

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK BESI
SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN PASIR TERHADAP KUAT
GESER BETON**

(Studi Penelitian)

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

MUHAMMAD ANANDA

2107210081



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2025

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ananda
NPM : 2107210081
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Geser Beton
Bidang Ilmu : Struktur

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

Disetujui Untuk Disampaikan
Kepada Panitia Ujian:
Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Ananda
NPM : 2107210081
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai
Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Geser
Beton
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, September 2025

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Dosen Pembanding I



Dr. Ade Faisal

Dosen Pembanding II



Rizki Efrida, S.T., M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Ananda
Tempat, Tanggal Lahir : Pasir Pengarayan, 14 Juni 2003
NPM : 2107210081
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul: "Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Geser Beton (Studi Penelitian)". Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena/hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya 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 keadaan sada dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2025

Saya yang menyatakan:



Muhammad Ananda

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK BESI SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN PASIR TERHADAP KUAT GESER BETON (STUDI PENELITIAN)

Muhammad Ananda
2107210081

Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kekutaan dan daya tahan yang baik. Namun, dalam upaya meningkatkan kualitas beton sekaligus mengurangi limbah industri, diperlukan inovasi pemanfaatan bahan alternatif sebagai campuran beton. Salah satu limbah yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah serbuk besi dari proses industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat geser beton. Metode penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji balok beton menggunakan variasi pengganti pasir dengan serbuk besi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 15%. Setiap variasi terdiri dari enam benda uji yang kemudian diuji pada umur 28 hari untuk mengetahui kuat geser yang dihasilkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi berpengaruh terhadap kuat geser beton. Beton normal memiliki kuat geser rata-rata sebesar 1,41 MPa. Pada beton serbuk besi (BSB 5%) kuat geser meningkat menjadi 1,57 MPa, dengan peningkatan sekitar 11,35% dibandingkan beton normal. Pada beton serbuk besi (BSB 10%) kuat geser mencapai 1,47 MPa, masih lebih tinggi dibanding beton normal dengan peningkatan sekitar 4,26%. Namun pada beton serbuk besi (BSB 15%) kuat geser justru menurun menjadi 1,37 MPa, dengan penurunan sekitar 2,84% dibanding beton normal. Dengan demikian, penggunaan serbuk besi optimal sebagai pengganti sebagian pasir terdapat pada persentase 5%, karena memberikan peningkatan kuat geser paling signifikan.

Kata Kunci: Beton, Serbuk Besi, Kuat Geser Beton

ABSTRACT

THE EFFECT OF USING IRON POWDER WASTE AS A SUBSTITUTE FOR SOME SAND ON THE SHEAR STRENGTH OF CONCRETE (RESEARCH STUDY)

Muhammad Ananda

2107210081

Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

Concrete is one of the most widely used construction materials because of its strength and durability. However, in an effort to improve the quality of concrete while reducing industrial waste, innovation is needed in the use of alternative materials as concrete mixes. One type of waste that has the potential to be utilized is iron powder waste from industrial processes. This study aims to determine the effect of using iron powder waste as a partial replacement for sand on the shear strength of concrete. The research method was carried out by making concrete beam test specimens using variations of sand replacement with iron powder at 0%, 5%, 10%, and 15%. Each variation consisted of six test specimens which were then tested at 28 days to determine the resulting shear strength. The results of this study indicate that the addition of iron powder affects the shear strength of concrete. Normal concrete has an average shear strength of 1.41 MPa. In iron powder concrete (BSB 5%), the shear strength increases to 1.57 MPa, an increase of approximately 11.35% compared to normal concrete. In iron powder concrete (BSB 10%), the shear strength reached 1.47 MPa, which was still higher than normal concrete with an increase of about 4.26%. However, in iron powder concrete (BSB 15%), the shear strength actually decreased to 1.37 MPa, a decrease of about 2.84% compared to normal concrete. Thus, the optimal use of iron powder as a partial replacement for sand is at a percentage of 5%, as it provides the most significant increase in shear strength.

Keywords: Concrete, Iron Powder, Concrete Shear Strength

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Geser Beton” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penyusunan skripsi ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., P.hD., selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Sekretaris Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Josef Hadipramana S.T., M.Sc., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda Achmad Yusuf Lubis dan Ibunda Husniah yang telah menjadi sumber semangat terbesar dalam hidup penulis. Terima kasih

atas segala doa yang tidak pernah putus, dukungan, kasih sayang, dan pengorbanan yang tiada henti.

9. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil Kelas B Pagi Stambuk 2021 yang sampai saat ini masih kebersamai saya untuk sama-sama berjuang mendapatkan gelar S.T.
10. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri karena sudah menyelesaikan Tugas Akhir ini, meskipun banyak tantangan di tengah jalan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk menjadi bahan pembelajaran penulis di masa depan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis sendiri, bagi pengembangan ilmu pengetahuan, maupun bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Medan,
Saya yang menyatakan:

Muhammad Ananda
2107210081

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Bahan Pembuatan Beton	6
2.2.1 Semen	6
2.2.2 Agregat Halus	6
2.2.3 Agregat Kasar	7
2.2.4 Air	7
2.2.5 Bahan Tambah	8
2.3 Limbah Serbuk Besi	8
2.4 Pasir Laut	10
2.5 Slump Test	11
2.6 Kuat Geser Beton	11
2.7 Penelitian Terdahulu	13

BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian Umum	19
3.2 Sumber Data dan Teknik Pengambilan Data	19
3.2.1 Data Primer	19
3.2.2 Data Sekunder	19
3.2.3 Teknik Pengumpulan Data	22
3.3 Pelaksanaan Penelitian	22
3.3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.3.2 Rancangan Penelitian	22
3.4 Bahan dan Peralatan	23
3.4.1 Bahan	23
3.4.2 Peralatan	23
3.5 Persiapan Penelitian	24
3.6 Pemeriksaan Agregat	25
3.6.1 Analisa Saringan	25
3.6.2 Kadar Air	25
3.6.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya	26
3.6.4 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya	26
3.6.5 Berat Isi Agregat	27
3.6.6 Kadar Lumpur Agregat	28
3.7 <i>Mix Design</i>	28
3.8 Pembuatan Benda Uji	28
3.9 <i>Slump Test</i>	29
3.10 Perendaman Benda Uji	30
3.11 Pengujian Kuat Geser Beton	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Tinjauan Umum	31
4.2 Hasil Pemeriksaan Agregat	31
4.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar	31
4.3.1 Analisa Saringan Agregat Kasar	31
4.3.2 Kadar Air Agregat Kasar	33
4.3.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	34

4.3.4 Berat Isi Agregat Kasar	35
4.3.5 Kadar Lumpur Agregat Kasar	36
4.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus	37
4.4.1 Analisa Saringan Agregat Halus	37
4.4.2 Kadar Air Agregat Halus	39
4.4.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	40
4.4.4 Berat Isi Agregat Halus	40
4.4.5 Kadar Lumpur Agregat Halus	41
4.5 Hasil Pemeriksaan Serbuk Besi	42
4.5.1 Analisa Saringan Serbuk Besi	42
4.5.2 Kadar Air Serbuk Besi	44
4.5.3 Berat Jenis dan Penyerapan Serbuk Besi	45
4.5.4 Berat Isi Serbuk Besi	46
4.5.5 Kadar Lumpur Serbuk Besi	46
4.6 Perencanaan Campuran Beton	47
4.7 <i>Slump Test</i>	55
4.8 Kuat Geser Beton	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	65
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Pada Serbuk Besi	9
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1 Variasi Campuran Beton	22
Tabel 3.2 Rumus Menghitung Berat Jenis Agregat Halus	26
Tabel 3.3 Rumus Menghitung Berat Jenis Agregat Kasar	27
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	32
Tabel 4.2 Batas Gradasi Agregat Kasar	33
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	34
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	34
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar	35
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	36
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	37
Tabel 4.8 Daerah Gradasi Agregat Halus	38
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	39
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	40
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus	41
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	41
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan Serbuk Besi	42
Tabel 4.14 Daerah Gradasi Agregat Halus	43
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kadar Air Serbuk Besi	44
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Serbuk Besi	45
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Berat Isi Serbuk Besi	46
Tabel 4.18 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Serbuk Besi	47
Tabel 4.19 Data Hasil Tes Dasar	47
Tabel 4.20 Faktor Modifikasi untuk Deviasi Standar Berdasarkan Jumlah Benda Uji (SNI 2834-2013)	48
Tabel 4.21 Perkiraan Kebutuhan Air Per-Meter ³ Beton (SNI 03-2834-2000)	49
Tabel 4.22 Persyaratan FAS dan Jumlah Semen Minimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus	

