

TUGAS AKHIR
PENYELIDIKAN SERBUK CANGKANG TELUR SEBAGAI
BAHAN PENGGANTI SEMEN PADA FERROSEMEN
DIPERKUAT OLEH SERAT BUAH PINANG
(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh :
ZAVIRA YULIANTI
2107210021



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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zavira Yulianti
NPM : 2107210021
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Penyelidikan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan
Pengganti Semen Pada Fero semen Diperkuat Oleh Serat
Buah Pinang
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:

Medan, 22 Oktober 2025

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

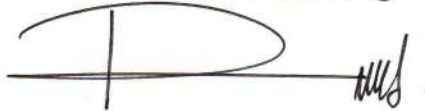
Nama : Zavira Yulianti
Npm : 2107210021
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Penyelidikan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan
Pengganti Semen Pada Fero semen Diperkuat Oleh Serat
Buah Pinang
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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, 23 Oktober 2025

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



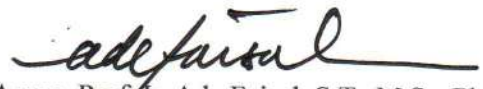
Dr. Fetra Veny Riza, S.T., M.Sc

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc, Ph.D

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Zavira Yulianti
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 23 Mei 2003
Npm : 2107210021
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul **“Penyelidikan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Fero semen Diperkuat Oleh Serat Buah Pinang”**

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

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan atau keserjanaan 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, 23 Oktober 2025

Saya yang menyatakan,



Zavira Yulianti

ABSTRAK

PENYELIDIKAN SERBUK CANGKANG TELUR SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEMEN PADA FEROSEMEN DIPERKUAT OLEH SERAT BUAH PINANG

ZAVIRA YULIANTI

2107210021

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

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi semen dan serat buah pinang sebagai bahan penguat dalam campuran fero semen. Metode eksperimental dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dengan pengujian kuat tekan mortar dan kuat lentur fero semen. Hasil menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur hingga 3%, 6%, 9% dapat meningkatkan kekuatan tekan mortar secara signifikan, sampel atau benda uji yang digunakan sebanyak 36 sampel di uji pada 28 hari. Sementara serat buah pinang memberikan kontribusi positif pada daya tahan terhadap retak. Namun, penambahan serat juga cenderung mengurangi kekuatan lentur fero semen. Penelitian ini memberikan wawasan baru dalam pengembangan material konstruksi berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: fero semen, serbuk cangkang telur, serat buah pinang, kuat tekan, kuat lentur, material berkelanjutan.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EGGSHELL POWDER AS A CEMENT SUBSTITUTE IN FERROCEMENT REINFORCED WITH ARECA NUT FIBER

ZAVIRA YULIANTI

2107210021

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

This research aims to explore the potential use of eggshell powder as a substitute for cement and areca nut fiber as a reinforcement material in ferrocement mixtures. The experimental method was conducted at the Civil Engineering Laboratory of Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, involving tests on the compressive strength of mortar and the flexural strength of ferrocement. The results indicate that the addition of eggshell powder at levels of 3%, 6%, and 9% significantly enhances the compressive strength of the mortar, with a total of 36 samples tested at 28 days. Meanwhile, areca nut fiber contributes positively to crack resistance. However, the addition of fiber tends to reduce the flexural strength of the ferrocement. This study provides new insights into the development of sustainable and environmentally friendly construction materials.

Keywords: ferrocement, eggshell powder, areca nut fiber, compressive strength, flexural strength, sustainable materials

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Penyelidikan serbuk cangkang telur sebagai bahan pengganti semen pada fero semen diperkuat oleh serat buah pinang" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Skripsi ini disusun sebagai wujud dari proses pembelajaran yang telah penulis jalani selama masa perkuliahan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Fetra Venny Riza, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Assoc. Prof. Ir. Fahrizal Zulkarnain, ST., M.Sc, Ph.D, IPM selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan koreksi pada saran kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
3. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan koreksi pada saran kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Prof. Dr. Agussani.M.AP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Dr.Munawar Alfansury Siregar, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Josef Hadipramana, ST., M.Sc .selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan ilmu teknik sipil kepada penulis.

9. Kepada Orang Tua penulis Bapak Musliadi dan Ibu Juliani yang sangat saya sayangi, yang senantiasa memberi dukungan moral dan finansial selama saya menempuh pendidikan.
10. Kepada saudari saya, Zahwa allya yang selalu mendukung saya dan memberikan semangat kepada saya.
11. Kepada teman – teman saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu siap membantu dan memberikan semangat dalam proses penulisan skripsi ini.
12. Serta kepada diri saya sendiri atas usaha dan kerja keras yang telah dilakukan untuk menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang konstruksi Teknik Sipil.

Akhir kata, penulis berharap semoga karya ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya. Terima kasih.

Medan, 23 Oktober 2025

Saya menyatakan,

Zavira Yulianti

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Fero semen	6
1.2.1 Karakteristik Fero semen	7
1.2.2 Aplikasi Fero semen	8
2.2 Cangkang Telur	9
2.3 Serat Buah Pinang	10
2.4 Bahan Dasar Pembuatan Fero semen	12
2.4.1 Semen	12
2.4.2 Agregat Halus (Pasir)	13
2.4.3 Air	14
2.4.4 Mortar	15
2.4.5 Tulangan dan Jaringan Kawat	15
2.5 Kuat Tekan Mortar	16
2.6 Kuat Lentur	17

2.7 Faktor Air Semen	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1 Bagan Alir Penelitian	20
3.2 Metode Penelitian	21
3.3 Tahap Penelitian	22
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.5 Sumber Dan Teknik Pengambilan	27
3.5.1 Data Primer	27
3.5.2 Data Skunder	27
3.6 Bahan dan Alat	27
3.6.1 Bahan	28
3.6.2 Alat	28
3.7 Pemeriksaan Bahan	29
3.7.1 Pemeriksaan Berat Jenis	29
3.7.2 Pemeriksaan Kadar Air	30
3.2.3 Pemeriksaan Kadar Lumpur	30
3.7.4 Pemeriksaan Berat isi	30
3.8 Pelaksaaan penelitian	30
3.8.1 Mix Desain	31
3.8.2 Pembuatan Benda Uji Mortar	32
3.8.3 Perawatan Mortar	33
3.8.4 Pembuatan Benda Uji Fero semen	34
3.8.5 Perawatan Fero semen	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Pemeriksaan Agregat Halus	36
4.1.1 Pemeriksaan Analisa Saringan	36
4.1.2 Pemeriksaan Berat Jenis Penyerapan	38
4.1.3 Pemeriksaan Kadar Air	39
4.1.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur	40
4.1.5 Pemeriksaan Berat Isi	41
4.2 Perencanaan Mortar dan Fero semen	43
4.2.1 Mix Desai Mortar dan Fero semen	43
4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar	45
4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Fero semen	49

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	55
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Senyawa Cangkang	9
Tabel 2.2 Batas Gradasi agregat halus menurut SNI	13
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian	23
Tabel 3.2 Mix Design Mortar dan Ferosemen	31
Tabel 3.3 Variasi Campuran Mortar	33
Tabel 3.4 Variasi Campuran Ferosemen	34
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan	36
Tabel 4.2 Gradasi Analisa Agregat Halus	38
Tabel 4.3 Tabel Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	38
Tabel 4.4 Tabel Hasil Pemeriksaan Kadar Air	39
Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur	40
Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi	41
Tabel 4.7 Hasil Mix Desain Untuk Mortar dan Ferosemen	44
Tabel 4.8 Pengujian Kuat Tekan Mortar	45
Tabel 4.9 Pengaruh Penambahan SCT Terhadap Kuat Tekan Mortar	47
Tabel 4.10 Pengaruh Penambahan SCT dengan SBP Terhadap Kuat Tekan	47
Tabel 4.11 Hasil Kuat Lentur Ferosemen	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaplikasian Fero semen pada Dinding	8
Gambar 2.2 Cangkang Telur	9
Gambar 2.3 Serat Buah Pinang	11
Gambar 2.4 Semen	13
Gambar 2.5 Pasir	14
Gambar 2.6 Mortar dengan Cetakan 5x5x5 cm	15
Gambar 2.7 Jenis Jarinagn Kawat	16
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	20

DAFTAR NOTASI

$f'c$	= Kuat Tekan saat pengujian	(kg/cm^2)
P	= Beban Tekan	(kN)
A	= Luas Penampang	(cm^2)
B	= Jumlah air	(kg/m^3)
C	= Jumlah agregat halus	(kg/m^3)
σ_1	= Kuat lentur benda uji	(MPa)
I	= Jarak (bentang) antara dua garis perletakan	(mm)
B	= Tampang lintang patah arah horizontal	(mm)
H	= Lebar tampang lintang arah vertical	(mm)
A	= Jarak rata – rata	(mm)
S	= Deviasi standar	(MPa)
X_i	= Kuat tekan beton	(MPa)
F_{cr}	= Nilai kuat tekan rata – rata	(MPa)
M	= Nilai tambah margin	(MPa)
W_h	= perkiraan jumlah air untuk agregat halus	(kg/m^3)
W_{semen}	= Jumlah semen	
W_{air}	= Kadar air bebas	
F_{as}	= factor air semen bebas	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur yang terus berkembang di Indonesia memerlukan material konstruksi yang berkualitas dengan biaya yang efisien. Salah satu material yang sering digunakan dalam industri konstruksi adalah fero semen, yaitu campuran semen dan pasir yang digunakan untuk berbagai keperluan pembangunan (Tumbel, 2020).

Awal mula fero semen dimulai pada tahun 1850 ketika beton bertulang pertama kali diperkenalkan di Perancis. Pada tahun 1845, Jean Louis Lambot tuan tanah dari Perancis membuat beberapa perahu dayung, pot bunga, tempat duduk dan beberapa benda lainnya dari bahan baru yaitu kawat jala yang saling berhubungan membentuk anyaman yang kemudian digunakan semen hidrolis atau campuran untuk mengisi sambungan sambungan, atau disebutnya “Ferciment” yang dipatenkan pada tahun 1852. Perahu dayung Lambot saat ini bersemayam dalam museum Brignoles, Perancis. Perahu-perahu dibuat dengan ukuran 3.66 m panjang dan 1.12 m lebar dengan tebal dinding 25 mm sampai dengan 38 mm dengan dilapisi tulangan kawat jala (Basuki, 2016).

Fero semen merupakan jenis konstruksi beton bertulang tipis yang menggunakan semen hidraulis sebagai pengikat, diperkuat dengan lapisan-lapisan jaring kawat berdiameter kecil yang tersusun rapat dan berkesinambungan. Kelebihan utama dari material ini adalah kemudahan dalam proses pengerjaan karena metode pembuatannya hampir sama dengan teknik konstruksi menggunakan mortar atau beton pada umumnya. Selain itu, bahan penyusunnya mudah diperoleh dan kebutuhan volumenya relatif lebih sedikit dibandingkan beton konvensional.

Serat buah pinang memiliki kandungan serat yang tinggi dan potensi untuk digunakan sebagai bahan penguat dalam campuran fero semen. Serat pinang merupakan salah satu material serat alami (natural fiber) alternatif dalam pembuatan komposit yang secara ilmiah pemanfaatannya masih dikembangkan. Pinang (*Areca catechu* L.) merupakan tanaman family Arecaceae yang dapat

mencapai tinggi 15- 20 m dengan batang tegak lurus bergaris tengah 15 cm (Hermawati dan Herawati, 2023).

Cangkang telur ayam memiliki jumlah yang cukup melimpah karena telur ayam banyak dikonsumsi dalam kehidupan sehari-hari, baik sebagai bahan pangan maupun olahan kuliner. Akibatnya, cangkang telur yang terbuang menjadi sangat banyak dan hingga kini belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, cangkang telur ayam mengandung kalsium karbonat, yaitu senyawa yang juga diketahui sebagai salah satu komponen utama dalam penyusunan Semen Portland (SP).

Penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi semen dalam campuran fero semen, masih terdapat beberapa gap yang perlu dieksplorasi. Pertama, variasi persentase penggunaan cangkang telur dalam campuran, seperti 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, dan 10%, belum diteliti secara komprehensif untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kekuatan tekan dan lentur fero semen. Selain itu, analisis mendalam mengenai dampak lingkungan dari penggunaan serbuk cangkang telur dalam skala besar juga masih kurang, sehingga penting untuk memahami potensi pengurangan emisi karbon. Penelitian yang ada cenderung tidak membandingkan efektivitas serbuk cangkang telur dengan bahan alternatif lain, seperti serat alami atau bahan sintetis, dalam hal kekuatan dan daya tahan. Selain itu, pengaruh serat buah pinang sebagai bahan penguat dalam fero semen masih terbatas, dengan sedikit studi yang menyelidiki variasi jenis dan proporsinya. Terakhir, kebanyakan penelitian berfokus pada pengujian jangka pendek, sehingga terdapat kebutuhan untuk mengevaluasi kinerja jangka panjang fero semen yang menggunakan campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang dalam berbagai kondisi lingkungan. Dengan mengatasi gap ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi fero semen di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian yang telah disampaikan maka dapat ditentukan rumusan masalah yang akan diteliti, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan Serbuk Cangkang Telur terhadap kuat tekan mortar?

2. Bagaimana pengaruh Mortar Serbuk Cangkang Telur optimal dengan variasi Serat Buah Pinang terhadap sifat kuat tekan fero semen?
3. Bagaimana pengaruh material optimal Mortar Serbuk Cangkang Telur Buah Pinang terhadap kekuatan lentur plat fero semen.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Pembatasan masalah dilakukan bertujuan untuk membatasi ruang lingkup pembahasan agar penelitian ini lebih terarah dimana hanya menitik beratkan pembahasan sesuai dengan batasan yang telah ditentukan. Batasan-batasan dalam pembahasan masalah ini adalah :

1. Pengaruh serbuk cangkang telur penelitian ini tidak akan membahas jenis cangkang telur tetapi akan berkonsentrasi pada pengaruh penambahan serbuk cangkang telur yang diperkuat serat buah pinang terhadap kekuatan lentur fero semen.
2. Variasi Serat Buah Pinang: Variasi serat buah pinang yang digunakan hanya akan terbatas pada jenis yang biasa digunakan dalam penelitian ini.
3. Kondisi Laboratorium semua pengujian dan analisis dilakukan dalam laboratorium. Oleh karena itu, hasil yang dihasilkan mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan keadaan dilapangan.
4. Parameter Kekuatan Lentur penelitian ini tidak akan mempertimbangkan parameter mekanik lainnya, seperti daya tahan terhadap cuaca, hanya mengukur kekuatan tekan mortar dan kekuatan lentur fero semen.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang terhadap sifat kuat tekan mortar.
2. Untuk mengetahui kombinasi campuran mortar serbuk cangkang telur dan serat buah pinang yang optimal terhadap sifat kuat tekan fero semen.
3. Untuk mengetahui pengaruh campuran mortar serbuk cangkang telur dan serat buah pinang yang optimal terhadap kekuatan lentur plat fero semen

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu teknologi ferosemen dan pengaruh yang terjadi pada kuat tekan dan kuat lentur beton dengan tambahan serbuk cangkang telur yang diperkuat dengan serat buah pinang untuk mendapatkan campuran ferosmen yang baik serta diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam tahap penelitian selanjutnya.

Adapun beberapa manfaat khusus dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif bahan baku yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam pembuatan ferosemen.
2. Mengurangi jumlah limbah organik, khususnya serbuk cangkang telur dan serat buah pinang, yang dapat dimanfaatkan dalam industri konstruksi.
3. Menyediakan informasi yang berguna bagi industri konstruksi terkait penggunaan material berbasis limbah organik dalam produksi ferosemen.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan dalam penelitian ini, maka sistematika penulisan penelitian disusun dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Bab 1: Pendahuluan
Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab 2: Tinjauan Pustaka
Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.
3. Bab 3: Metodologi Penelitian
Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, Teknik pengumpulan data dan metode analisis data.
4. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan
Merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah.
5. Bab 5: Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

6. Daftar Pustaka.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fero semen

Fero semen atau ferrocement pertama kali diperkenalkan di Prancis pada tahun 1850 oleh Jean Louis Lambot. Teknologi ini berkembang dari penggunaan beton bertulang dan telah digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi termasuk perahu dan bangunan. Fero semen juga merupakan teknologi konstruksi yang mudah diterapkan hasilnya kuat lentur, tahan lama, dan lebih ekonomis serta mudah diadaptasi ke dalam prinsip fisik mekanik maupun teori hidraulika (Substitusi dkk., 2024).

Fero semen adalah salah satu bahan konstruksi komposit yang terdiri atas campuran mortar semen (semen dan pasir halus) yang diperkuat dengan lapisan kawat anyam halus (wire mesh) serta tulangan baja kecil sebagai rangkanya. Material ini memiliki karakteristik yang unik karena walaupun tebalnya relatif tipis, yaitu sekitar 10–30 mm, fero semen memiliki kekuatan tarik, lentur, dan ketahanan retak yang baik sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan konstruksi.

Fero semen memanfaatkan jaring kawat rapat yang tersebar merata di seluruh penampang, sehingga menghasilkan distribusi kekuatan yang lebih merata pada struktur tipis. Keunggulan utama fero semen adalah kemampuannya dibentuk sesuai kebutuhan, baik bentuk lengkung maupun bidang tipis, serta sifatnya yang ekonomis karena hanya membutuhkan sedikit material dibandingkan beton konvensional. Selain itu, fero semen dikenal tahan terhadap getaran, benturan, dan kebocoran, sehingga sering diaplikasikan pada konstruksi tangki air, perahu nelayan, silo, dinding bangunan, hingga panel atap dan lantai ringan. Namun demikian, pengerjaan fero semen memerlukan ketelitian tinggi dan keahlian khusus karena kualitasnya sangat dipengaruhi oleh homogenitas campuran mortar dan kerapatan penutupannya terhadap jaring kawat baja. Jika tidak dikerjakan dengan baik, lapisan tipis mortar dapat menyebabkan tulangan kawat mudah terpapar udara dan air sehingga rawan mengalami korosi. Oleh karena itu, kualitas pengerjaan

menjadi faktor penting dalam penerapan fero semen agar dapat menghasilkan struktur yang kokoh, tahan lama, dan efisien.

1.2.1 Karakteristik Fero semen

Fero semen adalah material komposit yang menggabungkan sifat beton dan baja, sehingga memiliki karakteristik yang unggul dalam menahan beban tarik dan tekan. Material ini memiliki penulangan yang rapat dan merata, yang meningkatkan ketahanan terhadap beban kejut dan penyebaran keretakan, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi konstruksi, seperti lapisan elemen struktural.

1. Kekuatan Tarik yang Lebih Tinggi ; Penambahan serat pada fero semen meningkatkan kekuatan tarik material. Serat berfungsi mendistribusikan beban secara merata, sehingga mengurangi konsentrasi tegangan yang berpotensi memicu retak.
2. Ketahanan Terhadap Retak ; Fero semen memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap retak dibandingkan semen biasa. Serat yang terdistribusi dalam campuran mampu menahan dan menghambat perkembangan retakan, sehingga meningkatkan durabilitas material.
3. Daya Tahan yang Lebih Baik ; Material ini memiliki kemampuan untuk bertahan dalam kondisi lingkungan ekstrem, seperti kelembapan tinggi, fluktuasi suhu, dan paparan bahan kimia. Karakteristik ini membuatnya cocok untuk aplikasi luar ruangan dan lingkungan berat.
4. Pengurangan Limbah : Dengan menggunakan serat dari limbah pertanian atau bahan tambahan lainnya, fero semen berkontribusi pada pengurangan limbah serta mendorong pemanfaatan sumber daya yang lebih ramah lingkungan.
5. Ringan dan Mudah Dikerjakan ; Fero semen yang diperkuat serat sering kali lebih ringan dibandingkan beton konvensional. Hal ini mempermudah proses transportasi dan pemasangan, sekaligus mengurangi beban kerja di lokasi konstruksi.

1.2.2 Aplikasi Fero semen

Aplikasi fero semen sangat beragam dan mencakup berbagai bidang konstruksi. Material ini sering digunakan dalam pembuatan dinding, atap, dan elemen struktural lainnya karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanan terhadap cuaca. Selain itu, fero semen juga digunakan dalam pembuatan tangki air, kolam, dan struktur arsitektur lainnya yang memerlukan daya tahan dan fleksibilitas.

1. Pembangunan Struktur ; Fero semen digunakan dalam konstruksi berbagai elemen struktural, seperti dinding, lantai, dan elemen pendukung lainnya. Material ini cocok untuk struktur yang membutuhkan kekuatan dan daya tahan tinggi.
2. Perbaikan dan Pemeliharaan ; Material ini efektif untuk memperbaiki struktur yang mengalami kerusakan, seperti pengisian retakan atau penguatan elemen yang melemah, sehingga memperpanjang masa pakai struktur.
3. Konstruksi Jalan ; Fero semen dapat diterapkan dalam pembuatan jalan dan trotoar. Ketahanannya terhadap beban lalu lintas membuatnya ideal untuk infrastruktur transportasi.
4. Aplikasi Arsitektur ; Selain untuk elemen struktural, fero semen juga digunakan dalam pembuatan elemen dekoratif, seperti panel dinding, patung, dan elemen lanskap yang mendukung estetika desain arsitektur.



Gambar 2.1 Pengaplikasian Fero semen dan kawat anyam

2.2 Cangkang Telur

Cangkang telur ayam merupakan limbah yang dihasilkan dalam jumlah besar, terutama di industri peternakan dan kuliner. Dalam penelitian yang dilakukan oleh George W. Y. Tumbel dan Servie O. Dapas, cangkang telur diidentifikasi sebagai bahan alternatif yang berpotensi untuk digunakan sebagai substitusi parsial semen dalam campuran beton. Cangkang telur mengandung kalsium karbonat, yang merupakan salah satu komponen utama dalam pembuatan semen Portland (Ashariyanto dkk., 2022).

Tabel 2.1: Senyawa Cangkang Telur.

Senyawa	%
Kalsium Karbonat (CaCO_3)	89,7-98,34%
Magnesium Karbonat	0,84%
Kalsium Fosfat	0,75%
Bahan Organik	3,3%
Air	1,6%

Dengan demikian, komposisi cangkang telur yang kaya akan kalsium karbonat menjadikannya bahan yang berpotensi untuk digunakan dalam pengembangan beton yang lebih ramah lingkungan, serta memberikan solusi untuk pengelolaan limbah yang lebih efektif.



Gambar 2.2 Cangkang Telur

Cangkang telur memiliki berbagai manfaat dalam konstruksi sipil, terutama sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Penggunaan cangkang telur dapat meningkatkan kuat tekan beton, mengurangi penggunaan semen, dan berkontribusi pada solusi ramah lingkungan dalam pembangunan. Manfaat cangkang telur dalam konstruksi Sipil :

- **Peningkatan Kuat Tekan:** Cangkang telur yang dihancurkan dapat meningkatkan kuat tekan beton, menjadikannya lebih tahan lama dan kuat.
- **Pengurangan Penggunaan Semen:** Dengan menambahkan cangkang telur ke dalam campuran beton, jumlah semen yang diperlukan dapat dikurangi, yang berkontribusi pada penghematan biaya dan sumber daya.
- **Ramah Lingkungan:** Menggunakan cangkang telur sebagai bahan tambahan membantu mengurangi limbah, karena cangkang telur sering kali dibuang setelah konsumsi.
- **Sifat Isolasi:** Cangkang telur dapat memberikan sifat isolasi yang lebih baik dalam struktur, membantu menjaga suhu dan mengurangi kebutuhan energi.
- **Meningkatkan Daya Serap Air:** Cangkang telur dapat meningkatkan daya serap air dalam campuran beton, yang dapat membantu dalam pengelolaan air hujan dan mengurangi limpasan permukaan.
- **Biaya Rendah:** Cangkang telur merupakan bahan yang murah dan mudah didapat, sehingga dapat mengurangi biaya keseluruhan proyek konstruksi.
- **Ketersediaan:** Cangkang telur tersedia dalam jumlah besar, terutama di daerah dengan industri makanan yang berkembang, sehingga dapat dimanfaatkan secara maksimal dalam konstruksi.

2.3 Serat Buah Pinang

Serat buah pinang, yang berasal dari tanaman pinang (*Areca catechu* L.) dari keluarga Arecaceae, merupakan bahan alami yang memiliki potensi besar dalam aplikasi konstruksi, khususnya dalam campuran beton. Serat ini diambil dari kulit buah pinang, yang mengandung komposisi kaya, termasuk 30% hingga 45% lignin, 35% hingga 64,8% hemiselulosa, serta kandungan abu sekitar 4,4%. Proses pengolahan serat buah pinang melibatkan pemisahan antara kulit dan biji, pengeringan pada suhu 100°C, dan pemotongan serat menjadi ukuran sekitar 5 cm

untuk memudahkan pencampuran dengan beton. Dalam penelitian yang dilakukan, serat buah pinang digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kuat tekan, ketahanan terhadap retak, dan keawetan beton (Hermawati & Herawati, 2023). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat ini dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Dengan demikian, serat buah pinang dapat dianggap sebagai alternatif yang efektif untuk meningkatkan performa beton dalam konstruksi.



