebagai bahan pengganti semen.
3. Variasi faktor air semen (FAS) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,4%, dan 0,5%.
4. umur benda uji dalam penelitian ini adalah 28 hari.
5. Penelitian memakai benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm, jumlah benda uji sebanyak 42 sampel.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* sebagai bahan pengganti sebagian semen pada variasi faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan

mortar.

2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* dan serbuk cangkang tiram sebagai bahan pengganti sebagian semen pada variasi faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan mortar.

1.5. Manfaat Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk membandingkan mutu kuat tekan mortar biasa dan mortar yang menggunakan serbuk cangkang tiram dan *fly ash* dengan variasi faktor air semen (FAS) dalam proporsi tertentu untuk membantu memperoleh campuran mortar yang kuat dengan menggunakan bahan yang ekonomis.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis membagi materi yang disajikan menjadi beberapa bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika pembahasan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode yang digunakan. Hal ini akan mendukung analisis permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini dijelaskan lebih lanjut tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil dari penelitian yang akan digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan yang didapat dari pembahasan pada bab sebelumnya dan saran dari hasil penelitian yang dapat dijadikan masukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mortar

Kegunaan utama dari mortar adalah untuk meningkatkan daya rekat dan daya tahan sambungan antar elemen yang membentuk suatu konstruksi. Kekuatan mortar ditentukan oleh sejauh mana pasta semen bisa mengikat partikel agregat halusnyanya. Mortar memiliki kontribusi yang relatif kecil dalam struktur. Mortar perlu memiliki ketahanan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya agar mampu mendukung gaya-gaya yang bekerja padanya. Jika mortar menyerap air dengan cepat atau dalam jumlah yang banyak, maka akan terjadi pengerasan dan kehilangan daya lekat adhesifnya (Sujatmiko, 2024).

Kelebihan mortar, yaitu: Adukan mortar mudah diangkut dan dicetak dalam bentuk yang diinginkan, Kuat tekan mortar jika dikombinasikan dengan baja akan mampu untuk memikul beban yang berat, Dalam pelaksanaan tertentu dapat disemprotkan atau dipompakan ke tempat tertentu, Tahan lama, tidak busuk dan tidak lapuk. Adapun kekurangan mortar adalah: Untuk mendapatkan mortar dengan kuat tekan yang tinggi perlu dilakukan campuran dengan komposisi yang benar antara semen, pasir, dan air. Untuk daerah-daerah tertentu perlu ketelitian dalam membuat komposisi campuran serta perlu ditambahkan bahan tambahan aditif, Kuat tarik rendah sehingga perlu ditambahkan baja tulangan. Misalnya untuk pondasi pancang (Sujatmiko, 2024).

Berdasarkan standar ASTM C270, mortar diklasifikasikan sesuai dengan kekuatannya sebagai berikut:

1. Mortar tipe M

Mortar tipe M merupakan campuran dengan kekuatan tekan yang sangat tinggi. Kekuatan tekan terendahnya adalah 175 kg/cm^2 .

2. Mortar tipe N

Mortar tipe N adalah campuran dengan kekuatan tekan yang sedang. Kekuatan tekan terendahnya sebesar 124 kg/cm^2 .

3. Mortar tipe S

Mortar tipe S adalah campuran yang memiliki kekuatan tekan sedang. Kekuatan tekan minimum untuk jenis ini adalah 52,5 kg/cm².

4. Mortar tipe O

Mortar tipe O merupakan campuran dengan kekuatan tekan yang rendah. Kekuatan tekan minimumnya adalah 24,5 kg/cm².

5. Mortar tipe K

Mortar tipe K adalah campuran yang juga memiliki kekuatan tekan rendah. Kekuatan tekan minimumnya adalah 5,25 kg/cm².

2.2. Bahan Campuran Mortar

Menurut SNI 03-6825-2002, Mortar semen portland merupakan kombinasi dari pasir kwarsa, air yang telah disuling, serta semen portland dengan komposisi tertentu. Kekuatan tekan pada mortar semen portland merujuk pada tekanan maksimum per unit area yang diterapkan pada sampel mortar semen portland yang memiliki bentuk kubus dengan dimensi dan umur tertentu.

2.2.1. Semen

Semen merupakan komponen utama yang membentuk beton, di mana peran semen adalah untuk mengikat agregat baik halus maupun kasar dengan bantuan air guna mengaktifkan karakteristik semen itu sendiri (Batubara & Pangaribuan, 2023).

Semen berfungsi sebagai perekat hidrolis untuk bahan bangunan, yang berarti ia akan mengeras saat dicampur dengan air. Terdapat tiga komponen utama dalam semen, yaitu: klinker/terak (70% sampai 95%), yang merupakan hasil dari pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi, dan lempung. gipsum (sekitar 5%, digunakan untuk memperlambat proses pengerasan) dan bahan tambahan seperti batu kapur, pozzolan, serta abu terbang dan lainnya. Apabila proporsi bahan ketiga tersebut tidak melebihi 3%, biasanya masih dianggap memenuhi standar kualitas OPC (*Ordinary Portland Cement*) tipe I. Namun, jika persentase bahan ketiga lebih besar dari 3% hingga 25%, maka semen tersebut akan berubah menjadi PCC (*Portland Composite Cement*). Dengan kata lain, PCC memiliki kadar klinker yang lebih sedikit (biasanya 75%) dan digantikan dengan bahan seperti kapur, pozzolan, dan *fly ash* (abu terbang) (Ibrahim, 2021).

Menurut SNI 15-7064-2004, semen Portland komposit merupakan pengikat hidrolis yang didapat dengan menggiling terak semen Portland dan gipsum dengan satu atau lebih bahan anorganik atau dengan mencampurkan bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya. Bahan anorganik ini termasuk terak tanur tinggi, pozzolan, senyawa silikat, dan batu kapur. Kandungan total bahan anorganik berkisar antara 6% hingga 35% dari massa komposit semen Portland.

2.2.2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan salah satu elemen yang membentuk mortar. Agar mortar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, agregat halus harus memenuhi kriteria tertentu. Agregat halus yang sesuai dengan standar tidak boleh mengandung bahan organik dan sebaiknya memiliki kandungan lumpur kurang dari 5% (Fadiah & Murdiyoto, 2022).

Sesuai dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971), agregat halus yang digunakan dalam pembuatan mortar harus memenuhi kriteria berikut:

1. Pasir harus terdiri dari butiran yang kasar, tajam, dan keras.
2. Pasir harus memiliki tingkat kekerasan yang seragam.
3. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung lumpur lebih dari 5%; jika lebih dari itu, agregat tersebut wajib dicuci sebelum digunakan. Lumpur di sini merujuk pada bagian butiran yang lolos dari saringan berukuran 0,063mm.
4. Pasir tidak boleh mengandung terlalu banyak bahan organik.
5. Pasir harus tahan terhadap perubahan cuaca.
6. Pasir yang berasal dari laut dilarang untuk dipakai sebagai agregat dalam mortar.

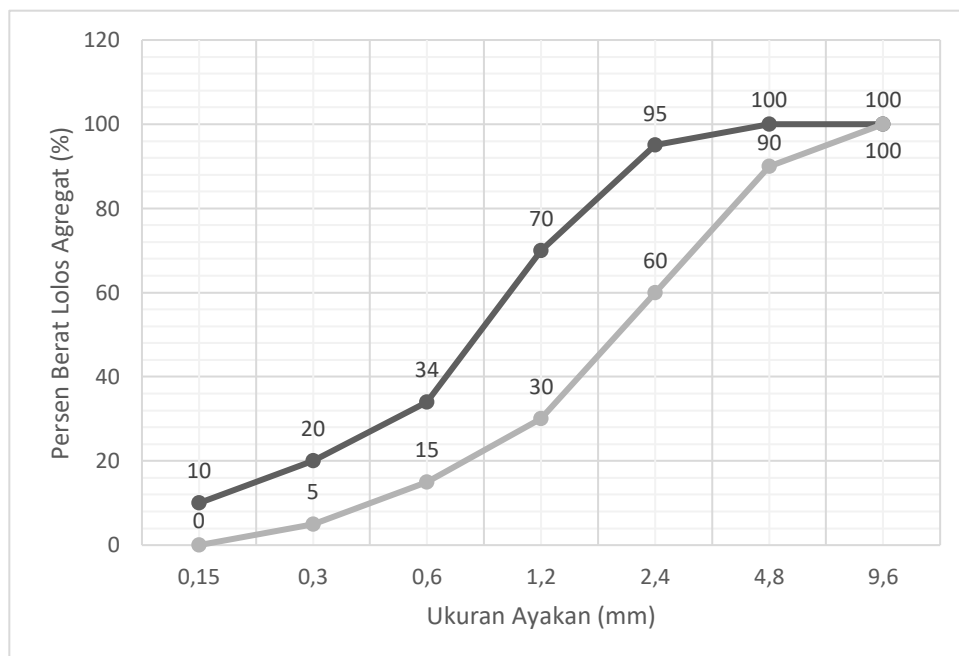
Menurut SNI T-15-1990-03, yang mengadopsi BS 812, Gradasi agregat halus terdapat 4 daerah gradasi seperti dalam Tabel 2.1, Gambar 2.1, Gambar 2.2, Gambar 2.3, Gambar 2.4.

Tabel 2.1: Daerah Gradasi Agregat Halus.

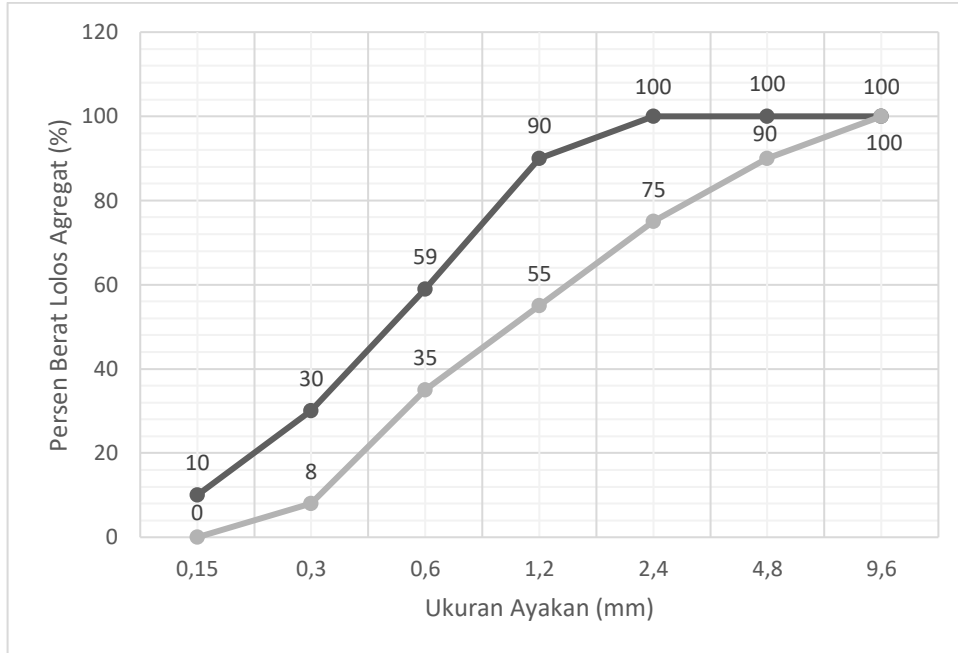
Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 - 10	0 – 10	0 –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

Keterangan:

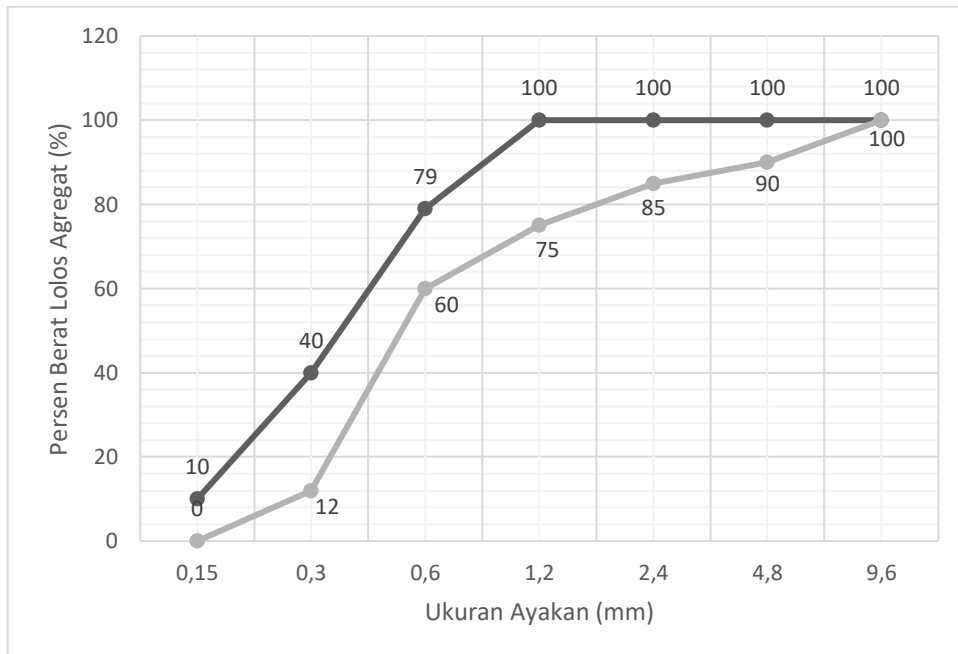
- Daerah Gradasi I = Pasir Kasar
- Daerah Gradasi II = Pasir Agak Kasar
- Daerah Gradasi III = Pasir Agak Halus
- Daerah Gradasi IV = Pasir Halus