(SNI 03-2834-2000)	50
Tabel 4.23 Rekapitulasi <i>Mix Design</i> dan Proporsi Campuran Beton	54
Tabel 4.24 Proporsi Campuran Benda Uji dan Penambahan Serbuk Besi	55
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>Slump</i>	56
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kuat Geser	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gaya Geser Pada Balok	12
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	21
Gambar 3.2 Benda Uji Beton Silinder	29
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Kasar 20 mm	33
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Pasir yang Lewat Gradasi Daerah II	39
Gambar 4.3 Grafik Gradasi Serbuk Besi	44
Gambar 4.4 Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-Rata	51
Gambar 4.5 Grafik Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan untuk Ukuran Butir Maksimal 20 mm	52
Gambar 4.6 Grafik Perkiraan Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	53
Gambar 4.7 Diagram Batang Nilai <i>Slump</i>	56
Gambar 4.8 Diagram Batang Nilai Kuat Geser Rata-Rata (MPa)	58
Gambar L.1 Semen Portland (<i>Portland Cement</i>) Tipe I	66
Gambar L.2 Agregat Kasar	66
Gambar L.3 Agregat Halus	67
Gambar L.4 Serbuk Besi	67
Gambar L.5 Proses Pembuatan Beton Secara Manual	68
Gambar L.6 Pengujian <i>Slump Test</i>	68
Gambar L.7 Beton Segar Dimasukkan ke Dalam Cetakan Balok	69
Gambar L.8 Perendaman Benda Uji	69
Gambar L.9 Benda Uji Ditimbang Sebelum Diuji	70
Gambar L.10 Pengujian Kuat Geser Beton	70

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

v	= Tegangan geser rata-rata	(MPa)
V	= Gaya geser	(N)
b	= Lebar balok	(mm)
d	= Tinggi bidang geser	(mm)
P	= Kadar air benda uji	(%)
W_1	= Massa benda uji	(gr)
W_2	= Massa benda uji kering oven	(gr)
A	= Berat benda uji kering oven	(gr)
B	= Berat piknometer berisi garam	(gr)
C	= Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai dengan batas pembacaan	(gr)
S	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	(gr)
W_3	= Berat contoh	(gr)
W_2	= Berat wadah	(gr)
W_1	= Berat contoh dan wadah	(gr)
V	= Volume wadah	(cm ³)
FM	= Modulus kehalusan	(%)
f^c	= Kuat tekan beton	(MPa)
f^{cr}	= Kuat tekan rata-rata beton yang ditargetkan	(MPa)
W_k	= Agregat kasar	(kg/m ³)
W_h	= Agregat halus	(kg/m ³)
FAS	= Faktor Air Semen	
SNI	= Standar Nasional Indonesia	
S_r	= Deviasi standar	(MPa)
m	= Nilai tambah	(MPa)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan infrastruktur di Indonesia sangat cepat, dan karena pengembangan infrastruktur terus meningkat, pengembangan teknologi pada material bangunan juga ikut meningkat terutama pada elemen struktural maupun arsitektural. Salah satu teknologi beton yang dikembangkan untuk memiliki kualitas yang lebih baik adalah material tambahan limbah serbuk besi (Syaihu, 2022).

Beton telah menjadi salah satu bahan bangunan utama yang sangat penting untuk kebutuhan industri *real estate* dan konstruksi sipil. Hampir semua struktur bangunan di Indonesia dan luar negeri menggunakan beton sebagai bahan utama untuk konstruksi. Beton memiliki banyak keunggulan karena bahan ini merupakan bahan konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan salah satunya pengerjaannya yang mudah. Beton adalah salah satu konstruksi yang umumnya terdiri dari air, semen, dan agregat. Penggunaan beton saat ini tersedia tidak hanya untuk area struktural tetapi juga untuk area non-struktural. Banyak komponen non-struktural bangunan yang terbuat dari beton misalnya dinding, kolam praktis, perabot rumah maupun berbagai macam hiasan (Aulia, 2023).

Seiring perkembangan pembangunan yang sangat maju dan pesat yang diiringi dengan jumlah populasi manusia yang semakin meningkat membuat kebutuhan material beton semakin menipis. Bahan-bahan limbah yang bisa didapatkan di sekitar lingkungan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton. Sebagian daerah Indonesia merupakan daerah industri, oleh karena itu perlu mencari inovasi baru untuk campuran beton dengan menggunakan hasil limbah yang sudah tidak dimanfaatkan lagi (Ananda, 2024).

Fungsi dari bahan pengganti campuran beton adalah untuk memodifikasi sifat-sifat dan karakteristik beton itu sendiri diantaranya adalah untuk memudahkan pengerjaan. Pemanfaatan serbuk besi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan

tambahan untuk menggantikan sebagian pasir dalam pembuatan beton untuk meningkatkan kekuatan beton dan daya tahan beton (Bawamenewi, 2023).

Serbuk besi sebagai produk sampingan dari industri logam, memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengganti sebagian pasir dalam campuran beton. Serbuk besi memiliki sifat fisik dan kimia yang unik, seperti kepadatan yang tinggi dan kemampuan untuk meningkatkan kekuatan beton. Penggunaan serbuk besi sebagai bahan pengganti pasir tidak hanya mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam, tetapi juga dapat memanfaatkan limbah industri secara efektif (Apriyadi, 2020).

Jika dilihat dari struktur sebenarnya, material serbuk besi ini mempunyai kualitas yang sebanding dengan pasir. Sifat sebenarnya yang disinggung adalah mengenai ukuran bahan serbuk besi. Sejalan dengan itu, pasir juga bersumber dari sumber daya alam yang pada akhirnya akan habis dan tidak mudah untuk didapatkan, sehingga diperlukan pilihan lain sebagai bahan pengganti (Bawamenewi, 2023).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka perlu dilakukan penelitian bagaimana jika serbuk besi digunakan sebagai bahan pengganti sebagian pasir terhadap campuran beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapat beberapa permasalahan diantaranya sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat geser beton?
2. Berapa persentase optimal penggunaan serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir untuk menghasilkan kuat geser beton yang maksimal?

1.3 Ruang Lingkup

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka penulis membatasi permasalahan diantaranya sebagai berikut:

1. Metode perencanaan campuran beton menggunakan SNI (Standar Nasional Indonesia).
2. Penelitian ini berfokus pada uji kuat geser beton.
3. Material utama yang digunakan dalam pembuatan beton adalah semen portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air, dan limbah serbuk besi sebagai substitusi sebagian pasir.
4. Serbuk besi yang digunakan berasal dari limbah industri logam yang telah disaring dan dikeringkan sebelum dicampurkan ke dalam adukan beton.
5. Umur beton yang diuji adalah 28 hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir terhadap kuat geser beton.
2. Untuk mengetahui berapa persentase optimal penggunaan serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir untuk menghasilkan kuat geser beton yang maksimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, khususnya dalam pemanfaatan limbah industri sebagai bahan tambahan pada campuran beton. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai penggunaan limbah serbuk besi dalam beton.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini diuraikan dalam lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data, dan metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan berdasarkan hasil dan pembahasan dan memberikan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir sebagai suatu usulan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI 03-2834-2000 beton merupakan campuran antara semen *Portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambah (*admixture*) membentuk massa padat. Beton sendiri merupakan struktur bangunan yang sudah sangat umum digunakan dalam bidang konstruksi bangunan sipil (Syaihu, 2022).

Beton cenderung menua dan mengeras seiring berjalannya waktu, mencapai kekuatan desain yang ditetapkan oleh periode tertentu, biasanya 28 hari, sesuai standar SNI 2487 tahun 2013. Proses ini menandakan bahwa beton semakin bertambah usia, juga semakin meningkatkan kekuatannya terhadap berbagai faktor lingkungan (Bawamenewi, 2023).