Gambar 2.3 Serat Buah Pinang

Karakteristik pada Serat Buah Pinang sebagai berikut:

- **Komposisi:** Serat buah pinang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang memberikan kekuatan dan daya tahan.
- **Sifat Fisik:** Serat ini memiliki tekstur yang kasar dan kuat, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi.

Pemanfaatan pada Serat Buah Pinang.

- **Bahan Komposit:** Serat pinang dapat digunakan sebagai penguat dalam pembuatan komposit, meningkatkan kekuatan dan ketahanan material.
- **Kerajinan Tangan:** Banyak digunakan dalam produk kerajinan, seperti tas, anyaman, dan dekorasi rumah, yang mendukung keberlanjutan lingkungan.

Keunggulan Serat Buah Pinang

- **Ramah Lingkungan:** Sebagai bahan alami, serat ini biodegradable dan mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan bahan sintetis.
- **Ekonomis:** Menggunakan limbah dari industri pinang, serat ini menawarkan solusi yang hemat biaya untuk berbagai industri.

2.4 Bahan Dasar Pembuatan Fero semen

Bahan utama dalam pembuatan fero semen meliputi semen, pasir, dan air. Semen berfungsi sebagai bahan pengikat yang mengikat semua komponen bersama-sama, memberikan kekuatan struktural. Pasir, yang biasanya digunakan dalam bentuk butiran halus, berperan sebagai agregat yang meningkatkan daya tahan dan stabilitas fero semen. Selain itu bahan tambahan yang digunakan seperti serat buah pinang atau serbuk cangkang telur untuk meningkatkan karakteristik tertentu, seperti daya tahan terhadap retak atau pengurangan berat. Proses pencampuran dan pengolahan yang tepat sangat penting untuk mencapai kualitas fero semen yang optimal, sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, mulai dari bangunan hingga infrastruktur.

2.4.1 Semen

Semen merupakan salah satu bahan yang paling vital dalam industri konstruksi saat ini. Fungsinya adalah mengikat berbagai bahan bangunan lainnya secara bersama-sama. Bahan utama yang terdapat dalam semen adalah kapur, disertai dengan berbagai unsur kimia pendukung lainnya.

Di pasaran, terdapat berbagai jenis semen yang tersedia untuk dijual. Menurut (SNI, 2004), semen dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori berdasarkan jenis dan fungsinya.

1. Semen Portland I digunakan untuk membangun konstruksi yang tidak memerlukan persyaratan khusus, semisal perumahan, jalan raya, landasan pacu, dan lain-lain.
2. Semen Portland II digunakan untuk membangun konstruksi di tanah rawa, pinggir laut, saluran irigasi, dan bendungan.
3. Semen Portland III biasa digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi, jalan tol, dan bandara.
4. Semen Portland IV digunakan pada bangunan yang kondisinya dapat dipengaruhi perubahan temperatur, semisal dam dan lapangan udara.
5. Semen Portland V, banyak digunakan untuk membangun proyek yang memiliki kandungan sulfat tinggi, semisal pembangkit listrik tenaga nuklir, tempat pengolahan limbah, dan lain-lain.



Gambar 2.4 Semen

2.4.2 Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus (pasir) adalah mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran feroemen yang memiliki ukuran butiran kurang dari 5 mm atau lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200. Agregat halus (pasir) berasal dari hasil disintegrasi alami dari batuan alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (stone crusher) (Pontolo, 2005).

Menurut (SNI 03-2834-2000) tentang cara pembuatan rencana campuran beton normal, pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya. Pengelompokan tersebut dapat dilihat melalui Tabel 2.4.

Tabel 2.2: Batas gradasi agregat halus menurut SNI 03 – 2834 – 2000.

Lubang Ayakan (mm)	No	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
		I	II	III	IV
10	3/8 in	100	100	100	100
4,8	No. 4	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	No. 8	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	No. 16	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	No. 30	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	No. 50	5-20	8-30	12-40	15-50
0,25	No. 100	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI – 03 – 2834 – 2000

Keterangan :

- Daerah gradasi I = Pasir Kasar
- Daerah gradasi I = Pasir Agak Kasar
- Daerah gradasi I = Pasir Agak Halus
- Daerah gradasi I = Pasir Halus



Gambar 2.5 Pasir

2.4.3 Air

Air adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom hidrogen dan satu atom oksigen, dengan rumus kimia H_2O . Ia merupakan zat yang sangat penting bagi kehidupan di Bumi, karena berfungsi sebagai pelarut universal, media transportasi bagi nutrisi dan limbah dalam organisme, serta berperan dalam berbagai proses biokimia. Air memiliki sifat fisik yang unik, seperti titik didih dan titik beku yang relatif tinggi dibandingkan dengan senyawa lain, serta kemampuan untuk membentuk ikatan hidrogen, yang memberikan stabilitas pada struktur molekulnya.

Selain itu, air juga memiliki peran penting dalam iklim dan cuaca, karena dapat menyerap dan melepaskan panas dengan efisien. Dalam ekosistem, air mendukung berbagai bentuk kehidupan, mulai dari mikroorganisme hingga hewan dan tumbuhan, menjadikannya komponen esensial bagi keberlangsungan hidup di planet ini. Pada dasarnya kebutuhan semen akan air untuk proses hidrasi hanyalah sekitar 25% dari total bobot semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25% maka akan terjadi kelecakan dan kemudahan pengerjaan (workability) tidak dapat tercapai. Adonan semen yang mudah dikerjakan dapat didefinisikan sebagai adonan yang pengadukannya mudah, mudah di angkut, dan dituangkan ke dalam cetakan untuk dibentuk (Hewes, 1949).

Banyaknya air yang digunakan dalam campuran semen sering disebut dengan istilah Faktor Air Semen (FAS). Nilai FAS yang biasa digunakan adalah antara lain 0,4 – 0,65 (Mulyono, 2003).

2.4.4 Mortar

Mortar adalah campuran bahan yang digunakan dalam konstruksi untuk mengikat elemen bangunan seperti batu bata dan blok. Komposisi utamanya terdiri dari semen, agregat halus (seperti pasir), dan air, yang bersama-sama menghasilkan campuran yang kuat dan stabil. Fungsi utama mortar adalah sebagai pengikat, yang tidak hanya menyatukan elemen bangunan, tetapi juga menyerap dan mendistribusikan beban yang diterima. Terdapat berbagai jenis mortar, termasuk mortar semen yang memiliki kekuatan tinggi, mortar kapur yang lebih fleksibel, serta mortar campuran yang menggabungkan kedua bahan tersebut. Mortar relatif mudah diaplikasikan dan memiliki biaya yang rendah, tetapi pemilihan jenis yang tepat sangat penting untuk memastikan kualitas dan daya tahan struktur bangunan.



Gambar 2.6 Mortar dengan cetakan 5x5x5 cm

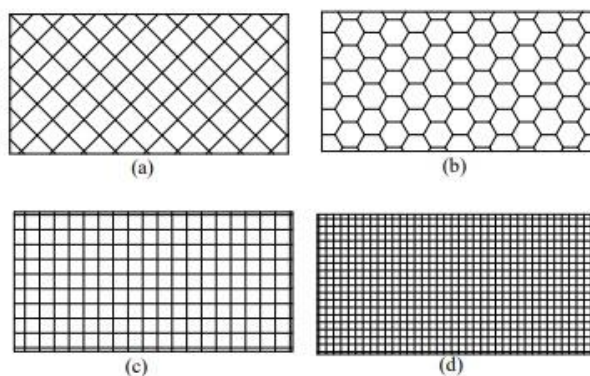
2.4.5 Tulangan dan Jaring Kawat (Wiremesh)

Kawat anyam atau wire mesh adalah rangkaian kawat beton berbentuk jaring-jaring dengan spasi tertentu yang pada tiap titik pertemuannya dihubungkan dan diikat menggunakan kawat atau bisa juga dilas. Jaringan kawat anyam yang dilas lazim disebut welded wire mesh (WWM).

Wiremesh umumnya terdiri dari anyaman tipis yang dapat disatukan melalui proses pengelasan. Dimensi kawat yang digunakan bervariasi. Di pasaran, tersedia anyaman kawat yang sesuai untuk penelitian ini dengan diameter penampang antara

0,1 mm hingga 0,3 mm. Spasi antara anyaman kawat biasanya berkisar antara 35 mm hingga 70 mm dalam bentuk persegi.

Kawat jala yang digunakan dalam berbagai macam ukuran dan bentuk, ada yang digalvanisir (diberi lapisan anti karat) sebelum dianyam atau sesudah dianyam. Ukuran kekuatan,kekakuan,cara membuat dan mengolah fero semen sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan fero semen yang akan terbentuk. Fero semen menggunakan kawat jala sebagai penahan spesi pada saat masih basah dan penahan beban tarik setelah kering. Macam-macam bentuk kawat jala (wiremesh) tersebut adalah kawat jala segi enam, kawat jala las, kawat anyam persegi, dan kawat jala berbentuk wajik.



Gambar 2.7 Jenis jaringan kawat (wiremesh)

2.5 Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar adalah kemampuan mortar untuk menahan beban tekan tanpa mengalami kerusakan. Mortar biasanya digunakan dalam konstruksi untuk menyatukan batu bata, blok, atau elemen struktural lainnya. Kuat tekan mortar sangat penting karena mempengaruhi kekuatan dan daya tahan struktur bangunan.

Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Mortar:

1. Komposisi Bahan: Jenis semen, pasir, dan air yang digunakan dalam campuran mortar.
2. Rasio Air-Semen: Rasio ini mempengaruhi kekuatan akhir mortar; rasio yang lebih rendah biasanya menghasilkan mortar yang lebih kuat.
3. Umur Mortar: Kekuatan mortar meningkat seiring waktu, terutama dalam beberapa minggu pertama setelah pengeringan.

4. Kondisi Lingkungan: Suhu dan kelembapan saat pengeringan juga mempengaruhi kekuatan mortar.

Rumus Kuat Tekan Mortar: Kuat tekan mortar biasanya diukur dalam satuan megapascal (MPa) dan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan :

f_c = Kuat tekan mortar (Mpa)

P = Gaya Tekan (N)

A = Luas (mm^2)

Kuat tekan adalah kemampuan dari mortar untuk memikul atau menahan beban maupun gaya-gaya mekanis sampai terjadi kegagalan. Nilai kuat tekan mortar didapatkan melalui tata cara pengujian standart, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji sampai retak atau hancur.

2.6 Kuat Lentur

Kuat lentur fero semen adalah kemampuan material fero semen untuk menahan beban lentur tanpa mengalami kerusakan. Fero semen adalah material komposit yang terdiri dari semen, pasir, serat (seperti serat baja, serat kaca, atau serat alami), dan air. Material ini sering digunakan dalam konstruksi karena memiliki kekuatan yang baik dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk panel, atap, dan elemen struktural lainnya.

Faktor yang Mempengaruhi Kuat Lentur Fero semen:

1. Komposisi Campuran: Jenis dan proporsi semen, pasir, serat, dan air dalam campuran sangat mempengaruhi kekuatan lentur. Penambahan serat dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak dan deformasi.
2. Jenis Serat: Serat yang digunakan (serat baja, serat kaca, serat alami) memiliki karakteristik yang berbeda dan mempengaruhi kekuatan lentur secara signifikan.
3. Umur Material: Seperti pada mortar, kekuatan fero semen meningkat seiring waktu, terutama dalam beberapa minggu pertama setelah pengeringan.

4. Metode Pembuatan: Proses pencampuran, pengecoran, dan pengeringan juga mempengaruhi kualitas dan kekuatan akhir material.