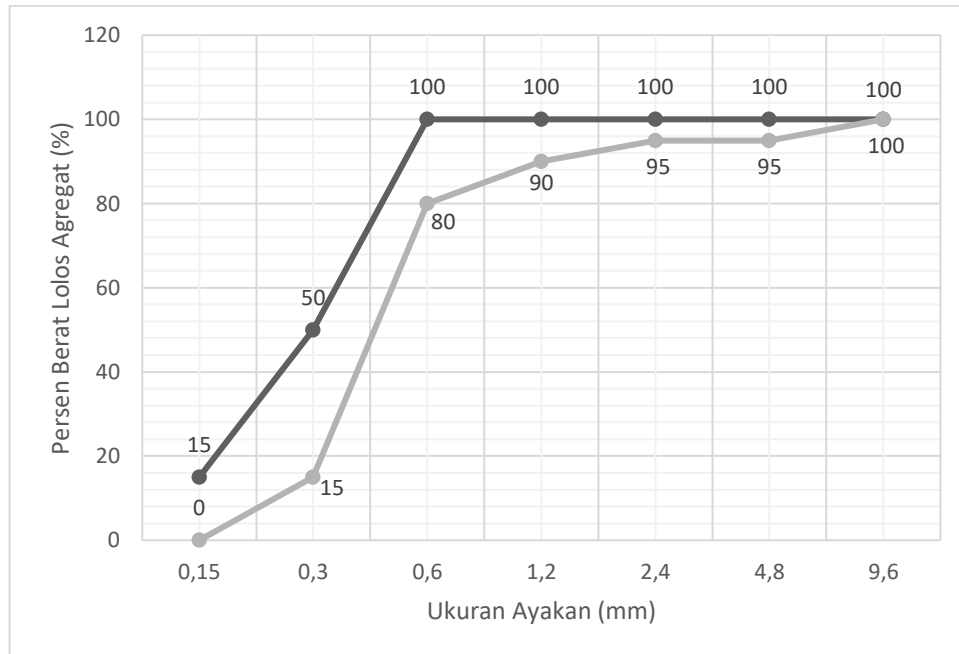
Gambar 2.1: Daerah Gradasi I Agregat Halus: Pasir Kasar.



Gambar 2.2: Daerah Gradasi II Agregat Halus: Pasir Agak Kasar.



Gambar 2.3: Daerah Gradasi III Agregat Halus: Pasir Halus.



Gambar 2.4: Daerah Gradasi IV Agregat Halus: Pasir Agak Halus.

Pada penelitian ini, agregat halus diteliti terhadap:

1. BJ dan Penyerapan
2. Kadar Air
3. Kadar Lumpur
4. Berat Isi
5. Analisa Saringan

2.2.3. Air

Peran air dalam proses pembuatan mortar adalah untuk memicu reaksi kimia dari semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat serta bertindak sebagai pelumas untuk butiran agregat agar lebih mudah dikerjakan. Air yang boleh digunakan adalah air yang tidak beraroma, tidak memiliki rasa, tidak berwarna, dan layak untuk diminum (Susilowati & Nabhan, 2021).

Air sangat penting dalam pembuatan mortar karena dapat memicu reaksi kimia semen, membasahi agregat, dan memudahkan dalam proses kerja mortar. Karena pasta semen terbentuk melalui reaksi kimia antara semen dan air, maka yang diperlukan bukanlah perbandingan total jumlah air dengan berat campuran, tetapi

lebih pada perbandingan antara air dan semen, yang umumnya dikenal sebagai Faktor Air Semen (Mulyadi dkk., 2021).

Menurut SNI 03-2847-2002, Persyaratan Mutu Air adalah sebagai berikut:

- a. Air yang digunakan dalam adukan mortar harus bersih serta tidak mengandung zat-zat yang dapat merusak, seperti minyak, asam, basa, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lain yang dapat membahayakan mortar atau besi tulangan.
- b. Tidak memiliki kotoran, minyak, atau objek mengapung yang dapat terlihat dengan jelas.
- c. Air yang tidak layak untuk diminum tidak seharusnya dipakai dalam pembuatan mortar, kecuali jika syarat-syarat berikut telah dipenuhi:
 1. Pemilihan rasio campuran beton perlu didasarkan pada beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 2. Hasil pengujian pada umur 7 hari dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dihasilkan dari campuran dengan air non-minum harus memiliki kekuatan minimal yang setara dengan 90% dari kekuatan bahan uji yang dihasilkan menggunakan air minum. Perbandingan kekuatan uji harus dilaksanakan pada campuran yang sama, kecuali pada air yang digunakan untuk pencampuran, yang dibuat dan diuji sesuai dengan “Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)” (ASTM C 109).

2.2.4. Fly Ash

Fly ash merupakan salah satu produk limbah yang dihasilkan akibat proses pembakaran dan terdiri dari butiran halus. Abu yang tidak terangkat disebut dengan *bottom ash*. Di sektor industri, *fly ash* biasanya merujuk pada abu yang dihasilkan dalam proses pembakaran batubara. *Fly ash* biasanya ditangkap menggunakan *electrostatic precipitators* atau alat penyaring partikel lainnya sebelum gas buang mencapai cerobong asap dari pembangkit listrik batubara, dan bersama dengan *bottom ash*, diambil dari dasar tungku yang dikenal sebagai abu batubara secara keseluruhan (Nofrisal & Rantesalu, 2020)

Fly Ash adalah limbah yang hingga kini belum digunakan secara maksimal, sehingga berpotensi menyebabkan isu lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya dalam memanfaatkan *fly ash* sebagai campuran dalam mortar guna mengurangi penggunaan semen pada campuran mortar tanpa menurunkan kualitas mortar (daya tahan mortar) serta untuk meningkatkan ketahanan mortar (Martha dkk., 2023)

Abu terbang (*fly ash*) ini adalah produk sampingan dari industri yang memiliki sifat pozzolan dan dapat digunakan sebagai pengikat dalam pembuatan mortar. Pozzolan adalah material yang terbuat dari aluminium dan silika yang akan bereaksi dengan kalsium hidroksida secara kimia pada suhu ruangan serta dapat menghasilkan senyawa yang bersifat *cementitious*. Oleh karena itu, dengan kandungan tersebut, *fly ash* dapat difungsikan sebagai substitusi semen (Banantya, 2021).

Tabel 2.2: Hasil XRF *Fly Ash*.

Unsur	Konsentrasi (%)	Senyawa	Konsentrasi (%)
Al	5,60	Al ₂ O ₃	7,80
Si	11,50	SiO ₂	18,00
P	0,28	P ₂ O ₅	0,45
S	1,60	SO ₃	2,80
K	1,62	K ₂ O	1,30
Ca	27,10	CaO	24,70
Ti	1,40	TiO ₂	1,40
V	0,04	V ₂ O ₅	0,05
Cr	0,093	Cr ₂ O ₃	0,084
Mn	0,41	MnO	0,32
Fe	42,30	Fe ₂ O ₃	35,80
Ni	0,06	NiO	0,04
Cu	0,11	CuO	0,074
Zn	0,09	ZnO	0,07
Sr	1,70	SrO	1,10
Mo	4,60	MoO ₃	4,80
Ba	0,52	BaO	0,36
Eu	0,49	Eu ₂ O ₃	0,34
Yb	0,06	Yb ₂ O ₃	0,04
Re	0,10	Re ₂ O ₇	0,09
Hg	0,37	HgO	0,23

Sumber : (Rini dkk., 2019).

Berdasarkan hasil pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) yang telah dilakukan, diketahui persentase senyawa dalam fly ash, di mana kandungan pozzolan mencapai 61,6%. Ini terdiri dari SiO₂ yang berjumlah 18%, Al₂O₃ yang mencapai 7,8%, dan Fe₂O₃ yang sebesar 35,8%. Selain itu, kandungan CaO tercatat sebesar 24,7%. Kadar pozzolan (SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃) berada di atas 50% tetapi di bawah 70%, dengan nilai CaO lebih dari 10%. (Rini dkk., 2019).

Abu terbang, yang dikenal sebagai *fly ash*, digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran dan adukan semen sejak tahun 1930-an. Biasanya, gravitasi spesifik bahan abu terbang berkisar antara 1,9 - 2,55 kg/m³. Berat jenis dari abu terbang dalam keadaan longgar berada di antara 540 – 860 kg/m³, sementara dalam kondisi terkompresi mencapai 1.120 – 1.500 kg/m³.

Abu terbang ini juga dikenal sebagai *high-calcium fly ash*, karena kadar CaO yang cukup tinggi. Tipe C *fly ash* memiliki karakteristik *cementitious* di samping sifat pozzolan. Dengan kadar CaO yang tinggi dan sifat semen, ketika terpapar air atau kelembaban, bahan ini akan mengalami hidrasi dan mengeras dalam waktu sekitar 45 menit.

Komposisi *fly ash* yang dicampurkan pada mortar adalah berdasarkan dari berat semen dengan kadar 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Mortar tanpa penambahan fly ash sebagai benda uji kontrol. Ukuran benda uji 5 x 5 x 5 cm berjumlah 150 buah. Kuat tekan rata-rata mortar normal (0%) dan mortar fly ash dengan variasi penambahan 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% secara berurutan adalah 24,91 MPa, 26,68 MPa, 29,61 MPa, 27,87 MPa, 23,97 MPa dan 23,54 MPa. Kuat tekan mortar setelah ditambah dengan fly ash sebesar 10% mengalami peningkatan sebesar 7,08%, penambahan 20% peningkatan kuat tekan sebesar 18,85%, penambahan 30% peningkatan kuat tekan sebesar 11,85%, selanjutnya pada penambahan 40% dan 50% kuat tekan mengalami penurunan masing-masing 3,77% dan 5,51%. Penambahan fly ash dalam campuran mortar semen dengan persentase terhadap berat semen menghasilkan kuat tekan mortar optimum pada kadar 20% dengan kuat tekan 29,61 MPa atau kenaikan kuat tekan mortar fly ash terhadap mortar normal sebesar 18,85% (Sultan dkk., 2021).

2.2.5. Serbuk Cangkang Tiram

Jika dilihat dari komposisi mineralnya, cangkang tiram mengandung kandungan kalsium yang tinggi yang menjadi bagian utama dari strukturnya yang keras. Kelebihan cangkang tiram dalam sektor perikanan adalah tingginya jumlah kalsium karbonat. Cangkang tiram dapat digunakan sebagai alternatif pengganti kapur dalam bentuk CaO dengan persentase mencapai 56,77%. Dengan kadar kalsium yang sangat tinggi, limbah cangkang tiram sangat cocok untuk dijadikan bahan pengganti sebagian semen di dalam mortar. Beberapa penelitian telah mengkaji pemanfaatan cangkang tiram dalam semen, menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton mengalami peningkatan ketika semen diganti dengan limbah cangkang tiram sebanyak 20%, akan tetapi kekuatan tekan beton menurun jika semen diganti hingga 25% (Bunyamin dkk., 2023).

Pengaruh perbandingan komposisi campuran abu dan serbuk cangkang tiram terhadap kuat tarik belah beton dengan substitusi semen dengan faktor air semen 0,40, 0,50 dan 0,60, dengan jumlah benda uji 60 buah. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tarik belah beton tertinggi pada FAS 0,50 dengan pencampuran cangkang tiram 5% yaitu 4,02 MPa. Sedangkan beton normal, kuat tarik beton tertinggi diperoleh pada FAS 0,40 sebesar 3,72 MPa (Bunyamin dkk., 2021).

Cangkang tiram yang biasanya dibuang digunakan sebagai pengganti semen, karena cangkangnya terbuat dari kalsium. Semen diganti sebagian dengan bubuk cangkang tiram sebanyak 5, 10 dan 15% berat semen.. Umur 28 hari beton normal 31,61 MPa, 5% 40,67 MPa, 10% 44,47 MPa, 15% 44,59 MPa. Umur 28 hari beton normal 5,86 MPa, 5% 5,61 MPa, 10% 6,53 MPa, 15% 6,81 MPa. Kuat lentur maksimum dicapai sebesar 15% ternyata lebih besar dibandingkan beton konvensional. Kekuatan tekan maksimum dicapai ketika terjadi penggantian sebagian semen dengan bubuk cangkang tiram (15%). Jadi, persentase penggantian bubuk cangkang tiram yang optimum adalah 15% (Ayyappan, 2018).