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari agregat dan terbungkus oleh matrik semen yang mengisi ruang diantara partikel-partikel sehingga membentuk satu kesatuan. Beton sebagai bahan konstruksi yang terdiri dari campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Jika campuran tersebut dituang ke dalam cetakan lalu dibiarkan maka campuran tersebut akan mengeras seperti batu. Pengerasan bisa terjadi karena adanya reaksi kimia dalam jangka panjang antara air dan semen, yang berarti campuran mengeras seiring bertambahnya usia, rongga terbentuk diantara butiran besar (butir kasar, kerikil atau batu pecah) diisi dengan butiran yang lebih kecil (agregat halus dan pasir), dan pori-pori diantara agregat halus diisi dengan semen dan air (pasta semen) (Aulia, 2023).

Kualitas beton dapat ditentukan dengan cara pemilihan bahan-bahan pembentuk beton yang baik, perhitungan proporsi yang tepat, cara pengerjaan dan perawatan beton dengan baik, serta pemilihan bahan tambah yang tepat dengan jumlah optimum yang diperlukan (Zulkarnain dan Kamil, 2021).

2.2 Bahan Pembuatan Beton

Beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidraulik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah. Dengan kombinasi antara semen dan air, bersama dengan komposisi agregat yang tepat, beton mampu menghasilkan struktur bangunan yang berkualitas tinggi. Adanya kedua komponen utama ini dalam pembuatan beton menciptakan material yang kuat dan tahan lama untuk berbagai proyek konstruksi (Bawamenewi, 2023).

2.2.1 Semen

Semen adalah bahan perekat hidrolis yang artinya senyawa- senyawa yang terdapat di dalam semen tersebut mengalami reaksi dengan air yang kemudian membentuk zat yang digunakan untuk merekatkan batu bata, batako, maupun bahan bangunan lainnya (Aulia, 2023).

Fungsi utama semen adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat. Walaupun semen hanya mengisi 10% saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan yang aktif maka perlu dipelajari maupun dikontrol secara ilmiah (Apriyadi, 2020).

Semen dapat dibagi atas dua kelompok, yaitu:

- a. Semen hidraulis adalah semen Portland yang dapat mengeras dalam air menghasilkan padatan yang stabil dalam air.
- b. Semen non hidraulis adalah semen yang tidak dapat mengeras dalam air atau tidak stabil dalam air (Dewi dkk., 2022).

2.2.2 Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (Syaihu, 2022).

Agregat halus berfungsi mengisi pori-pori yang ada diantara agregat kasar, sehingga diharapkan dapat meminimal kandungan udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan. Adapun syarat- syarat dari agregat halus yang digunakan menurut PBI 1971, antara lain: pasir terdiri dari butir-butir tajam dan keras. Bersifat kekal artinya tidak mudah lapuk oleh penguasa cuaca, seperti terik matahari dan hujan. Tidak mengandung lumpur dari 5% lumpur adalah bagian yang bisa melewati ayakan 0,063 mm. Apabila kadar lumpur lebih dari 5% maka harus dicuci, khususnya pasir untuk pembuatan beton. Tidak mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak yang dibuktikan dengan percobaan warna dari abrams-harder. Agregat yang tidak memenuhi dari syarat percobaan ini biasa dipakai apabila kekuatan tekan adukan agregat tersebut pada umur 7 dan 28 hari tidak kurang dari 95% dari kekuatan adukan beton dengan agregat yang sama tetapi dicuci dalam larutan 3% NaOH (Parubahan, 2020).

2.2.3 Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm (Syaihu, 2022).

Agregat yang digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm. Butir-butir yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat reaktif terhadap alkali. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya boleh digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan (Parubahan, 2020).

2.2.4 Air

Air adalah bahan dasar pembuatan beton yang harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan sebagai bahan pelumas antara butir-

butir agregat, agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Air yang memenuhi persyaratan bahan bangunan, memenuhi syarat untuk bahan campuran beton. Air yang dapat dipakai untuk campuran beton adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih besar 90% kekuatan beton yang memakai air suling. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Apriyadi, 2020).

Dalam beton, air berfungsi sebagai bahan untuk bereaksi kimia dengan semen membentuk suatu pasta semen. Selain itu, air digunakan sebagai bahan pelumas pada beton yang berhubungan dengan *workability*. Pemberian air yang berlebihan pada adukan beton juga akan mengurangi kekuatan beton itu sendiri (Ainurrasyid, 2023).

2.2.5 Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) merupakan bahan-bahan yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama proses pencampuran berlangsung. Fungsi dari bahan tambah ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu ataupun untuk menghemat biaya. Bahan tambah biasanya diberikan dalam jumlah yang relative sedikit dan tetap harus pada pengawasan yang ketat agar tidak berlebihan karena apabila jumlah bahan tambah yang diberikan itu berlebihan dapat memperburuk sifat beton (Aulia, 2023).

2.3 Limbah Serbuk Besi

Limbah industri merupakan salah satu tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan global saat ini. Salah satu jenis limbah yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan kembali adalah limbah serbuk besi. Serbuk besi adalah hasil dari sisa potongan atau sisa pembubutan besi tuang yang merupakan hasil pemakaian di industri. Ada tiga jenis besi tuang yang banyak digunakan yaitu besi tuang kelabu (*grey cast iron*), besi tuang ulet atau besi tuang nodular (*nodular cast*

iron), dan besi tuang putih (*white cast iron*), ketiga jenis besi ini mempunyai komposisi kimia yang hampir sama (Setiawan dan Diana, 2022).

Akumulasi limbah serbuk besi dalam jumlah besar tidak hanya mengganggu estetika lingkungan, tetapi juga beresiko mencemari tanah dan air jika tidak ditangani dengan benar. Oleh karena itu, diperlukan solusi berkelanjutan yang tidak hanya mengurangi dampak limbah ini terhadap lingkungan, tetapi juga memberikan nilai tambah secara ekonomi dan teknis, salah satunya dengan pemanfaatannya dalam konstruksi beton (Bawamenewi, 2023).

Serbuk besi yang dihasilkan sebagai limbah umumnya memiliki partikel yang sangat halus, berwarna abu-abu kehitaman, dan memiliki kandungan utama besi (Fe) yang tinggi. Sifat fisik serbuk besi ini yang padat dan abrasif membuatnya menarik untuk dijadikan substitusi material dan konstruksi. Massa jenis yang tinggi dan kekasaran permukaan memungkinkan serbuk besi meningkatkan ikatan mekanis dalam matriks beton. Secara umum serbuk besi mengandung unsur kimia seperti tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kandungan kimia pada serbuk besi (Syaihu, 2022).

Kandungan Kimia	Persentase (%)
Silikon (Si)	1-3
Carbon (C)	2-4
Mangan (Mn)	0,8
Fosfor (P)	0,1
Sulfur (S)	0,05
Besi (Fe)	Sisa

Serbuk besi yang didapatkan dari alam umumnya merupakan senyawa besi dengan oksigen seperti *hematite* (Fe_2O_3), *magnetite* (Fe_3O_4), *limonite* (Fe_2O_3) atau *siderite* (Fe_2CO). Pembentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang terjadi selama beribu-ribu tahun. Kandungan senyawa besi di bumi ini mencapai 5% dari seluruh kerak bumi ini (Prasetyo dkk., 2024).

Limbah serbuk besi merupakan material alternatif yang sangat potensial untuk

dimanfaatkan dalam bidang konstruksi, khususnya sebagai pengganti sebagian pasir dalam beton. Penggunaan material ini terbukti mampu meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan beton, sekaligus memberikan kontribusi positif dalam pengurangan limbah industri (Apriyadi, 2020).

2.4 Pasir Laut

Pasir laut adalah jenis pasir yang ditemukan di pantai atau dasar laut. Ini adalah material yang terbentuk dari hasil erosi batuan dan mineral di daratan yang kemudian dibawa oleh air dan terdeposisi di wilayah pantai atau dasar laut. Karakteristik pasir laut melibatkan butiran-butiran kecil yang umumnya terdiri dari mineral-mineral seperti kurasa, kalsit, feldspar, dan mineral lainnya. Kandungan mineral dalam pasir laut dapat bervariasi tergantung pada sumber erosi yang menyuplai pasir ke lingkungan laut tersebut. Pasir laut sering kali memiliki warna yang khas, seperti warna putih, kuning, atau kecoklatan, tergantung pada jenis mineral yang dominan dalam komposisi pasir. Pasir ini sering digunakan dalam industri konstruksi, pembuatan beton, dan aplikasi lainnya karena sifat-sifatnya yang cocok untuk keperluan tersebut. Proses terbentuknya pasir laut melibatkan siklus erosi dan sedimentasi di daratan yang kemudian membawa partikel-partikel ke laut. Ombak dan arus laut membantu menyebarkan pasir ini dan mendepositkannya di pantai atau dasar laut. Pasir laut juga berperan dalam menjaga ekosistem laut dan memiliki dampak penting pada struktur pantai (Surianti dkk., 2023).