Beban yang diterapkan pada struktur, baik beban gravitasi (vertikal) maupun beban akibat susut, perubahan suhu, dan angin (horizontal), mengakibatkan lentur dan deformasi pada elemen struktur (SNI 4154, 2014). Regangan akibat beban eksternal menyebabkan balok mengalami lentur. Dalam penelitian ini, plat fero semen balok dengan ukuran 24 cm x 6 cm x 2,5 cm akan diuji menggunakan satu beban terpusat.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (2.2)$$

Keterangan

σ = Kuat Lentur (Mpa)

P = Beban Maksimum (N)

L = Panjang Bentang (mm)

b = Beban rata rata spesimen pada daerah runtuh (mm)

h = Tinggi rata-rata specimen pada daerah runtuh (mm)

Pengujian Kuat Lentur Fero semen:

Pengujian kuat lentur biasanya dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk balok. Benda uji ini akan dikenakan beban lentur secara bertahap hingga terjadi kerusakan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan yang dilengkapi dengan alat untuk mengukur beban dan defleksi. Kuat lentur fero semen adalah parameter penting dalam desain dan aplikasi material ini dalam konstruksi. Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan lentur dan cara mengukurnya sangat penting untuk memastikan keamanan dan daya tahan struktur yang menggunakan fero semen. Dengan pemilihan bahan yang tepat dan teknik pembuatan yang baik, fero semen dapat menjadi alternatif yang kuat dan efisien dalam berbagai aplikasi konstruksi.

2.7 Faktor Air Semen

Air memiliki peran yang sangat penting dalam proses pencampuran material-material pembentuk beton, karena air berfungsi memicu proses kimiawi semen,

membasahi agregat yang menimbulkan kelecakan pada campuran beton sehingga dapat memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (workability). Untuk dapat menghasilkan workability yang tinggi tentunya dibutuhkan nilai slump yang tinggi pula, hal ini mengakibatkan penggunaan air dalam campuran beton juga bertambah (Suaedih, 2019).

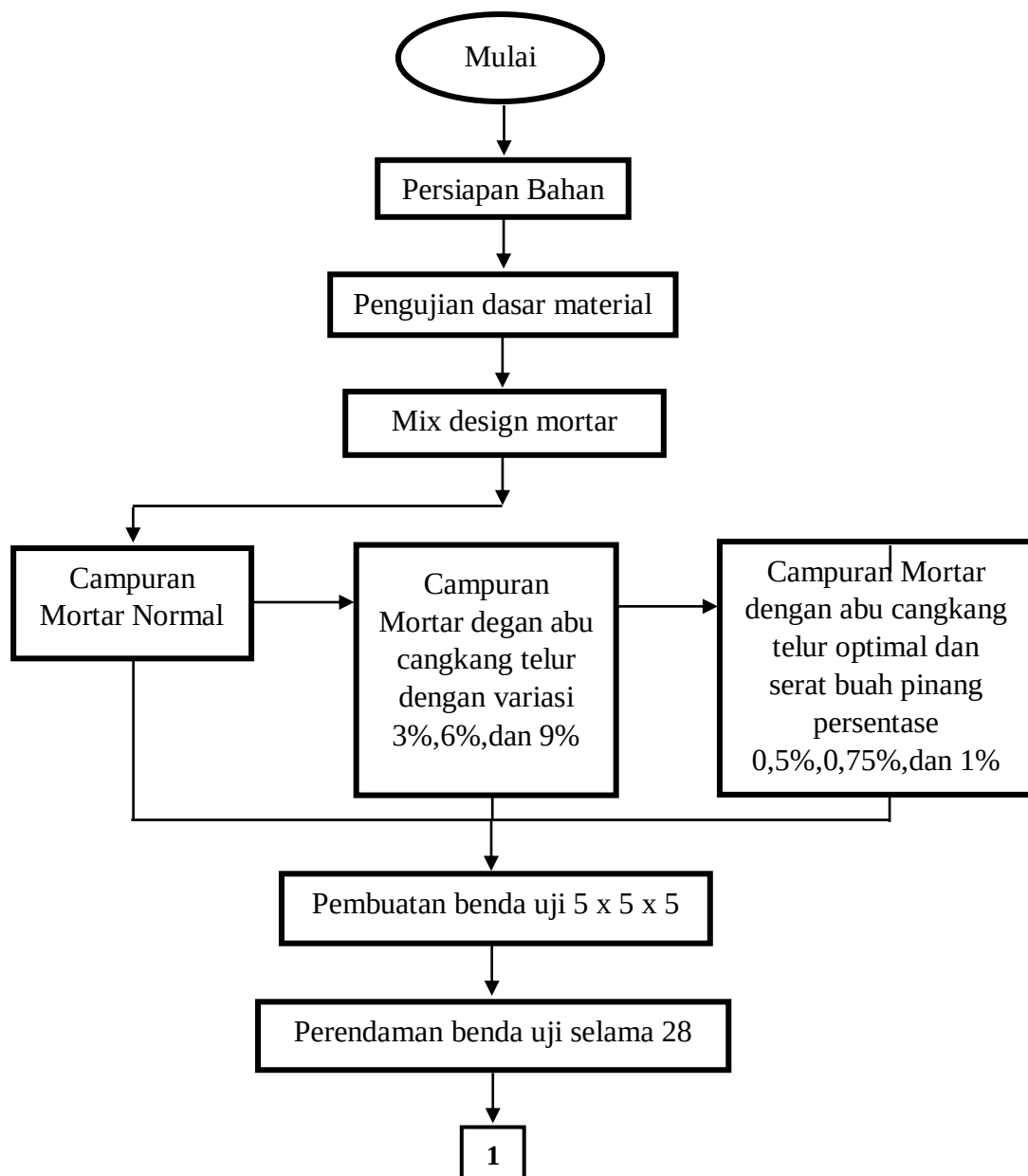
Faktor air semen (fas) adalah perbandingan antara berat air dan berat semen yang digunakan dalam adukan fero semen. Nilai faktor air semen yang rendah dapat mempengaruhi proses pengerjaan, menyebabkan kesulitan dalam pemadatan dan berpotensi menurunkan mutu fero semen. Oleh karena itu, terdapat nilai faktor air semen optimum yang diperlukan untuk mencapai kuat tekan maksimum. Umumnya, nilai faktor air semen minimum untuk fero semen normal berkisar sekitar 0,4, sedangkan maksimum mencapai 0,65 (Mulyono, 2004).

BAB 3

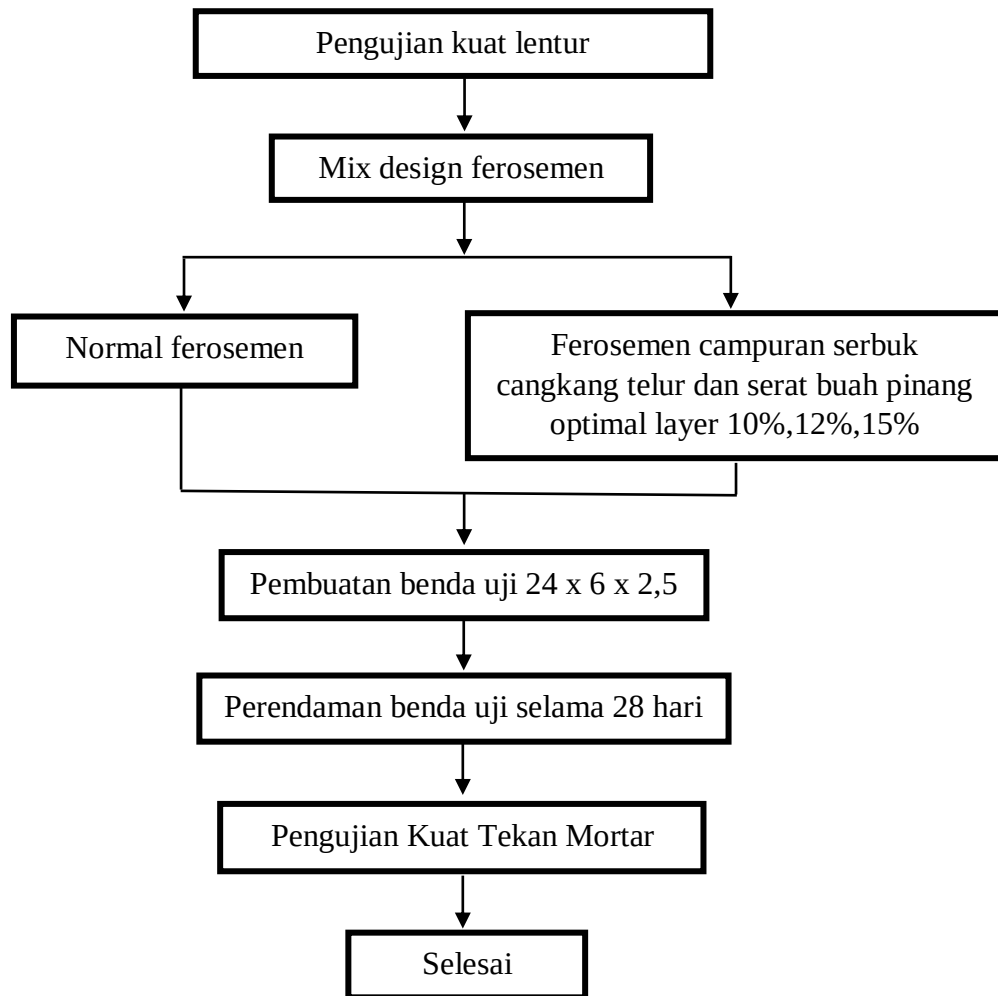
METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Berikut merupakan bagan alir dari penelitian ini



Gambar 3.1 Bagan alir metode penelitian



Gambar 3.1 Bagan alir metode penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam pembuatan ferosemen dengan memanfaatkan serbuk cangkang telur sebagai pengganti semen dan serat buah pinang sebagai pengganti tulangan dilakukan melalui pendekatan eksperimental. Proses ini melibatkan penelitian di laboratorium untuk mengevaluasi kekuatan tekan mortar serta kekuatan lentur ferosemen yang dimodifikasi dengan penambahan serbuk cangkang telur dan variasi serat buah pinang sebagai tulangan. Selain itu, pengujian dilakukan dengan berbagai rasio campuran dan kondisi curing untuk mendapatkan hasil yang optimal. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh bahan pengganti terhadap sifat mekanik ferosemen yang dihasilkan.

3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian yang akan dilaksanakan menggunakan metode eksperimen laboratorium, yang mencakup berbagai pengujian terkait data yang telah direncanakan sebelumnya. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Proses penelitian terdiri dari tujuh tahapan, sebagai berikut:

1. Tahap 1: Pada tahap ini, dilakukan persiapan material seperti agregat halus, semen, air, serbuk cangkang telur, serat buah pinang, dan wire mesh. Pengujian dasar material dilakukan pada sampel agregat halus, yang mencakup analisis saringan max no 4, berat jenis dan penyerapan, kadar air, kadar lumpur, serta berat isi.
2. Tahap 2: Tahap ini berfokus pada perencanaan campuran mortar, pembuatan benda uji, dan perawatan mortar. Perbandingan proporsi bahan campuran mortar dihitung menggunakan Metode Standar Nasional Indonesia (SNI).
3. Tahap 3: Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan cetakan kubus berukuran 5x5x5 cm untuk setiap campuran yang berbeda:
 - a. Tiga kubus mortar normal sebanyak 3 sampel.
 - b. Tiga kubus mortar campuran serbuk cangkang telur dengan persentase 3%, 6%, dan 9% masing masing presentasi memiliki 3 sampel.
 - c. Tiga kubus mortar campuran serbuk cangkang telur optimal dengan serat buah pinang, menggunakan persentase serat 0,5%, 0,75%, dan 1% masing masing presentasi memiliki 3 sampel.
4. Tahap 4: Pada tahap ini, dilakukan perencanaan campuran fero semen, pembuatan benda uji, dan perawatan fero semen. Proporsi bahan campuran fero semen juga dihitung menggunakan Metode Standar Nasional Indonesia (SNI).
5. Tahap 5: Pengujian kuat lentur fero semen dilakukan menggunakan benda uji berukuran 24 x 6 x 2,5 cm. Pengujian ini mencakup fero semen normal dengan tiga sampel pelat, serta metode reinforcement layer dengan persentase 10%, 12%, dan 15%, masing-masing dengan tiga sampel berbentuk pelat.

6. Tahap 6: Hasil pengujian dari tahap III dan IV dianalisis, dan dari analisis tersebut dapat ditarik kesimpulan mengenai penelitian.
7. Tahap 7: Setelah memperoleh data hasil pengujian pada tahap VI, langkah selanjutnya akan dilakukan.

3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Waktu penelitian yang dilakukan direncanakan kurang lebih selama 3 bulan.

Tabel 3.1:Jadwal Penelitian.

