TUGAS AKHIR

STUDI KEKUATAN TEKAN DAN LENTUR FEROSEMEN YANG MENGANDUNG ABU KULIT KAKAO SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DAN DIPERKUAT OLEH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh :

RODIANAH

2107210015

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN

2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	:	Rodianah
NPM	:	2107210015
Program Studi	:	Teknik Sipil
Judul Skripsi	:	Studi kekuatan tekan dan lentur ferosemen yang mengandung abu kulit kakao sebagai pengganti semen dan diperkuat oleh serat tandan kosong kelapa sawit
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, September 2025
Dosen Pembimbing

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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	:	Rodianah
NPM	:	2107210015
Program Studi	:	Teknik Sipil
Judul Skripsi	:	Studi kekuatan tekan dan lentur ferosemen yang mengandung abu kulit kakao sebagai pengganti semen dan diperkuat oleh serat tandan kosong kelapa sawit
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, September 2025

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing

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

Dosen Pembanding I

Sri Prafanti S.T., M.T.,

Dosen Pembanding II

Rizki Efrida S.T., M.T.,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Josep Hadipramana, ST., M.Sc.,

ABSTRAK

" STUDI KEKUATAN TEKAN DAN LENTUR FEROSEMEN YANG MENGANDUNG ABU KULIT KAKAO SEBAGAI PENGGANTI SEMEN DIPERKUAT OLEH SERAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT"

Rodianah

2107210015

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

Penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan abu kulit kakao sebagai substitusi sebagian semen serta serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan penguat terhadap sifat mekanik mortar dan panel ferosemen. Benda uji yang digunakan berupa kubus mortar 5×5×5 cm untuk uji kuat tekan dan panel ferosemen 24×6×2,5 cm untuk uji kuat lentur dengan perawatan 28 hari. Hasil menunjukkan mortar normal memiliki kuat tekan 11,767 MPa, sedangkan substitusi abu kulit kakao 15% meningkatkan kuat tekan hingga 22,236 MPa. Pada campuran abu kulit kakao 15% dengan serat TKKS 3%, kuat tekan mencapai 21,582 MPa, yang tidak hanya meningkatkan kekuatan tetapi juga memperbaiki daktilitas. Uji kuat lentur menunjukkan ferosemen normal bernilai 54,799 MPa, sementara variasi abu kulit kakao 15% dengan serat TKKS 3% dan tulangan kawat menghasilkan nilai tertinggi 62,640 MPa. Dengan demikian, penggunaan abu kulit kakao dan serat TKKS terbukti efektif meningkatkan sifat mekanik mortar dan ferosemen serta berpotensi menjadi material alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi berkelanjutan.

Kata kunci: Ferosemen, Mortar, Abu kulit kakao, Serat tandan kosong kelapa sawit, Kuat tekan, Kuat lentur

ABSTRACT

"STUDY *ON THE COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTH OF FERROCEMENT CONTAINING COCOA SHELL ASH AS CEMENT REPLACEMENT REINFORCED WITH OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH FIBERS"*

Rodianah

2107210015

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

This study aims to analyze the effect of using cocoa shell ash as a partial substitute for cement and oil palm empty fruit bunch (OPEFB) fibers as reinforcement on the mechanical properties of mortar and ferrocement panels. The specimens used were 5×5×5 cm mortar cubes for compressive strength tests and 24×6×2.5 cm ferrocement panels for flexural strength tests, cured for 28 days. The results showed that normal mortar had a compressive strength of 11.767 MPa, while substitution with 15% cocoa shell ash significantly increased the compressive strength to 22.236 MPa. The mixture with 15% cocoa shell ash and 3% OPEFB fibers achieved 21.582 MPa, indicating not only improved strength but also enhanced ductility compared to normal mortar. Flexural strength tests revealed that normal ferrocement reached 54.799 MPa, whereas the variation with 15% cocoa shell ash, 3% OPEFB fibers, and wire reinforcement produced the highest value of 62.640 MPa. Therefore, the addition of cocoa shell ash and OPEFB fibers has proven effective in improving the mechanical properties of mortar and ferrocement, highlighting their potential as eco-friendly alternative materials for sustainable construction.

Keywords: Ferrocement, Mortar, Cocoa shell ash, Oil palm empty fruit bunch fibers, Compressive strength, Flexural strength.

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 "Studi Kekuatan Tekan dan Lentur Ferosemen yang mengandung Abu kulit kakao sebagai pengganti semen dan diperkuat oleh Serat tandan kosong kelapa sawit" 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. Ibu Sri Prafanti, S.T,.M.T., selaku Dosen Pembanding 1 yang telah memberikan koreksi pada saran kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T., selaku Dosen Pembanding 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 Munawar Alfansury Siregar, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Dr. Josep 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 Mawardi dan Ibu Ernawati Harahap yang sangat saya sayangi, yang senantiasa memberi dukungan moral dan finansial selama saya menempuh pendidikan.
10. Kepada saudari – saudari saya, Nurjannah S.Ak , Siti Fatimah, dan Shapina Rahmawati 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. Kepada seseorang yang selalu mensupport saya dan memberi semangat Ismail.
13. 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, 28 Agustus 2025

Saya menyatakan,

Rodianah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	**i**
ABSTRACT	**ii**
KATA PENGANTAR	**iii**
DAFTAR ISI	**v**
DAFTAR TABEL	**vii**
DAFTAR GAMBAR	**viii**
DAFTAR NOTASI	**ix**
BAB 1 PENDAHULUAN	**1**
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	**5**
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Ferosemen	6
2.3 Morta	9
2.4 Abu Kulit Kakao	11
2.5 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	14
2.6 Semen	16
2.7 Pasir	19
2.8 Air	20
2.9 Tulangan dan Jaringan Kawat	21
2.10 Kuat Tekan	22
2.11 Kuat Lentur	23
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Bagan Alir Penelitian	24
3.2 Metode Penelitian	25
3.3 Tahap Pengambilan Data	26
3.4 Sumber - Sumber data dalam penelitian	27
3.5 Tempat dan Waktu penelitian	28

3.6 Alat dan Bahan 32
3.7 Pemeriksaan Bahan 33
3.8 Pelaksaan penelitian 36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 42
4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material 42
4.2 Perencanaan Mortar dan Ferosemen 50
4.3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar 53
4.4 Hasil Pengujian Kuat Lentur Ferosemen 58
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 62
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Senyawa Abu Kulit Kakao 13
Tabel 2.2 Senyawa Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit 15
Tabel 2.3 Senyawa semen 18
Tabel 2.4 Spesifikasi Gradasi Pasir 20
Tabel 3.1 Jadwal penelitian 28
Tabel 3.2 Perawatan Mortar 37
Tabel 3.3 Perencanaan pembuatan sampel benda uji 39
Tabel 4.1 Pemeriksaan Analisa Saringan 42
Tabel 4.2 Analisa Agregat Halus 44
Tabel 4.3 Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus 45
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Kadar Air 46
Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur 47
Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Berat Isi 48
Tabel 4.7 Mix Desain Mortar 51
Tabel 4.8 Hasil Kuat Tekan Mortar 53
Tabel 4.9 Pengaruh Penambahan Abu Kulit Kakao 56
Tabel 4.10 Pengaruh Penambahan AKK dengan STKKS 56
Tabel 4.11 Kuat Lentur Ferosemen 59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengaplikasian Ferosemen pada Dinding 9
Gambar 2.2 Cetakan Mortar 9
Gambar 2.3 Proses Pengeringan Kulit Kakao 12
Gambar 2.4 Proses Pembakaran Kulit kakao menjadi abu 13
Gambar 2.5 Proses Pengeringan serat tandan kosong kelapa sawit 14
Gambar 2.6 Hasil Pengeringan Serat tandan kosong kelapa sawit 16
Gambar 2.7 Semen 17
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian 24
Gambar 4.1 Grafik Kuat tekan mortar 57
Gambar 4.2 Grafik Kuat lentur ferosemen 60

DAFTAR NOTASI

f ´c	= Kuat Tekan saat pengujian	(kg/m³)
P	= Beban Tekan	(kN)
A	= Luas Penampang	(cm²)
B	= Jumlah air	(kg/m³)
C	= Jumlah agregat halus	(kg/m³)
σ1	= 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)
Xi	= Kuat tekan beton	(MPa)
Fcr	= Nilai kuat tekan rata – rata	(MPa)
M	= Nilai tambah margin	(MPa)
Wh	= perkiraan jumlah air untuk agregat halus	(kg/m³)
W1	= Jumlah semen	
W2	= Kadar air bebas	
Fas	= factor air semen bebas	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa dekade terakhir, industri konstruksi telah menjadi salah satu sektor yang paling berkembang pesat di seluruh dunia. Seiring dengan berkembangnya pembangunan infrastruktur, penggunaan bahan bangunan konvensional seperti beton menjadi semakin dominan. Beton, yang merupakan campuran antara semen, agregat, dan air, memiliki kekuatan yang baik, namun memiliki dampak lingkungan yang cukup besar terkait dengan produksi semen yang menghasilkan emisi karbon yang tinggi (Binti Sayono dkk., 2023).

Produksi semen portland, yang merupakan jenis semen yang paling banyak digunakan menyumbang sekitar 7-8% dari total emisi karbon global yang disebabkan oleh proses pemanasan batu kapur menghasilkan kalsium oksida (CaO) (Opirina et al., 2019). Oleh karena itu, para peneliti dan praktisi di bidang konstruksi terus berusaha untuk mengembangkan material yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien, baik dari segi biaya maupun energi. Salah satu alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan semen adalah penggunaan bahan-bahan lokal dan limbah pertanian yang dapat menggantikan sebagian atau seluruh fungsi semen dalam campuran beton (Hadipramana dkk., 2023).

Ferosemen menjadi salah satu alternatif material konstruksi yang menarik. Ferosemen adalah campuran dari semen, pasir, dan kawat baja yang dicampur dengan bahan tambah lainnya (Dwi Shinta dkk., 2023). Penggunaan bahan tambah dalam ferosemen dapat berperan dalam meningkatkan sifat mekanik serta mengurangi penggunaan bahan baku yang bersumber dari alam.

Abu kulit kakao adalah salah satu limbah pertanian yang banyak dihasilkan oleh industri pengolahan biji kakao. Di Indonesia, sebagai salah satu negara penghasil kakao terbesar dan limbah dari buah ini sering kali dibuang begitu saja, padahal memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen(Veranita dkk., 2024). Abu kulit kakao mengandung senyawa

silika yang dapat memberikan sifat pozzolan, yaitu kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam campuran beton dan membentuk senyawa yang meningkatkan kekuatan beton. Abu kulit kakao memiliki potensi yang baik sebagai bahan substitusi semen dalam pembuatan beton, dengan peningkatan sifat mekanik tertentu, seperti kekuatan tekan dan durabilitas.

Selain abu kulit kakao, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga merupakan limbah pertanian yang berlimpah di Indonesia. TKKS mengandung serat yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan penguat dalam beton. Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat digunakan untuk memperkuat beton, meningkatkan kekuatan lentur, dan mengurangi risiko keretakan pada beton. Serat ini juga memberikan sifat yang lebih baik dalam hal ketahanan terhadap retak, elastisitas, dan daya tahan terhadap beban dinamis (Sanggaria & Mara, 2023).

Kombinasi antara abu kulit kakao sebagai pengganti semen dan serat TKKS sebagai bahan penguat berpotensi menghasilkan material beton yang lebih ramah lingkungan, memiliki kekuatan yang baik, serta dapat mengurangi penggunaan bahan baku konvensional. Dengan memanfaatkan limbah pertanian yang melimpah, diharapkan penggunaan beton ini dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan mempromosikan keberlanjutan dalam industri konstruksi.

Namun, meskipun potensi kedua bahan tersebut telah diketahui, belum banyak penelitian yang mengkaji secara mendalam tentang pengaruh penggunaan abu kulit kakao dan serat TKKS terhadap sifat mekanik beton, khususnya kekuatan tekan dan lentur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh kombinasi abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kekuatan tekan dan lentur pada ferosemen dengan harapan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana variasi persentase dari 5%, 10% dan 15% terhadap penggantian semen dengan abu kulit kakao mempengaruhi keoptimalan kekuatan mortar?