Air laut merupakan campuran 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam, bahan organik, serta partikel tak terlarut, dengan kadar garam rata-rata 35.000 ppm. Kandungan kimia utama air laut meliputi klorida (Cl), natrium (Na), magnesium (Mg), dan sulfat (SO₄), dengan pH berkisar antara 7,5-8,5. Air laut dapat merusak mortar dan beton melalui reaksi fisik maupun kimia, terutama akibat kandungan magnesium sulfat (MgSO₄) dan klorida yang menyebabkan agregasi kimia. Dalam proses hidrasi semen, terbentuk kalsium silikat hidrat (C-S-H) sebagai perekat dan kalsium hidroksida [Ca(OH)₂], yang dapat bereaksi dengan magnesium sulfat, menyebabkan degradasi beton. Serangan sulfat ditandai dengan

perubahan warna menjadi keputihan, retak, spalling, hingga pelunakan beton menjadi seperti lumpur. Awalnya kekuatan tekan beton dapat meningkat, namun seiring waktu drastic disertai pengembangan volume, akibat reaksi kimia dari senyawa seperti potassium dan magnesium sulfat dalam air laut (Zulkarnain dan Kamil, 2021).

2.5 Slump Test

Slump didefinisikan sebagai besarnya penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat. *Slump* merupakan tinggi dari adukan dalam kerucut terpancung terhadap tinggi adukan setelah cetakan diambil. *Slump* merupakan salah satu uji yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan suatu adukan beton yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*) (Kaloop dkk., 2020).

Tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton yang dinyatakan dalam nilai tertentu. Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan. Sebaliknya, semakin kecil nilai *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan (Fahrul dkk., 2023).

Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk kerucut terpancung yang memiliki diameter lubang atas 10 cm, diameter lubang bawah 20 cm, tinggi 30 cm serta dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat berdiameter 1,6 cm sepanjang 60 cm (Ubaidi dan Pratiwi, 2020).

2.6 Kuat Geser Beton

Kuat geser adalah kekuatan suatu komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan struktur dan menahan gaya- gaya lateral. Geser dalam beton selalu diikuti oleh desak dan tarik oleh lenturan. Kuat geser beton menjadi suatu perhatian penting karena kapasitas geser beton harus rendah jika dibandingkan dengan kemampuannya dalam menahan gaya tekan, dimana kekuatan geser beton mutu tinggi hanya berkisar antara 10-14% dari kuat tekan beton mutu

tinggi. Percobaan tegangan geser dapat menggunakan sistem pembebanan *third point loading* dimana dari percobaan ini didapat nilai beban yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat geser beton dengan persamaan berikut ini (Aulia, 2023).

$$v = \frac{V}{b \cdot d} \quad (2.1)$$

Dimana:

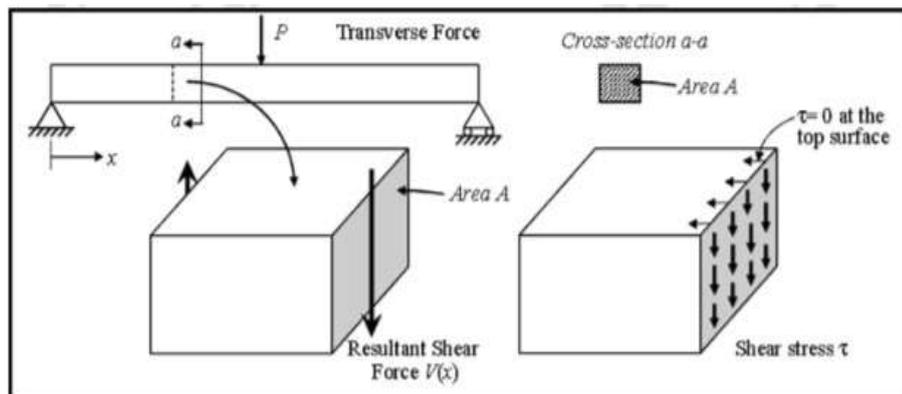
v = tegangan geser rata-rata (MPa)

V = gaya geser (N)

b = lebar balok (mm)

d = tinggi bidang geser (mm)

Secara umum, perilaku geser ialah suatu kondisi dimana perpindahan geser pada permukaan yang sudah retak lebih besar daripada sepanjang permukaan yang belum retak. Hal tersebut dibuktikan dengan permukaan kasar yang saling mengunci disepanjang retak bidang geser. Semakin besar perpindahan geser, maka semakin besar pula lebar retaknya. Hal tersebut terjadi karena massa beton di sisi sebelah retak akan terpisah dari bagian lainnya. Semakin lebar retaknya, maka akan semakin kecil gaya maksimum yang dapat ditahan oleh beton (Suseno dkk., 2024).



Gambar 2.1: Gaya geser pada balok.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini menggunakan hasil penelitian yang sudah ada sebelumnya sebagai tinjauan pustaka. Penelitian yang sudah ada dilakukan sebelumnya yang digunakan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Penelitian terdahulu.

No.	Peneliti	Judul	Kesimpulan
1.	Yudha Apriyadi (2020)	Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Dari Sisa Pengerjaan Bubut Besi Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus pada Campuran Beton Dengan Faktor Air Semen (FAS) 0,4	Dari hasil uji kuat tekan beton dengan penambahan serbuk besi dari Desa Limbang Jaya dapat disimpulkan sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none">• Penggunaan serbuk besi sebagai agregat halus mempengaruhi sifat beton secara signifikan. Semakin banyak serbuk besi – nilai <i>slump</i> menurun (beton lebih kaku).• Penambahan 25% serbuk besi menghasilkan kuat tekan terbaik 100% serbuk besi meningkatkan kuat tarik belah, tetapi menurunkan kuat tekan secara drastis.• Beton dengan serbuk besi tidak cocok untuk konstruksi berat. Namun, bisa digunakan untuk konstruksi ringan seperti paving blok, trotoar, atau elemen non-struktural.• Pemanfaatan serbuk besi dalam beton membantu mengurangi limbah industri, sehingga memiliki potensi sebagai material ramah lingkungan.

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

2.	Edifiktor Bawamenewi (2024)	Analisis Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Substitusi Terhadap Kuat Tekan Beton	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limbah serbuk besi dapat digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam beton, dengan peningkatan kuat tekan yang signifikan. • Persentase optimal adalah 15%, karena menghasilkan kuat tekan tertinggi (29,31 MPa). • Penggunaan serbuk besi sebagai bahan tambahan dapat menjadi solusi ramah lingkungan, mengurangi limbah industri dan meningkatkan efisiensi material konstruksi.
3.	Fakhri Rahmadillah Syaihu (2022)	Pengaruh Penggunaan Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir pada Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Serbuk besi dapat digunakan sebagai substitusi pasir dalam beton, meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik. • Kuat tekan dan kuat tarik meningkat secara signifikan dengan penambahan serbuk besi hingga 4,5%. Kuat tekan beton dengan 4,5% serbuk besi mencapai 31,078 MPa (peningkatan 24,3% dari beton normal 25 MPa). • Kuat Tarik beton juga meningkat dengan 2,374 MPa pada 4,5% serbuk besi. • Belum ditemukan titik optimum, sehingga perlu penelitian lanjutan dengan persentase serbuk besi yang lebih tinggi

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

4.	Ainnurrasyid (2023)	Pengaruh Penambahan Pecahan Tempurung Kelapa dan Sikament -NN Dalam Pembuatan Balok Beton Berdasarkan Uji Kuat Geser	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan pecahan tempurung kelapa dalam campuran beton degan variasi 1,5%, 1,7% dan 1,9% menyebabkan penurunan kuat tekan beton normal, tetapi meningkatkan kapasitas kuat geser. • Penambahan Sikamen -NN bersama pecahan tempurung kelapa juga menunjukkan penurunan kuat tekan dari beton normal, namun kapasitas kuat geser meningkat. • Variasi dengan tambahan 1,5% tempurung kelapa dan 2,3% Sikamen -NN menunjukkan peningkatan baik pada kuat tekan maupun kuat geser.
5.	Cut Khairuni Ananda (2024)	Pengaruh Abu Ampas Tebu dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Geser Beton	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan abu ampas tebu pada beton dengan variasi 3%, 5%, dan 7% menunjukan peningkatan kuat geser beton. Hasilnya adalah 0,73 MPa untuk 3%, 0,75% MPa untuk 5% dan 0,80 MPa untuk 7%. • Penambahan Gypsum sebesar 10% pada masing-masing variasi abu ampas tebu justru menyebabkan penurunan kuat geser. Hasilnya adalah 0,69% MPa untuk 3%, 0,54 MPa untuk 5% dan 0,45 MPa untuk 7%.