Li, dkk. (dalam Bunyamin dkk., 2021) menjelaskan pemanfaatan bubuk cangkang tiram sebagai bahan campuran beton telah sering diterapkan. Ini terjadi karena terdapat kadar CaO yang relatif tinggi. Limbah cangkang tiram memiliki zat

kimia yang bersifat pozzolan, yaitu mengandung kalsium oksida (CaO), alumina, dan senyawa silika, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku beton alternatif.

Ubachukwu dkk. (Bunyamin dkk., 2021) menjelaskan limbah dari cangkang tiram dapat dimanfaatkan sebagai substitusi sebagian semen dalam campuran beton, karena karakteristiknya yang menyerupai zat kapur, namun penambahan limbah cangkang tiram hingga 25% dapat mengurangi kualitas beton.

Unsur kimia pada cangkang tiram yang telah diteliti menunjukkan bahwa sekitar setengah dari berat cangkang tiram terdiri dari unsur kalsium. Informasi mengenai kandungan unsur kimia dalam cangkang tiram dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 2.3: Kandungan unsur kimia dalam serbuk cangkang tiram.

Senyawa Oksida	Jumlah (%)
SiO ₂	1.60
Al ₂ O ₃	0.92
CaO	51.56
MgO	1.43
Na ₂ O	0.08
K ₂ O	0.06
H ₂ O	0.31
LOI	41.84

Sumber : (Ayyappan, 2018).

Potensi penggunaan cangkang tiram sebagai alternatif semen sangat besar karena dalam 100 gram cangkang tiram terdapat 51,56 gram CaO dan 48,44 gram zat-zat kimia lainnya (Ayyappan, 2018).

2.3. Perencanaan Campuran Mortar

Mortar yang dibuat di laboratorium yang dipergunakan untuk menentukan sifat-sifat menurut spesifikasi ini harus berisi bahan-bahan konstruksi dalam susunan campuran yang ditetapkan dalam spesifikasi proyek. Semua pasir untuk pembuatan mortar di laboratorium harus dikeringkan dalam oven dan didinginkan sampai Temperatur ruang. Timbang sebanyak 2500 g pasir untuk setiap kali pencampuran mortar yang akan dipersiapkan di laboratorium, di mana volume ini

cukup untuk pengujian retensi air dan pembuatan 3 buah contoh uji berbentuk kubus bersisi 5 cm untuk uji kuat tekan. Tambahkan sejumlah air untuk mendapatkan kecekalan $110 \pm 5\%$. Ubah proporsi campuran berdasarkan volume menjadi berdasarkan berat dengan menggunakan faktor pengubah (konversi) untuk sekali campuran sebagai berikut :

Faktor pengubah : $2500/(1400 \text{ kali campuran volume pasir})$

Keterangan 2500 : berat pasir, g

1400 : bobot isi pasir, g/L

Contoh perhitungan campuran mortar yang disiapkan di laboratorium.

Mortar dengan komposisi campuran I bagian semen dan 3 bagian pasir harus diuji sifatnya. Berat bahan-bahan yang dipakai dihitung menjadi sebagai berikut :

Faktor pengubah sekali campur = $2500/(1400 \times 3) = 0,595$

Berat semen = $1 \times 1250 \times 0,595 = 744 \text{ g}$

Berat pasir = $3 \times 1400 \times 0,595 = 2.500 \text{ g}$

2.4. Perawatan Mortar (*Curing*)

Perawatan (*curing*) mortar adalah suatu proses yang dilakukan setelah beton dicetak dan cetakannya dibuka, bertujuan untuk mencegah mortar kehilangan kelembapan dengan cepat. Ini berarti menjaga kelembapan dan suhu beton agar proses hidrasi berjalan dengan baik dan untuk menghindari keretakan di permukaan mortar. Terdapat beberapa metode perawatan beton yang dapat dipilih berdasarkan jenis serta kondisi struktur yang dirawat. Elemen struktur ini bisa berupa kolom, balok, dan pelat lantai. Untuk perawatan mortar di laboratorium, mortar direndam dalam air, sementara di lokasi proyek, beberapa metode yang digunakan meliputi membungkus mortar dengan plastik putih atau hitam, menyiram permukaan mortar dengan air, serta menutupinya dengan karung goni yang telah dibasahi. Prosedur perawatan (*curing*) mortar dilakukan setelah cetakan dibuka, dengan jangka waktu tertentu untuk memastikan kondisi yang tepat bagi reaksi kimia dalam campuran beton berlangsung baik. Umumnya, perawatan mortar di lokasi berlangsung selama sekitar 7 hari berturut-turut, dimulai dari hari kedua setelah pengecoran atau setelah cetakan dibuka. Proses pengikatan dan penguatan mortar biasanya mencapai puncaknya pada umur beton 28 hari (Mulyati, 2020).

Pada penelitian ini *Curing* dilaksanakan di Laboratorium Beton Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Metode *Curing* yang dipakai ini dengan cara menempatkan beton di dalam bak air perendaman.

2.5. Kuat Tekan Mortar

Menguji kekuatan mortar bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan melalui prosedur yang tepat, dengan pengertian bahwa kuat tekan mortar adalah jumlah beban per satuan luas yang menyebabkan bahan uji mortar hancur ketika dikenakan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Sampel mortar yang akan diuji diletakkan di tengah area tekan mesin, dan beban diberikan secara bertahap hingga mortar mengalami kerusakan (Anggarini & Hardiani, 2023).

Melaksanakan uji tekan pada sampel dilakukan menggunakan alat Universal Testing Machine. Beban yang diterapkan akan disebarkan secara merata dan terus-menerus melalui titik berat dengan tegangan yang dihasilkan adalah:

$$f \text{ (saat pengujian)} = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

Dimana:

F (saat pengujian)	= kuat tekan saat pengujian
P (Kg/cm ²)	= Beban tekan (Kg)
A	= Luas penampang (cm ²).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Tiram Dan *Fly Ash* Sebagai Bahan Pengganti Semen Dengan Variasi Faktor Air Semen (FAS) Terhadap Kuat Tekan Mortar" dimulai setelah memperoleh izin tertulis dari ketua program studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Selanjutnya, dilakukan kajian pustaka, termasuk mencari referensi jurnal, mengetahui komposisi bahan tambahan yang digunakan, serta menentukan persentase yang akan diterapkan dalam penelitian ini.

Setelah menentukan acuan dalam penelitian yaitu SNI 03-6882-2002, tentang Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan. Selanjutnya, dilakukan pengujian dasar seperti analisis saringan, kadar air, kadar lumpur, berat isi, berat jenis dan penyerapan untuk memperoleh data pendukung yang diambil dari laboratorium.

Selanjutnya, dilakukan pencarian *mix design* berdasarkan SNI 03-6882-2002. Tujuannya adalah untuk menentukan proporsi campuran yang tepat bagi setiap benda uji yang akan dibuat. Setelah mendapatkan proporsi campuran mortar, langkah berikutnya adalah menyiapkan bahan tambah (*filler*) yang sudah haluskan sampai menjadi serbuk. Ketika semua bahan yang diperlukan sudah tersedia, tahap berikutnya adalah pembuatan benda uji. Proses pembuatan benda uji dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan variasi campuran bahan tambah, yang meliputi mortar biasa (tanpa bahan pengganti), serta mortar yang menggunakan bahan pengganti semen berupa *fly ash* dengan variasi 5%, 10%, 15%, dan penambahan serbuk cangkang tiram sebanyak 5%, 10%, 15%.

Langkah selanjutnya adalah membuat adonan mortar dan mengecek nilai slump mortar, kemudian memasukkan adonan mortar ke dalam cetakan kubus dengan ukuran 5x5x5 cm yang telah diberi vaselin. Kemudian benda uji mortar didiamkan selama ± 24 jam dan dilepas dari cetakan. Selanjutnya benda uji mortar direndam selama 28 hari. Setelah 28 hari benda uji diangkat dari bak perendaman

dan kemudian dilakukan uji kuat tekan mortar. Data-data yang didapat dikumpulkan untuk di analisa lebih lanjut.

3.1.1. Data Primer

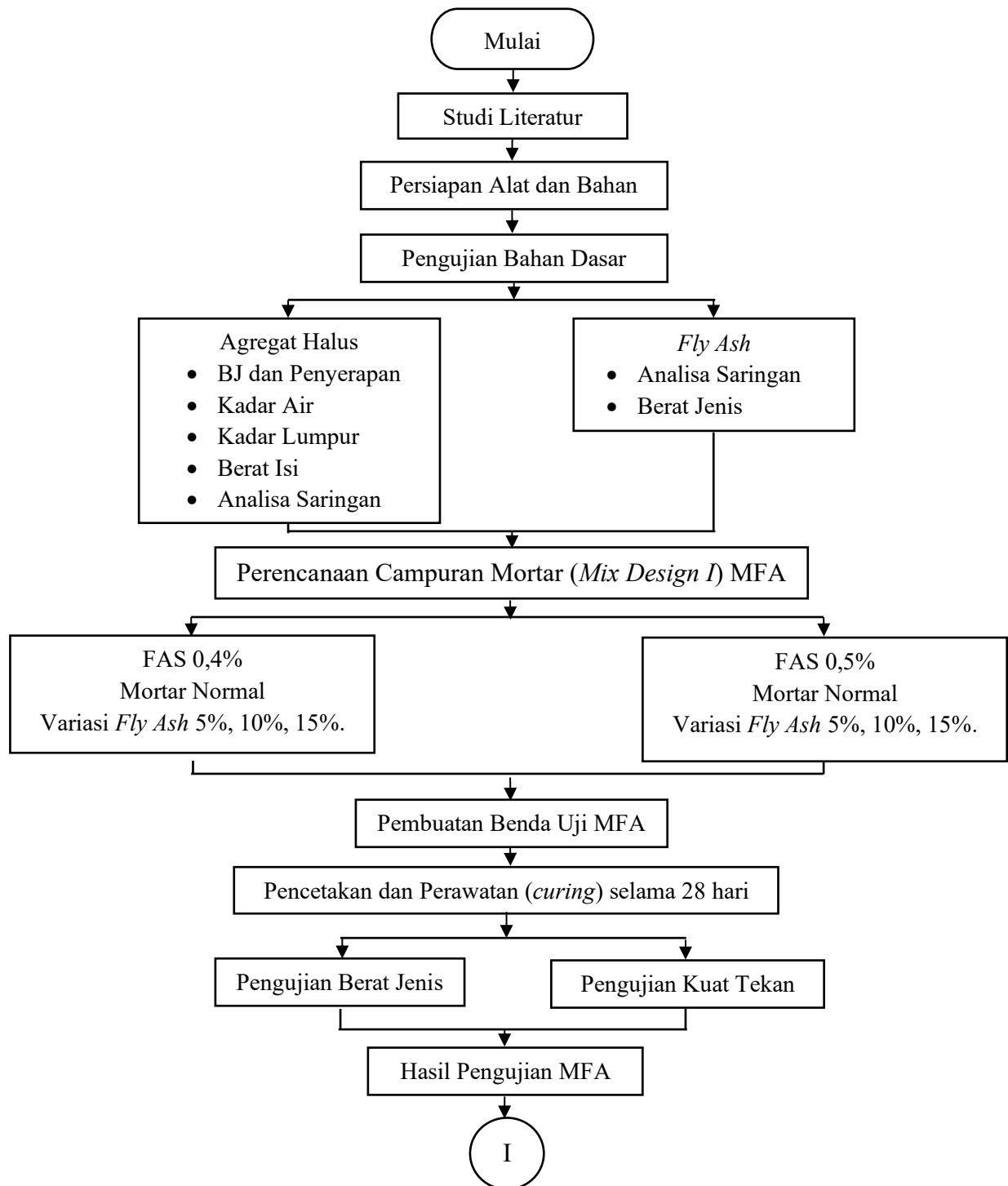
Data yang didapat dari hasil penelitian di laboratorium, yaitu:

- a. Analisa saringan (SNI ASTM C136:2012)
- b. Berat jenis dan penyerapan (SNI 1970:2016)
- c. Pemeriksaan kadar air (SNI 1971:2011)
- d. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI 03 4142-1996)
- e. Pemeriksaan berat isi (SNI 03-4804 1998)
- f. Perbandingan campuran mortar (*mix design*) (SNI 03-6882-2002)
- g. Uji kuat tekan mortar (SNI 03-6825-2002)