2. Bagaimana variasi persentase dari 3%, 5%, dan 7% penambahan serat tandan kosong kelapa sawit dengan kombinasi persentase optimal dari abu kulit kakao yang mempengaruhi keoptimalan kekuatan mortar?
3. Bagaimana variasi persentase optimal dari kombinasi abu kulit kakao sebagai bahan pengganti semen dan diperkuat oleh serat tandan kosong kelapa sawit dengan perbedaaan teknik pembuatan panel (normal, optimal kawat, layer 10%, layer 12% dan layer 15%) dalam mempengaruhi distribusi kekuatan tekan dan kekuatan lentur terhadap panel ferosemen?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah :

1. Menentukan persentase optimal abu kulit kakao yang memberikan kekuatan tekan terbaik pada mortar.
2. Mengidentifikasi kombinasi persentase optimal abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit yang memberikan kekuatan tekan terbaik pada mortar.
3. Menilai pengaruh teknik pembuatan panel terhadap performa mekanik (kekuatan tekan dan lentur) panel ferosemen yang mengandung kombinasi abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis:
   a. Menambah wawasan dan pengetahuan dalam bidang material konstruksi, khususnya dalam pengembangan ferosemen dengan bahan tambah organik yang ramah lingkungan.
   b. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi material konstruksi yang lebih berkelanjutan.
2. Manfaat Praktis:
   a. Memberikan alternatif bahan tambah yang dapat dimanfaatkan oleh industri konstruksi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku yang tidak terbarukan.

b. Mengurangi volume limbah pertanian, seperti abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit, dengan mengubahnya menjadi bahan yang berguna dalam industri konstruksi.
c. Menyediakan material yang lebih murah dan ramah lingkungan, serta dapat digunakan dalam proyek-proyek konstruksi di daerah-daerah yang memiliki akses terbatas terhadap bahan baku tradisional

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus, beberapa batasan masalah yang ditetapkan adalah:

1. Penelitian ini hanya mengkaji pengaruh bahan tambah abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kekuatan lentur dan kekuatan tarik ferosemen.
2. Variasi bahan tambah yang digunakan adalah abu kulit kakao dengan proporsi tertentu dan serat tandan kosong kelapa sawit dengan proporsi tertentu, yang dicampurkan dalam adukan ferosemen.
3. Parameter yang diukur adalah kekuatan lentur dan kekuatan tarik ferosemen.
4. Pengujian dilakukan dengan metode standar yang umum digunakan dalam pengujian material beton dan ferosemen, seperti uji kekuatan lentur dengan pembebanan bertahap pada benda uji berbentuk balok.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut jurnal terdahulu yang saya baca berjudul *"Pengaruh Penggunaan Kulit Kakao Sebagai Pengganti Agregat Halus pada Jalan Rabat Beton"* oleh Veranita, Raina Parmitalia Dinda, Rasimah, dan Rezqi Malia (2024), penggunaan abu kulit kakao sebagai substitusi sebagian agregat halus berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase abu kulit kakao, nilai slump dan kuat tekan beton semakin menurun. Nilai persentase batasan yang dapat diambil 20%. Nilai optimum diperoleh pada variasi 1% abu kulit kakao dengan kuat tekan rata-rata 20,76 MPa pada umur 7 hari, 15,10 MPa pada umur 14 hari, dan 11,89 MPa pada umur 28 hari. Penurunan ini disebabkan oleh sifat kulit kakao yang mudah menyerap air sehingga meningkatkan porositas beton. Meskipun demikian, penelitian ini membuktikan bahwa kulit kakao berpotensi dimanfaatkan sebagai material ramah lingkungan dalam jumlah terbatas sekaligus menjadi alternatif pengurangan limbah pertanian.

Menurut jurnal berjudul *"Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kelapa Sawit Terhadap Campuran Beton Normal"* oleh Olan Jujun Sanggaria, Jandri, dan Junus Mara (2023), penambahan serat TKKS berpengaruh terhadap sifat mekanis beton, khususnya kuat tekan, tarik belah, dan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi serat dengan panjang 5 cm dan kadar 2% mampu meningkatkan kuat tekan hingga 26,04 MPa, kuat tarik belah sebesar 2,43 MPa, serta kuat lentur rata-rata 2,74 MPa pada umur 28 hari. Namun, pada variasi serat yang lebih panjang (7 cm dan 9 cm) justru terjadi penurunan kekuatan karena distribusi serat dalam beton menjadi kurang merata dan menurunkan ikatan antar material. Penelitian ini membuktikan bahwa serat TKKS, sebagai limbah padat industri kelapa sawit, dapat dimanfaatkan sebagai material tambahan beton ramah lingkungan yang berpotensi meningkatkan performa beton dalam kadar dan ukuran tertentu.

Ferosemen merupakan material komposit yang terdiri dari mortar semen dan lapisan kawat anyam (wiremesh) dengan ketebalan relatif tipis, namun memiliki

kekuatan yang tinggi serta sifat daktilitas yang baik. Menurut jurnal *"Pengaruh Substitusi Pasir Menggunakan Serbuk Besi dan Zat Aditif Bestmittel 0.5% Terhadap Kuat Tekan Mutu Tinggi dan Resapan Air Mortar Pracetak Ferosemen"* oleh Roby Dwi Prasetyo, Dadang Dwi Pranowo, Ahmad Utanaka, M. Shofiul Amin, dan Wahyu Naris Wari (2024), mortar ferosemen pracetak menunjukkan peningkatan signifikan pada sifat mekanis dan ketahanannya ketika sebagian pasir digantikan dengan serbuk besi serta ditambah zat aditif. Kuat tekan mortar ferosemen pada umur 28 hari meningkat hingga 56,28 MPa, lebih tinggi dibanding mortar normal yang hanya 48,29 MPa, sedangkan daya serap air menurun dari 9,01% menjadi 3,84%. Hal ini membuktikan bahwa ferosemen, dengan kombinasi bahan tambahan, mampu menghasilkan material tipis yang tidak hanya kuat secara struktural tetapi juga lebih kedap air, sehingga sangat potensial untuk digunakan dalam konstruksi berkelanjutan, terutama pada elemen struktural tipis seperti panel dinding, atap, dan tangki penyimpanan.

2.2 Ferosemen

Ferosemen adalah bahan komposit yang terbuat dari campuran semen, pasir, air, dan kawat baja yang bertujuan untuk menghasilkan material dengan kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa. Ferosemen pertama kali dikembangkan pada tahun 1940-an dan sejak itu terus digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, terutama untuk elemen struktur ringan dan aplikasi bangunan yang memerlukan ketahanan tinggi terhadap beban lentur (Dwi Shinta dkk., 2023). Ketebalan ferocemen berkisar antara 10-50 mm, dengan volume tulangan sekitar 6-8% dari total volume konstruksi. Satu atau lebih lapisan digunakan sebagai penguat, dengan batang penguat berdiameter kecil atau kabel silang yang dilas sebagai bahan penguat. Kelebihan utama dari ferosemen adalah kekuatan tarik dan kekuatan lentur yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa, serta biaya pembuatan yang relatif lebih rendah (Binti Sayono dkk., 2023).

2.2.1 Karakteristik Ferosemen

Karakteristik utama ferosemen sangat dipengaruhi oleh jenis matriks semen yang digunakan serta rasio antara matriks dan tulangan. Matriks yang dioptimalkan akan meningkatkan kekuatan tekan, lentur, dan ketahanan terhadap keretakan (Dwi Shinta dkk., 2023). Parameter penting dalam pengembangan ferosemen meliputi:

- Tebal lapisan: Biasanya antara 10 hingga 50 mm, tergantung pada aplikasi spesifiknya.
- Jenis tulangan: Kawat ayam atau jaring logam dengan diameter kecil (0,5 hingga 1,5 mm) sering digunakan.
- Rasio air-semen: Proporsi yang optimal penting untuk mencapai workability yang baik dan mengurangi porositas material.

Ferosemen umumnya digunakan dalam konstruksi dinding panel, atap, dan struktur bangunan lainnya. Keunggulan lain dari ferosemen adalah kemampuannya untuk dibentuk dalam berbagai bentuk yang sesuai dengan kebutuhan desain (Dwi Shinta dkk., 2023). Selain itu, ferosemen juga lebih tahan terhadap korosi karena adanya kawat baja yang memperkuat struktur. Ferosemen sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, di antaranya:

- Struktur arsitektural: Atap kubah, panel dinding, dan elemen dekoratif.
- Tangki dan silo: Penyimpanan air, bahan kimia, dan bahan pertanian.
- Transportasi: Perahu kecil, kano, dan kapal ringan.
- Rehabilitasi struktur: Perkuatan dan perbaikan elemen beton yang mengalami kerusakan.

Komposisi dasar dari ferosemen adalah semen, pasir, dan kawat baja. Namun, bahan tambahan (additives) dapat dimasukkan untuk meningkatkan sifat-sifat mekaniknya. Salah satu sifat yang sangat diperhatikan dalam penggunaan ferosemen adalah kekuatan lentur**,** yang berhubungan langsung dengan kemampuan material untuk menahan beban yang mengarah pada tekukan atau lengkungan (Binti Sayono dkk., 2023). Pengembangan teknologi ferosemen terus berlanjut, terutama dengan adanya inovasi penggunaan material tambahan seperti serat alami dan abu limbah, yang semakin meningkatkan kinerja dan keberlanjutannya.

Komponen utama yang membentuk ferosemen dengan volume terbesar adalah mortar. Serat dapat ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik mortar,

terutama kekuatan tarik dan lenturnya. Serat yang digunakan dalam campuran mortar ferosemen bisa bersifat organik atau anorganik, menurut ACI Committee 549 (1997). Baru-baru ini, serat alami sering digunakan dalam campuran mortar untuk meningkatkan kinerja mekanik material . Untuk membuat campuran mortar lebih encer, bahan kimia tambahan sering digunakan untuk mengatur konsistensi dan meningkatkan kinerja (Binti Sayono dkk., 2023). Kekuatan serta kegunaan mortar sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang ditambahkan ke dalam campuran, karena air berfungsi untuk mengaktifkan semen dalam proses hidrasi. Selain itu, ukuran butir terbesar, modulus halus, dan perubahan ukuran partikel pasir juga berperan penting dalam menentukan konsistensi dan kekuatan mortar.

Pasir halus biasanya digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar, dengan kontribusi sekitar 60 hingga 80 persen dari total volume campuran. Pasir yang digunakan harus bebas dari kontaminan seperti tanah liat, asam, garam, dan bahan organik lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas mortar (Binti Sayono dkk., 2023). Pasir harus murni, karena kontaminan dapat mengganggu proses hidrasi semen dan mengurangi kekuatan dan daya tahan mortar.

Ukuran butir pasir juga sangat mempengaruhi kualitas mortar. Pasir dengan ukuran butir lebih dari 2,4 mm sebaiknya dihindari, karena dapat menghasilkan mortar yang lebih permeabel dan tidak cukup kuat. Meskipun demikian, pasir dengan ukuran butir yang terlalu halus juga dapat menyebabkan masalah, karena membutuhkan lebih banyak air untuk mencapai konsistensi yang sama, yang dapat menurunkan kekuatan akhir mortar. Oleh karena itu, ukuran butir pasir yang ideal untuk campuran mortar adalah antara 0,2 mm hingga 2,4 mm, di mana pasir tersebut cukup halus untuk memberikan kestabilan dan kepadatan, namun tidak terlalu halus sehingga tidak mempengaruhi kekuatan akibat kelebihan air (Dwi Shinta dkk., 2023).

Selain pasir dan air, baja dengan diameter 3 hingga 8 mm digunakan sebagai rangka dalam ferosemen, memberikan kekuatan struktural. Untuk tulangan, digunakan wire mesh dengan diameter 0,5 hingga 1,5 mm. Kedua elemen ini bekerja bersama-sama dengan mortar untuk menciptakan komposit yang kuat dan tahan lama, yang sangat efektif dalam aplikasi konstruksi seperti dinding, pelat lantai, dan elemen struktural lainnya.

Gambar 2.1 : Pengaplikasian ferosemen pada dinding (Website Kementrian PUPR-RI)

2.3 Mortar

Mortar adalah campuran bahan bangunan yang terdiri dari bahan pengikat (seperti semen, kapur, atau gypsum), agregat halus (biasanya pasir), dan air, yang digunakan sebagai perekat dalam konstruksi (Prasetyo dkk., 2024). Mortar berfungsi untuk menyatukan batu bata, batu alam, atau material lainnya serta untuk mengisi celah atau permukaan dalam struktur bangunan.

Gambar 2.2 : Cetakan mortar

a. Komponen Utama Mortar:

   Bahan Pengikat**:**

   - Semen**:** Jenis yang paling umum digunakan adalah semen Portland, yang memberikan kekuatan tekan tinggi dan daya tahan.

- Kapur: Digunakan untuk memberikan fleksibilitas dan meningkatkan daya lekat.
- Gypsum: Kadang digunakan dalam aplikasi khusus, seperti pelapisan.

Agregat Halus**:**

- Pasir berfungsi sebagai pengisi untuk memberikan volume pada mortar. Pasir yang digunakan harus bebas dari kontaminan seperti tanah liat, lumpur, atau bahan organik.

Air**:**

- Berfungsi untuk mengaktifkan reaksi kimia dalam bahan pengikat dan memberikan plastisitas pada campuran.

Bahan Tambahan (Opsional)**:**

- Admixtures seperti superplasticizer, pozzolan, atau serat dapat ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanis, daya tahan, atau estetika mortar.

b. Fungsi Mortar:

- Perekat: Menyatukan bahan konstruksi seperti batu bata, blok, atau batu alam.
- Pengisi: Mengisi celah atau sambungan antara bahan konstruksi untuk menciptakan ikatan yang kuat.
- Pelapis: Digunakan untuk melapisi permukaan struktur agar rata dan halus.
- Perlindungan: Memberikan perlindungan terhadap air, cuaca, atau bahan kimia

c. Jenis-Jenis Mortar:

- Mortar Semen: Menggunakan semen sebagai bahan pengikat utama.
- Mortar Kapur: Menggunakan kapur sebagai bahan pengikat, biasanya untuk struktur yang memerlukan fleksibilitas.
- Mortar Campuran: Kombinasi semen dan kapur untuk mendapatkan kekuatan dan fleksibilitas.
- Mortar Khusus: Mortar dengan bahan tambahan seperti serat, abu pozzolan, atau bahan kimia untuk aplikasi tertentu.

Mortar sering digunakan dalam berbagai jenis konstruksi, mulai dari dinding bata, pelapisan lantai, hingga struktur beton bertulang.