Tabel 2.2: Lanjutan.

6.	Mosbeh R. Kaloop, Pijush Samui, Mohamed Shafeek, and Jong Wan Hu (2020)	<i>Estimating Slump Flow and Compressive Strength of Self-Compacting Concrete Using Emotional Neural Networks</i>	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Model dikembangkan berdasarkan data dari 90 variasi campuran <i>self-compacting concrete</i> yang mengandung <i>fly ash</i>, <i>silica fume</i>, dan <i>limestone powder</i> sebagai pengganti sebagian semen. • <i>Fly ash</i> memberikan pengaruh paling besar terhadap nilai slump dan kuat tekan <i>self-compacting concrete</i> dibandingkan bahan lain.
7.	Roby Dwi Prasetyo, Dadang Dwi Pranowo, Ahmad Utanaka, M. Shofiul Amin, Wahyu Naris Wari (2024)	Pengaruh Subtitusi Pasir Menggunakan Serbuk Besi dan Zat Aditif Bestmittel 0,5% Terhadap Kuat Tekan Mutu Tinggi dan Resapan Air Mortar Pracetak Fero semen	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan 2,5% serbuk besi dan 0,5% bestmittel meningkatkan kuat tekan mortar hingga 56,28 Mpa, atau naik 7,99% dibanding mortar normal. • Nilai resapan air turun dari 9,01% menjadi 3,84%, dan rembesan air hanya 9% dalam 24 jam, menunjukkan mortar lebih kedap air. • Kombinasi serbuk besi dan bestmittel terbukti meningkatkan kekuatan serta ketahanan air, menjadikannya cocok untuk aplikasi mortar pracetak fero semen.

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

8.	Alvin Ary Setiawan dan Anita Intan Nura Diana (2022)	Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Sebagai Bahan Campuran Pasir Pada Pembuatan Paving Block Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan serbuk besi hingga 25% meningkatkan kuat tekan paving block dari 14,84 Mpa (0%) menjadi 17,12 Mpa (25%). • Daya serap tertinggi terjadi pada variasi 5% (9,76%), dan terendah pada 25% (8,55%). • Secara statistik, penambahan serbuk besi tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan dan daya serap paving block.
9.	Subaidillah Fansuri dan Anita Intan Nura Diana (2020)	Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Besi Sebagai Admixture Agregat Halus	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Penambahan limbah serbuk besi sebagai admixture agregat halus berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton. • Variasi optimum terdapat pada penambahan 10% - 30%, dengan kuat tekan maksimum 21,42 N/mm² dan peningkatan sebesar 26% - 60% dibanding beton normal. • Penambahan serbuk besi lebih dari 30% justru menurunkan kuat tekan, sehingga penggunaannya tidak disarankan berlebihan.

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

10.	Putri Aulia (2023)	Uji Kuat Geser Beton Dengan Menggunakan Pasir Pantai Sebagai Agregat Halus dan <i>Sikacim Concrete Additive</i> Sebagai Bahan Tambah	<p>Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limbah serbuk besi dapat dimanfaatkan sebagai admixture agregat halus akrena karakteristik fisik yang mendekati pasir dan mampu meningkatkan mutu beton. • Penambahan serbuk besi pada variasi 10% - 30% menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 21,42 N/mm² dengan peningkatan kekuatan 26% - 60% dibanding beton normal. • Penambahan serbuk besi lebih dari 30% justru menurunkan kuat tekan beton, sehingga variasi terbaik adalah pada rentang 10% - 30%.
-----	--------------------	--	---

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian Umum

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang melakukan suatu proses atau percobaan untuk mendapatkan data dan menganalisa data yang diperoleh. Dalam penelitian ini metodologi berfungsi sebagai panduan kegiatan dalam pengumpulan data.

3.2 Sumber Data dan Teknik Pengambilan Data

3.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil yang dilaksanakan di laboratorium. Data yang diperoleh dari hasil perhitungan di laboratorium seperti:

- a. Analisa saringan agregat (SNI ASTM C136:2012)
- b. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970:2016)
- c. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969:2016)
- d. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971:2011)
- e. Pemeriksaan kadar lumpur agregat (ASTM C177:2013)
- f. Pemeriksaan berat isi agregat (ASTM C29:2009)
- g. Perencanaan campuran beton (*mix design*) (SNI 03-2834-2000)
- h. Kekentalan adukan beton segar (*slump*) (SNI 1972:2008)
- i. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011)
- j. Uji kuat geser beton

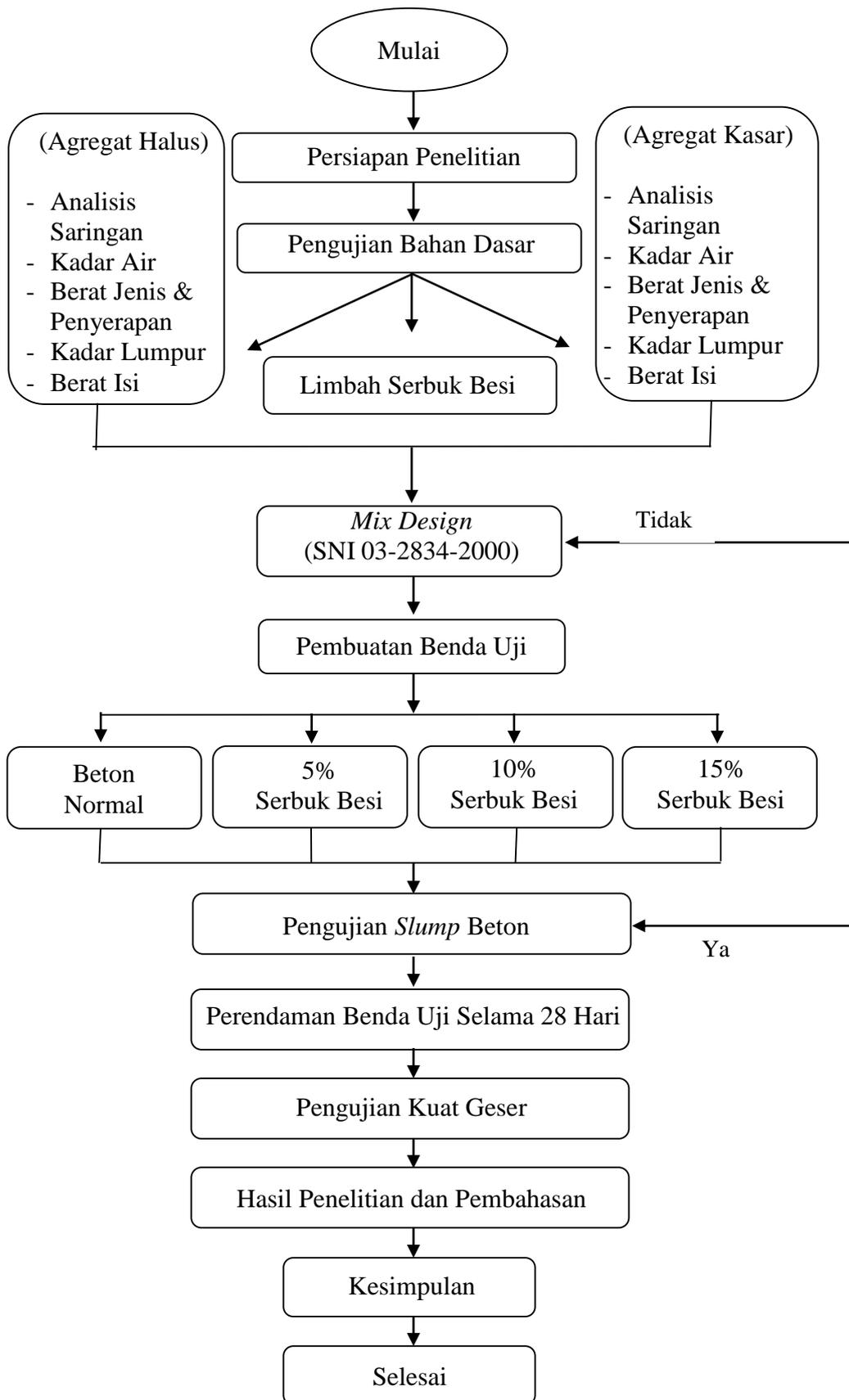
3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan teknik beton (*literatur*), dan data-data teknis SNI 03-2834-2000 serta buku SNI lainnya yang berhubungan dengan beton dan konsultasi