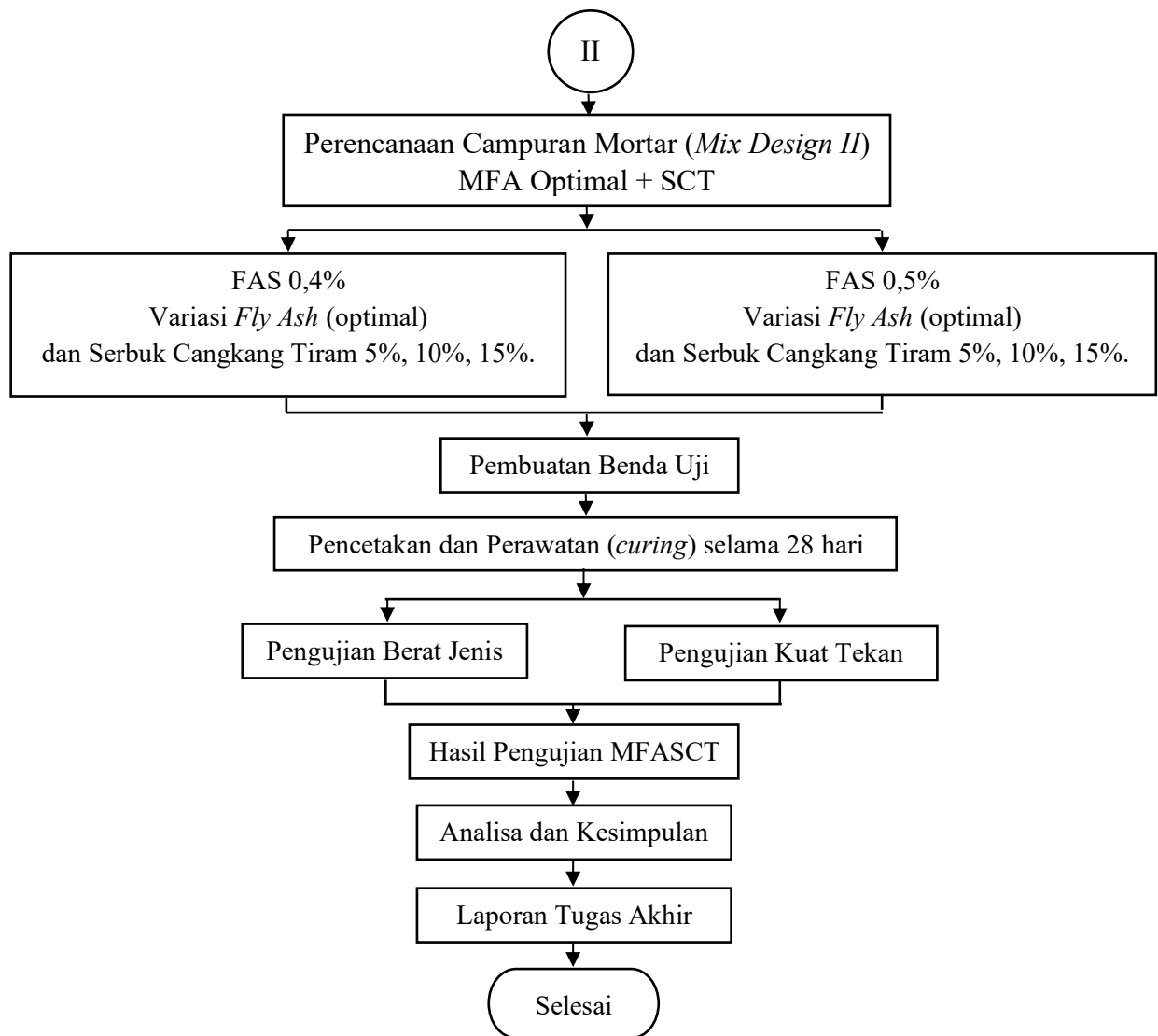
3.1.2. Data Sekunder

Data sekunder merujuk pada informasi yang diambil dari berbagai sumber tertulis yang berkaitan dengan Teknik Mortar (*literatur*) serta referensi pembuatan mortar berdasarkan Standart Nasional Indonesia (SNI), *American Society For Tasting and Materials* (ASTM), Buku Tekologi Beton Dengan Pratikum dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Proses penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian.



Gambar 3.2: Lanjutan.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan waktu pelaksanaan penelitian berlangsung antara bulan Februari 2025 hingga Juli 2025.

3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.3.1. Bahan

Bahan material pembentuk mortar yang digunakan adalah:

a. Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah *Portland composite cement* (PCC).

b. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini didapat dari sumber pasir sungai Binjai, Sumatera Utara.

c. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini didapat dari sumber air Laboratorium UMSU.

d. Serbuk Cangkang Tiram

Serbuk Cangkang Tiram diperoleh dari hasil limbah cangkang tiram di daerah Kluet Utara, Aceh Selatan.

e. *Fly Ash*

Fly Ash diperoleh dari limbah pembakaran batu bara bubuk di pembangkit listrik yang dibeli di marketplace.

3.3.2. Peralatan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Sekop tangan digunakan untuk mengaduk dan memasukkan agregat ke dalam cetakan.

b. Saringan No. 4 (4,76 mm), No. 8 (2,38 mm), No. 16 (1,19 mm), No. 30 (0,59 mm), No. 50 (0,297 mm), No. 100 (0,149 mm); saringan digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus agar ditentukan nilai kehalusan butiran agregat.

c. PAN Berfungsi untuk ayakan yang paling bawah, pan digunakan untuk agregat yang lolos ayakan.

- d. Wadah atau ember digunakan untuk tempat air perendaman sampel.
- e. Masker berfungsi untuk melindungi pernapasan dari bahaya yang mungkin terjadi di laboratorium.
- f. Plastik digunakan sebagai wadah agregat.
- g. Skrap digunakan untuk mengubah permukaan benda kerja menjadi permukaan rata baik bertingkat, menyudut dan alur.
- h. Sarung Tangan untuk melindungi tangan dari bahan kimia berbahaya, benda tajam, dan risiko cedera lainnya.
- i. Cetakan benda uji berbentuk kubus dengan panjang sisi 5 cm, dibuat dari baja 55 HRB harus kedap air
- j. Timbangan kapasitas 4000 gram dengan ketelitian 5 gram; digunakan untuk menimbang masing-masing berat komposisi campuran mortar.
- k. gelas ukur kapasitas 500 ml dengan ketelitian 2 ml. Alat ukur volume, untuk sampel bahan cair.
- l. stop watch berfungsi untuk mengukur waktu dengan akurasi tinggi dalam penelitian.
- m. alat pemadat digunakan untuk memadatkan campuran mortar pada cetakan.
- n. sendok perata berfungsi untuk meratakan permukaan benda uji.
- o. mistar dari baja panjang 20 cm, dengan ketelitian 1 mm;
- p. Mesin pengaduk Standar ASTM C 305 yang kecepatan perputarannya dapat diatur, dilengkapi dengan mangkok pengaduk kapasitas 2500 cc; merupakan alat yang digunakan untuk mencampur material yang dibutuhkan dalam proses pembuatan mortar, seperti semen, agregat halus, dan air.

3.4. Persiapan Penelitian

Setelah semua peralatan dan bahan yang dibutuhkan sudah tiba di tempat penelitian, kemudian semua bahan dikelompokkan berdasarkan jenisnya untuk memudahkan pelaksanaan penelitian dan persiapan bahan yang akan dipakai dalam penelitian.

3.5. Pemeriksaan Agregat Agregat Halus

Dalam analisis agregat halus, dilaksanakan di Laboratorium dengan merujuk pada pedoman SNI mengenai pemeriksaan agregat serta mengacu pada

Buku Panduan Praktikum Beton Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.5.1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Persamaan :

$$1) \text{ Bulk grafitry dry (Berat Jenis Kering) } S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.1)$$

$$2) \text{ Bulk grafitry SSD (Berat jenis SSD) } S_s = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.2)$$

$$3) \text{ Apparent Specific Grafitry (Berat Jenis Semu) } S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (3.3)$$

$$4) \text{ Absorbtion (Penyerapan) } S_w = \left(\frac{S-A}{A} \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gram)

B = Berat piknometer yang berisi air (gram)

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan/SSD, (gram)

3.5.2. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Persamaan :

$$1) \text{ Berat sample SSD + berat wadah (W1)} \quad (3.5)$$

$$2) \text{ Berat sample kering oven + berat wadah (W2)} \quad (3.6)$$

$$3) \text{ Berat wadah (W3)} \quad (3.7)$$

$$4) \text{ Berat air} = (W1 - W2) \quad (3.8)$$

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{Berat SSD}-\text{berat kering oven}}{\text{Berat Kering Oven}} \times 100\% \quad (3.9)$$

3.5.3. Kadar Lumpur Agregat Halus

Persamaan :

$$1) \text{ Berat agregat sebelum dicuci (kg) (A)}$$

$$2) \text{ Berat agregat setelah dicuci dan kering oven (kg) (C)}$$

$$3) \text{ Pensentase lumpur dalam agregat (\%)} \quad (3.10)$$

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

3.5.4. Berat Isi Agregat Halus

Persamaan :

- 1) Berat agregat + wadah (W_1)
- 2) Berat wadah (W_2)
- 3) Berat agregat (W_3) ($W_1 - W_2$)
- 4) Volume Wadah (W_4)
- 5) Berat isi $\frac{W_3}{W_4}$ (3.11)

3.5.5. Analisa Saringan Agregat Halus

Prosedur percobaan untuk metode analisis saringan dilakukan dengan ketentuan:

- 1) Menentukan Persentase Kumulatif Berat Tertahan agregat halus
- 2) Menentukan Persentase Kumulatif Berat Lolos agregat halus
- 3) Memplotkan hasil no 2 dalam Grafik Daerah Gradasi Agregat Halus
- 4) Menentukan masing-masing Modulus Kehalusan Butir MHB untuk halus.
- 5) Menentukan nilai MHB Campuran misalnya nilai MHB campuran sebesar antara 5,0- 7,0.
- 6) Hitung persentase agregat halus terhadap campuran
- 7) Hitung persentase Kumulatif Berat Lolos Agregat Campuran untuk masing-masing ayakan
- 8) Memplotkan hasil no 7 ke dalam Grafik Zona Gradasi Agregat Campuran.

3.6. Pemeriksaan *Fly Ash*

3.6.1. Analisa Saringan

Untuk melihat gradasi butiran dilakukan uji saringan *fly ash*, mulai dari saringan nomor 4 s/d dengan nomor 100. Dari hasil uji saringan ini ternyata semua butiran *fly ash* lolos saringan nomor 100. Maka dapat dikategorikan bahwa *fly ash* termasuk butiran berbutir halus.

3.6.2. Berat Jenis *Fly Ash*

Persamaan :

- 1) Berat Wadah (W_1)
- 2) Berat Wadah + *Fly Ash* (W_2)
- 3) Berat *Fly Ash* ($W_2 - W_1$)

- 4) Berat Wadah + *Fly Ash* + Air (W_3)
- 5) Berat Wadah + Air (W_4)
- 6) Berat Jenis *Fly Ash*
$$\frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.12)$$

3.7. Rancangan Campuran Mortar

Rancangan campuran mortar yang digunakan adalah dengan metode eksperimen. Rancangan penelitian ini menggunakan campuran Serbuk Cangkang Tiram dan *Fly Ash* dengan persentase 5%, 10%, dan 15%. Penelitian ini memakai benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm untuk menguji kuat tekan mortar. Jumlah benda uji sebanyak 42 sampel dengan umur 28 hari. Agar lebih memudahkan, persentase *Fly Ash* dan Serbuk Cangkang Tiram dalam proses pembuatan benda uji kuat tekan mortar akan ditampilkan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1: Variasi campuran mortar dengan FAS 0,4%, 0,5%.

No	FAS	Kode Benda Uji	Semen	Pasir	<i>Fly Ash</i>	Serbuk Cangkang Tiram	Jumlah Sampel
1.	0,4%	MRN	100%	100%	0%	0%	3
		MFA 5%	95%	100%	5%	0%	3
		MFA 10%	90%	100%	10%	0%	3
		MFA 15%	85%	100%	15%	0%	3
		MFASCT 5%	OPT MFA	100%	OPT MFA	5%	3
		MFASCT 10%	OPT MFA	100%	OPT MFA	10%	3
		MFASCT 15%	OPT MFA	100%	OPT MFA	15%	3
2.	0,5%	MRN	100%	100%	0%	0%	3
		MFA 5%	95%	100%	5%	0%	3
		MFA 10%	90%	100%	10%	0%	3
		MFA 15%	85%	100%	15%	0%	3
		MFASCT 5%	OPT MFA	100%	OPT MFA	5%	3
		MFASCT 10%	OPT MFA	100%	OPT MFA	10%	3
		MFASCT 15%	OPT MFA	100%	OPT MFA	15%	3
		JUMLAH					42

Keterangan:

- MRN = Mortar Normal
- MFA = Mortar *Fly Ash*
- MFASCT = Mortar *Fly Ash* dan Serbuk Cangkang Tiram
- OPTMFA = Optimal Mortar *Fly Ash*

3.8. Pelaksanaan Penelitian

3.8.1. Mix Design

Mix design atau desain campuran mortar bertujuan untuk menentukan rasio campuran material sehingga beton dapat memenuhi standar umum dan teknis sesuai dengan yang telah direncanakan.

Penelitian ini mengambil topik tentang mortar dengan menggunakan metode SNI. Dalam penelitian ini menggunakan beberapa variasi dalam adukan mortar, dengan menambahkan *Fly Ash* dan Serbuk Cangkang Tiram sebagai pengganti sebagian semen yang diberikan secara konstan sebanyak 5%, 10%, 15%.

Pada penelitian ini rencana campuran mortar menggunakan SNI 03-6882-2002, tentang “Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan”.