2.4 Abu Kulit Kakao

Abu kulit kakao adalah limbah yang dihasilkan dari pembakaran kulit biji kakao, yang merupakan produk sampingan dari industri pengolahan kakao. Abu kulit kakao mengandung sejumlah mineral penting, seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), dan oksida logam lainnya (Hadipramana dkk., 2023). Kandungan silika yang tinggi dalam abu kulit kakao membuatnya memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton atau ferosemen, karena silika dapat berfungsi sebagai bahan pozzolan.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa abu kulit kakao memiliki kemampuan untuk meningkatkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur beton atau komposit lainnya. Ini disebabkan oleh kemampuan abu kulit kakao untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) dalam campuran semen, membentuk senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan dalam pengikatan dan penguatan matriks beton (Hadipramana dkk., 2023). Sebagai bahan tambah dalam ferosemen, abu kulit kakao diyakini dapat memperbaiki struktur mikro dan meningkatkan ketahanan material terhadap beban lentur..

Gambar 2.3 : Proses pengeringan kulit kakao

Komposisi senyawa abu kulit kakao bervariasi tergantung pada proses pembakaran dan asal bahan baku, tetapi secara umum, abu kulit kakao mengandung

sejumlah besar silika (SiO_2) serta senyawa lainnya (Erlangga dkk., 2023). Beberapa komponen utama yang ditemukan dalam abu kulit kakao meliputi:

1. Silika (SiO_2) – Abu kulit kakao mengandung silika dalam jumlah yang cukup besar, yang memberikan sifat pozzolan pada bahan tersebut, sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran beton.
2. Kalsium oksida (CaO**)** – Mengandung kalsium oksida, yang dapat membantu dalam meningkatkan kekuatan mekanik beton saat bereaksi dengan air dan menghasilkan hidrasi.
3. Aluminium oksida (Al_2O_3) – Sebagai komponen pengikat dalam reaksi pozzolanik.
4. Fosfor (P) – Terkadang dapat ditemukan dalam jumlah kecil, meskipun ini lebih bervariasi tergantung pada proses pembakaran.
5. Kandungan Karbon (C) – Abu kulit kakao juga dapat mengandung sejumlah karbon yang tersisa dari proses pembakaran.
6. Magnesium oksida (MgO) – Dapat ditemukan dalam jumlah kecil dalam abu kulit kakao.
7. Senyawa besi (Fe_2O_3) – Kandungan besi yang dapat memengaruhi sifat pengikat pada beton.

Tabel 2.1 : Senyawa Abu Kulit Kakao

Senyawa	%
Silika (SiO_2)	50-60%
Kalsium oksida (CaO)	10-15%
Aluminium oksida (Al_2O_3)	10-15%
Fosfor (P)	1-5%
Karbon (C)	5-10%
Magnesium oksida (MgO)	2-5%
Senyawa besi (Fe_2O_3)2	2-5%

Persentase ini bisa bervariasi tergantung pada metode pembakaran, jenis kulit kakao yang digunakan, dan kondisi lingkungan saat pembakaran. Silika merupakan komponen dominan, memberikan sifat pozzolan pada abu kulit kakao, sementara

kalsium oksida dan aluminium oksida berfungsi meningkatkan kekuatan mekanik material (Veranita dkk., 2024).

Gambar 2.4 Proses pembakaran kulit kakao menjadi abu

2.5 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit adalah limbah organik yang dihasilkan dari industri kelapa sawit, yang sering kali dianggap sebagai limbah pertanian yang tidak dimanfaatkan dengan baik. Serat ini mengandung **s**elulosa, yang memiliki sifat penguatan, serta kandungan lignin yang memberikan kekuatan struktural pada serat tersebut (Sanggaria & Mara, 2023). Serat tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan penguat dalam beton dan ferosemen**,** yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan material terhadap beban tarik dan lentur.

Penelitian mengenai penggunaan serat tandan kosong kelapa sawit dalam beton menunjukkan bahwa serat ini dapat meningkatkan kekuatan lentur**,** ketahanan terhadap retak, dan pengurangan deformasi. Serat tersebut bekerja dengan cara mendistribusikan beban secara merata ke seluruh material dan meningkatkan kekuatan tarik serta ketahanan terhadap kerusakan akibat beban dinamis (Opirina dkk., 2019)**.** Dalam ferosemen, serat tandan kosong kelapa sawit dapat memberikan penguatan tambahan, terutama dalam struktur yang harus menahan beban lentur.

Gambar 2.5 Proses Pengeringan serat tandan kosong kelapa sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terdiri dari berbagai senyawa organik yang memberikan sifat mekanik dan kekuatan pada material tersebut (Opirina dkk., 2019). Secara umum, komposisi kimia dari serat TKKS meliputi:

1. **S**elulosa ; komponen utama dalam serat tanaman, memberikan kekuatan tarik dan ketahanan mekanik.
2. Hemiselulosa ; Hemiselulosa juga berkontribusi pada sifat pengikat dan ketahanan serat terhadap kerusakan mekanik.
3. Lignin ; memberikan kekuatan struktural dan ketahanan terhadap kerusakan biologis (seperti serangan mikroorganisme). Namun, lignin juga dapat membuat serat lebih kaku dan kurang fleksibel.
4. Pektin ; berfungsi sebagai bahan pengikat dalam dinding sel tanaman dan dapat mempengaruhi kekuatan dan elastisitas serat.
5. Air ; Kandungan air dalam serat dapat bervariasi tergantung pada kelembaban lingkungan dan pengolahan.
6. Lipid (minyak dan lemak) ; Terkandung dalam serat sebagai komponen organik yang dapat memberikan sedikit fleksibilitas pada material.

7. Mineral (kalium, kalsium, magnesium, dan fosfor) ; Mineral ini biasanya ditemukan dalam jumlah kecil dan berperan dalam memberikan beberapa sifat fungsional pada serat, seperti ketahanan terhadap korosi atau degradasi biologis.

Tabel 2.2 : Senyawa Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Senyawa	%
Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)	40-50%
Hemiselulosa ($C_6H_{10}O_5$)	20-40%
Lignin ($C_{66}H_{72}O_{31}$)	15-20%
Pektin ($C_6H_{10}O_7$)	5-10%
Lipid (Minyak dan Lemak)	2-5%
Air	8-15%
Mineral (Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Fosfor (P))	1-4%

Komponen utama dalam serat TKKS adalah selulosa**,** hemiselulosa**,** dan lignin. Serat ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi seperti penguat pada beton (ferosemen), pembuatan komposit, dan berbagai produk berbasis serat lainnya, karena sifat mekanik dan ketahanannya (Opirina dkk., 2019). Sebagian besar senyawa tersebut terdiri dari Karbon (C), Hidrogen (H), dan Oksigen (O), dengan tambahan unsur-unsur lain seperti Kalium (K), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg**)**, yang memiliki peran dalam penguatan dan ketahanan mekanik serat tandan kosong kelapa sawit.

Gambar 2.6 : Hasil pengeringan serat tandan kosong kelapa sawit

2.6 Semen

Semen adalah bahan pengikat yang digunakan dalam konstruksi dan teknik sipil untuk mengikat material lain, seperti agregat, dalam pembuatan beton dan mortar. Semen berfungsi sebagai pengikat yang mengikat partikel-partikel agregat menjadi satu kesatuan yang kuat dan tahan lama setelah proses hidrasi (Binti Sayono dkk., 2023). Semen yang paling umum digunakan adalah semen portland, yang terbuat dari campuran klinker semen, gipsum, dan bahan tambahan lainnya.

Gambar 2.7 : Semen (Website)

1. Jenis-jenis Semen
    - Semen Portland: Jenis semen yang paling umum digunakan dalam konstruksi. Terdiri dari klinker semen portland yang digiling halus dengan penambahan gipsum.
    - Semen Pozzolan: Semen yang mengandung bahan pozzolan, yang dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap bahan kimia.
    - Semen Tahan Sulfat: Dirancang untuk digunakan dalam lingkungan yang mengandung sulfat tinggi, seperti tanah atau air yang mengandung sulfat.

- Semen Campuran: Mengandung bahan tambahan seperti fly ash, slag, atau serbuk cangkang telur untuk meningkatkan sifat tertentu dari semen.

2. Sifat-sifat Semen
    - Kekuatan: Semen memiliki kemampuan untuk mengikat agregat dan membentuk material yang kuat setelah proses hidrasi.
    - Ketahanan: Semen yang baik harus tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk kelembapan, suhu ekstrem, dan serangan bahan kimia.
    - Waktu Pengikatan: Semen memiliki waktu pengikatan yang bervariasi, tergantung pada jenis dan komposisi. Waktu pengikatan ini penting untuk menentukan kapan beton dapat diproses dan dibentuk.
    - Daya Serap Air: Semen harus memiliki daya serap air yang baik untuk memastikan proses hidrasi yang efektif.
3. Komposisi Senyawa pada semen

Tabel 2.3 Senyawa semen

Senyawa	%
Kalsium (CaO)	60-67%
Silika (SiO2)	20-25%
Alumina (Al2O3)	4-8%
Besi Oksida (Fe2O3)	0.5-6%
Sulfat (SO3)	2-4%

Kandungan semen, terutama semen portland, terdiri dari berbagai senyawa kimia yang memberikan sifat mekanik dan ketahanan yang diperlukan untuk aplikasi konstruksi. Pemahaman tentang komposisi dan sifat-sifat ini sangat penting untuk merancang campuran beton yang optimal dan memenuhi kebutuhan spesifik dalam proyek konstruksi.

Menurut SNI 15-7064-2004, semen Portland campur, yang juga disebut sebagai semen Portland komposit, merupakan salah satu jenis semen campuran. Semen ini dibuat dengan cara menggiling terak (clinker) semen Portland bersama

satu atau lebih bahan anorganik, atau dengan mencampurkan bubuk semen Portland dengan bubuk bahan anorganik lainnya.

2.7 Agregat Halus (Pasir)

Pasir adalah salah satu bahan utama dalam konstruksi yang digunakan dalam pembuatan beton, mortar, dan berbagai aplikasi lainnya. Pasir terdiri dari butiran halus yang biasanya berasal dari pelapukan batuan dan mineral. Dalam konteks konstruksi, pasir berfungsi sebagai agregat halus yang memberikan kekuatan, stabilitas, dan daya tahan pada campuran beton dan mortar.

Agregat halus, yang sering disebut sebagai pasir, merupakan material batuan dengan ukuran partikel di bawah 4,75 milimeter. Material ini umum digunakan dalam pembuatan ferosemen dan harus memenuhi ketentuan dalam standar ASTM C-33 untuk agregat halus atau standar lain yang setara. Agregat halus harus dalam kondisi bersih, bebas dari kandungan bahan organik atau zat yang dapat mengganggu proses pencampuran, serta seminimal mungkin mengandung lumpur atau tanah. Penggunaan agregat yang berpotensi bereaksi dengan alkali dalam semen sebaiknya dihindari. Pasir adalah bahan penting dalam konstruksi yang berfungsi sebagai agregat halus dalam campuran beton dan mortar. Pemilihan jenis dan kualitas pasir yang tepat sangat penting untuk memastikan kekuatan, daya tahan, dan stabilitas struktur bangunan. Penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pasir terhadap.

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.4 hingga No.200 (d = 0,075 mm) dan digunakan sebagai pengisi untuk memberikan sifat kaku dan stabilitas dimensi beton atau mortar. Agregat halus yang berbentuk bulat dan halus

Tabel 2.4 : Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33)

Ayakan Nomor	Persentase Lewat (%)
3/8 in (9,50 mm)	100
No. 4 (4,75 mm)	95 – 100
No. 8 (2,36 mm)	80 – 100
No. 16 (1,18 mm)	50 – 85

Tabel 2.4 : *Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33)*

No. 30 (0,6 mm)	25 – 60
No. 50 (0,3 mm)	10 – 30
No. 100 (0,15 mm)	2 – 10

2.8 Air

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi sejumlah kriteria, yaitu harus tidak berbau, tidak berwarna, dan bebas dari zat kimia atau bahan organik yang dapat mengurangi kualitas mortar. Air berfungsi sebagai medium untuk proses hidrasi semen, yang merupakan reaksi kimia antara semen dan air yang menghasilkan pasta semen yang mengikat agregat dan membentuk beton yang kuat. Kualitas dan proporsi air yang digunakan dalam campuran sangat mempengaruhi sifat mekanik dan daya tahan beton.

1. Peran Air dalam Pembuatan Beton
   - Hidrasi Semen: Proses hidrasi adalah reaksi kimia yang terjadi ketika air dicampurkan dengan semen. Reaksi ini menghasilkan senyawa-senyawa yang memberikan kekuatan dan stabilitas pada beton. Tanpa air, proses ini tidak dapat terjadi, dan semen tidak akan mengikat agregat.
   - Workability: Air mempengaruhi workability (kemudahan dalam pengolahan) campuran beton. Jumlah air yang tepat diperlukan untuk memastikan campuran dapat dicetak dan dipadatkan dengan baik. Terlalu sedikit air dapat membuat campuran terlalu kering dan sulit untuk dikerjakan, sedangkan terlalu banyak air dapat mengurangi kekuatan akhir beton. Pengaturan
   - Waktu Pengikatan: Jumlah air yang digunakan dalam campuran juga mempengaruhi waktu pengikatan semen. Air yang lebih banyak dapat mempercepat proses pengikatan, sedangkan air yang lebih sedikit dapat memperlambatnya.
2. Kualitas Air

   Kualitas air yang digunakan dalam campuran beton sangat penting. Air yang digunakan harus bersih dan bebas dari kontaminan yang dapat

mempengaruhi reaksi hidrasi atau merusak kualitas beton. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam kualitas air adalah:

- Kebersihan: Air harus bebas dari bahan organik, garam, asam, alkali, dan zat-zat berbahaya lainnya. Air yang terkontaminasi dapat mengurangi kekuatan dan daya tahan beton.
- pH: pH air juga penting. Air dengan pH yang sangat rendah atau tinggi dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam proses hidrasi.
- Kandungan Mineral: Kandungan mineral dalam air, seperti klorida dan sulfat, dapat mempengaruhi daya tahan beton terhadap korosi dan serangan kimia.