langsung dengan Dosen Pembimbing, serta tim pengawas Laboratorium BBPJJN Sumut guna untuk memperkuat suatu penelitian yang dilakukan. Metode penelitian dilakukan dengan cara membuat benda uji terlebih dahulu di Laboratorium BBPJJN Sumut. Benda uji dalam penelitian ini adalah beton normal dan juga menggunakan serbuk besi sebagai bahan pengganti sebagian bahan campuran agregat halus dengan variasi 5%, 10%, dan 15%. Sedangkan waktu pengujian yang dilakukan adalah setelah beton berumur 28 hari.

Persiapan material merupakan langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini, kemudian dilakukan pengujian material yang mencakup seluruh bahan dalam pembuatan beton yaitu pengujian agregat halus dan kasar, pengujian semen, pengujian air dan serbuk besi sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat geser beton. Jika semua tahap telah dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan *mix design*. Pada tahap ini semua bahan yang sudah diuji akan dicampur menjadi satu berdasarkan data yang telah didapat sebelumnya. Benda uji akan dibuat pada cetakan berbentuk balok sebanyak 24 buah yang akan diuji pada umur beton 28 hari.

Kemudian pengujian benda uji yaitu kuat geser beton, dan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian dilampirkan di dalam pembahasan yang akan dihitung analisa datanya. Tahap-tahap penelitian dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Tahapan penelitian.

3.2.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen. Untuk beberapa hal pada pengumpulan data, digunakan data sekunder.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium BBPJN Sumut (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Utara), Jalan Sakti Lubis No. 1, Medan. Penelitian ini dimulai pada bulan Juni-Agustus 2025.

3.3.2 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimen. Rancangan penelitian ini menggunakan campuran limbah serbuk besi dengan persentase 5%, 10%, dan 15%. Benda uji yang akan dibuat adalah berbentuk balok untuk menguji kuat geser beton. Jumlah sampel penelitian sebanyak 24 buah dengan umur 28 hari. Untuk lebih jelasnya persentase limbah serbuk besi pada pembuatan benda uji kuat geser beton akan disajikan ke dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Variasi campuran beton.

No.	Benda Uji	Semen	Agregat Kasar	Agregat Halus	Serbuk Besi	Umur Beton (Hari)	Jumlah Sampel
1.	BN	100%	100%	100%	0%	28	6
2.	BSB	100%	100%	95%	5%	28	6
3.	BSB	100%	100%	90%	10%	28	6
4.	BSB	100%	100%	85%	15%	28	6
Jumlah						24	

Keterangan:

BN = Beton Normal

BSB = Beton Serbuk Besi

3.4 Bahan dan Peralatan

3.4.1 Bahan

Material pembentuk beton yang digunakan, yaitu:

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Merah Putih PC (*Portland Cement*) tipe I.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang diperoleh dari Pinang Lombang, Sumatera Utara.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah yang diperoleh dari Pinang Lombang, Sumatera Utara.

4. Air

Air yang digunakan berasal dari PDAM Tirtanadi Medan.

5. Serbuk Besi

Diperoleh dari hasil pengolahan limbah yang dijual di toko online CMN Shop.

3.4.2 Peralatan

Alat-alat yang digunakan di dalam penelitian ini telah tersedia di Laboratorium BBPJJN Sumut. Alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Satu set saringan agregat halus, yaitu No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, Pan. Adapun untuk agregat kasar yang digunakan antara lain 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", No. 4, dan Pan.

2. Timbangan digital

Sebagai alat untuk menimbang berat bahan yang digunakan secara akurat.

3. Gelas ukur
Sebagai takaran air.
4. Wadah atau ember
Sebagai tempat air perendaman sampel.
5. Oven
Berfungsi untuk mengeringkan sampel bahan.
6. Kerucut Abrams
Sebagai alat untuk menguji *slump*.
7. Tongkat penumbuk
Untuk memadatkan benda uji.
8. Penggaris
Sebagai pengukur tinggi *slump*.
9. Plastik
Sebagai wadah agregat
10. Cetakan balok
Berfungsi untuk mencetak benda uji.
11. Sekop tangan
Berfungsi untuk mengaduk dan memasukkan agregat ke dalam cetakan.
12. Sendok semen
Berfungsi untuk meratakan adonan beton.
13. Pan
Sebagai wadah campuran beton.
14. *Universal Testing Machine* (UTM)
Alat untuk menguji kuat geser beton.

3.5 Persiapan Penelitian

Setelah seluruh material dipilih di lokasi kemudian material dipisahkan menurut jenisnya untuk mempermudah tahapan-tahapan penelitian dan juga agar material tidak tercampur dengan bahan- bahan yang lain sehingga mempengaruhi

kualitas material. Material dibersihkan dari lumpur dan melakukan penjemuran pada material yang basah.

3.6 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat kasar dan halus bertujuan untuk mengetahui kelayakan agregat untuk bahan pencampuran dan pembentukan beton. Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus dilakukan di Laboratorium beton mengikuti panduan SNI tentang pemeriksaan agregat.

3.6.1 Analisa Saringan

Analisa saringan adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Analisa saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir agregat dan untuk menentukan pembagian gradasi agregat halus dan agregat kasar.

Gradasi agregat adalah distribusi butiran-butiran dari agregat. Gradasi baik adalah campuran agregat dengan ukuran butiran yang terdistribusikan dengan merata. Ukuran butiran agregat bergradasi baik disebut juga dengan agregat bergradasi rapat.

3.6.2 Kadar Air

Kadar air adalah persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah ataupun kering. Jumlah air yang terkandung dalam agregat perlu diketahui karena akan mempengaruhi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton. Perhitungan kadar air dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dimana:

P = Kadar air benda uji (%)

W₁ = Massa benda uji (gr)

W₂ = Massa benda uji kering oven (gr)

3.6.3 Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapannya

Berat jenis suatu agregat merupakan perbandingan antara nilai massa dan volume dari bahan yang diuji. Sedangkan penyerapan merupakan tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent*), berat jenis kering oven (*Bulk*), persentase penyerapan air dari bahan pasir dan abu batu yang akan digunakan sebagai bahan campuran pada beton.

Untuk menghitung berat jenis agregat halus dapat digunakan rumus sebagai berikut:

Tabel 3.2: Rumus menghitung berat jenis agregat halus.

Perhitungan	Notasi
Berat jenis curah (S_d)	$\frac{A}{B + S - C}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{S}{B + S - C}$
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{B + A - C}$
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{S - A}{A} \right] \times 100\%$

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer berisi garam (gr)

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

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

3.6.4 Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapannya

Berat jenis suatu agregat merupakan perbandingan antara nilai massa dan volume dari bahan yang diuji. Sedangkan penyerapan merupakan tingkat atau

kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis jenuh kering permukaan (*Saturated Surface Dry*), berat jenis semu (*Apparent*), berat jenis kering oven (*Bulk*), persentase penyerapan air dari bahan pasir dan abu batu yang akan digunakan sebagai bahan campuran pada beton.

Untuk menghitung berat jenis agregat kasar dapat digunakan rumus sebagai berikut:

Tabel 3.3: Rumus menghitung berat jenis agregat kasar.