3.8.2. Mix Design perbandingan campuran mortar 1 : 3

Mix design untuk pembuatan mortar:

1. Berat Jenis semen = 3150 kg/m³.
2. Berat Jenis pasir = 2240 kg/m³.
3. Berat jenis air = 1000 kg/m³.
4. Volume total = 1m³.
5. Perbandingan semen dan pasir adalah 1 semen : 3 pasir

Penyebutan pasir dan semen disamakan = x

$$x + 3x = 1 \text{ m}^3$$

$$4x = 1 \text{ m}^3$$

$$x = 0,25 \text{ m}^3$$

6. Jumlah semen yang digunakan untuk 1m³

$$\text{Semen} = 1 \times x$$

$$= 1 \times 0,25$$

$$= 0,25 \text{ m}^3$$

$$\text{Semen} \times \text{berat Jenis semen}$$

$$= 0,25 \times 3150$$

$$= 787,5 \text{ kg}$$

7. Jumlah pasir yang digunakan untuk 1m³

$$\begin{aligned}\text{Pasir} &= 3 \times x \\ &= 3 \times 0,25 \\ &= 0,75 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pasir} \times \text{berat Jenis semen} \\ &= 0,75 \times 2240 \\ &= 1680 \text{ kg}\end{aligned}$$

8. Jumlah air yang digunakan untuk 1m^3

- FAS 0,4%

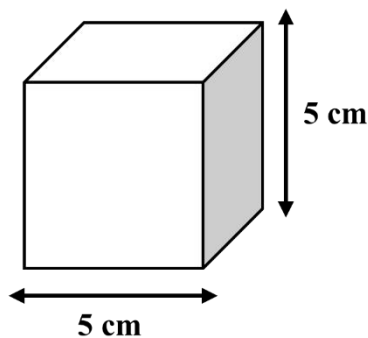
$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah semen} \times 0,4 \\ &= 787,5 \times 0,4 \\ &= 315 \text{ kg}\end{aligned}$$

- FAS 0,5%

$$\begin{aligned}\text{Air} &= \text{Jumlah semen} \times 0,5 \\ &= 787,5 \times 0,5 \\ &= 393,75 \text{ kg}\end{aligned}$$

3.8.3. Pembuatan Benda Uji

Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk kubus dengan ukuran $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}$ yang berjumlah 42 sampel.

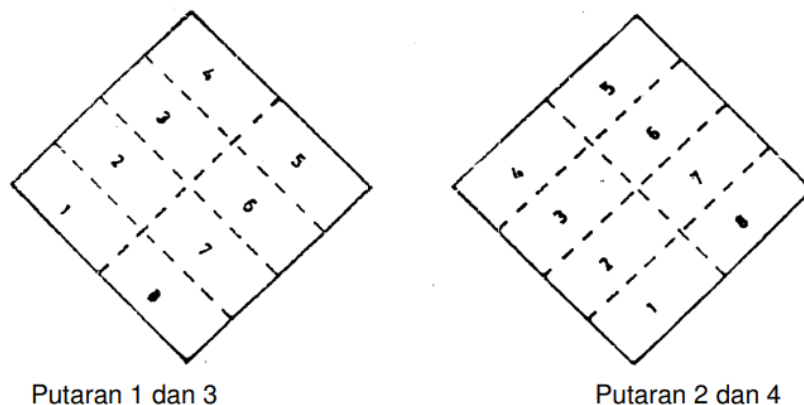


Gambar 3.3: Benda Uji Kubus.

Pengujian kekuatan tekan mortar semen portland dilakukan melalui tahap pekerjaan, sebagai berikut :

- 1) Tuangkan air suling .ke dalam mangkok pengaduk, kemudian masukkan pula perlahan-lahan contoh semen sebanyak 500 gram, biarkan kedua bahan dalam mangkok pengaduk selama 30 detik;

- 2) Aduklah campuran air suling dan semen dengan menggunakan mesin pengaduk selama 30 detik, kecepatan putaran mesin pengaduk adalah 140 ± 5 putaran per menit;
- 3) Siapkan pasir kwarsa sebanyak 1375 gram; masukkan sedikit demi sedikit ke dalam mangkok yang berisi campuran semen-air suling sambil diaduk dengan kecepatan yang sama selama 30 detik; setelah itu pengadukan diteruskan selama 30 detik dengan kecepatan pengadukan 285 ± 10 putaran per menit;
- 4) Pengadukan dihentikan, bersihkan mortar yang menempel di bibir dan bagian atas mangkok pengaduk selama 15 detik, selanjutnya mortar dibiarkan selama 75 detik dalam mangkok pengaduk yang ditutup;
- 5) Ulang kembali pengadukan selama 60 detik dengan kecepatan pengadukan 285 ± 10 putaran per menit;
- 6) Pekerjaan selanjutnya dilanjutkan dengan mencetak benda uji dengan urutan sebagai berikut:
 - (1) aduk kembali mortar di dalam mangkok pengaduk dengan kecepatan pengadukan 285 ± 10 putaran per menit selama 15 detik;
 - (2) masukkan mortar ke dalam cetakan kubus; pengisian cetakan dilakukan sebanyak 2 lapis dan setiap lapis harus dipadatkan 32 kali dengan 4 kali putaran dalam 10 detik; konfigurasi pemadatan seperti tercantum pada Gambar 3.2; pekerjaan pencetakan benda uji, harus sudah dimulai dalam waktu paling lama 2 1/2 menit setelah pengadukan semula (butir 5);



Gambar 3.4: Konfigurasi Alat Pemadat Benda Uji.

- (3) ratakan permukaan atas kubus benda uji dengan menggunakan sendok perata;
 - (4) simpan kubus-kubus benda uji dalam lemari lembab selama 24 jam;
 - (5) setelah itu bukalah cetakan dan rendamlah kubus-kubus benda uji dalam air bersih sampai saat pengujian kuat tekan dilakukan;
- 7) Bila dibuat campuran mortar duplo untuk benda uji tambahan, percobaan leleh ditiadakan dan mortar dibiarkan dalam mangkok pengaduk selama 75 detik tanpa ditutup, selanjutnya mortar yang menempel di bibir & bagian atas mangkok dibersihkan dalam waktu 15 detik; kemudian mortar diaduk kembali untuk mencetak benda uji, sesuai urutan dalam butir 8;
 - 8) Pada umur yang telah ditentukan, lakukan pengujian kekuatan tekan terhadap benda uji itu dengan urutan kegiatan sebagai berikut :
 - (1) angkatlah benda uji dari tempat perendaman, kemudian permukaannya dikeringkan dengan cara di lap dan dibiarkan selama ± 15 menit;
 - (2) timbanglah kubus benda uji, lalu catat berat benda uji itu;
 - (3) letakkan benda uji pada mesin penekan; tekanlah benda uji itu dengan penambahan besarnya gaya tetap sampai benda uji itu pecah. Pada saat pecah, catatlah besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja.
 - 9) Hitunglah berat isi benda uji serta kuat tekan. selanjutnya hitung nilai rata-rata berat isi dan kekuatan tekan benda uji.

3.8.4. Perawatan (*Curing*) Mortar

Setelah mortar dikeluarkan dari cetakan, dilakukan proses perawatan dengan merendamnya dalam air hingga waktu pengujian kekuatan tekan, yang dilakukan pada umur 28 hari.

3.8.5. Pengujian Kuat Tekan

Tahap pengujian kuat tekan mortar langsung dilaksanakan terhadap benda uji berupa kubus ukuran 5x5x5 cm. Pengujian dilaksanakan menggunakan alat uji tekan yang memiliki daya tampung 150 Ton. Sebelum proses penekanan, benda uji harus ditimbang terlebih dahulu agar dapat mengetahui berat jenis mortar.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Dan Analisa Pemeriksaan Agregat

Pada saat pemeriksaan agregat halus, peneliti mengumpulkan data material seperti analisa saringan, kadar air, kadar lumpur, berat isi, berat jenis dan penyerapan serta pemeriksaan *fly ash* yaitu analisa saringan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, mengikuti pedoman SNI dan Buku Teknologi Beton.

4.2. Pemeriksaan Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam yang berasal dari Binjai, Sumatera Utara. Pengujian pada agregat halus meliputi analisa saringan, kadar air, kadar lumpur, berat isi, berat jenis dan penyerapan.

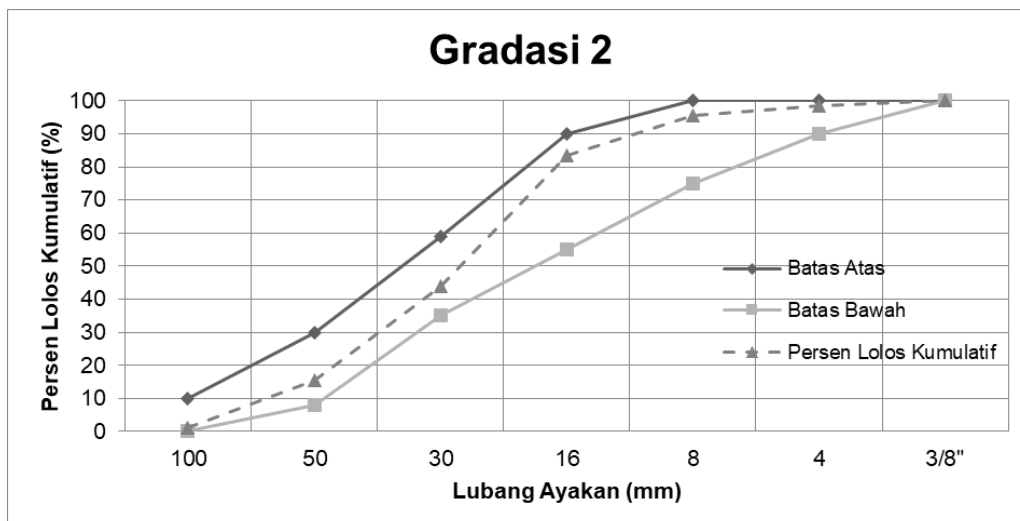
4.2.1. Analisa Saringan Agregat Halus

Pada agregat halus, dilakukan pemeriksaan analisa saringan yang merujuk pada SNI ASTM C136:2012 dan mengikuti Buku Memahami Teknologi Beton Dengan Praktikum UMSU. Hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
mm (Inci)	gr	gr	Tertahan	Lolos
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
9.52 mm (3/8 inci)	0	0	0	100
4.75 mm (No.4)	40	40	1,60	98,40
2.36 mm (No.8)	70	110	4,40	95,60
1.18 mm (No.16)	300	410	16,40	83,60
0.6 mm (No.30)	995	1405	56,20	43,80
0.3 mm (No.50)	710	2115	84,60	15,40
0.15 mm (No.100)	360	2475	99,00	1,00
Pan	25	2500	100	0
Modulus Kehalusan			262,20	2,6

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\% \text{ kumulatif}}{100} = \frac{262,20}{100} = 2,6 \% \quad (4.1)$$



Gambar 4.1: Gradasi Agregat Halus (Zona 2 Pasir Sedang).

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai FM sebesar 2.6 %. Tjokrodimuljo (2007) menyatakan bahwa umumnya modulus agregat halus memiliki nilai di kisaran 1,5 hingga 3,8, yang menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi kriteria yang telah ditentukan.

4.2.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus sesuai dengan SNI 1970:2016 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus.

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	S	500	500	gram
Berat benda uji kering oven	A	485	490	gram
Berat piknometer berisi air	B	675	675	gram
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan	C	950	955	gram

Pengujian	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah (S_d)	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,16	2,23	2,19
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (S_s)	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,22	2,27	2,24
Berat Jenis Semu (S_a)	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,31	2,33	2,32
Penyerapan Air (A_w)	$\left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\%$	3,09	2,04	2,56

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis, diketahui bahwa Berat jenis SSD (*Saturated Surface Dry*) rata-rata mencapai 2,24 gr/cm³ dan termasuk dalam kategori agregat normal, karena nilainya masih berada dalam rentang yang diperbolehkan, yaitu antara 2,2 hingga 2,9. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penyerapan air (*absorption*) tercatat sebesar 2,56 %.

4.2.3. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Hasil pengujian kadar lumpur dari agregat halus yang merujuk pada SNI 03 4142-1996 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Pengujian Kadar Lumpur Angregat Halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Isi	W1		1495	1495	gram
Berat Wadah	W2		495	495	gram
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1485	1480	gram
Berat Kering Contoh Awal	W4	$W1 - W2$	1000	1000	gram
Berat Kering Contoh Akhir	W5	$W3 - W2$	990	985	gram
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W6	$W4 - W5$	10	15	gram
Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W7	$(W6 \div W4) \times 100$	1	1,5	%
Rata - rata			1,25		%

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilaksanakan dengan 2 kali percobaan. Pada percobaan pertama, nilai yang diperoleh adalah kadar lumpur sebesar 1 %, sementara pada percobaan kedua didapatkan kadar lumpur sebesar 1,5 %. Dengan demikian, rata-rata kadar lumpur dari kedua pengujian tersebut adalah 1,25 %. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, kadar lumpur yang diperbolehkan untuk agregat halus (pasir) maksimal adalah 5%, sehingga pasir yang digunakan memenuhi ketentuan yang disyaratkan.