3. Proporsi Air dalam Campuran Beton

Proporsi air yang digunakan dalam campuran beton biasanya dinyatakan dalam rasio air-semen (w/c ratio). Rasio ini adalah perbandingan antara berat air dan berat semen dalam campuran. Rasio air-semen yang lebih rendah biasanya menghasilkan beton yang lebih kuat, tetapi juga dapat mengurangi workability. Sebaliknya, rasio yang lebih tinggi meningkatkan workability tetapi dapat mengurangi kekuatan akhir beton.

2.9 Tulangan dan Jaringan Kawat

Kawat berdiameter kecil dikenal sebagai jaringan kawat. Dalam konstruksi ferosemen, tulangan disusun secara teratur dan jaring kawat (wiremesh) ditempatkan merata dalam beberapa lapisan. Ferosemen sendiri hanya menggunakan agregat halus serta kawat yang lebih kecil dan halus, dengan diameter berkisar antara 0,5 mm hingga 1,5 mm. Kawat yang digunakan dapat berupa kawat baja, kawat jala, atau material lain yang sesuai. Karakteristik jaring dalam ferosemen, seperti jenis, jumlah lapisan, arah pemasangan, dan kekuatannya, berbeda dari wiremesh biasa. Umumnya, bentuk jaring yang digunakan dalam ferosemen adalah persegi atau heksagonal (segi enam), namun bentuk persegi dianggap lebih efektif secara struktural.

Beberapa jenis jaring yang digunakan meliputi jaring anyaman atau jaring saling mengunci, seperti kawat ayam, jaring tenun yang terdiri dari filamen yang terjalin namun memiliki sambungan yang lentur di titik perpotongan, serta jaring

las, yaitu jaring yang dibentuk dari kawat-kawat yang tersusun tegak lurus dan disatukan dengan pengelasan pada setiap titik pertemuan untuk membentuk pola persegi panjang. Selain itu, terdapat juga jenis pola anyaman khusus yang melibatkan filamen diagonal yang ditenun melalui struktur jaring berbentuk persegi panjang.

2.10 Kuat Tekan

Menurut SNI 03-6825-2002, kuat tekan mortar adalah beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji mortar berbentuk kubus pada ukuran dan umur tertentu. Benda uji mortar umumnya berupa kubus kecil dengan ukuran sisi 5x5x5 cm. Kekuatan tekan mortar tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\sigma m = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

Keterangan :

σm = Kuat Tekan mortar (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = luas penampang yang di bebani (mm^2)

Kuat tekan mortar adalah kemampuan mortar untuk menahan gaya dari luar yang bekerja sejajar dengan serat, sehingga memberikan tekanan pada mortar itu sendiri. Mortar yang digunakan sebagai bahan bangunan harus memiliki kekuatan yang memadai, terutama untuk pasangan dinding seperti batu bata, batako, atau jenis pasangan dinding lainnya. Kuat tekan mortar biasanya dinyatakan sebagai nilai tekanan maksimum yang mampu ditahan, dengan satuan Mpa.

2.11 Kuat Lentur

Beban yang bekerja pada struktur, baik beban gravitasi yang bekerja secara vertikal maupun beban akibat penyusutan, perubahan suhu, dan angin yang bekerja secara horizontal, akan menimbulkan lenturan dan deformasi pada elemen struktur (SNI 4154, 2014). Regangan yang muncul akibat beban luar ini menyebabkan balok mengalami lentur. Dalam penelitian ini, plat ferosemen dengan ukuran 24 cm x 6 cm x 2,5 cm akan diuji menggunakan satu beban terpusat.

Nilai kuat lentur pada pembebanan satu titik di tengah bentang dapat dihitung menggunakan rumus berikut, sesuai dengan SNI 4154:2014.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{2.2}$$

Keterangan :

σ = Kuar lentur (MPa)

P = Beban maksimum (N)

L = Panjang bentang (mm)

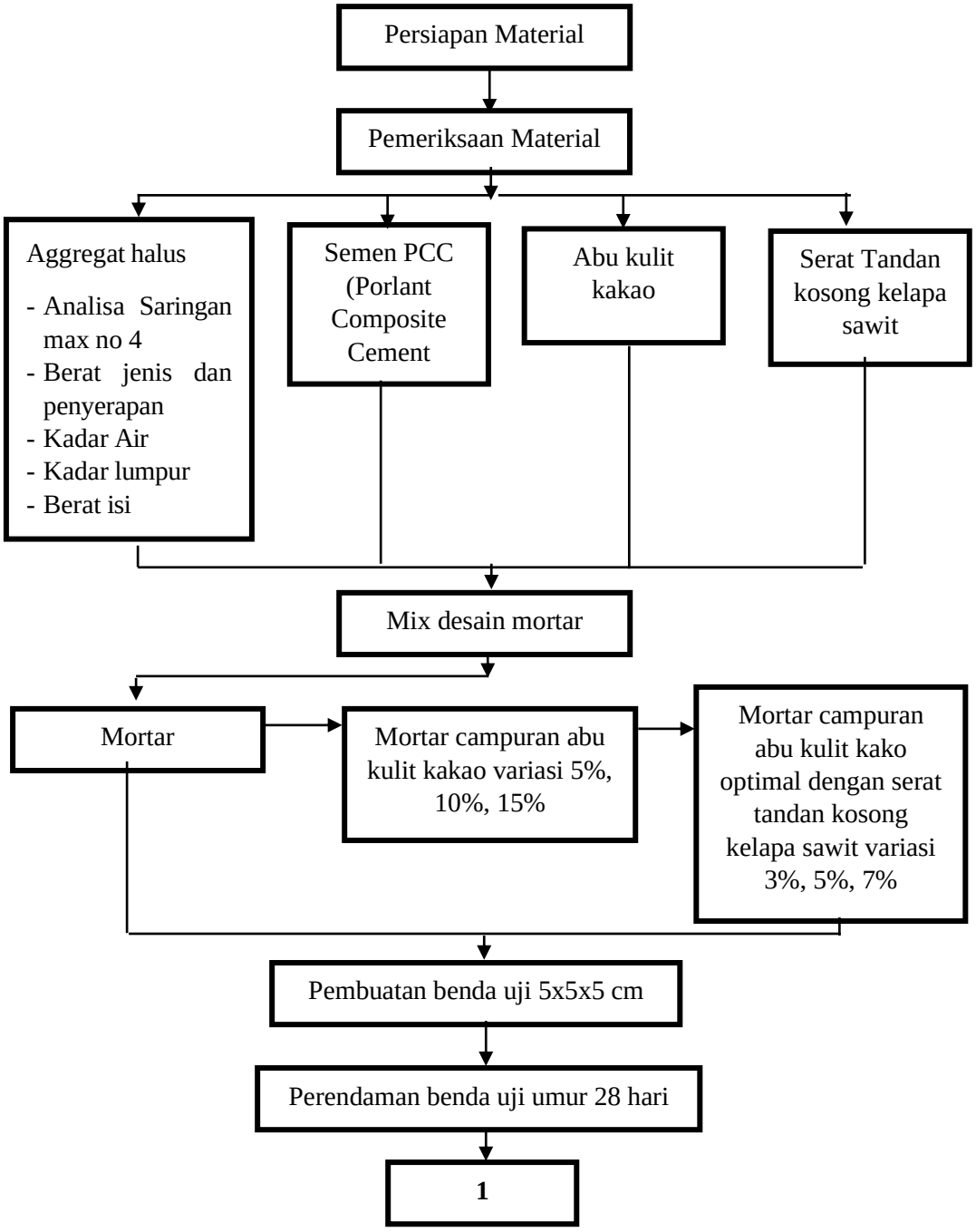
b = Lebar rata rata spesimen pada daerah runtuh (mm)

h = Tinggi rata – rata spesimen pada daerah runtuh (mm)

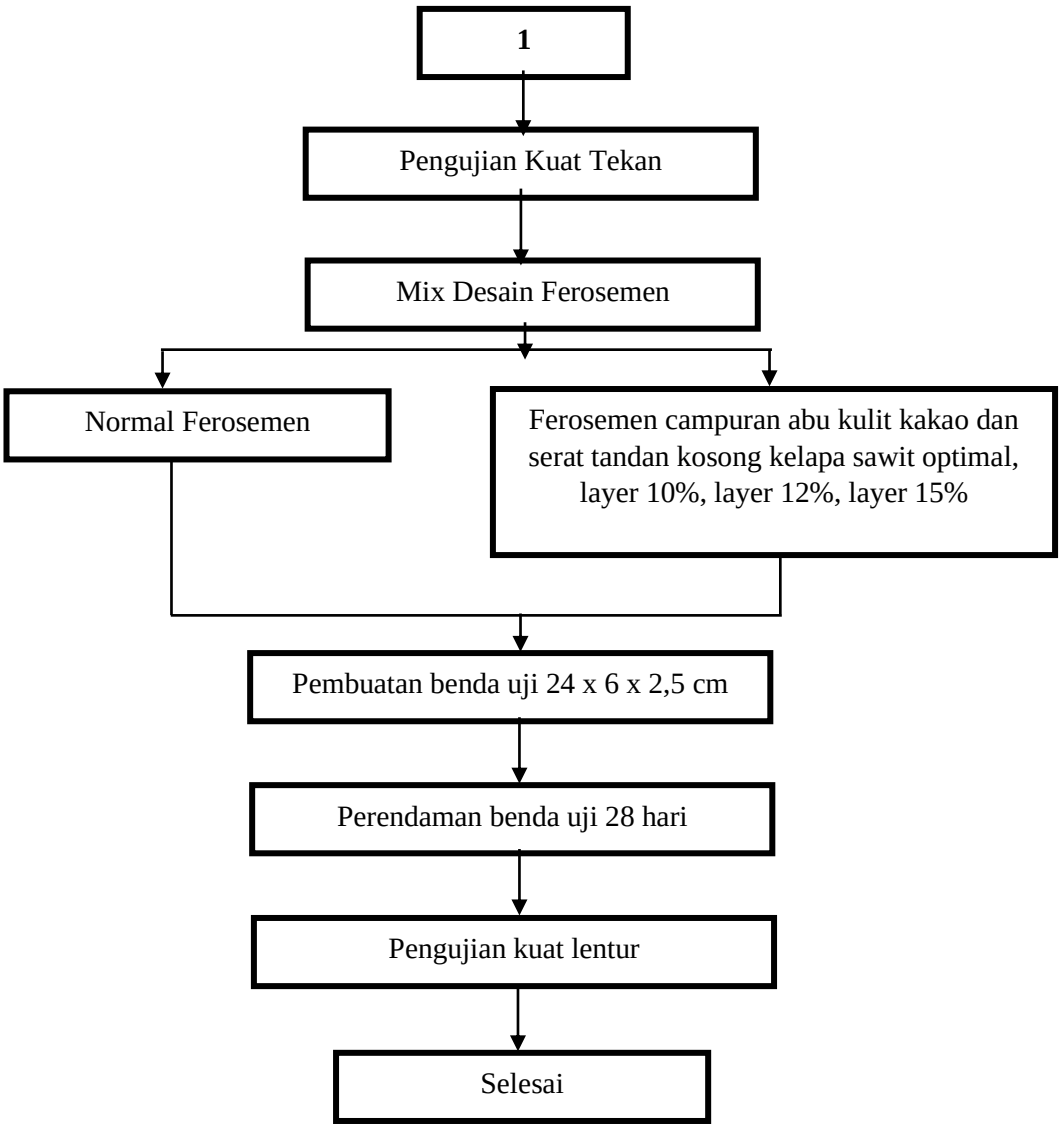
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan ferosemen dengan memanfaatkan abu kulit kakao sebagai bahan pengganti semen dan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai pengganti tulangan adalah metode eksperimental laboratorium. Metode ini dilakukan dengan melakukan serangkaian uji coba untuk mengevaluasi pengaruh penambahan abu kulit kakao dan variasi serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kekuatan tekan mortar serta kekuatan lentur ferosemen. Penelitian melibatkan pengujian material menggunakan parameter

tertentu, seperti komposisi campuran, karakteristik serat, dan pengujian mekanis, untuk menentukan efektivitas bahan substitusi dalam meningkatkan kinerja mekanik ferosemen.

3.3 Tahap Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan melaksanakan berbagai pengujian yang terkait dengan data-data yang telah direncanakan sebelumnya. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Proses penelitian dibagi menjadi lima tahapan sebagai berikut:

1. Tahap I : Pada tahap ini dilakukan persiapan material seperti agregat halus, semen, air, abu kulit kakao, dan serat tandan kosong kelapa sawit. Pengujian dasar material dilakukan pada sampel agregat halus, abu kulit kakao, dan serat tandan kosong kelapa sawit, meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, kadar air, serta kadar lumpur.
2. Tahap II : Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran beton, pembuatan benda uji, dan perawatan beton. Proporsi bahan campuran beton dihitung berdasarkan Metode Standar Nasional Indonesia (SNI)..
3. Tahap III : Dilaksanakan pengujian kuat tekan mortar pada setiap variasi campuran yang berbeda.
   a. Mortar Normal sebanyak 3 sampel.
   b. Mortar campuran dengan persentase abu kulit kakao 5%, sebanyak 3 sampel.
   c. Mortar campuran dengan persentase abu kulit kakao 10%, sebanyak 3 sampel.
   d. Mortar campuran dengan persentaase abu kulit kakao 15%, sebanyak 3 sampel
   e. Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan persentase serat tandan kosong kelapa sawit 1%, sebanyak 3 sampel.
   f. Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan persentase serat tandan kosong kelapa sawit 1.5%, sebanyak 3 sampel.
   g. Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan persentase serat tandan kosong kelapa sawit 2%, sebanyak 3 sampel.

h. Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan serat tandan kosong optimal sebanyak 3 sampel.