No	Uraian kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Persiapan bahan :																				
a.	Aggregat halus (pasir)																				
b.	Semen																				
c.	Air																				
d.	Serbuk Cangkang telur																				
e.	Serat buah pinang																				
2.	Persiapan Alat :																				
a.	Izin menggunakan laboratorium																				
b.	Satu set saringan untuk agregat halus																				
c.	Timbangan digital																				

Tabel 3.1:Lanjutan.

d.	Cetakan kubus 5x5x5 cm																		
e.	Cetakan balok 24 x 6 x 2,5cm																		
f.	Compressing Test Machine (CTM)																		
g.	Alat uji kuat lentur beton (hydraulic concrete beam)																		
3.	Pelaksanaan :																		
a.	Analisa Saringan max no 4																		
b.	Berat jenis dan penyerapan																		
c.	Kadar Air																		
d.	Kadar lumpur																		
e.	Berat isi																		
f.	Mix design mortar																		
-	Membuat campuran																		
	Mortar normal																		
	3 sampel (Kuat tekan)																		
-	Mortar campuran Serbuk cangkang telur 3%																		

Tabel 3.1:Lanjutan.

	3 sampel (Kuat tekan)																		
-	Mortar campuran Serbuk cangkang telur 6%																		
	3 sampel (Kuat tekan)																		
-	Mortar campuran Serbuk CT 9%																		
-	3 sampel (Kuat tekan)																		
-	Mortar campuran Serbuk cangkang telur optimal dengan serat buah pinang 0,5%,																		
-	3 sampel (Kuat tekan)																		
-	Mortar campuran Serbuk cangkang telur optimal dengan serat buah pinang 0,75 %,																		
-	3 sampel (Kuat tekan)																		

Tabel 3.1:Lanjutan.

-	Mortar campuran Serbuk cangkang telur optimal dengan serat buah pinang 1%,																			
g.	Mix desain fero semen																			
-	Ferosemen Normal																			
-	3 sampel (Kuat lentur)																			
-	Ferosemen campuran Serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 10 %																			
-	3 sampel (Kuat lentur)																			
-	Ferosemen campuran Serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 12 %																			
-	3 sampel (Kuat lentur)																			

Tabel 3.1:Lanjutan.

-	Ferosemen campuran Serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 15 %																			
	3 sampel (Kuat lentur)																			
h.	Penyusunan laporan																			

3.5 Sumber Data dan Teknik Pengambilan Data

3.5.1 Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium,yaitu:

1. Analisa saringan agregat (SNI 03-1968,2008).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970,2008).
3. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971,2011).
4. Pemeriksaan kadar lumpur (ASTM C 117,2013).
5. Perencanaan campuran mortar (Mix Design) (SNI 03-6825-2002).
6. Uji kuat tekan mortar (SNI 03-6825-2002).

3.5.2 Data Skunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku dan jurnal yang berhubungan dengan teknik beton dan bimbingan langsung oleh dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

3.6 Bahan dan Alat

Persyaratan yang ada mengharuskan penggunaan bahan dan peralatan berkualitas tinggi untuk memperoleh hasil eksperimen yang maksimal. Alat dan bahan tersebut digunakan dalam penelitian ini.

3.6.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan ferosemen dengan serbuk cangkang telur dan variasi serat buah pinang sebagai tulangan meliputi:

1. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir yang diperoleh dari Kota Medan.

2. Semen PCC (Portland Composite Cement)

Semen yang digunakan adalah merek Semen Padang tipe 1.

3. Serbuk Cangkang Telur

Serbuk cangkang telur yang digunakan merupakan limbah yang dihasilkan dalam jumlah besar, terutama dari industri peternakan dan kuliner. Variasi penambahan serbuk cangkang telur adalah 3%, 6%, dan 9% dari berat semen.

4. Serat Buah Pinang

Serat buah pinang yang digunakan berasal dari Kota Medan, dengan serat yang sudah matang atau menguning dan panjang 5 cm. Proses pemisahan serabut dilakukan dengan membelah biji pinang, mengeluarkan isinya, kemudian menjemurnya selama sekitar 7 hari. Setelah itu, serabut disisir agar terpisah. Variasi penambahan serat buah pinang adalah 0,5%, 0,75%, dan 1% dari volume mortar.

5. Air

Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.6.2 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam pembuatan ferosemen dengan fly ash dan variasi serat buah pinang sebagai tulangan yaitu:

1. Satu set saringan untuk agregat halus.
2. Satu set alat untuk pemeriksaan berat jenis agregat halus.
3. Timbangan Digital.
4. Cetakan benda uji berbentuk kubus 5x5x5 cm.
5. Cetakan benda uji berbentuk balok 24 x 6 x 2,5 cm.

6. Compressing Test Machine (CTM)
7. Alat uji kuat lentur beton (hydraulic concrete beam).
8. Mesin Pengaduk Mortar (Mortar Mixer)
9. Oven
10. Gelas ukur
11. Pan
12. Kain lap
13. Bak perendam
14. Sarung tangan
15. Kawat Locket 25 (Welded) SUS 304 ± 1mm
16. Sendok semen
17. Ember
18. Skrap

3.7 Pemeriksaan Bahan

3.7.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Menurut SNI-1970-2008, agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir kurang dari 4,75 mm (No. 4). Metode pengujian ini digunakan untuk menentukan berat jenis curah kering dan berat jenis semu setelah sampel direndam dalam air selama (24+4) jam, serta berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan dan penyerapan air. Dalam keadaan SSD, pengujian bertujuan untuk menentukan berat jenis pasir. Alat, bahan, dan prosedur kerja mengikuti standar (ASTM C 128-01 2001). Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (B)
2. Berat contoh SSD kering oven (110°) (E)
3. Berat piknometer penuh air (D)
4. Berat contoh SSD di dalam piknometer penuh air (C)

$$a. \text{ Berat jenis contoh kering} = \frac{E}{(B+D-C)} \quad (3.1)$$

$$b. \text{ Berat jenis contoh SSD} = \frac{B}{(B+D-C)} \quad (3.2)$$

$$c. \text{ Berat Jenis contoh semu} = \frac{E}{(E+D-C)} \quad (3.3)$$

$$d. \text{ Penyerapan} = \frac{(B-E)}{E} \times 100\% \quad (3.4)$$

3.7.2 Pemeriksaan Kadar Air Agregat halus

Pemeriksaan kadar air pada agregat halus bertujuan untuk menentukan jumlah air yang terkandung dalam pasir. Berikut adalah rincian alat, bahan, dan prosedur yang digunakan:

Perhitungan kadar air dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{(w_1)-(w_2)}{(w_2)-(w_3)} \times 100\% \quad (3.5)$$

3.7.3 Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus bertujuan untuk menentukan persentase lumpur yang terdapat dalam agregat. Berikut adalah rincian alat, bahan, dan prosedur yang digunakan, serta rumus yang relevan:

1. Berat contoh kering (A)
2. Berat contoh kering setelah dicuci (B)
3. Berat kotoran agregat lolos saringan No. 200 setelah dicuci (C)

$$C = A - B \quad (3.6)$$

4. Persentase kotoran agregat lolos saringan No. 200 setelah dicuci (D)

$$D = \frac{C}{A} \times 100\% \quad (3.7)$$

3.7.4 Pemeriksaan Berat isi

Berat isi, yang juga dikenal sebagai satuan agregat, adalah rasio antara berat agregat dan volume yang ditempatinya. Berat isi agregat penting dalam perhitungan bahan campuran beton, terutama ketika jumlah bahan diukur berdasarkan ukuran volume.

1. Berat agregat + wadah (W1)
2. Berat wadah (W2)
3. Berat agregat (W3) = (W1 - W2) (3.8)

4. Volume Wadah (V)

$$5. \text{ Berat isi} = \frac{w_3}{v} \quad (3.9)$$

3.8 Pelaksanaan penelitian

3.8.1 Mix Desain

Mix desain yang diterapkan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Dalam penelitian ini, jumlah benda uji mortar yang digunakan adalah 27 kubus berukuran 5x5x5 cm. Sedangkan untuk benda uji fero semen, terdapat 15 pelat dengan ukuran 24x6x2,5 cm, serta lembaran kawat Locket 25 (Welded) SUS 304 dengan ketebalan sekitar 1 mm dan ukuran 24 x 6 cm. Penggunaan berbagai ukuran dan jenis benda uji ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang representatif dan akurat dalam eksperimen.

Tabel 3.2: Mix desain mortar dan fero semen dengan Fas 0,4.

N o	Tes	FA S	Se me n	Pasi r	s.cang kang telur	Serat Buah Pinang	Tes (cm)	Metode Reinforce ment	sam pel
1.	Mortar normal 1	0,4	1	3	-	-	Kubus 5x5x5	-	3
2.	Tes 1.A	0,4	97 %	3	3 %	-	Kubus 5x5x5	-	3
		0,4	94 %	3	6 %	-	Kubus 5x5x5	-	3
		0,4	91 %	3	9 %	-	Kubus 5x5x5	-	3
3.	Tes 1.B	0,4	Tes 1.A Opt	3	Tes 1.A Opt	0,5%	Kubus 5x5x5	Sebar	3
		0,4	Tes 1.A Opt	3	Tes 1.A Opt	0,75%	Kubus 5x5x5	Sebar	3

Tabel 3.2:Lanjutan.

		0,4	Tes 1.A Opt	3	Tes 1.A Opt	1%	Kubus 5x5x5	Sebar	3
4	Normal	0,4	1	3	-	-	Plat 24x6x2, 5	Kawat	3
5.	Ferosemen	0,4	Tes 1.B Opt	3	Tes 1.B Op t	Tes 1.B Opt	Plat 24x6x2, 5	Kawat	3
6.	Tes 1 C	0,4	Tes 1.B Opt	3	Tes 1.B Op t	Tes 1.B Opt	Plat 24x6x2, 5	Layer 10%	3
		0,4	Tes 1.B Opt	3	Tes 1.B Op t	Tes 1.B Opt	Plat 24x6x2, 5	Layer 12%	3
		0,4	Tes 1.B Opt	3	Tes 1.B Op t	Tes 1.B Opt	Plat 24x6x2, 5	Layer 15%	3
								Total Sampel	36

3.8.2 Pembuatan benda uji mortar

Berikut adalah penjelasan mengenai benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm, berjumlah 21 buah:

1. Mortar Normal: Terdapat 3 benda uji yang akan diuji pada umur mortar 28 hari untuk mendapatkan data rata-rata dari kekuatan dan karakteristiknya.
2. Mortar Campuran 3%, 6%, dan 9%: Masing-masing campuran ini juga memiliki 3 benda uji yang akan diuji pada umur mortar 28 hari,

memungkinkan analisis terhadap hasil rata-rata untuk setiap persentase campuran.

3. Mortar Campuran Serbuk Cangkang Telur: Variasi ini mencakup tambahan serat buah pinang dengan persentase 0,5%, 0,75%, dan 1%. Setiap variasi juga dilengkapi dengan 3 benda uji yang akan diuji pada umur mortar 28 hari untuk menilai efektivitas campuran.
4. Mortar Campuran Optimal: Ini adalah campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang yang dioptimalkan, dengan 3 benda uji yang akan diuji pada umur mortar 28 hari untuk mendapatkan data rata-rata yang akurat.

3.8.3 Perawatan Mortar

Perawatan mortar dilakukan setelah mortar dikeluarkan dari cetakan. Mortar tersebut direndam dalam air hingga mencapai umur 28 hari, di mana uji kekuatan tekan akan dilaksanakan. Rencananya, sebanyak 21 sampel akan direndam, dengan variasi kekuatan tekan yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3: Variasi campuran mortar.

No.	Variasi campuran	Umur mortar 28 hari
1.	Mortar Normal	3 sampel
2.	Mortar campuran 3%	3 sampel
3.	Mortar campuran 6%	3 sampel
4.	Mortar campuran 9%	3 sampel
5.	Mortar campuran serbuk cangkang telur optimal dengan tambahan 0,5% serat buah pinang.	3 sampel
6.	Mortar campuran serbuk cangkang telur optimal dengan tambahan 0,75% serat buah pinang.	3 sampel

Tabel 3.3:Lanjutan.

7.	Mortar campuran serbuk cangkang telur optimal dengan tambahan 1% serat buah pinang.	3 sampel
Jumlah		21 sampel

3.8.4 Pembuatan benda uji fero semen

Berikut adalah penjelasan mengenai benda uji berbentuk balok dengan ukuran 24 x 6 x 2,5 cm, berjumlah 3 buah:

1. Fero semen Campuran: Ini adalah fero semen yang terbuat dari campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang yang dioptimalkan. Semua benda uji memiliki umur fero semen 28 hari, dan dari ketiga benda uji ini, data rata-rata akan diambil untuk analisis kekuatan dan karakteristiknya.