4.2.4. Pengujian Berat Isi Agregat Halus

Hasil pengujian berat isi agregat halus yang mengacu pada (SNI 03-4804 1998) dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Berat Isi Agregat Halus.

Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Sampel + Wadah (W1) gr	21205	21960	21582,5
Berat Wadah (W2) gr	5330	5330	5330
Berat Sampel (W3) (W1-W2) gr	15875	16630	16252,5
Volume Wadah (W4) cm ³	10952,23	10952,23	10952,23
Berat Isi (W3/W4) gr/vm ³	1,45	1,52	1,49

Berdasarkan hasil pengujian berat isi dari agregat halus, didapatkan rata-rata berat isi sebesar 1,49 gr/cm³. Berat isi minimum yang diperlukan untuk mortar normal berada di antara 1,4 hingga 1,9 gr/cm³, sehingga berat agregat halus yang dipakai sudah memenuhi kriteria yang ditetapkan.

4.2.5. Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air pada agregat halus mengacu pada (SNI 1971–2011). Dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5: Kadar Air Agregat Halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		gram	960	675
Massa Wadah	b		gram	460	175
Massa Benda Uji	W1	a - b	gram	500	500
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		gram	935	660
Massa Wadah	d		gram	460	175
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	c - d	gram	475	485
Kadar Air Total	P	$\left[\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right] \times 100$	%	5,26	3,09
Rata-rata			%	4,17	

Pengujian kadar air pada agregat halus dilakukan sebanyak dua kali percobaan. Hasil dari percobaan pertama menunjukkan nilai nilai kadar air sebesar

5,26 % dan percobaan kedua menunjukkan nilai sebesar 3,09 %. Dengan demikian, rata-rata nilai kadar air agregat halus adalah 4,17 %.

4.3. Pemeriksaan *Fly Ash*

Fly Ash yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* tipe c yang berasal dari abu sisa pembakaran batu bara. Pengujian pada *fly ash* meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan.

4.3.1. Analisa Saringan *Fly Ash*

Pada *fly ash*, dilakukan pemeriksaan analisa saringan yang merujuk pada SNI ASTM C136:2012 dan mengikuti Buku Memahami Teknologi Beton Dengan Pratikum UMSU. Hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Pengujian Analisa Saringan *Fly Ash*.

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan	Lolos
mm (Inci)	gr	gr	(d)	(e)
9.52 mm (3/8 inci)	0	0	0	100
4.75 mm (No.4)	0	0	0	100
2.36 mm (No.8)	0	0	0	100
1.18 mm (No.16)	2	2	0.2	99,80
0.6 mm (No.30)	3	5	0.5	99,50
0.3 mm (No.50)	5	10	1	99,00
0.15 mm (No.100)	25	35	3.5	96,50
Pan	965	1000	100	0
Modulus Kehalusan			5,20	0,05

$$\text{Modulus Halus Butir (MHB)} = \frac{\% \text{ kumulatif}}{100} = \frac{5,20}{100} = 0,05 \% \quad (4.2)$$

Berdasarkan hasil pengujian analisis, diperoleh nilai FM sebesar 0,05%. Menunjukkan bahwa nilai tersebut memenuhi kriteria yang telah ditentukan.

4.3.2. Berat Jenis *Fly Ash*

Hasil pengujian berat jenis *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan *Fly Ash*.

Pengujian	Notasi (gr)	I	II
Berat Wadah	(W1)	108	108
Berat Wadah + <i>Fly Ash</i>	(W2)	173	173
Berat <i>Fly Ash</i>	(W2-W1)	65	65
Berat Wadah + <i>Fly Ash</i> + Air	(W3)	396	394
Berat Wadah + Air	(W4)	358	358
Berat Jenis <i>Fly Ash</i>	$\frac{(W2 - W1)}{(W4 - W1) - (W3 - W2)}$	2,41	2,24
Berat Jenis Rata-rata		2,33	

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis, diketahui bahwa Berat jenis rata-rata *fly ash* adalah 2,33 gr/cm³.

4.4. Perencanaan Campuran Mortar (*Mix Design*)

Pengujian kuat tekan mortar dilaksanakan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton serta pengaruh dari penggunaan *fly ash* dan serbuk cangkang tiram terhadap kuat tekan beton. Pengujian ini dilakukan ketika beton berumur 28 hari. Dalam hal ini, peneliti akan menganalisis data yang diperoleh selama penelitian agar dapat menghasilkan campuran beton yang diinginkan. Data-data dasar dari hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Data-data Hasil Tes Dasar.

Keterangan	Nilai		Satuan
	Agregat Halus	<i>Fly Ash</i>	
Modulus Kehalusan	2,6	0,05	%
Berat Jenis	2,24	2,33	gr/cm ³
Penyerapan Air	2,56	-	%
Kadar Air	4,17	-	%
Kadar Lumpur	1,25	-	gr/cm ³
Berat Isi	1,49	-	%

Setelah menyelesaikan pengujian awal, maka hasil yang diperoleh bisa digunakan untuk perencanaan campuran mortar (*mix design*) yang diinginkan. Perencanaan campuran mortar dilakukan berdasarkan metode uji SNI 03-6882-2002.

Tabel 4.9: Data Kebutuhan *Mix Design*.

Keterangan	Nilai	Satuan
Ukuran Agregat Maksimum	4,75	mm
Berat Jenis Semen Tanpa Tambahan Udara	3,15	gr/cm ³
Modulus Kehalusan Agregat Halus	2,6	mm
Berat Jenis Agregat Halus	2,24	gr/cm ³
Penyerapan Air Agregat Halus	2,56	%

4.5. Kebutuhan Material

Kebutuhan material diperoleh dari hasil perhitungan *mix design* di atas, dengan benda uji yang dibuat berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm maka akan didapat perhitungan sebagai berikut sebagai berikut:

1. Benda uji yang dibuat adalah kubus sebanyak 42 buah.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Kubus} &= 5 \times 5 \times 5 \\
 &= 125 \text{ cm}^3 = 0,000125 \text{ m}^3
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

2. Total bahan material yang diperlukan untuk membuat 1 benda uji:

- Semen yang diperlukan untuk 1 benda uji yaitu:

$$\begin{aligned}
 &\text{Banyak semen dalam 1 m}^3 \times \text{Volume benda uji} \\
 &= 787,5 \text{ kg/m}^3 \times 0,000125 \text{ m}^3 \\
 &= 0,09844 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

- Agregat halus yang diperlukan untuk 1 benda uji yaitu:

$$\begin{aligned}
 &\text{Banyak pasir dalam 1 m}^3 \times \text{Volume benda uji} \\
 &= 1680 \text{ kg/m}^3 \times 0,000125 \text{ m}^3 \\
 &= 0,21 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

- Air yang diperlukan untuk 1 benda FAS 0,4% uji yaitu:

$$\begin{aligned}
 &\text{Banyak air} \times \text{Volume benda uji} \\
 &= 315 \text{ kg/m}^3 \times 0,000125 \text{ m}^3 \\
 &= 0,03937 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{4.6}$$

- Air yang diperlukan untuk 1 benda FAS 0,5% uji yaitu:

$$\begin{aligned}
 &\text{Banyak air} \times \text{Volume benda uji} \\
 &= 393,75 \text{ kg/m}^3 \times 0,000125 \text{ m}^3 \\
 &= 0,04922 \text{ kg}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

Kebutuhan bahan untuk satu campuran dikali 3, maka total campuran bahan yang diperlukan untuk setiap variasi adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10: Kebutuhan Material Tiap Variasi Campuran.

No	FAS	Kode Benda Uji	Volume Kubus (m³)	Komposisi Bahan				
				Semen (gr)	Pasir (gr)	Fly Ash (gr)	SCT (gr)	Air (ml)
1	0,4 %	MRN	0,000125	295,31	630,00	0	0	113,20
		MFA 5%	0,000125	280,55		14,77	0	
		MFA 10%	0,000125	265,78		29,53	0	
		MFA 15%	0,000125	251,02		44,30	0	
		MFA 5% + SCT 5%	0,000125	265,78		14,77	14,77	
		MFA 5% + SCT 10%	0,000125	251,02		14,77	29,53	
		MFA 5% + SCT 15%	0,000125	236,25		14,77	44,30	
2	0,5 %	MRN	0,000125	295,31	630,00	0	0	141,50
		MFA 5%	0,000125	280,55		14,77	0	
		MFA 10%	0,000125	265,78		29,53	0	
		MFA 15%	0,000125	251,02		44,30	0	
		MFA 15% + SCT 5%	0,000125	236,25		44,30	14,77	
		MFA 15% + SCT 10%	0,000125	221,48		44,30	29,53	
		MFA 15% + SCT 15%	0,000125	206,72		44,30	44,30	
Jumlah				3392,82	1260	354,41	177,2	127,35

Keterangan:

MRN = Mortar Normal

MFA = Mortar *Fly Ash*

SCT = Serbuk Cangkang Tiram

4.6. Hasil dan Analisa Pengujian Kuat Tekan Mortar

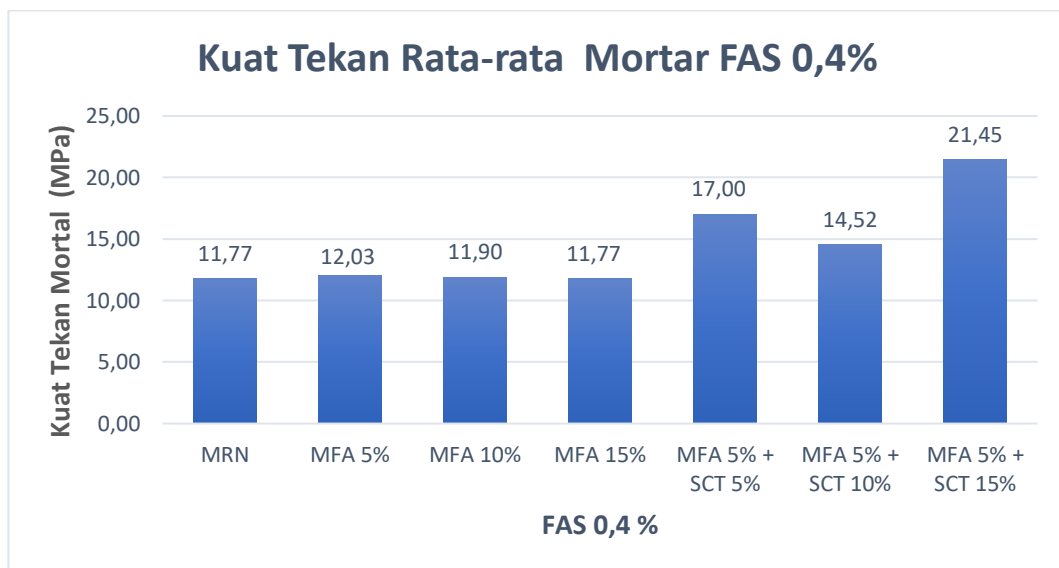
Pengujian beton normal dilakukan ketika mortar berumur 28 hari. Pengujian kuat tekan mortar dilaksanakan dengan metode yang sesuai dengan SNI-6825-2002. Pengujian mortar dilakukan ketika mortar berumur 28 hari menggunakan mesin kuat tekan (*compressive strenght test*) dengan kapasitas 150 ton. Benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm. Hasil dari pengujian kuat tekan mortar normal dapat dilihat pada Tabel 4.11.

4.6.1. Pengujian Rata-rata Kuat Tekan Mortar FAS 0,4%

Pengujian mortar FAS 0,4% dilakukan ketika mortar sudah berumur 28 hari. Hasil dari kuat tekan rata-rata mortar biasa dapat dilihat pada Tabel 4.11, sehingga diperoleh nilai rata-rata kuat tekan mortar sebagai berikut:

Tabel 4.11: Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,4%.

No.	FAS	Kode Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (N)	Kuat Tekan (MPa)	Tekan Rata-rata (MPa)
1	0,4%	MRN	2500	29430	11,77	11,77
			2500	14715	5,89	
			2500	14715	5,89	
1		MFA 5%	2500	29430	11,77	12,03
			2500	30411	12,16	
			2500	30411	12,16	
2		MFA 10%	2500	30411	12,16	11,90
			2500	29430	11,77	
			2500	29430	11,77	
3		MFA 15%	2500	30411	12,16	11,90
			2500	29430	11,77	
			2500	29430	11,77	
4		MFA 5% + SCT 5%	2500	44145	17,66	17,00
			2500	44145	17,66	
			2500	39240	15,70	
5		MFA 5% + SCT 10%	2500	37278	14,91	14,52
			2500	34335	13,73	
			2500	37278	14,91	
6		MFA 5% + SCT 15%	2500	56898	22,76	21,45
			2500	51993	20,80	
			2500	51993	20,80	



Gambar 4.2: Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,4%.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan *fly ash* 5%, 10%, 15% dengan FAS 0,4% terjadi peningkatan dengan menghasilkan kuat tekan mortar berturut-turut sebesar 12,03 MPa, 11,90 MPa dan 11,90 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal sebesar 11,77 MPa. Kuat tekan maksimum dicapai ketika terjadi penggantian sebagian semen dengan *fly ash* variasi 5%. Jadi, persentase yang optimal adalah MFA 5%.