Penulis membuat 24 cetakan dengan variasi campuran yang berbeda sesuai dengan penjelasan sebelumnya, dengan waktu perendaman selama 28 hari. Setelah itu, dilakukan pengujian kuat lentur ferosemen pada.

a. Campuran Normal sebanyak 1 sampel.
b. Campuran abu kulit kakao optimal dan serat tandan kosong kelapa sawit optimal, sebanyak 3 sampel balok.

4. Tahap IV : Hasil pengujian yang dilakukan pada tahap III dianalisis untuk membahas temuan penelitian. Melalui proses analisis ini, dapat dirumuskan kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan.
5. Tahap VI : Setelah memperoleh data dari hasil pengujian pada tahap IV, langkah selanjutnya adalah menyusun laporan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan.

3.4 Sumber – sumber data dalam penelitian

Metode atau langkah yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan melibatkan pengumpulan, pencatatan, studi, dan analisis data yang diperoleh. Dalam penyelesaian penelitian ini, data-data pendukung menjadi acuan utama. Data pendukung tersebut diperoleh dari:

3.4.1 Data Primer

Data yang diperoleh langsung dari hasil yang telah dilaksanakan di laboratorium, seperti analisis saringan agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan, pemeriksaan berat isi agregat, pemeriksaan kadar air agregat, perbandingan dalam pencampuran beton, pengujian kekentalan adukan beton segar (uji slump), serta uji kuat tekan dan lentur.

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai jurnal dan buku yang berkaitan dengan teknik beton ferosemen (literatur) serta konsultasi langsung

dengan Kepala Laboratorium Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Selain itu, data juga diperoleh dari Standar Nasional Indonesia (SNI) dan laporan dari penelitian-penelitian beton ferosemen sebelumnya.

3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dijadwalkan dimulai pada Februari 2025 hingga selesai, dengan pelaksanaannya bertempat di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Tabel 3.1 : Jadwal penelitian

NO	Uraian Kegiatan	April				Mei				Juni				Juli				`Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan Bahan																				
2	Persiapan Alat																				
3	Pelaksaan																				
4	Pengolahan Data																				
5	Hasil Laporan																				

3.6 Alat dan Bahan

3.6.1 Alat

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini antara lain:

1. Satu set saringan untuk agregat halus.
2. Satu set alat untuk pemeriksaan berat jenis agregat halus.
3. Timbangan Digital.

4. Alat pengaduk beton (molen).
5. Cetakan benda uji berbentuk kubus 5x5x5 cm dan Cetakan balok 24x6x2.5 cm
6. Mesin kompres (compression)
7. Alat uji kuat lentur beton (hydraulic concrete beam)
8. Kerucut Abrahams
9. Tongkat Penumbuk
10. Sekop Besar
11. Gelas Ukur
12. Ember
13. Sendok Semen
14. Pan
15. Kain Lap
16. Oven
17. Bak perendam
18. Sarung tangan
19. Masker
20. Kawat loket (welded) SUS 304 $\pm$ 1 mm

3.6.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah :

1 Semen Padang tipe 1 (Semen Portland Komposit).

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

3 Air ; Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4 Abu kulit kakao ; diperoleh dari limbah pengambilan biji kakao yag dicari secara mandiri.

5 Serat tandan kosong kelapa sawit ; limbah yang berasal dari pembuangan tandang kosong kelapa sawit yang sudah diambil buahnya dari pembuangan PTPN II Air Tenang, Kab. Langkat.

3.7 Pemeriksaan Bahan

3.7.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berdasarkan SNI-1970-2008, agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir kurang dari 4,75 mm (No. 4). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis curah kering, berat jenis semu, berat jenis curah dalam kondisi jenuh kering permukaan (SSD), serta penyerapan air setelah direndam dalam air selama (24±4) jam. Berat jenis pasir dalam keadaan SSD dihitung menggunakan metode ini. Prosedur, alat, dan bahan yang digunakan sesuai dengan standar ASTM C 128-01 (2001). Perhitungan dilakukan menggunakan rumus berikut:

Berat contoh SSD (B)

Berat contoh SSD kering oven (110°) (E)

Berat piknometer jenuh air (D)

Berat contoh SSD didalam piknometer penuh air (C)

a. Berat jenis contoh kering =

$$\frac{E}{(B+D-C)} \tag{3.1}$$

b. Berat jenis contoh SSD =

$$\frac{B}{(B+D-C)} \tag{3.2}$$

c. Berat jenis contoh semu =

$$\frac{E}{(E+D-C)} \tag{3.3}$$

d. Penyerapan =

$$\frac{E}{(E+D-C)} X\ 100\% \tag{3.4}$$

3.7.2 Pemeriksaan Berat jenis dan Penyerapan Abu kulit kakao

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan abu kulit kakao berfungsi menentukan berat jenis abu kulit kakao dalam keadaan SSD.

1. Peralatan:
   a) Piknometer.
   b) Kompor spitus.

c) Penyangga kaki tiga.
d) Oven.
e) Ember.

2. Bahan:
   a) Abu kulit kakao
   b) Air
3. Prosedur
   a. Timbang piknometer dalam keadaan kosong, kemudian isi dengan air hingga penuh dan timbang kembali (D).
   b. Kosongkan piknometer dari air, lalu masukkan sampel abu kulit kakao sebanyak 500 gram (B).
   c. Isi kembali piknometer yang sudah berisi sampel dengan air hingga penuh (D).
   d. Panaskan piknometer yang berisi sampel dan air selama tiga kali, masing-masing selama 5 menit. Setiap 5 menit, angkat dan balikkan piknometer untuk mengeluarkan gelembung udara yang terperangkap.
   e. Setelah tidak ada gelembung udara yang tersisa, tambahkan air ke dalam piknometer hingga mencapai batas garis, lalu timbang kembali. Biarkan piknometer hingga suhunya mencapai suhu ruangan.
   f. Rendam piknometer di dalam bak berisi 11 liter air dan biarkan selama kurang lebih 24 jam.
   g. Setelah 24 jam, keluarkan piknometer dan tuangkan isinya ke dalam wadah yang telah ditimbang, pastikan tidak ada sampel abu sekam padi yang tertinggal di dalam piknometer.
   h. Masukkan wadah yang berisi sampel ke dalam oven dengan suhu 105 ± 5°C selama 24 jam.
   i. Setelah 24 jam, keluarkan wadah dari oven, biarkan hingga mencapai suhu ruangan, lalu timbang kembali (E).
   j. Hitung hasil menggunakan rumus yang telah ditentukan.

   Berat jenis contoh kering =

$$\frac{E}{(B+D-C)} \qquad (3.5)$$

Berat jenis contoh SSD =

$$\frac{B}{(B+D-C)} \quad (3.6)$$

Berat jenis contoh semu =

$$\frac{E}{(E+D-C)} \quad (3.7)$$

Penyerapan =

$$\frac{(B-E)}{E} \text{ x } 100\% \quad (3.8)$$

3.7.3 Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan kadar air pada agregat halus bertujuan untuk menentukan jumlah air yang terdapat dalam pasir.

a. Alat:
   - Timbangan digital.
   - Wadah.
   - Oven.

b. Bahan:
   - Pasir

c. Prosedur:
   - Timbang pasir sebanyak dalam keadaan SSD (W1).
   - Timbang sampel pasir kering oven dan wadah (W2).
   - Timbang berat wadah (W3)
   - Perhitungan : Kadar Air =

$$\frac{W1-W2}{W2-W3} \text{ x } 100\% \quad (3.9)$$

3.7.4 Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus bertujuan untuk menentukan persentase lumpur yang terdapat dalam agregat. Alat, bahan, dan prosedur yang

digunakan mengikuti standar yang relevan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Berat contoh kering (A)

Berat contoh kering setelah dicuci (B)

Berat kotoran agregat lolos saringan No. 200 setelah dicuci (C)

$$C = A - B \tag{3.10}$$

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

$$D = \frac{C}{A} x\ 100\% \tag{3.11}$$

3.8 Pelaksanaan penelitian

3.8.1 Mix desain mortar

Menurut SNI 03-6825-2002, untuk pembuatan satu benda uji, bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

Semen : 84 gr

Pasir : 252 gr

Air : 42 ml

Jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 buah kubus berukuran 5x5x5 cm, yang terdiri dari 3 buah sampel normal, 3 buah mortar campuran dengan variasi abu kulit kakao 5%, 3 buah sampel mortar campuran dengan variasi abu kulit kakao 10%, dan 3 buah sampel mortar campuran dengan variasi abu kulit kakao 15%. Selain itu, terdapat 3 buah sampel mortar abu kulit kakao optimal yang diperkuat dengan serat tandan kosong kelapa sawit dengan variasi 3%, 3 buah sampel dengan variasi 5%, dan 3 buah sampel dengan variasi 7%. Terakhir, terdapat 3 sampel mortar campuran abu kulit kakao optimal yang diperkuat dengan serat tandan kosong kelapa sawit optimal. Perbandingan bahan yang digunakan dalam pembuatan mortar adalah semen : pasir : air = 1 : 3 : 0.4.

3.8.2 Pembuatan benda uji mortar

Benda uji ini berbentuk kubus dengan ukuran 5x5x5 cm dan berjumlah 24 sampel. Berikut penjelasannya:

1. Mortar normal: Terdapat 3 buah benda uji dengan umur mortar 28 hari untuk diambil data rata-ratanya.
2. Mortar campuran abu kulit kakao: Terdapat variasi 5%, 10%, dan 15%, masing-masing dengan 3 buah benda uji dan umur mortar 28 hari untuk diambil data rata-ratanya.
3. Mortar campuran abu kulit kakao optimal: Ditambahkan serat tandan kosong kelapa sawit dengan variasi 3%, 5%, dan 7%, masing-masing terdiri dari 3 buah benda uji dengan umur mortar 28 hari untuk diambil data rata-ratanya.
4. Mortar campuran abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit optimal: Terdapat 3 buah benda uji dengan umur mortar 28 hari untuk diambil data rata-ratanya.

3.8.3 Perawatan Mortar

Perawatan mortar dilakukan setelah mortar dikeluarkan dari cetakan, di mana mortar dirawat dengan merendamnya dalam air selama 28 hari. Saat pengujian kekuatan dilakukan, jumlah sampel yang direncanakan untuk direndam adalah 30 buah benda uji. Variasi kuat tekan dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.2 : Perawatan mortar

No.	**Variasi campuran**	**Umur Mortar 28 hari**
		Kuat Tekan
1.	Mortar Normal	3 sampel
2.	Mortar campuran 5% Abu kulit kakao	3 sampel
3.	Mortar campuran 10% Abu kulit kakao	3 sampel
4.	Mortar campuran 15% Abu kulit kakao	3 sampel
5.	Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan	3 sampel

	tambahan 3% serat tandan kosong kelapa sawit	
6.	Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan tambahan 5% serat tandan kosong kelapa sawit	3 sampel
7.	Mortar campuran abu kulit kakao optimal dengan tambahan 7% serat tandan kosong kelapa sawit	3 sampel
8.	Mortar campuran abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit optimal	3 sampel
Jumlah		24 Sampel

3.8.4 Pengujian kuat tekan benda uji

Berdasarkan SNI 03-6825-2002, kuat tekan mortar adalah beban maksimum yang diterima per satuan luas pada benda uji mortar yang berbentuk kubus dengan ukuran dan umur tertentu. Ukuran mortar yang umum digunakan adalah kubus kecil dengan dimensi 5x5x5 cm. Kuat tekan mortar dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma m = \frac{P}{A} \tag{3.12}$$

Keterangan :

σm = Kuat Tekan mortar (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = luas penampang yang di bebani (mm^2)

Prosedur pengujian dilakukan pada umur mortar yang telah ditentukan, biasanya pada umur 7 hari atau 28 hari, untuk mendapatkan kekuatan yang representatif sesuai dengan standar yang berlaku. Pengujian kuat tekan ini sangat penting untuk memastikan bahwa mortar memenuhi spesifikasi yang diperlukan dalam aplikasi konstruksi.

3.8.5 Mix Desain Ferosemen

Mix design ferosemen adalah proses merencanakan komposisi bahan untuk menghasilkan campuran ferosemen dengan sifat mekanik dan fisik yang diinginkan. Untuk campuran ferosemen yang digunakan, perbandingan bahan adalah semen : pasir : air = 1 : 3 : 0,4. Proporsi ferosemen diambil dari hasil mix design mortar campuran abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit optimal dalam penelitian ini. Ukuran cetakan yang digunakan adalah 24 x 6 x 2,5 cm, serta lembaran kawat loket 25 (welded) SUS 304 dengan ketebalan sekitar 1 mm dan ukuran 24 x 6 x 2,5 cm.