Perhitungan	Notasi
Berat jenis curah (S_d)	$\frac{A}{B - C}$
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	$\frac{B}{B - C}$
Berat jenis semu (S_a)	$\frac{A}{A - C}$
Penyerapan air (S_w)	$\left[\frac{B - A}{A} \right] \times 100\%$

Keterangan:

- A = Berat benda uji kering oven (gr)
- B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan diudara (gr)
- C = Berat benda uji dalam air (gr)

3.6.5 Berat Isi Agregat

Berat isi disebut juga dengan berat satuan agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan campuran beton, apabila jumlah bahan ditakan dengan ukuran volume. Besar kecilnya berat agregat tergantung pada berat butiran agregat maka semakin besar pula berat isi agregat dan sebaliknya. Karena berat isi agregat berbanding lurus dengan berat butir agregat sedangkan semakin besar volume agregat maka semakin kecil berat isi agregat karena berat isi agregat berbanding terbalik dengan besarnya volume

agregat.

Berat volume agregat ditinjau dalam dua keadaan yaitu berat volume gembur dan berat volume padat. Berat volume gembur merupakan perbandingan berat agregat dengan volume sedangkan berat volume padat adalah perbandingan berat agregat dalam keadaan padat dengan volume. Perhitungan berat isi agregat dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat isi} = \frac{W_3}{V} \quad (3.2)$$

Dimana:

W_3 = Berat contoh ($W_3 = W_1 - W_2$) (gr)

W_2 = Berat wadah (gr)

W_1 = Berat contoh dan wadah (gr)

V = Volume wadah (cm^3)

3.6.6 Kadar Lumpur Agregat

Pemeriksaan kadar lumpur agregat dilakukan dengan tujuan untuk menentukan persentase kadar lumpur yang terkandung dalam agregat. Kandungan lumpur yang berlebihan akan mengakibatkan ikatan agregat dengan semen akan rapuh sehingga kuat geser beton tidak akan diperoleh.

3.7 Mix Design

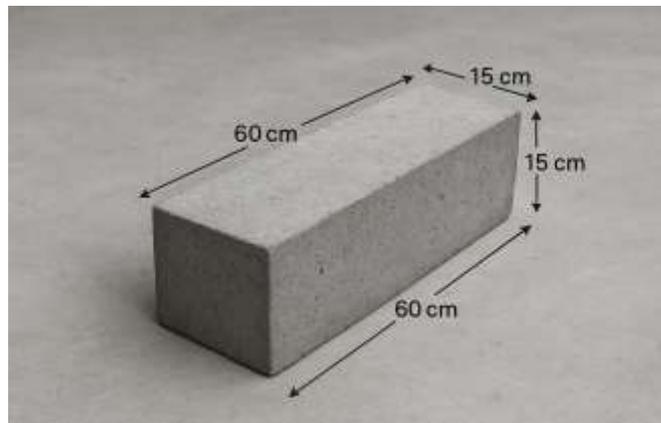
Mix design dapat didefinisikan sebagai proses merancang dan memilih bahan yang cocok dan menentukan proporsi relatif dengan tujuan memproduksi beton dengan kekuatan tertentu, daya tahan dan seekonomis mungkin.

3.8 Pembuatan Benda Uji

Benda uji berbentuk balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm, sebanyak

24 buah sebagai berikut:

1. Beton normal, dengan umur beton 28 hari perendaman. Terdapat 6 buah benda uji untuk diambil nilai rata-ratanya.
2. Beton dengan campuran limbah serbuk besi sebesar 5%, dengan umur beton 28 hari perendaman. Terdapat 6 buah benda uji untuk diambil nilai rata-ratanya.
3. Beton dengan campuran limbah serbuk besi sebesar 10%, dengan umur beton 28 hari perendaman. Terdapat 6 buah benda uji untuk diambil nilai rata-ratanya.
4. Beton dengan campuran limbah serbuk besi sebesar 15%, dengan umur beton 28 hari perendaman. Terdapat 6 buah benda uji untuk diambil nilai rata-ratanya.



Gambar 3.2: Benda uji balok beton.

3.9 Slump Test

Slump test merupakan uji yang digunakan untuk menentukan konsistensi dari campuran beton untuk menentukan konsistensi atau tingkat *workability*. Kekuatan dalam campuran beton menunjukkan berapa banyak air yang digunakan. Maka dari itu *slump test* ini akan menunjukkan apakah campuran beton tersebut kekurangan, kelebihan ataupun kecukupan air.

Dalam suatu adukan atau campuran beton, kadar air sangat diperhatikan karena akan menentukan tingkat *workability*. Campuran beton yang terlalu cair akan menyebabkan mutu beton yang rendah dan akan lama mengeringnya.

Bentuk *slump* akan berbeda sesuai kadar airnya yaitu sebagai berikut:

1. *Collapse* atau runtuh

Keadaan ini disebabkan karena kandungan airnya terlalu banya sehingga campuran beton dalam cetakan mengalami *collapse*.

2. *True* atau benar

Pada keadaan ini, bagian atas sebagian tertahan, sebagian runtuh sehingga berbentuk miring.

Alat uji *slump test* beton harus berupa cetakan yang terbuat dari bahan logam yang tidak lengket dan tidak bereaksi dengan pasta beton. Ketebalan logam tidak boleh lebih kecil dari 1,5 mm. Cetakan uji *slump* harus berbentuk kerucut terpancang dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 107 mm, tinggi 305 mm.

Penetapan nilai *slump* dilakukan dengan mempertimbangkan faktor- faktor berikut ini:

1. Cara pengangkatan adukan beton.
2. Cara penuangan adukan beton.
3. Cara pengadukan beton segar.
4. Jenis struktur yang dibuat.

3.10 Perendaman Benda Uji

Setelah beton dikeluarkan dari cetakan maka dilakukan perawatan benda uji dengan perendaman dalam air sampai uji kuat geser dilakukan, yaitu pada umur 28 hari.

3.11 Pengujian Kuat Geser Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat geser beton setelah 28 hari dari umur beton. Pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm. Jumlah benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat geser ini adalah 24 buah.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Data dari penelitian ini sudah dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil dan tujuan sesuai dengan yang direncanakan dan juga mengikuti panduan dari SNI. Peneliti memperoleh data material diantaranya analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, berat isi, kadar air, dan kadar lumpur. Pemeriksaan bahan ini dilakukan di Laboratorium BBPJN Sumut.

4.2 Hasil Pemeriksaan Agregat

Pada pemeriksaan agregat baik itu kasar dan agregat halus dilakukan sesuai dengan panduan dari SNI dan buku-buku tentang pemeriksaan agregat. Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dan agregat halus yaitu pasir sungai yang diperoleh di satu lokasi yang sama dengan agregat kasar yaitu dari Pinang Lombang. Adapun kualitasnya sudah sesuai untuk digunakan sebagai bahan penelitian ini.

4.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Pada penelitian ini agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah yang diperoleh dari Pinang Lombang, Sumatera Utara. Umumnya batu pecah yang digunakan ini kualitasnya sudah sesuai untuk digunakan menjadi bahan bangunan. Adapun pemeriksaan yang dilakukan diantaranya analisa saringan, kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan kadar lumpur.

4.3.1 Analisa Saringan Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar dan berdasarkan pada

(SNI ASTM C136:2012) tentang analisa saringan agregat kasar. Dari hasil penelitian ini didapat nilai analisa saringan agregat kasar yang ada pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar.