Sedangkan penggunaan *fly ash* optimal 5% ditambah serbuk cangkang tiram 5%, 10%, dan 15% terjadi peningkatan dengan menghasilkan kuat tekan mortar berturut-turut sebesar 17,00 MPa, 14,52 MPa dan 21,45 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal dan mortar *fly ash* tanpa campuran serbuk cangkang tiram. Pada MFA 5% + SCT 10% terjadi penurunan kuat tekan dibandingkan dengan MFA 5% + SCT 5% yang disebabkan oleh prosedur pengerjaan.

Menurut (Luan, 2020) *fly ash* mempunyai bentuk butiran partikel sangat halus sehingga dapat menjadi pengisi rongga-rongga (*filler*) dalam beton sehingga mampu meningkatkan kekuatan beton dan menambah kedekatan beton terhadap air serta mempunyai keunggulan dapat mencegah keretakan halus (*crack*) pada permukaan beton. Penambahan *fly ash* pada campuran beton bersifat *pozzolan*, sehingga bisa menjadi bahan tambah mineral yang baik untuk beton.

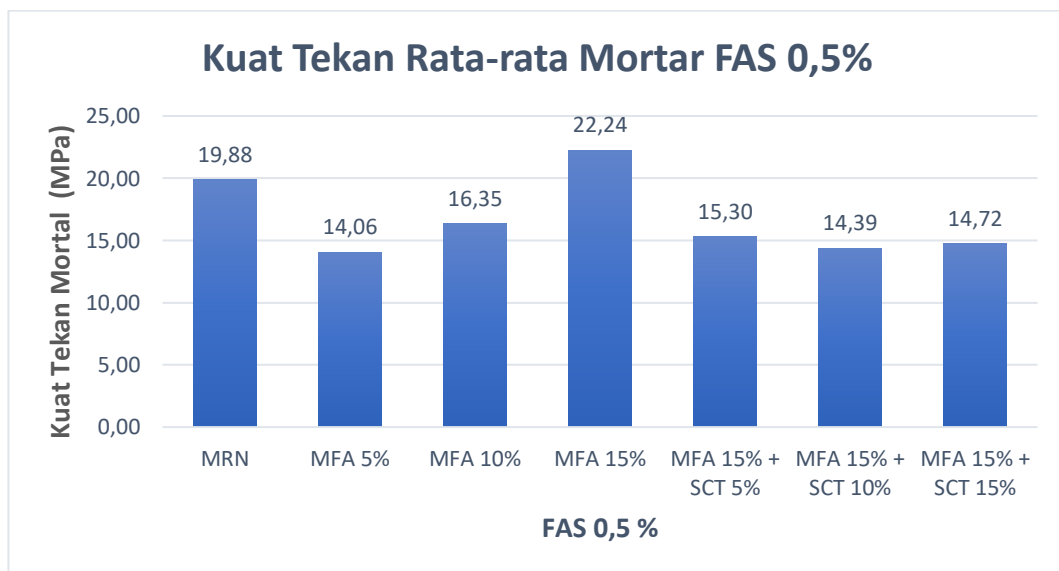
Menurut (Mukhlis dkk., 2022) material cangkang tiram memiliki tingkat kekerasan yang sangat tinggi, sehingga bisa digunakan dalam pembuatan mortar. Bahan ini memiliki karakteristik mirip semen yang bisa mengikat, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai bahan untuk membuat mortar. Sebagian besar cangkang tiram mengandung senyawa CaO. Kandungan CaO ini dapat membantu meningkatkan kuat tekan mortar yang memanfaatkan bahan pengikat semen maupun abu terbang.

4.6.2. Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%

Pengujian mortar FAS 0,5% dilakukan ketika mortar sudah berumur 28 hari. Hasil dari kuat tekan mortar biasa dapat dilihat pada Tabel 4.12, sehingga diperoleh nilai rata-rata kuat tekan mortar sebagai berikut:

Tabel 4.12: Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%.

No.	FAS	Kode Benda Uji	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (N)	Kuat Tekan (MPa)	Tekan Rata-rata (MPa)
1	0,5%	MRN	2500	44145	17,66	19,88
			2500	46107	18,44	
			2500	58860	23,54	
2		MFA 5%	2500	36787,5	14,72	14,06
			2500	34335	13,73	
			2500	34335	13,73	
3		MFA 10%	2500	34335	13,73	16,35
			2500	39240	15,70	
			2500	49050	19,62	
4		MFA 15%	2500	58860	23,54	22,24
			2500	49050	19,62	
			2500	58860	23,54	
5		MFA 15% + SCT 5%	2500	36297	14,52	15,30
			2500	39240	15,70	
			2500	39240	15,70	
6		MFA 15% + SCT 10%	2500	44145	17,66	14,39
			2500	29430	11,77	
			2500	34335	13,73	
7		MFA 15% + SCT 15%	2500	36787,5	14,72	14,72
			2500	34335	13,73	
			2500	39240	15,70	



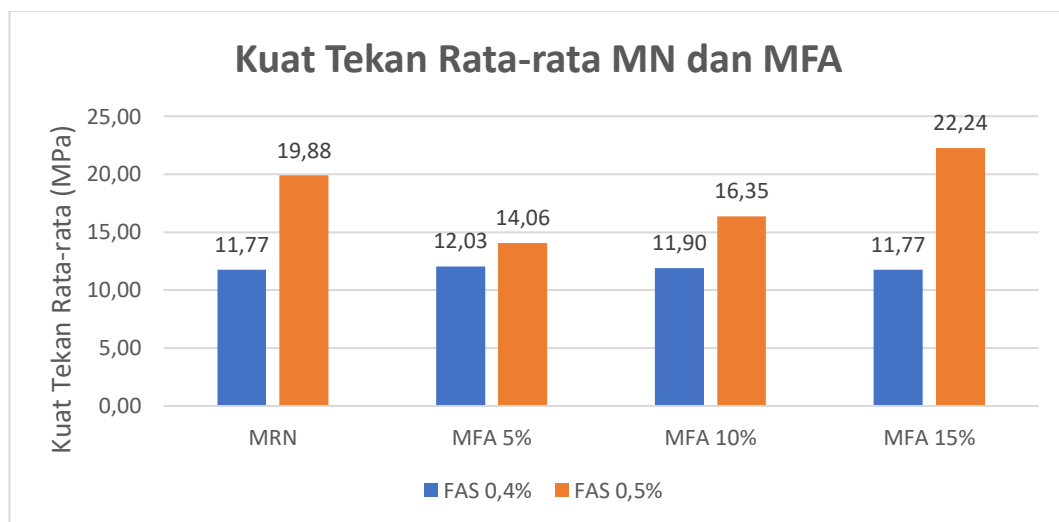
Gambar 4.3: Grafik Pengujian Kuat Tekan Rata-rata Mortar FAS 0,5%.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan *fly ash* 15% dengan FAS 0,4% terjadi peningkatan dengan menghasilkan kuat tekan mortar sebesar 22,24 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal sebesar 19,88 MPa. Kuat tekan maksimum dicapai ketika terjadi penggantian sebagian semen dengan *fly ash* 15%.

Sedangkan penggunaan *fly ash* optimal 15% ditambah serbuk cangkang tiram 5%, 10%, dan 15% terjadi penurunan dengan menghasilkan kuat tekan mortar berturut-turut sebesar 15,30 MPa, 14,39 MPa dan 14,72 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal dan mortar *fly ash* tanpa campuran serbuk cangkang tiram. Kuat tekan maksimum dicapai ketika terjadi penggantian sebagian semen dengan *fly ash* 15% ditambah serbuk cangkang tiram 5%.

4.6.3. Perbandingan Kuat Tekan MN, MFA FAS 0,4% dan FAS 0,5%.

Pengujian MN dan MFA dilakukan ketika mortar sudah berumur 28 hari. Hasil dari kuat tekan MN dan MFA dapat dilihat pada Tabel 4.13, sehingga diperoleh nilai rata-rata kuat tekan mortar sebagai berikut:



Gambar 4.4: Perbandingan Kuat Tekan MN, MFA FAS 0,4% dan FAS 0,5%.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa penggunaan *fly ash* 5% dengan FAS 0,4% terjadi peningkatan dengan menghasilkan kuat tekan mortar sebesar 12,03 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal sebesar 11,77 MPa. Sedangkan penggunaan *fly ash* 15% dengan FAS 0,5% terjadi peningkatan dengan

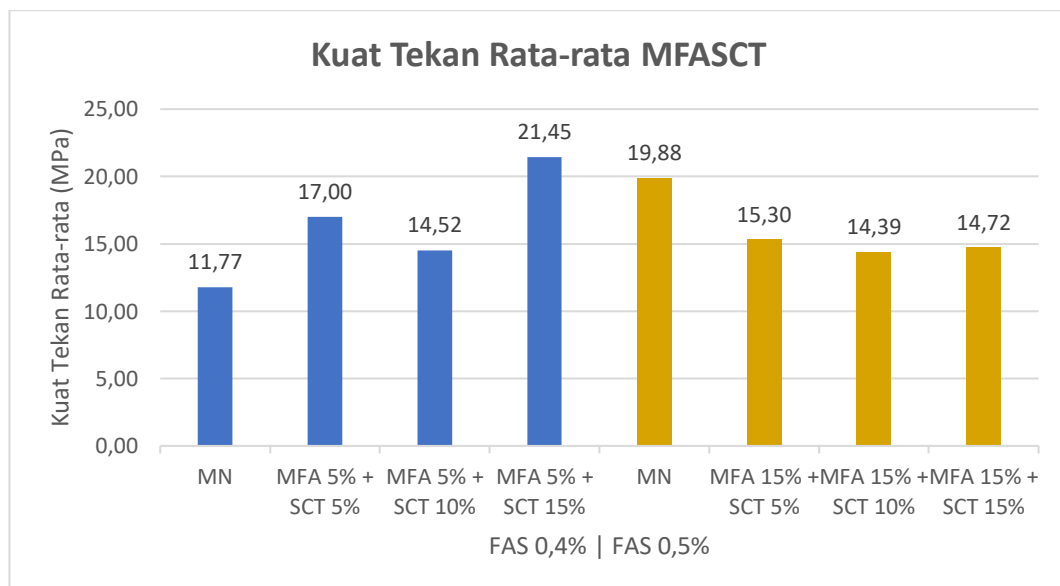
menghasilkan kuat tekan mortar sebesar 22,24 MPa. Jika dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal sebesar 19,88 MPa.

Kadar *fly ash* optimal dalam campuran mortar tergantung pada FAS yang digunakan. Pada kondisi FAS rendah, penambahan *fly ash* pada kadar rendah sudah cukup untuk meningkatkan kuat tekan. Namun, pada kondisi FAS tinggi, penambahan *fly ash* pada kadar yang lebih tinggi diperlukan untuk mencapai kuat tekan optimal karena *fly ash* dapat memanfaatkan kelebihan air tersebut untuk reaksi pengikatan.

Menurut (Wulandari & Frieda, 2022) FAS memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada kuat tekan mortar dan beton. Nilai FAS maksimum yang dianjurkan adalah 0,5 dan batas terendahnya dimana terjadi kesulitan pengerjaan (workability rendah) pada nilai FAS rata-rata 0,4%. Pengaruh perubahan FAS memiliki sumbangan yang lebih besar pada peningkatan kuat tekan.

4.6.4. Perbandingan Kuat Tekan MFASCT FAS 0,4% dan FAS 0,5%.

Pengujian MFASCT FAS 0,4% dan 0,5% dilakukan ketika mortar sudah berumur 28 hari. Hasil dari kuat tekan MFASCT dapat dilihat pada Tabel 4.14, sehingga diperoleh nilai rata-rata kuat tekan mortar sebagai berikut:



Gambar 4.5: Perbandingan Kuat Tekan MFASCT FAS 0,4% dan FAS 0,5%.

Dari grafik di atas, Pada mortar dengan FAS 0,4%, variasi campuran yang optimal adalah MFA 5% + SCT 15% dengan nilai kuat tekan 21,45 MPa. Sedangkan pada mortar dengan FAS 0,5%, variasi campuran yang optimal adalah MFA 15% + SCT 5% dengan nilai kuat tekan 15,30 MPa.

Pada FAS 0,4%, penambahan SCT dapat mengisi pori- pori dalam campuran mortar, meningkatkan kepadatan, dan meningkatkan kekuatan ikatan antara agregat. Hal ini berkontribusi pada peningkatan kuat tekan mortar.