Dalam penelitian ini, abu kulit kakao digunakan sebagai bahan alternatif untuk menggantikan sebagian semen, dengan total 9 sampel yang memiliki variasi pembagian yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada pengujian kuat tekan pertama, mortar normal memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan mortar yang menggunakan variasi abu kulit kakao. Oleh karena itu, hanya 3 sampel yang menggunakan abu kulit kakao dengan variasi optimal yang dipilih, yaitu dengan penambahan abu kulit kakao sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Selain itu, penelitian ini juga melibatkan penggunaan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan tambahan dalam mortar, dengan total 9 sampel yang memiliki variasi persentase yang berbeda, yaitu 3%, 5%, dan 7%. Dari 9 sampel tersebut, yang menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan tambahan, akan ditentukan persentase optimal untuk penambahan serat tersebut. Penambahan serat tandan kosong kelapa sawit dilakukan dengan tiga teknik, yaitu teknik normal, sebar, dan layer. Selain itu, terdapat 3 sampel yang menggunakan kawat anyam sebagai tulangan tambahan.

Tabel 3.3 : Perencanaan pembuatan sampel benda uji

No	Tes	FAS	Semen	Pasir	AKK	Serat TKKS	Tes	Metode re-inforcement	Jumlah Sampel
1	Normal	0.4	1	3	-	-	Cube 5x5x5	-	3
2	Tes 1A	0.4	95%	3	5%	-	Cube 5x5x5	-	3
		0.4	90%	3	10%	-	Cube 5x5x5	-	3
		0.4	85%	3	15%	-	Cube 5x5x5	-	3
3	Tes 1B	0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	3%	Cube 5x5x5	-	3
		0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	5%	Cube 5x5x5	-	3
		0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	7%	Cube 5x5x5	-	3
4	Tes 1AB	0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	Tes 1B opt	Cube 5x5x5	-	3
5	Normal	0.4	1	3	-	-	Plat 24x6x2.4	Kawat	3
6	2AB	0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	Tes 1B opt	Plat 24x6x2.4	Kawat	3

Tabel 3.3 : *Lanjutan*

		0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	Tes 1B opt	Plat 24x6x2.4	Layer 10%	3
		0.4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	Tes 1B opt	Plat 24x6x2.4	Layer 12%	3
		0,4	Tes 1A opt	3	Tes 1A opt	Tes 1B opt	Plat 24x6x2.4	Layer 15%	3
							TOTAL		36 sampel

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Pada penelitian ini, tahapan pengujian diawali dengan pengujian bahan, khususnya agregat, yang meliputi uji berat jenis (SNI 03-1970-2008), kadar air resapan (SNI 03-1971-1990), analisis saringan (SNI 03-1968-1990), kadar lumpur (SNI 03-4428-1997), serta uji kelembaban (SNI 03-2461-1991). Selain itu, dilakukan pula pengujian terhadap semen, meliputi pengujian berat jenis semen (SNI 15-2531-1991) dan pengujian kehalusan serbuk besi (SNI 15-2530-1991).

4.1.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan analisis saringan dilaksanakan berdasarkan ketentuan SNI 03-1968-1990 tentang analisis saringan agregat halus. Hasil dari pengujian tersebut disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.1: Pemeriksaan analisa saringan agregat halus

Ukuran Saringan		Berat Tertahan	Persentase Tertahan	Persentase Komulatif	
ASTM	SNI	(gr)	(%)	Tertahan(%)	Lolos (%)
4,8	No. 4	95	4,13	4,13	95,87
2,4	No. 8	277	12,04	16,17	83,83
1,18	No. 16	458	19,91	36,08	63,92
0,6	No. 30	635	27,61	63,69	36,31
0,3	No. 50	459	19,96	83,65	16,35
0,15	No. 100	194	8,43	92,08	7,92
PAN	117	182	7,92	100	0
TOTAL		2300	100	295,8	

Persentase berat tertahan rata – rata :

$$\text{No. } 4 = \frac{95}{2300} \text{ x } 100\% = 4{,}13\% \quad (4.1)$$

$$\text{No. } 8 = \frac{277}{2300} \text{ x } 100\% = 12{,}04\% \quad (4.2)$$

$$\text{No. } 16 = \frac{458}{2300} \text{ x } 100\% = 19{,}91\% \quad (4.3)$$

$$\text{No. } 30 = \frac{635}{2300} \text{ x } 100\% = 27{,}61\% \quad (4.4)$$

$$\text{No. } 50 = \frac{459}{2300} \text{ x } 100\% = 19{,}96\% \quad (4.5)$$

$$\text{No. } 100 = \frac{194}{2300} \text{ x } 100\% = 8{,}93\% \quad (4.6)$$

$$\text{PAN} = \frac{182}{2300} \text{ x } 100\% = 7{,}91\% \quad (4.7)$$

Persentase Berat Komulatif Tertahan

No. 4 = 0 + 4,13 = 4,13 % (4.8)

No. 8 = 4,13 + 12,04 = 16,17 % (4.9)

No. 16 = 16,17 + 19,91 = 36,08 % (4.10)

No. 30 = 36,08 + 27,61 = 63,69 % (4.11)

No. 50 = 63,69 + 19,96 = 83,65 % (4.12)

No. 100 = 83,65 + 8,43 = 92,08 % (4.13)

PAN = 92,08 + 7,92 = 100 % (4.14)

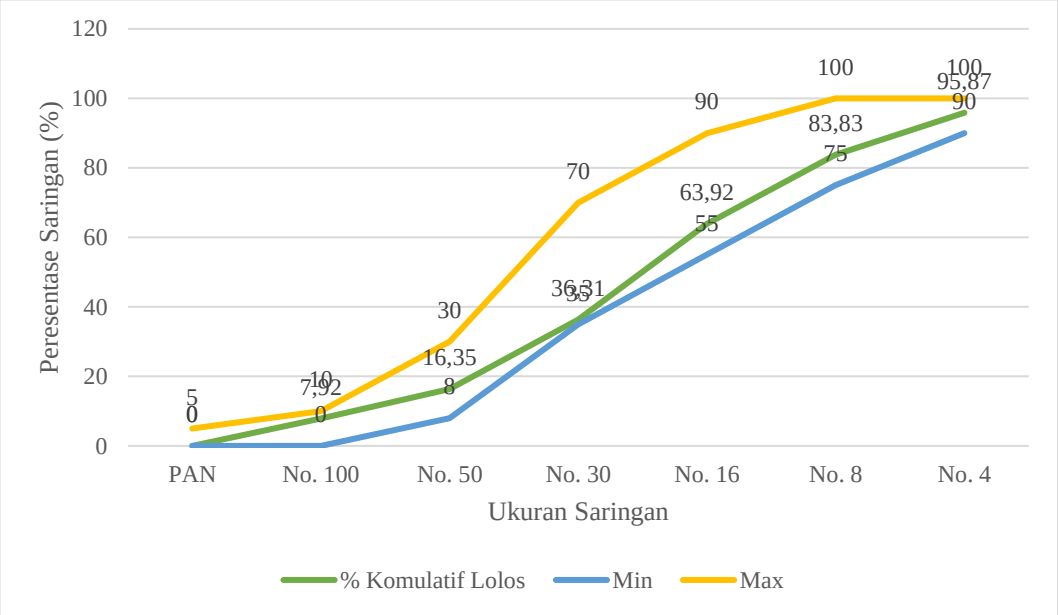
Jumlah persentase komulatif yang tertahan ialah sebesar 295,8 %.

FM(Modulus Kehausan) =

$$\frac{\text{Jumlah persentase komulatif tertahan}}{100} = \frac{295{,}8}{100} = 2{,}96\% \quad (4.15)$$

Dari hasil pemeriksaaan analisa saringan agregat halus pada percobaan ini didapat nilai FM sebesar 2,96%. Yang dimana nilai tersebut masih diizinkan,

termasuk pada sebagai agregat halus. Persentase 1,5% - 3,8% nilai yang diizinkan berada di zona 2.



Gambar 4.1 : Analisa Saringan Agregat Halus

Tabel 4.2 : Gradasi Analisa Agregat Halus

No.	Total	Passing	Min	Max
PAN	182	0	0	5
No.100	194	7,92	0	10
No.50	459	16,35	8	30
No. 30	635	36,31	35	70
No. 16	458	63,92	55	90
No. 8	277	83,83	75	100
No.4	95	95,87	90	100

4.1.2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Pemeriksaan pada hasil berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3 : Hasil berat jenis dan penyerapan agregat halus

Agregat Halus	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata	Satuan
Berat SSD (B)	450	450	450	Gr
Berat SSD kering oven (E)	420	426	423	Gr
Berat SSD di dalam air (C)	789	813	801	Gr
Berat Piknometer berisi air (D)	524	530	527	gr
Bj bulk	2,27	2,55	2,41	gr/cm³
Bj SSD	2,43	2,69	2,56	gr/cm³
Bj semu	2,71	2,98	2,85	gr/cm³
Absorption	7,14	5,63	6,39	%

Berat SSD (B) =

$$\frac{450+450}{2} = 450 \text{ gr} \quad (4.16)$$

Berat SSD kering oven (E) =

$$\frac{420+426}{2} = 423 \text{ gr} \quad (4.17)$$

Berat SSD di dalam air (C) =

$$\frac{789+813}{2} = 801 \text{ gr} \quad (4.18)$$

Berat Piknometer berisi air (D)

$$\frac{524+530}{2} = 527 \text{ gr} \quad (4.19)$$

BJ Bulk =

$$\frac{2,27+2,55}{2} = 2,41 \text{ gr/cm}^2 \quad (4.20)$$

BJ SSD =

$$\frac{2,43+4,56}{2} = 2,56 \text{ gr/cm}^2 \quad (4.21)$$

BJ Semu =

$$\frac{2,71+2,98}{2} = 2,85 \text{ gr/cm}^3 \quad (4.22)$$

Absorption =

$$\frac{7,14+5,63}{2} = 6,39 \text{ \%} \quad (4.23)$$

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dari dua sampel dengan berat SSD rata-rata sebesar 450 gram, diperoleh nilai rata-rata berat jenis bulk sebesar 2,41 gr, berat jenis SSD sebesar 2,56 gr, serta berat jenis semu sebesar 2,85 gr.

4.1.3 Pemeriksaan Kadar Air

Pengujian kadar air pada agregat halus dilakukan sesuai prosedur yang telah ditetapkan, dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 : Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
Berat contoh SSD dan berat wadah (W1)	1050	1140	gr
Berat contoh SSD	610	678	gr
Berat contoh kering oven dan berat wadah (W2)	1038	1095	gr
Berat wadah (W3)	440	462	gr
Berat Air	12	45	gr
Berat contoh kering	598	633	gr
Kadar air	2	7,1	%
Rata – rata	4,55		%

Sampel 1:

Berat air = W1 – W2 = 1050 – 1038 = 12 gr (4.24)

Berat contoh kering = W2-W3 = 1038 – 440 = 598 gr (4.25)

Kadar air =

$$\frac{W1-W2}{W2-W3} \text{ x } 100\% = \frac{1050-1038}{1038-440} \text{ x } 100\% = 2\% \quad (4.26)$$

Sampel 2 :

Berat air = W1 – W2 = 1140 – 1095 = 45 gr (4.27)

Berat contoh kering = W2-W3 = 1095 – 462 = 633 gr (4.28)

Kadar air =

$$\frac{W1-W2}{W2-W3} \text{ x } 100\% = \frac{1140-1095}{1095-462} \text{ x } 100\% = 7{,}1\% \quad (4.29)$$

Rata – rata kadar air =

$$\frac{\text{Sampel 1+Sampel 2}}{2} = \frac{2+7{,}1}{2} = 4{,}55\% \quad (4.30)$$

Berdasarkan hasil pengujian kadar air pada agregat halus, diperoleh nilai sebesar 2% untuk sampel 1 dan 7,1% untuk sampel 2, sehingga nilai rata-ratanya adalah 4,55%.

4.1.4 Pemeriksaan Kadar Lumpur

Hasil pengujian kadar lumpur pada agregat halus disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.5 Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata - rata	Satuan
Berat contoh kering : A	450	450	450	gr
Berat kering contoh setelah dicuci : B	441	443	442	gr
Berat kotoran setelah dicuci : C	9	7	8	gr
Persentase kotoran setelah dicuci : D	2	1,5	1,75	%
Kadar Lumpur Rata - rata	1,75		%	

Sampel 1 :

Persentase kotoran setelah dicuci (D) =

$$\frac{C}{A} \text{ x } 100\% = \frac{9}{450} \text{ x } 100\% = 2\ \% \quad (4.31)$$

Sampel 2 :

Persentase kotoran setelah dicuci (D) =

$$\frac{C}{A} \text{x} 100\% = \frac{7}{450} \text{x } 100\% = 1{,}5\% \quad (4.32)$$

Avarange (Rata – rata)

Berat contoh kering (A) =

$$\frac{\text{Sampel 1+Sampel 2}}{2} = \frac{450+450}{2} = 450 \text{ gr} \quad (4.33)$$

Berat contoh kering setelah dicuci (B) =

$$\frac{\text{Sampel 1+Sampel 2}}{2} = \frac{441+443}{2} = 442 \text{ gr} \quad (4.34)$$

Berat kotoran setelah dicuci (C) =

$$\frac{\text{Sampel 1+Sampel 2}}{2} = \frac{9+7}{2} = 450 \text{ gr} \quad (4.35)$$

Persentase kotoran setelah dicuci (D) =

$$\frac{\text{Sampel 1+Sampel 2}}{2} = \frac{2+1,5}{2} = 1,75 \text{ gr} \quad (4.36)$$

Berdasarkan hasil pengujian, kadar lumpur pada agregat halus diperoleh dengan persentase rata-rata sebesar 1,75%.