3.8.5 Perawatan fero semen

Perawatan fero semen dilakukan setelah fero semen dikeluarkan dari cetakan. Fero semen tersebut direndam dalam air hingga mencapai umur 28 hari, saat uji kekuatan tekan dilaksanakan. Rencananya, sebanyak 15 sampel akan direndam, dengan variasi kekuatan lentur yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.4:Variasi campuran mortar.

No	Variasi campuran	Umur fero semen 28 hari
		Kuat lentur
1.	Fero semen Normal	3 sampel
2.	Fero semen campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal + kawat	3 sampel
3.	Fero semen campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 10%	3 sampel
4.	Fero semen campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 12%	3 sampel

5.	Ferosemen campuran serbuk cangkang telur dan serat buah pinang optimal layer 15%	3 sampel
	Jumlah	15 sampel

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam analisis agregat halus, penelitian ini mengumpulkan data mengenai material yang mencakup analisis saringan, berat jenis, penyerapan, kadar air, kadar lumpur, dan berat isi. Pemeriksaan dilakukan di laboratorium teknik sipil yang mematuhi pedoman dari SNI mengenai pemeriksaan agregat, serta mengikuti buku panduan praktikum beton dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4.1 Pemeriksaan Agregat Halus

4.1.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan analisis saringan dilakukan mengacu pada SNI 03-1968-1990 mengenai analisis saringan agregat halus. Analisis ini penting untuk menentukan distribusi ukuran butir agregat halus, yang berpengaruh pada kualitas campuran beton. Dengan memahami karakteristik agregat, kita dapat mengoptimalkan rasio campuran untuk mencapai kekuatan dan daya tahan yang diinginkan. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus.

Ukuran Saringan		Berat Tertahan	Persentase Tertahan	Persentase Kumulatif	
ASTM	SNI	(gr)	(%)	Tertahan (%)	Lolos (%)
4,8	No. 4	90	4,5	4,5	95,5
2,4	No. 8	241	12,05	16,55	78,45
1,18	No. 16	356	17,8	34,35	44,6
0,6	No. 30	573	28,65	63	37
0,3	No. 50	415	20,75	83,75	16,25
0,15	No. 100	176	8,8	92,55	7,45
PAN	117	149	7,45	100	0
TOTAL		2000	100	294,7	

Persentase berat tertahan rata rata:

$$\text{No.4} = \frac{90}{2000} \times 100 \% = 4,5 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{241}{2000} \times 100 \% = 12,05 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{356}{2000} \times 100 \% = 17,8 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{573}{2000} \times 100 \% = 28,65 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{415}{2000} \times 100 \% = 20,75 \%$$

$$\text{No.100} = \frac{176}{2000} \times 100 \% = 8,8 \%$$

$$\text{PAN} = \frac{149}{2000} \times 100 \% = 7,45 \%$$

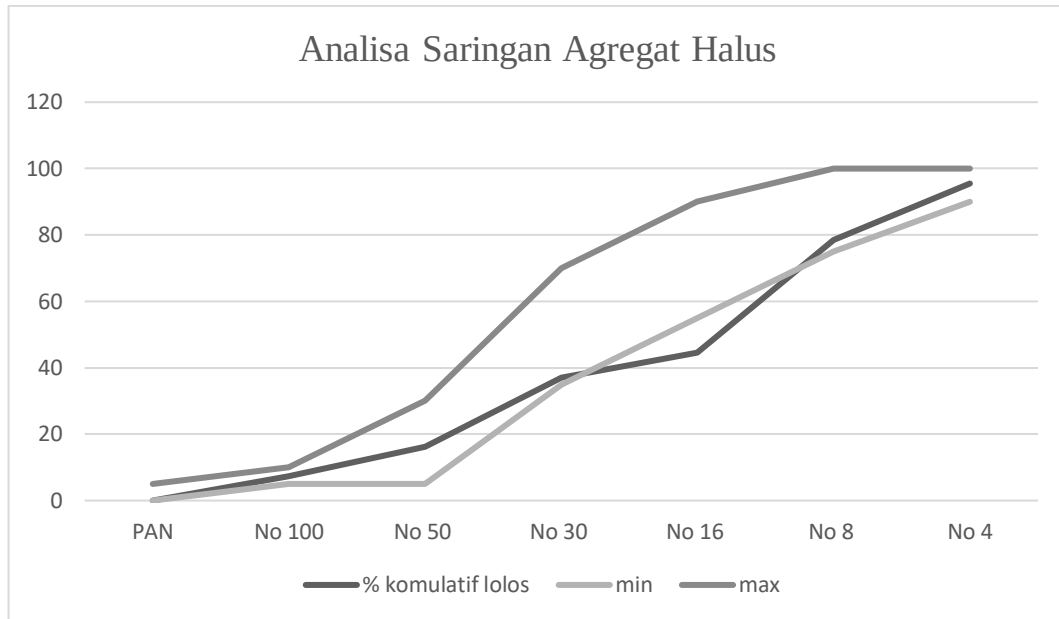
Persentase Berat Komulatif Tertahan

No.4	= 0	+	4,5	= 4,5%
No.8	= 4,5	+	12,05	= 16,55%
No.16	= 16,55	+	17,8	= 34,35%
No.30	= 34,35	+	28,65	= 63%
No.50	= 63	+	20,75	= 83%
No.100	= 83,75	+	8,8	= 92,55%
PAN	= 92,55	+	7,45	= 100%

Jumlah persentase komulatif yang tertahan sebesar 294,7%

$$\text{FM (Modulus Kehausan)} = \frac{\text{Jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} = \frac{294,7}{100} = 94\% \quad (4.1)$$

Dari hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus dalam percobaan ini, diperoleh nilai FM sebesar 2,94%. Nilai tersebut masih memenuhi syarat sebagai agregat halus, di mana rentang yang diizinkan adalah antara 1,5% hingga 3,8%, dan nilai tersebut termasuk dalam zona 2.



Tabel 4.2: Tabel Gradasi Analisa Agregat Halus.

No.	Total	PASSING	MIN	MAX
PAN	149	0	0	5
No. 100	176	7,45	0	10
No. 50	415	16,25	8	30
No. 30	573	37	35	70
No. 16	356	44,6	55	90
No. 8	241	78,45	75	100
No. 4	90	95,5	90	100

4.1.2 Pemeriksaan Berat Jenis Penyerapan

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

Tabel 4.3: Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.

Agregat Halus	Sampel I	Sampel II	Rata - Rata	Satuan
Berat SSD (B)	500	500	500	gr
Berat SSD Kering Oven (E)	495	491	493	gr
Berat SSD di dalam air (C)	992	989	990,5	gr
Berat Piknometer Berisi Air (D)	692	681	686,5	gr

Tabel 4.3:Lanjutan.

Bj Bulk = $(E / (B + D - C))$	2,475	2,557	2,516	gr/cm ³
Bj SSD = $(B / (B + D - C))$	2,5	2,604	2,552	gr/cm ³
Bj Semu = $(E / (E + D - C))$	2,538	2,683	2,610	gr/cm ³
Absorption $[(B - E) / E] \times 100\%$	1,01	1,832	1,421	%

$$\text{Berat SSD (B)} = \frac{500+500}{2} = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Berat SSD Kering Oven (E)} = \frac{495+491}{2} = 493 \text{ gr}$$

$$\text{Berat SSD di Dalam Air (C)} = \frac{992+989}{2} = 990,5 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Piknometer Berisi Air (D)} = \frac{692+681}{2} = 686,5 \text{ gr}$$

$$\text{BJ Bulk} = \frac{2,475+2,557}{2} = 2,516 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{BJ SSD} = \frac{2,5+2,604}{2} = 2,552 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{BJ Semu} = \frac{2,538+2,683}{2} = 2,610 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Absorption} = \frac{1,01+1,832}{2} = 1,421\%$$

Berdasarkan hasil pemeriksaan uji berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dari dua sampel dengan berat SSD rata-rata 500 gram, diperoleh nilai rata-rata berat jenis bulk sebesar 2,516 gram, berat jenis SSD sebesar 2,552 gram, dan berat jenis semu sebesar 2,610 gram.

4.1.3 Pemeriksaan Kadar Air

Pemeriksaan kadar air angregat halus dapat diliat pada tabel berikut :

Tabel 4.4:Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus.

Uraian	Sampel I	Sampel II	Satuan
Berat Contoh SSD dan Berat Wadah (W1)	1046	1182	gr
Berat Contoh SSD	549	687	gr
Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah (W2)	1034	1168	gr
Berat Wadah (W3)	497	495	gr
Berat Air	12	14	gr

Tabel 4.4:Lanjutan.

Barat Contoh Kering	537	673	gr
Kadar Air	2,23	2,08	%
Rata – rata	2,15		%

Sampel 1

$$\text{Berat Air} = W_1 - W_2 = 1046 - 1034 = 12 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Contog Kering} = W_2 - W_3 = 1034 - 497 = 537 \text{ gr}$$

$$\text{Kadar Air} = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_3} \times 100\% = \frac{1046 - 1034}{1034 - 497} \times 100\% = 2,23\%$$

Sampel 2

$$\text{Berat Air} = W_1 - W_2 = 1182 - 1168 = 14 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Contog Kering} = W_2 - W_3 = 1168 - 495 = 673 \text{ gr}$$

$$\text{Kadar Air} = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_3} \times 100\% = \frac{1182 - 1168}{1168 - 495} \times 100\% = 2,08\%$$

$$\text{Rata – Rata Kadar Air} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} = \frac{2,2 + 2,08}{2} = 2,15\%$$

Dari pengujian kadar air agregat halus, nilai yang diperoleh untuk sampel 1 dan sampel 2 adalah 2,23% dan 2,08%. Dengan demikian, rata-rata kadar airnya adalah 2,15%.

4.1.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5:Hasil pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus.

Uraian	Sampel I	Sampel II	Rata - Rata	Satuan
Berat contoh kering : A	500	500	500	gr
Berat kering contoh setelah dicuci : B	491	490	490,5	gr
Berat kotoran setelah dicuci : C	9	10	9,5	gr
Persentase kotoran setelah dicuci : D	1,8	2	1,9	%
Kadar Lumpur Rata – rata	1,9		%	

Sampel 1

$$\text{Persentase Kotoran setelah dicuci (D)} = \frac{C}{A} \times 100\% = \frac{9}{500} \times 100\% = 1,8\%$$

Sampel 2

$$\text{Persentase kotoran setelah dicuci (D)} = \frac{C}{A} \times 100\% = \frac{10}{500} \times 100\% = 2\%$$

Avarange (Rata-Rata)

$$\text{Berat contoh kering (A)} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} = \frac{500 + 500}{2} = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Berat contoh kering setelah dicuci (B)} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} = \frac{491 + 490}{2} = 490,5 \text{ gr}$$

$$\text{Berat kotoran setelah dicuci (C)} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} = \frac{9 + 10}{2} = 9,5 \text{ gr}$$

$$\text{Persentase kotoran setelah dicuci (D)} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2} = \frac{1,8 + 2}{2} = 1,9\%$$

Hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus menunjukkan persentase rata-rata sebesar 1,9%.

4.1.5 Pemeriksaan Berat isi

Pemeriksaan berat isi agregat dilakukan dengan tiga metode, yaitu metode tusuk, metode goyang, dan metode lepas. Data hasil pemeriksaan berat isi agregat diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4.6: Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus.