Sedangkan pada FAS 0,5%, air berlebih dapat melarutkan sebagian pasta semen, mengurangi kekuatan ikatan, dan menyebabkan penurunan kuat tekan. Penambahan SCT dalam kondisi ini mungkin tidak memberikan manfaat signifikan dan bahkan dapat memperburuk kondisi dengan mengurangi jumlah semen yang tersedia untuk hidrasi.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dengan penggunaan bahan tambahan *fly ash* dan SCT sebagai pengganti sebagian semen, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *fly ash* pada campuran mortar menunjukkan peningkatan dibandingkan mortar normal, dimana kuat tekan optimal divariasi *fly ash* 15% dengan FAS 0,5%. Hal ini disebabkan oleh bahan tambah yang mengandung silika dan bersifat pozzolan, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan mortar *fly ash* terhadap mortar normal.
2. Penambahan *fly ash* optimal 5% dan SCT pada campuran mortar menunjukkan peningkatan dibandingkan mortar normal, dimana kuat tekan optimal divariasi MFA 5% + SCT 15% dengan FAS 0,4%. Sedangkan pada FAS 0,5% penambahan *fly ash* optimal 15% dan SCT mengalami dibandingkan MFA 15%. Hal ini terjadi karena proporsi bahan aktif (semen) di FAS 0,4% lebih tinggi, sehingga reaksi hidrasi lebih optimal dan menghasilkan lebih banyak produk pengikat seperti kalsium silikat hidrat, dibandingkan campuran FAS 0,5% yang terlalu banyak mengganti semen aktif dengan bahan pengganti yang reaktivitasnya rendah. Penggunaan SCT dan *Fly Ash* sebagai bahan pengganti semen menjadikannya alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, berikut adalah saran-saran yang harus diperhatikan:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pengujian yang bervariasi terhadap pemanfaatan *Fly Ash* dan SCT untuk mengetahui tingkat utilitas pada beton yang dihasilkan.
2. Dalam penelitian ini, pengujian mortar dilakukan setelah umur 28 hari, perlu dilakukan variasi pengujian dengan umur mortar 14 hari dan 56 hari untuk mengetahui potensi lebih jauh dari penggunaan *Fly Ash* dan SCT pada campuran mortar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggarini, E., & Hardiani, D. P. (2023). *Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Normal 30 Mpa. Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(1), 51. <https://doi.org/10.31602/Jk.V6i1.11559>
- Ayyappan, K. (2018). *Study On Structure Behaviour Of Osyter Shell*. In *Journal Of Engineering And Applied Sciences*.
- Banantya, T. S. (2021). *Kajian Kuat Tarik Langsung Dan Kuat Tarik Belah Beton High Volume Fly Ash Dengan Kadar Fly Ash 50%, 60%, Dan 70%. Matriks Teknik Sipil*, 9(3), 208. <https://doi.org/10.20961/Mateksi.V9i3.54554>
- Batubara, S., & Pangaribuan, W. (2023). *Pengujian Kuat Tekan Beton Karakteristik Menggunakan Semen Opc Type I, Ppc Dan Pcc. Jurnal Insinyur Profesional*, 3(1), 122–126. <https://doi.org/10.24114/Jip.V3i1.42996>
- Bunjamin, B., Hady, M., Hendrifa, N., & Syakir, A. (2023). *Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Bahan Substitusi Serat Roving Dan Cangkang Tiram. Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6104–6114. <https://doi.org/10.32672/Jse.V8i3.6073>
- Bunjamin, Hendrifa, N., & Ridha, M. (2021). *Pengganti Sebagian Semen Dan Pasir Halus Mortar Dan Memperbaiki Kemampuan Kerja Pada Pasangan Bata Dan Plesteran. Teras Jurnal*, 11(2), 272–281.
- Fadiah, A. N., & Murdiyoto, A. (2022). *Kuat Tekan Mortar Dengan Cangkang Kerang Sebagai Substitusi Agregat Halus. Construction And Material Journal*, 4(2), 109–116. <https://doi.org/10.32722/Cmj.V4i2.4751>
- Ibrahim, A. (2021). *Korelasi Koefisien Umur Terhadap Kuat Tekan Beton Yang Menggunakan Semen Pcc (Portland Composite Cement). Journal Of Applied Civil And Environmental Engineering*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.31963/Jacee.V2i1.2976>
- Kiptiah, M., & Giarto, R. B. (2023). *Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Semen Opc Dan Semen Pcc Terhadap Pemanfaatan Sikament-Nn. Techno*, 24(1).
- Kuncoro, F. B. (2021). *Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas Beton Dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, Dan 40% Terhadap Beton Normal. Matriks Teknik Sipil*, 9(3), 170. <https://doi.org/10.20961/Mateksi.V9i3.54494>
- Luan, T. F. (2020). *Pengaruh Pemakaian Fly Ash Sebagai Cementitious Pada Beton. E-Journal Penelitian Beton*. Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang Email : Frydluan@Gmail.Com.

- Martha, T., Maskur, A., Saepudin, U., & Andryanto, T. (2023). *Kajian Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Beton Struktural. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 26–35. <https://doi.org/10.25157/jitek.V1i1.3193>
- Mukhlis, A., Agustiar, Giovani, & Nazaruddin. (2022). *Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Abu Cangkang. Jitu (Jurnal Ilmiah Teknik Unida)*, 3(2), 159–171.
- Mukhlis, A., Munawir, M., Yeni, M., & Ruslaini, R. (2022). *Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Terhadap Kuat Tekan Beton. Tameh*, 11(2), 74–83. <https://doi.org/10.37598/Tameh.V11i2.233>
- Mulyadi, A., Suanto, P., & Purba, W. (2021). *Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Pecahan Kaca Terhadap Campuran Mortar. Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.36546/Tekniksipil.V10i1.463>
- Mulyati, A. Z. (2020). *Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. Jurnal Teknik Sipil Itp*, 7(2), 78–84. <https://doi.org/10.21063/jts.2020.V702.05>
- Nofrisal, N., & Rantesalu, S. (2020). *Pengaruh Abu Terbang (Fly Ash) Pltu Sekayan Sebagai Substitusi Pengganti Sebagian Semen Pada Kuat Tekan Mortar. Jurnal Borneo Saintek*, 3(1), 19–27. https://doi.org/10.35334/Borneo_Saintek.V3i1.1406
- Rini, I., Saputra, A. A. I., Kennedy, L. T., & ... (2019). *Penggunaan Fly Ash Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Sebagai Pengganti Semen Pada Beton. Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, 94–102. <http://E-Journals.Unmul.Ac.Id/Index.Php/Semnastek/Article/View/2798>
- Sujatmiko, H. (2024). *Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan Effect Of Variations In Mortar Mix Composition On Compressive Strength. Nusantara Hasana Journal*, 3(8), Page.
- Sultan, M. A., Hakim, R., Ash, F., & Tekan, K. (2021). *Efek Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Mortar Semen. Clapeyron :Jurnalilmiah Teknik Sipil*, 2(1), 19–26.
- Susilowati, A., & Nabhan, F. (2021). *Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa. Journal Of Applied Civil And Environmental Engineering*, 1(2), 9. <https://doi.org/10.31963/Jacee.V2i1.2797>
- Wulandari, A., & Frieda, F. (2022). *Pengaruh Variasi Fas Dan Kadar Semen Pada Kuat Tekan Mortar Dan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai Kahayan Di Kota Palangka Raya. Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 80. <https://doi.org/10.31602/Jk.V4i2.6411>
- H. Josef dkk,. (2021) *Memahani Teknologi Beton Dengan Pratikum*. Medan: Umsu Press.

- R. Sagel dkk. (1993). *Pedoman Pengerjaan Beton*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Mulyono, T. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- SNI 03-6882-2002 *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-6825-2002 *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI ASTM C136:2012 *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970:2016 *Metode Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1971:2011 *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4142-1996 *Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm)*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum. Jakarta.
- SNI 03-4804 1998 *Metode Pengujian Berat Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2847-2002 *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-7064-2004 *Semen Portland Komposit*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI T-15-1990-03 *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN
BERLANGSUNG DI LABORATORIUM BETON
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA



Gambar L1: Semen



Gambar L2: *Fly Ash* Tipe C



Gambar L3: Cangkang Tiram



Gambar L4: Proses Penumbukan Cangkang Tiram



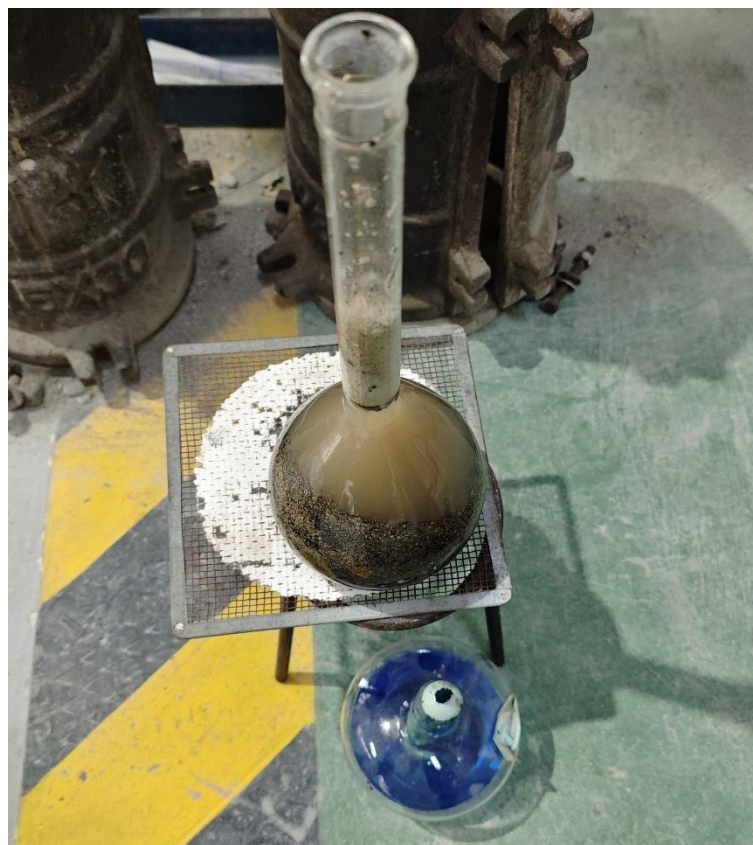
Gambar L5: Serbuk Cangkang Tiram



Gambar L6: Analisa Saringan Pasir



Gambar L7: Analisa Saringan *Fly Ash*



Gambar L8: Pengujian Berat Jenis Pasir



Gambar L9: Pengujian Berat Jenis *Fly Ash*



Gambar L10: Pengujian Kadar Lumpur



Gambar L11: Pengujian Berat Isi



Gambar L12: Pengujian Kadar Air



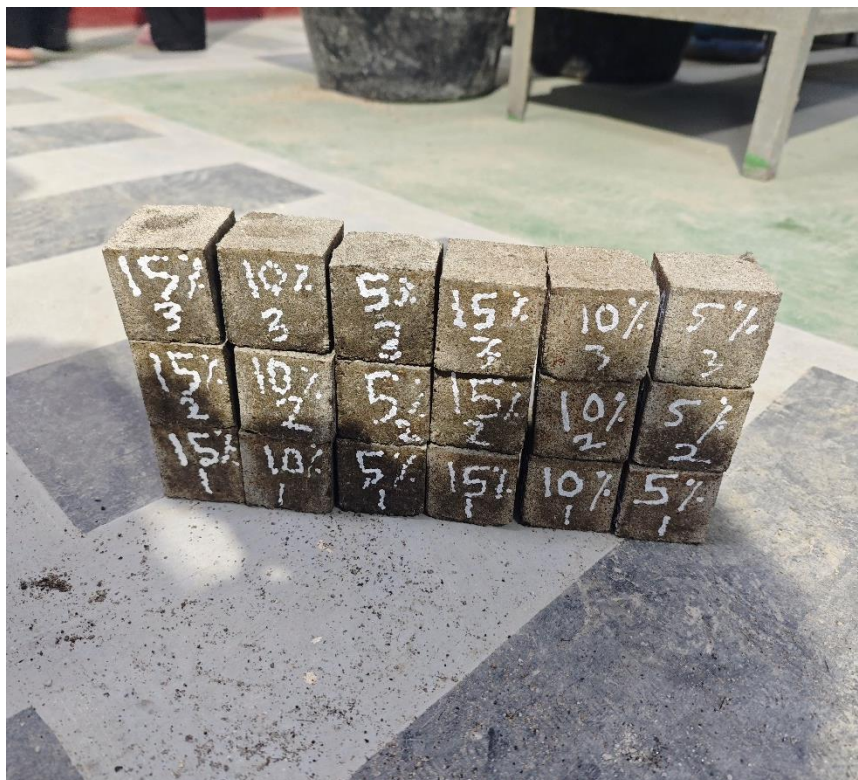
Gambar L13: Proses Pembuatan Benda Uji Mortar



Gambar L14: Benda Uji Mortar Dalam Cetakan



Gambar L15: Penulisan Kode Benda Uji



Gambar L16: Benda Uji Mortar



Gambar L17: Perendaman Benda Uji Mortar



Gambar L18: Memasukkan Benda Uji Mortar ke dalam Oven



Gambar L19: Proses Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar



Gambar L20: Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama Lengkap : Apuan Juliandi
Nama Panggilan : Apuan
Tempat, Tanggal Lahir : Aceh Selatan, 13 Juli 2003
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Jl. Bromo, Binjai, Medan Denai
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Usman Him
Ibu : Darmi
No. HP : 085210541857
Email : apuanjuliandi13@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2107210130
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muctar Basri No.3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Negeri 2 Kuala Ba'u	2015
2	SMP	SMP Negeri 3 Kluet Utara	2018
3	SMK	SMK Negeri 1 Kluet Selatan	2021