4.1.5 Pemeriksaan Berat Isi

Pemeriksaan berat isi agregat dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu metode tusuk, metode goyang, dan metode lepas. Adapun 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	28973	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.) Cara lepas

Tinggi = 27 cm

Diameter = 27 cm

Berat wadah baja = 6500 gr

Berat contoh + Wadah = 27098 gr

Volume wadah =

$$\frac{1}{4}\,.\,\pi.\,d^2.\,T = \frac{1}{4}\,.\frac{22}{7}.\,27^2.\,27 = 15465{,}21\ \mathrm{cm}^3 \tag{4.37}$$

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

= 27098 – 6500 = 20598 gr (4.38)

Berat isi =

$$\frac{\text{Berat Contoh}}{\text{Volume Wadah}} = \frac{20598}{15465{,}21} = 1{,}331\ \mathrm{gr/cm}^3 \tag{4.39}$$

B.) Cara Tusuk

`Tinggi = 27 cm

Diameter = 27 cm

Berat wadah baja = 6500 gr

Berat contoh + Wadah = 28963 gr

Volume wadah =

$$\frac{1}{4}\,.\,\pi.\,d^2.\,T = \frac{1}{4}\,.\frac{22}{7}.\,27^2.\,27 = 15465{,}21\ \mathrm{cm}^3 \tag{4.40}$$

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

= 28963 – 6500 = 22193 gr (4.41)

Berat isi =

$$\frac{\text{Berat Contoh}}{\text{Volume Wadah}} = \frac{22193}{15465{,}21} = 1{,}435\ \mathrm{gr/cm}^3 \tag{4.42}$$

C.) Cara Goyang

Tinggi = 27 cm

Diameter = 27 cm

Berat wadah baja = 6500 gr

Berat contoh + Wadah = 28942 gr

Volume wadah =

$$\frac{1}{4}\,.\,\pi.\,d^2.\,T = \frac{1}{4}\,.\frac{22}{7}.\,27^2.\,27 = 15465{,}21\ \mathrm{cm}^3 \tag{4.43}$$

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

= 288942 – 6500 = 22442 gr (4.44)

Berat isi =

$$\frac{\text{Berat Contoh}}{\text{Volume Wadah}} = \frac{22442}{15465{,}21} = 1{,}451\text{gr/cm}^3 \quad (4.45)$$

Rata – rata

Berat contoh + wadah

$$\frac{\text{Cara lepas+Cara tusuk+Cara goyang}}{3}$$

$$\frac{27098+28963+2894}{3} = 28334{,}3\ gr \quad (4.46)$$

Berat wadah baja

$$\frac{\text{Cara lepas+Cara tusuk+Cara goyang}}{3}$$

$$\frac{27098+28963+2894}{3} = 28334{,}3\ gr \quad (4.47)$$

Berat contoh

$$\frac{\text{Cara lepas+Cara tusuk+Cara goyang}}{3}$$

$$\frac{27098+28963+2894}{3} = 28334{,}3\ gr \quad (4.48)$$

Volume wadah

$$\frac{\text{Cara lepas+Cara tusuk+Cara goyang}}{3}$$

$$\frac{27098+28963+2894}{3} = 28334{,}3\ gr \quad (4.49)$$

Berat isi

$$\frac{\text{Cara lepas+Cara tusuk+Cara goyang}}{3}$$

$$\frac{27098+28963+2894}{3} = 28334{,}3\ gr \quad (4.50)$$

4.2 Perencanaan Mortar dan Ferosemen

4.2.1 Mix desain mortar dan ferosemen

Mix desain yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 03-6825-2002**.** Jumlah benda uji mortar yang dipakai sebanyak 27 kubus berukuran 5 x 5 x 5 cm, sedangkan benda uji ferosemen berjumlah 15 pela**t** dengan dimensi 24 x 6 x 2,5 cm**.** Selain itu, digunakan juga lembaran kawat loket 25 (welded) SUS 304 dengan diameter sekitar ±1 mm berukuran 24 x 6 cm**.**

Hasil perhitungan mix desain untuk 1 cetakan mortar berukuran 5 x 5 x 5 cm diperoleh kebutuhan material yaitu pasir 252 gram, semen 84 gram, dan air 34 ml. Penambahan abu kulit kakao ditentukan berdasarkan persentase penggantian dari berat semen, sedangkan serat buah pinang dihitung berdasarkan persentase terhadap volume cetakan. Untuk perhitungan serat tandan kosong kelapa sawit, kebutuhan ditentukan dengan mengacu pada volume cetakan yang digunakan.

Kebutuhan mix desain untuk satu cetakan ferosemen berukuran 24 × 6 × 2,5 cm terdiri atas pasir 600 gram, semen 200 gram, dan air 80 ml. Jumlah abu kulit kakao ditentukan sebagai persentase dari berat semen, sedangkan serat buah pinang dihitung berdasarkan persentase terhadap volume cetakan; ketentuan yang sama digunakan untuk menentukan kebutuhan serat tandan kosong kelapa sawit. Persentase jumlah layer pada ferosemen yang akan diuji juga ditetapkan sesuai rancangan pengujian.

Tabel 4.7 : Mix Desain Mortar dan Ferosemen

No	Tes	FAS (ml)	Semen (gr)	Pasir (gr	AKK (gr)	Serat TKKS (gr)	Tes (cm)	Metode Reinforcement	sampel
1	Mortar normal	0,4	1	3	-	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	84 gr	252 gr					

Tabel 4.7 : *Lanjutan*

2	Tes mortar Abu kulit kakao	0,4	95%	3	5%	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	79,8 gr	252 gr	4,2 %				
		0,4	90%	3	10%	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	75,6 gr	252 gr	8,4 gr				
		0,4	85%	3	15%	-	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	71,4 gr	252 gr	12,6 gr				
3	Tes mortar AKK 5% dengan serat tandan kosong kelapa sawit	0,4	95%	3	5%	3%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	79,8 gr	252 gr	4,2 %	7,8 gr			
		0,4	95%	3	5%	95%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	79,8 gr	252 gr	4,2 %	79,8 gr			
		0,4	95%	3	5%	95%	Kubus 5x5x5	-	3
		34 ml	79,8 gr	252 gr	4,2 %	79,8 gr			
4	Normal ferosemen	0,4	1	3	-	-	Plat 24x6x 2,5	Kawat	3
		34 ml	200 gr	600 gr					
5	Ferosemen 15% AKK dan 3% serat TKKS	0,4	1	3	15%	3%	Plat 24x6x 2,5	Kawat	3
		34 ml	170 gr	600 gr	30 gr	10,8 gr			

Tabel 4.7 : *Lanjutan*

6	Ferosemen 15% AKK dan 3% serat TKKS	0,4	1	3	15%	3%	Plat 24x6x 2,5	Layer 10%	3
		34 ml	170 gr	600 gr	30 gr	10,8 gr		36 gr	
		0,4	1	3	15%	3%	Plat 24x6x 2,5	Layer 12%	3
		34 ml	170 gr	600 gr	30 gr	10,8 gr		43,2 gr	
		0,4	1	3	15%	3%	Plat 24x6x 2,5	Layer 15%	3
		34 ml	170 gr	600 gr	30 gr	10,8 gr			

4.3 Hasil Pengujian kuat tekan mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan berdasarkan metode yang tercantum dalam SNI 03-6825-2002. Pengujian ini dilaksanakan saat mortar mencapai umur 28 hari, menggunakan mesin uji tekan (compressive strength test machine) dengan kapasitas 150 ton. Spesimen uji berbentuk kubus dengan dimensi 5x5x5 cm. Hasil dari pengujian kuat tekan tersebut disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.8 : Hasil Pengujian kuat tekan mortar

Sampel	**Kode sampel**	**Umur (Hari)**	**Berat (gr)**	**Kuat Tekan (Ton)**	**Kuat Tekan (MPa)**	**Rata – rata kuat tekan (MPa)**
Mortar normal	MN 1	28	275	3	11,772	15,042
	MN 2	28	255	4	15,696	
	MN 3	28	255	4.5	17,658	

Tabel 4.8 : *Lanjutan*

Mortar Abu kulit kakao	MAKK 5% (1)	28	245	3	11,772	17,004
	MAKK 5% (2)	28	235	6	23,544	
	MAKK 5% (3)	28	245	4	15,696	
	MAKK 10% (1)	28	235	4	15,696	15,696
	MAKK 10% (2)	28	220	3	11,772	
	MAKK 10% (3)	28	225	5	19,62	
	MAKK 15% (1)	28	185	6	23,544	22,236
	MAKK 15% (2)	28	215	6	23,544	
	MAKK 15% (3)	28	205	5	19,62	
Mortar AKK optimal dan serat TKKS	MAKK 15% STKKS 3% (1)	28	225	6	23,544	21,582
	MAKK 15% STKKS 3% (2)	28	210	6	23,544	
	MAKK 15% STKKS 3% (3)	28	205	4,5	17,658	

Tabel 4.8 : *Lanjutan*

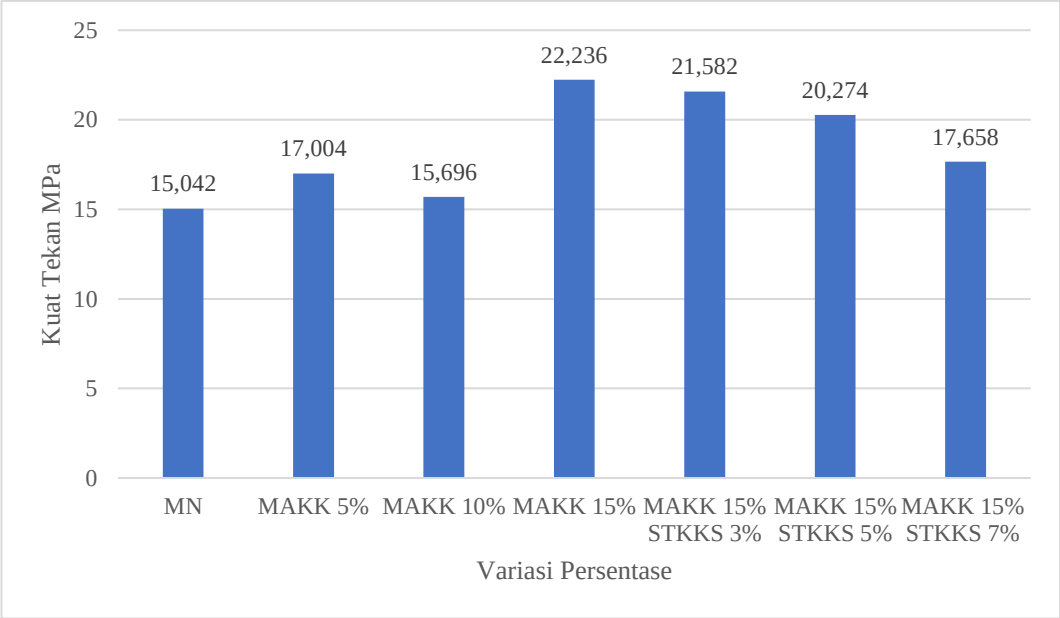
	MAKK 15% STKKS 5% (1)	28	220	5	19,62	20,274
	MAKK 15% STKKS 5% (2)	28	210	4,5	17,658	
	MAKK 15% STKKS 5% (3)	28	215	6	23,544	
	MAKK 15% STKKS 7% (1)	28	205	5	19,62	17,658
	MAKK 15% STKKS 7% (2)	28	210	4	15,696	
	MAKK 15% STKKS 7% (3)	28	220	4,5	17,658	

Tabel 4.9: Pengaruh penambahan abu kulit kakao terhadap kuat tekan mortar 28 hari

Kadar Abu kulit kakao (%)	Kuat tekan (MPa)	Kenaikan (%)
0	15,042	-
5	17,004	13,04
10	15,696	4,35
15	22,236	47,83

Tabel 4.10 : Pengaruh penambahan abu kulit kakao 15% dengan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kuat tekan mortar 28 hari

Kadar serat tandan kosong kelapa sawit (%)	Kuat tekan (MPa)	Kenaikan (%)
0	15,042	-
3	21,582	43,478
5	20,274	34,782
7	17,658	17,391



Gambar 4.1 Hasil Kuat Tekan Mortar

Pada grafik diatas menunjukkan bahwasannya nilai optimum dari penambahan abu kulit kakao 15% dari mortar normal yang dimana kuat tekan yang dialami 22,236 MPa. Dan penambahan abu kakao optimum 15% dengan serat tandan kosong kelapa sawit mendapatkan persentase optimum pada 3% dengan kuat tekan 21,582 MPa.

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan Abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan mortar pada umur 28 hari. Pengujian dilakukan berdasarkan standar SNI 03-6825-2002, dengan menggunakan benda uji berbentuk kubus berukuran 5x5x5 cm serta mesin uji tekan berkapasitas 150 ton. Data hasil pengujian memperlihatkan bahwa mortar yang mengandung Abu kulit kakao menunjukkan performa mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan mortar konvensional.

Pada pengujian, mortar tanpa campuran abu kulit kakao menunjukkan kuat tekan maksimum sebesar 15,042 MPa. Namun, ketika abu kulit kakao ditambahkan sebesar 5%, nilai kuat tekan meningkat menjadi 17,004 MPa. Peningkatan ini terus berlanjut seiring dengan bertambahnya kadar abu kulit kakao menjadi 10% dan 15%, yang menghasilkan kuat tekan masing-masing sebesar 15,696 MPa dan 22,236 MPa. Nilai tertinggi dicapai pada penambahan abu kulit kakao sebanyak

15%, yakni sebesar 22,236 MPa. Hal ini menegaskan bahwa abu kulit kakao mampu secara efektif meningkatkan kekuatan mortar.