Pengujian	Cara Lepas	Cara Tusuk	Cara Goyang	Rata - Rata	Satuan
Berat Contoh + Wadah	27098	28963	28942	28334,3	gr
Berat Wadah Baja	6500	6500	6500	6500	gr
Berat Contoh	20598	22193	22442	21744,3	gr
Volume Wadah	15465,21	15465,21	15465,21	15465,21	cm ³
Berat Isi	1,331	1,435	1,451	1,4056	gr/cm ³

A. Tinggi = 27 cm

Diameter = 27 cm

Berat wadah baja = 6500 gr

Berat contoh + Wadah = 27098 gr

$$\text{Volume wadah} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot T = \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 27^2 \cdot 27 = 15465,21 \text{ cm}^3$$

Berat contoh = (Berat contoh + Wadah) – (Berat wadah baja)

$$= 27098 - 6500 = 20598 \text{ gr}$$

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat contoh}}{\text{Volume wadah}} = \frac{20598}{15465,21} = 1,331 \text{ gr/cm}^3$$

B. Cara Tusuk

$$\text{Tinggi} = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter} = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Berat wadah baja} = 6500 \text{ gr}$$

$$\text{Berat contoh + wadah} = 28963 \text{ gr}$$

$$\text{Volume wadah} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot T = \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 27^2 \cdot 27 = 15465,21 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat contoh} = (\text{Berat contoh + Wadah}) - (\text{Berat wadah baja})$$

$$= 28963 - 6500 = 22193 \text{ gr}$$

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat contoh}}{\text{Volume wadah}} = \frac{22190}{15465,21} = 1,435 \text{ gr/cm}^3$$

C. Cara Goyang

$$\text{Tinggi} = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter} = 27 \text{ cm}$$

$$\text{Berat wadah baja} = 6500 \text{ gr}$$

$$\text{Berat contoh + wadah} = 28942 \text{ gr}$$

$$\text{Volume wadah} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot T = \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 27^2 \cdot 27 = 15465,21 \text{ cm}^3$$

$$\text{Berat contoh} = (\text{Berat contoh + Wadah}) - (\text{Berat wadah baja})$$

$$= 28942 - 6500 = 22442 \text{ gr}$$

$$\text{Berat isi} = \frac{\text{Berat contoh}}{\text{Volume wadah}} = \frac{22193}{15465,21} = 1,451 \text{ gr/cm}^3$$

Rata – Rata

$$\begin{aligned} \text{Berat contoh + Wadah} &= \frac{\text{Cara lepas} + \text{Cara tusuk} + \text{Cara goyang}}{3} \\ &= \frac{27098 + 28963 + 28942}{3} = 28334,3 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat wadah Basa} &= \frac{\text{Cara lepas} + \text{Cara tusuk} + \text{Cara goyang}}{3} \\ &= \frac{6500 + 6500 + 6500}{3} = 6500 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat contoh} &= \frac{\text{Cara lepas} + \text{Cara tusuk} + \text{Cara goyang}}{3} \\ &= \frac{20598 + 22193 + 22442}{3} = 21744,3 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume wadah} &= \frac{\text{Cara lepas} + \text{Cara tusuk} + \text{Cara goyang}}{3} \\ &= \frac{15465,21 + 15465,21 + 15465,21}{3} = 15465,21 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat isi} &= \frac{\text{Cara lepas} + \text{Cara tusuk} + \text{Cara goyang}}{3} \\ &= \frac{1,331 + 1,331 + 1,331}{3} = 1,4056 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

4.2 Perencanaan Mortar dan Fero semen

4.2.1 Mix Desain Mortar dan Fero semen

Desain campuran yang digunakan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Dalam penelitian ini, jumlah benda uji mortar yang digunakan adalah 21 kubus berukuran 5x5x5 cm, sedangkan jumlah benda uji fero semen yang digunakan adalah 15 pelat berukuran 24x6x2,5 cm. Selain itu, juga digunakan lembaran kawat Locket 25 (Welded) SUS 304 dengan ketebalan ± 1 mm dan ukuran 24 x 6 cm.

Hasil desain campuran yang diperlukan untuk satu cetakan mortar berukuran 5x5x5 cm adalah: pasir sebanyak 252 gram, semen 84 gram, dan air 34 ml. Untuk menghitung kebutuhan serbuk cangkang telur, persentasenya diambil dari jumlah semen yang digunakan, sementara persentase serat buah pinang dihitung berdasarkan volume cetakan yang digunakan untuk menentukan kebutuhan serat buah pinang.

Hasil desain campuran yang diperlukan untuk satu cetakan fero semen berukuran 24x6x2,5 cm adalah: pasir sebanyak 600 gram, semen 200 gram, dan air 80 ml. Persentase serbuk cangkang telur diambil dari jumlah semen untuk menghitung kebutuhan serbuk tersebut, sementara persentase serat buah pinang dihitung berdasarkan volume cetakan yang digunakan untuk menentukan kebutuhan serat. Selain itu, juga dihitung persentase layer pada fero semen yang akan diuji.

Tabel 4.7:Hasil Mix desain untuk mortar dan fero semen.

N o	Tes	FAS (ml)	Sem en (gr)	Pasir (gr)	Serb uk CT (gr)	Serat buah pinang g (gr)	Tes (cm)	Metode Re Infor cement	sam pel
1	Mortar Normal	0,4	1	3	-	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	84 gr	252 gr					
2	Tes Mortar serbuk CT	0,4	97%	3	3 %	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	81,4 8 gr	252 gr	252 gr				
		0,4	94%	3	6%	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	78,9 6 gr	252 gr	5,04 gr				
		0,4	91%	3	9%	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	76,4 4 gr	252 gr	7,56 gr				
3	Serbuk cangkan g telur Tes 3% dengan serat buah pinang	0,4	97%	3	3%	0,5%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	81,4 8 gr	252 gr	2,52 gr	1,258 gr			
		0,4	97%	3	3%	0,75%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	81,4 8 gr	252 gr	2,52 gr	1,887 gr			
		0,4	97%	3	3%	1%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	81,4 8 gr	252 gr	2,52 gr	2,516 gr			
4	Normal feroseme n	0,4	1	3	-	-	Plat	Kawat	3
		80 ml	200 gr	600 gr			24x6x 2,5		

Tabel 4.7:Lanjutan.

5	Ferosemen 3% CT dan 0,5% Serat BP	0,4	1	3	3%	0,5%	Plat 24x6x 2,5	Kawat	3
		80 ml	194 gr	600 gr	6 gr	3,6 gr			
6	Ferosemen 3% CT dan 0,5% serat buah pinang	0,4	1	3	3%	0,5%	Plat 24x6x 2,5	Layer 10%	3
		80 ml	194 gr	600 gr	6 gr	3,6 gr		36 gr	
		0,4	1	3	3%	0,5%	Plat 24x6x 2,5	Layer 12%	3
		80 ml	194 gr	600 gr	6 gr	3,6 gr		43,2 gr	
		0,4	1	3	3%	0,5%	Plat 24x6x 2,5	Layer 15%	3
		80 ml	194	600 gr	6 gr	3,6 gr		54 gr	

4.3 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan metode yang sesuai dengan SNI 03-6825-2002. Pengujian dilakukan pada mortar yang berumur 28 hari menggunakan mesin uji kuat tekan dengan kapasitas 150 ton. Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8: Pengujian kuat tekan mortar.

Sampel	Kode sampel	Umur (hari)	Berat (gr)	Kuat tekan (ton)	Kuat tekan (Mpa)	Ratarata kuat tekan (Mpa)
--------	-------------	-------------	------------	------------------	------------------	---------------------------

Tabel 4.8:Lanjutan.

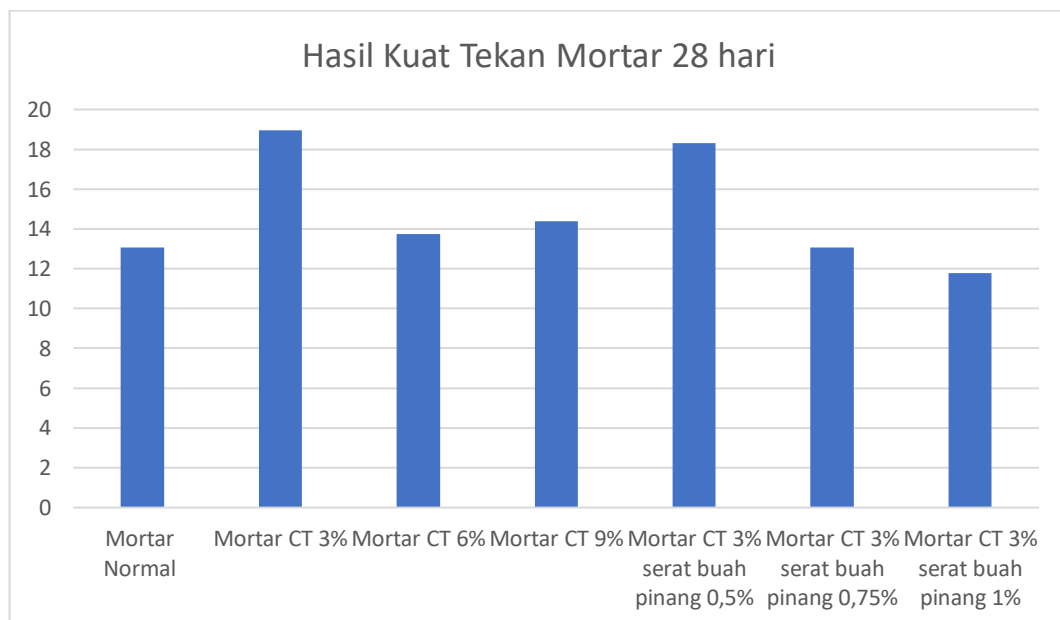
Mortar Normal	MN 1	28	250	3	11,772	13.08
	MN 2	28	245	4	15,696	
	MN 3	28	260	3	11,772	
Mortar Serbuk Cangkang Telur	MCT 3% (1)	28	230	4	15,696	18.966
	MCT 3% (2)	28	235	6	23,544	
	MCT 3% (3)	28	245	4,5	17,658	
	MCT 6% (1)	28	240	3	11,772	13.734
	MCT 6% (2)	28	230	3	11,772	
	MCT 6% (3)	28	230	4,5	17,658	
	MCT 9% (1)	28	255	5	19,62	14.388
	MCT 9% (2)	28	245	3	11,772	
	MCT 9% (3)	28	250	3	11,772	
Mortar CT Optimal dan Serat buah pinang	MCT 3% SBP 0,5% (1)	28	225	5	19,62	18,312
	MCT 3% SBP 0,5% (2)	28	250	4,5	17,658	
	MCT 3% SBP 0,5% (3)	28	210	4,5	17,658	
	MCT 3% SBP 0,75% (1)	28	195	3	11,772	13,08
	MCT 3% SBP 0,75% (2)	28	205	3	11,772	
	MCT 3% SBP 0,75% (3)	28	195	4	15,696	
	MCT 3% SBP 1% (1)	28	190	3	11,772	11,772
	MCT 3% SBP 1% (2)	28	245	3	11,772	
	MCT 3% SBP 1% (3)	28	220	3	11,772	

Tabel 4.9: Pengaruh penambahan Serbuk Cangkang Telur terhadap kuat tekan mortar 28 hari.

Kadar Serbuk CT (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Kenaikan (%)
0%	13,08	-
3%	18,966	45
6%	13,734	5
9%	14,388	10

Tabel 4.10: Pengaruh penambahan Serbuk Cangkang Telur 3% dengan serat buah pinang terhadap kuat tekan mortar 28 hari.

Kadar Serat Buah Pinang (%)	Kuat Tekan (Mpa)	Kenaikan (%)
0	13,08	-
0,5	18,312	40
0,75	13,08	0
1	11,772	-10



Hasil penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari penambahan serbuk cangkang telur dan serat buah pinang terhadap kuat tekan mortar pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan sesuai standar SNI 03-6825-2002, menggunakan

benda uji berbentuk kubus berukuran 5x5x5 cm dan mesin uji kuat tekan dengan kapasitas 150 ton. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa mortar yang dicampur dengan serbuk cangkang telur memiliki performa lebih baik dibandingkan mortar biasa. Pada pengujian, mortar tanpa penambahan serbuk cangkang telur memiliki kuat tekan maksimum sebesar 13,729 MPa. Namun, ketika serbuk cangkang telur ditambahkan dengan kadar 10%, kuat tekan meningkat menjadi 15,691 MPa. Peningkatan ini berlanjut dengan kadar serbuk cangkang telur 3% dan 6%, yang masing-masing menunjukkan kuat tekan sebesar 17,651 MPa dan 19,613 MPa. Puncaknya, pada kadar 9% serbuk cangkang telur, mortar mencapai kuat tekan 21,574 MPa, yang menunjukkan bahwa serbuk cangkang telur secara signifikan meningkatkan kekuatan mortar.