Selain itu, penelitian ini juga meneliti dampak penambahan serat tandan kosong kelapa sawit terhadap kuat tekan mortar yang telah dicampur dengan 15% abu kulit kakao. Serat ditambahkan dalam berbagai kadar untuk menilai pengaruhnya. Pada kadar 0%, kuat tekan tetap sebesar 15,042 MPa, sama seperti mortar tanpa serat. Namun, ketika serat tandan kosong kelapa sawit ditambahkan sebanyak 3%, kuat tekan meningkat menjadi 21,582 MPa. Penambahan serat sebanyak 5% dan 7% memberikan hasil kuat tekan sebesar 20,274 MPa dan 17,658 MPa. Kenaikan ini menunjukkan bahwa serat tandan kosong kelapa sawit berperan dalam meningkatkan kekuatan dan ketahanan mortar terhadap retak serta deformasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan pemahaman baru mengenai potensi penggunaan abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan tambahan dalam produksi mortar yang lebih kuat dan ramah lingkungan. Kombinasi kedua material tersebut mampu menciptakan karakteristik mekanik yang lebih unggul, yang sangat berguna dalam berbagai aplikasi konstruksi.

Namun, merujuk pada beberapa literatur yang ditinjau, perlu diperhatikan bahwa penambahan serat buah pinang dapat mengurangi nilai keterkerjaan (workability) adukan. Sebagai serat alami, tandan kosong kelapa sawit bersifat mudah rapuh dan memiliki keterbatasan dalam jangka panjang karena rentan mengalami penyusutan serta kerapuhan. Meskipun demikian, penggunaan abu kulit kakao tetap mendukung konsep pembangunan berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah industri secara efektif. Temuan dalam penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan bahan bangunan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan mendukung keberlanjutan, serta memberikan dampak positif bagi sektor konstruksi ke depan.

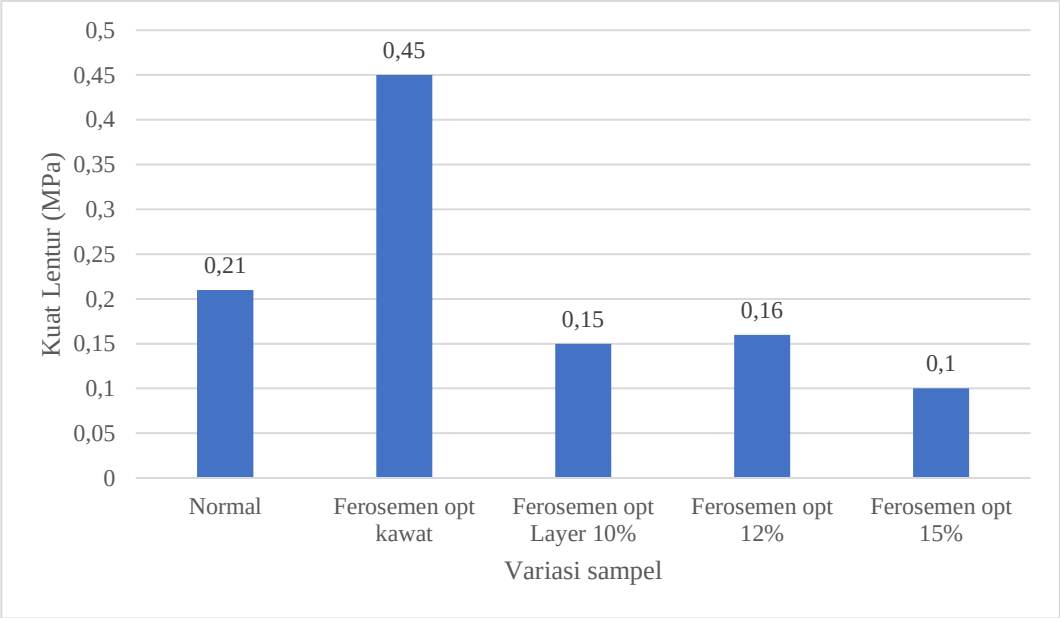
4.4 Hasil Pengujian kuat lentur ferosemen

Pengujian kuat lentur dalam penelitian ini dilakukan saat ferosemen telah berumur 28 hari. Sampel uji yang digunakan berbentuk balok dengan dimensi panjang 24 cm, lebar 6 cm, dan tinggi 2,5 cm. Prosedur pengujian kuat lentur

dilakukan menggunakan metode pembebanan satu titik di tengah bentang, sesuai dengan standar SNI 4154:2014.

Tabel 4.11: Kuat lentur ferosemen

No	Ferosemen	Umur (hari)	Kuat lentur rata-rata kg/cm²	Kuat lentur rata – rata MPa
1	Normal	28	2,16	0,21
2	Abu kulit kakao 15% serat tandan kosong kelapa sawit 3% (Kawat)	28	4,6	0,45
3	Abu kulit kakao 15% serat tandan kosong kelapa sawit 3% (Layer 10%)	28	1,56	0,15
4	Abu kulit kakao 15% serat tandan kosong kelapa 3% (Layer 12%)	28	1,6	0,16
5	Abu kulit kakao 15% serat tandan kosong kelapa sawit 3% (Layer 15%)	28	1,03	0,10



Gambar 4.2 Grafik kuat lentur ferosemen

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur, diketahui bahwa ferosemen mengalami peningkatan pada ferosemen campuran abu kulit kakao yag di perkuat dengan kawat tetapi mengalami penurunan kemampuan lenturnya pada ferosemen yang menggunakan tulangan serat. Pada pengujian ini, ferosemen normal yang diperkuat dengan kawat mengalami keruntuhan di bagian tengah bentang (daerah lapangan), sedangkan ferosemen yang mengandung serat tandan kosong kelapa sawit hanya menunjukkan keretakan tanpa patah total. Saat pengujian berlangsung, serat tandan kosong kelapa sawit dalam campuran ferosemen sebagian tercabut dan sebagian lainnya mengalami putus, menandakan ikatan yang kurang optimal dalam matriks semen.

Pada ferosemen yang mengandung abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit yang di perkuat oleh kawat mengalami kenaikan kuat lentur nya. Pada ferosemen campuran yang menggunakan tulangan serat kuat lentur rata-rata menurun drastis dibandingkan ferosemen normal. Ferosemen normal dengan kawat memiliki kuat lentur rata-rata sebesar 2,16 kg/cm² (0,21 MPa), sementara campuran dengan abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit dengan kawat mengalami kenaikan kuat lentur rata rata sebesar 4,6 kg/cm² (0,45 MPa)..

Pada sampel berikutnya mengalami penurunan tercatat pada variasi lapisan (layer) dengan komposisi abu kulit kakao 15% dan serat tandan kosong kelapa sawit

3%. Pada lapisan setebal 10%, kuat lentur hanya mencapai 1,56 kg/cm² (0,15 MPa). Penurunan terus berlanjut pada layer 12% dengan kuat lentur sebesar 1,6 kg/cm² (0,16 MPa), dan layer 15% dengan nilai 1,03 kg/cm² (0,10 MPa).

Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun serat tandan kosong kelapa sawit berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap retak, keberadaannya justru menurunkan kekuatan lentur ferosemen secara keseluruhan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karakteristik alami Serat tandan kosong kelapa sawit yang mudah menyerap air, rentan terhadap penyusutan, serta bersifat rapuh, sehingga memengaruhi kinerja mekanik material secara negatif.

Meski begitu, setelah retakan awal terbentuk, balok ferosemen masih mampu menahan beban tambahan, meskipun peningkatannya tidak signifikan. Proses keruntuhan terjadi secara bertahap, dimulai dari retakan kecil yang berkembang menjadi lebih besar. Namun, balok ferosemen dengan serat tidak mengalami keruntuhan total karena keberadaan serat tandan kosong kelapa sawit membantu menahan propagasi retak.

Dengan demikian, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi kombinasi optimal antara abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit yang mampu meningkatkan performa ferosemen tanpa mengorbankan kekuatan lenturnya secara signifikan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, Pengaruh abu kulit kakao sebagai pengganti semen dan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan tambah didapatkan kesimpulan sebagai berikut,

1. Persentasi optimal abu kulit kakao yang memberikan kuat tekan terbaik mortar adalah 15 %. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mortar dengan penambahan abu kulit kakao 15% mencapai kuat tekan maksimum sebesar 22,236 MPa, dibandingkan dengan mortar normal yang hanya mencapai 15,042 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa abu kulit kakao memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan tekan ferosemen.
2. Kombinasi persentase optimal Abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit pada mortar menunjukan hasil persentase 3% yang dimana dengan kuat 43,478 MPa dibandingkan dengan mortar normal yang hanya mencapai 15,042 MPa.. Ini menunjukkan bahwa serat buah pinang dapat meningkatkan kekuatan tekan jika digunakan dalam proporsi yang tepat.
3. Pengaruh teknik pembuatan panel terhadap performa mekanik kekuatan tekan dan lentur panel ferosemen yang mengandung Kombinasi optimal antara abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit dapat menghasilkan ferosemen dengan sifat kekuatan tekan yang lebih baik. Namun, meskipun serat tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan daya tahan terhadap retak, penambahan serat ini juga dapat menurunkan kekuatan lentur ferosemen. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan kombinasi proporsi yang paling efektif untuk mencapai performa terbaik

5.2 Saran

1. Penggunaan abu kulit kakao sebaiknya dibatasi pada komposisi optimum,

2. karena kadar yang terlalu tinggi menurunkan kuat tekan mortar akibat peningkatan porositas.
3. Penambahan serat TKKS dapat diterapkan untuk memperbaiki ketahanan lentur, namun perlu diperhatikan distribusi serat agar tercampur merata.
4. Untuk penelitian lanjutan, disarankan menguji variasi umur perawatan (7, 14, 28, hingga 90 hari) agar diketahui perkembangan kekuatan jangka panjang.
5. Uji tambahan seperti absorpsi air, ketahanan terhadap retak susut, dan durabilitas perlu dilakukan agar material ferosemen ini dapat diaplikasikan secara lebih luas dalam konstruksi.
6. Hasil penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan bagi industri konstruksi dalam memanfaatkan limbah pertanian sebagai material alternatif yang ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

Binti Sayono, Y. D. S., Ahmad Utanaka, Dadang Dwi Pranowo, Mirza Ghulam Rifqi, & M. Shofi'ul Amin. (2023). Pengaruh Penggunaan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan dan Resapan Air Mortar Pracetak Ferosemen. *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil Dan Lingkungan*, *5*(2), 175–185. https://doi.org/10.52005/teslink.v5i2.299

Dwi Shinta, Y., Dwi Pranowo, D., Utanaka, A., Ghulam Rifqi, M., Shofi, M., Amin, ul, Negeri Banyuwangi, P., Raya Jember No, J. K., & Pracetak Ferosemen Kuat Tekan Mortar Resapan Air, B. (2023). *Jurnal Teslink : Teknik Sipil dan Lingkungan Pengaruh Penggunaan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan dan Resapan Air Mortar Pracetak Ferosemen KATA KUNCI*. *5*(2), 175–185. https://doi.org/10.52005/teslink.v115i1.xxx

Erlangga, E., Rahmawati, W., Amin, M., & Suharyatun, S. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Kakao Sebagai Bahan Pembuat Pori Pada Ecopavings Block. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, *2*(4), 532. https://doi.org/10.23960/jabe.v2i4.8187

Hadipramana, J., Nila Sari, D., Ari Putra, R., & Veny Riza, F. (2023). Studi Terhadap Potensi Campuran Abu Kulit Kakao dan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Pengganti Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Bata Ringan. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, *4*(1), 46–58. https://doi.org/10.53695/jm.v4i1.889

Opirina, L., Sari, D. P., & Hanif, M. (2019). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)Terhadap Kuat Tarik Belah Beton Normal. *Portal Jurnal Teknik Sipil*, *11*(2), 16–23. http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/portal/article/view/1522

Prasetyo, R. D., Dwi Pranowo, D., Utanaka, A., Amin, M. S., Wari, W. N., Sipil, J. T., Banyuwangi, N., & Banyuwangi, K. (2024). PENGARUH SUBSTITUSI PASIR MENGGUNAKAN SERBUK BESI DAN ZAT ADITIF BESTMITTEL 0.5 % TERHADAP KUAT TEKAN MUTU TINGGI DAN RESAPAN AIR MORTAR PRACETAK FEROSEMEN. *Jurnal Riset Teknik Sipil Dan Sains*, *3*(1), 36–42. https://doi.org/10.57203/jriteks.v3i1.2024.36-42

Sanggaria, O. J., & Mara, J. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Tandan Kelapa Sawit Terhadap Campuran Beton Normal. *Paulus Civil Engineering Journal*, *5*(4), 671–678.

Veranita, V., Dinda, R. P., Rasimah, R., & Malia, R. (2024). PENGARUH PENGGUNAAN KULIT KAKAO SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA JALAN RABAT BETON. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, *7*(2), 122–131. https://doi.org/10.24815/jarsp.v7i2.37677

LAMPIRAN

Dokumentasi Analisa Saringan

Dokumentasi Penimbangan Agregat Halus

Dokumentasi Pembuatan Mortar

Dokumentasi Mortar

Dokumentasi Kuat Tekan Mortar Normal

Dokumentasi Kuat Tekan Mortar Abu kulit kakao

Dokumentasi Kuat Tekan kombinasi Abu kulit kakao dan Serat tandan kosong kelapa sawit

Dokumentasi Kuat Lentur Ferosemen Normal

Dokumentasi Kuat Lentur kombinasi Abu kulit kakao dan serat tandan kosong kelapa sawit dengan tulangan serat tandan kosong kelapa sawit