Selain penambahan serbuk cangkang telur, penelitian ini juga mengeksplorasi pengaruh serat buah pinang sebagai bahan tambahan. Serat buah pinang ditambahkan dalam berbagai kadar untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kuat tekan mortar yang mengandung 3% serbuk cangkang telur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kadar serat 0%, kuat tekan mortar tetap pada level 13,729 MPa, sama seperti mortar tanpa serat. Namun, ketika kadar serat buah pinang meningkat menjadi 0,5%, kuat tekan mortar meningkat menjadi 15,691 MPa. Penambahan serat buah pinang sebanyak 0,75% dan 1% menghasilkan kuat tekan masing-masing sebesar 17,651 MPa dan 19,613 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa serat buah pinang tidak hanya berkontribusi terhadap kekuatan, tetapi juga meningkatkan daya tahan mortar terhadap retak dan deformasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan penting tentang potensi penggunaan serbuk cangkang telur dan serat buah pinang dalam pembuatan mortar yang lebih kuat dan berkelanjutan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kombinasi kedua bahan ini dapat menghasilkan mortar dengan karakteristik mekanik yang lebih baik, yang sangat relevan untuk aplikasi konstruksi. Namun, berdasarkan referensi dari jurnal yang dibaca, perlu dicatat bahwa penambahan serat buah pinang dalam adukan dapat mengurangi nilai kerja (*workability*). Serat buah pinang tergolong serat alami, yang cenderung mudah rapuh dan tidak dapat digunakan dalam jangka panjang karena akan mengalami penyusutan dan menjadi

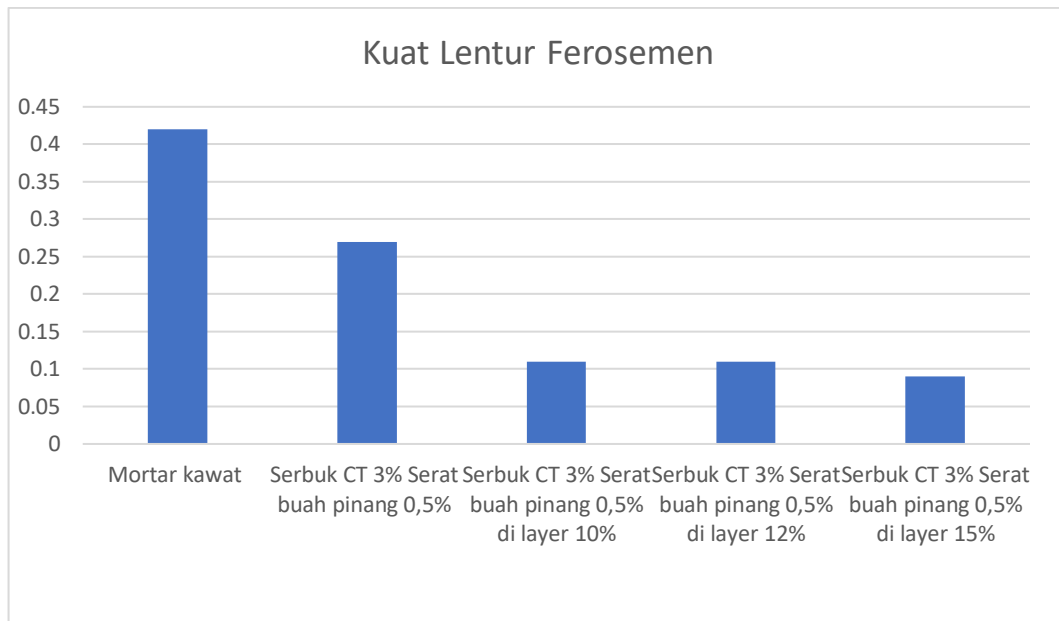
rapuh. Meskipun demikian, penggunaan serbuk cangkang telur sebagai bahan tambahan tetap mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri. Penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan material bangunan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, serta memberikan kontribusi positif bagi industri konstruksi di masa depan.

4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Fero semen

Pengujian kuat lentur dalam penelitian ini dilakukan pada fero semen yang berumur 28 hari. Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat lentur berbentuk balok dengan ukuran panjang 24 cm, lebar 6 cm, dan tinggi 2,5 cm. Metode yang diterapkan untuk pengujian kuat lentur adalah pembebanan satu titik di tengah bentang, sesuai dengan SNI 4154:2014.

Tabel 4.11: Hasil Kuat Lentur Fero semen.

No	Fero semen	Umur (hari)	Kuat lentur rata-rata kg/cm ²	Kuat lentur rata-rata Mpa
1	Normal	28	4,25	0,42
2	Serbuk CT 3% Serat buah pinang 1%	28	2,73	0,27
3	Serbuk CT 3% Serat buah pinang 1% di layer 10%	28	1,1	0,11
4	Serbuk CT 3% Serat buah pinang 1% di layer 12%	28	1,13	0,11
5	Serbuk CT 3% Serat buah pinang 1% di layer 15%	28	0,96	0,09



Hasil pengujian kuat lentur fero semen menunjukkan bahwa fero semen mengalami penurunan kuat lentur. Dalam pengujian ini, fero semen normal yang ditambahkan kawat mengalami patah di daerah lapangan, sementara fero semen yang mengandung serat hanya mengalami retak. Dalam kondisi serat pinang dalam campuran fero semen saat pengujian, serat tersebut tercabut, dan sebagian mengalami putus. Fero semen yang ditambahkan 3% serbuk cangkang telur dan 0,5% serat buah pinang + kawat menunjukkan penurunan signifikan dalam kuat lentur dibandingkan dengan fero semen normal. Pada fero semen normal + kawat, kuat lentur rata-rata tercatat sebesar 2,73 kg/cm² (0,27 Mpa).

Selain itu, kuat lentur rata-rata juga menurun ketika serbuk cangkang telur 3% dan serat buah pinang 0,5% diterapkan pada lapisan 10%, 12%, dan 15%. Kuat lentur pada lapisan 10% hanya mencapai 1,1 kg/cm² (0,11 Mpa). Kuat lentur pada lapisan 12% turun lebih lanjut menjadi 1,13 kg/cm² (0,11 Mpa), sedangkan pada lapisan 15% mencapai 0,96 kg/cm² (0,09 MPa).

Penurunan ini menunjukkan bahwa, meskipun penambahan serat buah pinang dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak, kekuatan lentur fero semen justru berkurang akibatnya. Serat buah pinang, yang merupakan serat alami dan cenderung rapuh serta menyusut, mungkin berkontribusi pada penurunan ini karena kemampuannya yang tinggi dalam menyerap air. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menemukan kombinasi optimal antara serbuk cangkang

telur dan serat buah pinang guna meningkatkan kinerja fero semen tanpa mengorbankan kekuatan lenturnya. Secara umum, beban masih dapat meningkat setelah terjadinya retak pertama, meskipun peningkatan ini tidak signifikan. Keruntuhan akan terjadi secara bertahap, dimulai dari retakan kecil yang kemudian berkembang menjadi lebih besar. Balok uji fero semen yang mengandung serat tidak sepenuhnya runtuh, karena keberadaan serat pinang membantu mencegah perluasan retak.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, pengaruh serbuk cangkang telur sebagai pengganti semen dan serat buah pinang sebagai bahan tambahan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serbuk cangkang telur pada mortar secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan mortar. Pengujian menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan serbuk cangkang telur sebesar 3% mencapai kekuatan tekan maksimum 18,966 MPa, sedangkan mortar normal hanya mencapai 13,08 MPa. Peningkatan ini menegaskan bahwa serbuk cangkang telur memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tekan ferosemen.
2. Penambahan serat buah pinang dalam mortar yang mengandung serbuk cangkang telur menunjukkan hasil yang bervariasi. Pada kadar serat 0,5%, kekuatan tekan setara dengan mortar normal. Namun, ketika kadar serat meningkat menjadi 0,75%, dan 1%, kekuatan tekan mortar meningkat menjadi 18,312 MPa, 13,08 MPa, dan 11,772 MPa, masing-masing. Hal ini menunjukkan bahwa serat buah pinang dapat meningkatkan kekuatan tekan jika digunakan dalam proporsi yang tepat.
3. Kombinasi optimal antara serbuk cangkang telur dan serat buah pinang dapat menghasilkan ferosemen dengan sifat kekuatan tekan yang lebih baik. Meskipun serat buah pinang dapat meningkatkan daya tahan terhadap retak, penambahannya juga dapat mengurangi kekuatan lentur ferosemen. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menemukan proporsi kombinasi yang paling efektif guna mencapai performa terbaik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa saran yang perlu dikembangkan untuk penelitian ini:

1. Lakukan pengujian kinerja fero semen dalam berbagai kondisi lingkungan untuk memahami bagaimana faktor-faktor eksternal mempengaruhi sifat material.
2. Peneliti juga disarankan untuk melakukan analisis biaya terkait penggunaan serbuk cangkang telur dan serat buah pinang, guna menilai kelayakan ekonomis dan potensi penerapan di industri konstruksi.
3. Selidiki pengaruh penambahan serbuk cangkang telur dan serat buah pinang terhadap sifat fisik lainnya, seperti daya serap air dan ketahanan terhadap korosi, untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa fero semen.

DAFTAR PUSTAKA

- METODE PENGUJIAN BERAT JENIS SEMEN PORTLAND. 2531 (1991).
pdf-sni-03-2461-2002pdf_compress.pdf.
- Ashariyanto, Y., Diana, A. I. N. & Deshariyanto, D. Pengaruh Penggunaan Serbuk Kulit Cangkang Telur Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Kuat Tekan Beton. *Publ. Ris. Orientasi Tek. Sipil* **4**, 114–119 (2022).
- Hermawati, H. & Herawati, H. Pengaruh Serat Buah Pinang Terhadap Kuat Tekan Beton. *Bear. J. Penelit. dan Kaji. Tek. Sipil* **8**, 61 (2023).
- Indonesia, S. N. Sni 03 – 1971 – 1990. (1990).
- Indonesia, S. N. & Nasional, B. S. Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus. (2008).
- Lingkup, R. Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar. 1–5 (1990).
- Penguji, M. & Ii, B. A. B. ak s ud dan jua M a k s u d. (1997).
- Pohan, R. F. & Rambe, M. R. Beton Ramah Lingkungan Dengan Cangkang Telur Sebagai Pengganti Sebagian Semen. *J. Tek. Mesin, Elektro, Inform. Kelaut. dan Sains* **2**, 15–19 (2022).
- Pustaka, D. *Daftar pustaka*. (2016).
- Siti Fitriani, Wiki Muhamad Fathul M & Ida Farida. Penggunaan Limbah Cangkang Telur, Abu Sekam, dan Copper Slag Sebagai Material Tambahan Pengganti Semen. *J. Konstr.* **15**, 46–56 (2017).
- Substitusi, P. *et al.* J-RITEKS. **3**, 36–42 (2024).
- Tumbel, G. W. Y. Sebagai Substitusi Parsial Semen Terhadap Nilai Kuat Tarik Lentur Beton. *Sipil Statik* **8**, 293–298 (2020).
- Umum, D. P. Departemen pekerjaan umum. (2005).

LAMPIRAN



Dokumentasi 1:Semen.



Dokumentasi 2:Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian.



Dokumentasi 3:Serbuk cangkang telur.



Dokumentasi 4: Pengeringan serat buah pinang.



Dokumentasi 5: Saringan agregat kasar



Dokumentasi 6: Cetakan 5x5x5.



Dokumentasi 7:Cetakan 24x6x2,5.



Dokumentasi 8:Penimbangan agregat kasar.



Dokumentasi 9:Penimbangan mortar.



Dokumentasi 10: Perendaman mortar.



Dokumentasi 11: Uji kuat tekan mortar.



Dokumentasi 12: Pengujian kuat tekan mortar normal.



Dokumentasi 13: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 3%.



Dokumentasi 14: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 6%.



Dokumentasi 15: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 9%.



Dokumentasi 16: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 3% serat buah pinang 0,5%.



Dokumentasi 17: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 6% serat buah pinang 0,75%.



Dokumentasi 18: Pengujian kuat tekan mortar serbuk cangkang telur 9% serat buah pinang 1%.



Dokumentasi 19:Pembuatan ferosemen normal.



Dokumentasi 20:Uji kuat lentur ferosemen.



Dokumentasi 21:Pengujian kuat lentur ferosemen normal.



Dokumentasi 22: Pengujian kuat lentur fero semen 10%.



Dokumentasi 23: Pengujian kuat lentur fero semen 12%.



Dokumentasi 24: Pengujian kuat lentur fero semen 15%.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Zavira Yulianti
Tempat,Tanggal Lahir : Medan, 23 Mei 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Kewarganegaraan : Indonesia
Agama : Islam
Alamat : Jl Putri Hijau No. 26H LKXVII Lr 21B Pulau
Brayan Kota Medan
Telepon : 081362443526
Email : zavirayulianti05@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

SDN 105297	Tahun lulus 2015
SMP Laks.Martadinata Medan	Tahun Lulus 2018
SMA Laks.Martadinata Medan	Tahun Lulus 2021
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2021 - 2025