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan	Lolos
mm (Inci)	gr	gr	(d)	(e)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
75,0 mm (3 inci)	0	0	0	100
37,0 mm (1 1/2 inci)	0	53	0,88	99,12
19,0 mm (3/4 inci)	612	665	10,99	89,01
9,0 mm (3/8 inci)	5365	6030	99,65	0,35
4,75 mm (No. 4)	16	6046	99,92	0,08
2,36 mm (No. 8)	-	-	100	0
1,18 mm (No. 16)	-	-	100	0
0,6 mm (No. 30)	-	-	100	0
0,3 mm (No. 50)	-	-	100	0
0,15 mm (No. 100)	-	-	100	0
0,075 mm (NO. 200)	-	-	100	0
Pan	5	6051	100	0
Modulus Kehalusan	5000		811,44	

Berdasarkan Tabel 4.1 maka diperoleh nilai modulus kehalusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{FM (Modulus Kehalusan)} &= \frac{\sum \text{Berat tertahan kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{811,44}{100} \\
 &= 8,11
 \end{aligned}$$

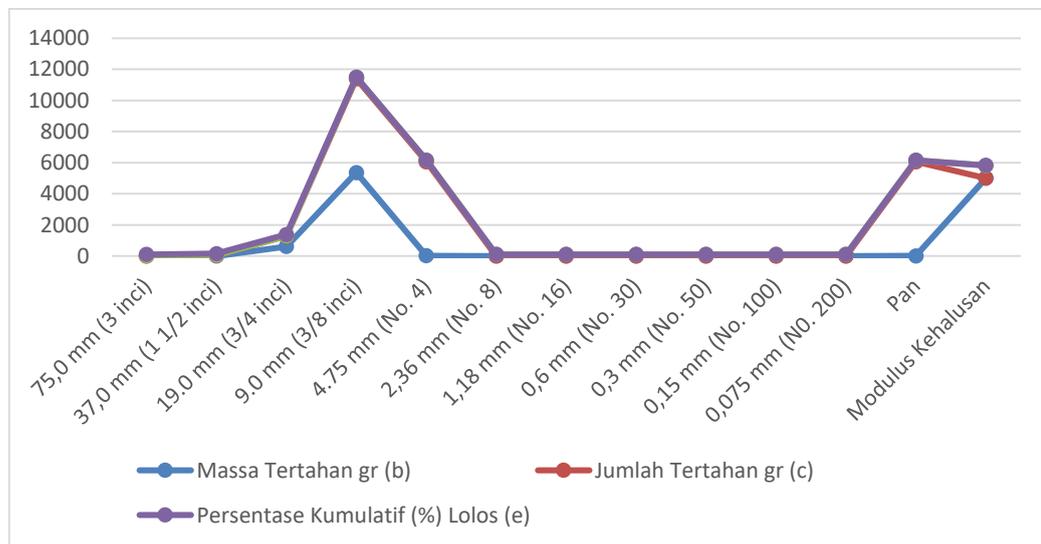
Dari hasil pengujian didapat hasil FM (Modulus Kehalusan) sebesar 8,11%. Nilai ini melebihi dari batas yang diizinkan pada ASTM C33, yaitu 6-7% sehingga gradasi agregat kasar batu pecah ini cenderung kasar.

Untuk mengetahui batas gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Batas gradasi agregat kasar.

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

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui gradasi agregat kasar yang digunakan adalah dengan ukuran butir 20 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Grafik gradasi agregat kasar 20 mm.

4.3.2 Kadar Air Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar air berpedoman pada (SNI 1971:2011). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar air agregat kasar yang ada pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Hasil pengujian kadar air agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		gr	6628	5628
Massa Wadah	b		gr	628	628
Massa Benda Uji	W1	a - b	gr	6000	5000
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		gr	6616	5618
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	c - b	gr	5988	4990
Kadar Air Total	P	$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$	%	0,20	0,20
Rata - Rata			%	0,20	

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali yang mana pengujian pertama didapat hasil sebesar 0,20 dan pengujian kedua didapat hasil sebesar 0,20. Maka hasil kadar air rata-rata yang didapat adalah sebesar 0,20%.

4.3.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar berpedoman pada (SNI 1969:2016). Dari hasil penelitian ini didapat nilai berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang ada pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Agregat Kasar	Satuan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Rata - rata
				I	II	
Berat benda uji kering oven	gr	A	-	4789	3146	Gram
Berat benda uji kering permukaan di udara	gr	B	-	4810	3160	Gram
Berat benda uji di dalam air	gr	C	-	2140	2357	Gram

Tabel 4.4: *Lanjutan.*

Berat jenis curah (Sd)	gr/cm ³	-	$\frac{A}{(B - C)}$	1,79	3,92	2,86
Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)	gr/cm ³	-	$\frac{B}{(B - C)}$	1,80	3,94	2,87
Berat jenis semu (Sa)	gr/cm ³	-	$\frac{A}{(A - C)}$	1,81	1,81	1,81
Penyerapan air (Sw)	%	-	$\frac{B - A}{A} \times 100$	0,44	0,44	0,44

Pengujian ini digunakan 2 sampel uji yang mana sampel pertama diperoleh sebesar 1,80 gr/cm³ sedangkan pengujian sampel kedua diperoleh sebesar 3,94 gr/cm³, dan rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (Ss) adalah 2,87 gr/cm³.

Penyerapan air untuk pengujian sampel pertama diperoleh sebesar 0,44% dan pengujian sampel kedua sebesar 0,44%, maka diperoleh penyerapan air (Sw) rata-rata adalah 0,44%.

4.3.4 Berat Isi Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian berat isi agregat kasar berpedoman pada (ASTM C29:2009) cara pengujian berat isi agregat kasar terbagi menjadi 3 yaitu dengan cara lepas, rojok, dan cara penggoyangan. Dari pengujian ini diperoleh nilai berat isi agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Hasil pengujian berat isi agregat kasar.

No.	Keterangan	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Rojok	Cara Goyang
1	Berat contoh & Wadah		kg	27,7	29,3	29,5
2	Berat Wadah		kg	14,35	14,35	14,35
3	Berat Contoh	1 - 2	kg	13,35	14,95	15,15

Tabel 4.5: Lanjutan.

4	Volume Wadah		m ³	0,010162	0,010162	0,01016
5	Berat Isi	3 ÷ 4	kg/m ³	1313,7178	1471,167	1490,85
6	Rata - Rata		kg/m ³	1425,244		

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh rata-rata berat isi sebesar 1425,24 kg/m³. Hasil tersebut memenuhi persyaratan dari nilai berat isi yang disyaratkan yaitu berkisar 1200 kg/m³ – 1600 kg/m³.

4.3.5 Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat kasar berpedoman pada (ASTM C177:2013). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar lumpur agregat kasar yang ada pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Satuan
			I	II	
Berat Wadah + Isi	W1		1628	1628	gr
Berat Wadah	W2		628	628	gr
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1619	1620	gr
Berat Kering Contoh Awal	W4	W1 - W2	1000	1000	gr
Berat Kering Contoh Akhir	W5	W3 - W2	991	992	gr
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W6	W4 - W5	9	8	gr
Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W7	$(W4 - W6) / W4 \times 100$	0,9	0,8	%
Rata - Rata			0,85		%

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh kadar lumpur pada pengujian sampel pertama sebesar 0,9% dan pada sampel kedua diperoleh sebesar 0,8%. Maka rata-

rata nilai kadar lumpur yang diperoleh adalah sebesar 0,85%.

4.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini digunakan agregat halus berupa pasir alam yang berasal dari Pinang Lembang, Sumatera Utara. Secara umum kualitas pasir Pinang Lembang sudah memenuhi kualitasnya untuk digunakan sebagai bahan bangunan. Adapun pemeriksaan yang dilakukan diantaranya analisa saringan, kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan kadar lumpur.

4.4.1 Analisa Saringan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus ini mengikuti panduan dari (SNI ASTM C136:2012). Dari hasil penelitian ini didapat nilai analisa saringan agregat halus yang ada pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hasil pengujian analisa saringan agregat halus.

Saringan mm (Inci)	Massa Tertahan gr	Jumlah Tertahan gr	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan	Lolos
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
9.52 mm (3/8 inci)	0	0	0	100
4.75 mm (No. 4)	16	16	3,2	96,8
2.36 mm (No. 8)	36	52	10,4	89,6
1.18 mm (No. 16)	67	119	23,8	76,2
0.6 mm (No. 30)	190	309	61,8	38,2
0.3 mm (No. 50)	149	458	91,6	8,4
0.15 mm (No. 100)	37	495	99	1
Pan	5	500	100	0
Modulus Kehalusan			289,8	

Berdasarkan Tabel 4.7 maka diperoleh nilai modulus kehalusan sebagai berikut:

$$FM (\text{Modulus Kehalusan}) = \frac{\sum \text{Berat tertahan kumulatif}}{100}$$

$$= \frac{289,8}{100}$$

$$= 2,89$$

Dari pengujian ini diperoleh hasil FM (Modulus Kehalusan) sebesar 2,89%. Maka nilai ini sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan ASTM C33-97 yaitu 2,3% - 3,1%. Dari pengujian ini dapat ditentukan jenis agregat halus yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.8.

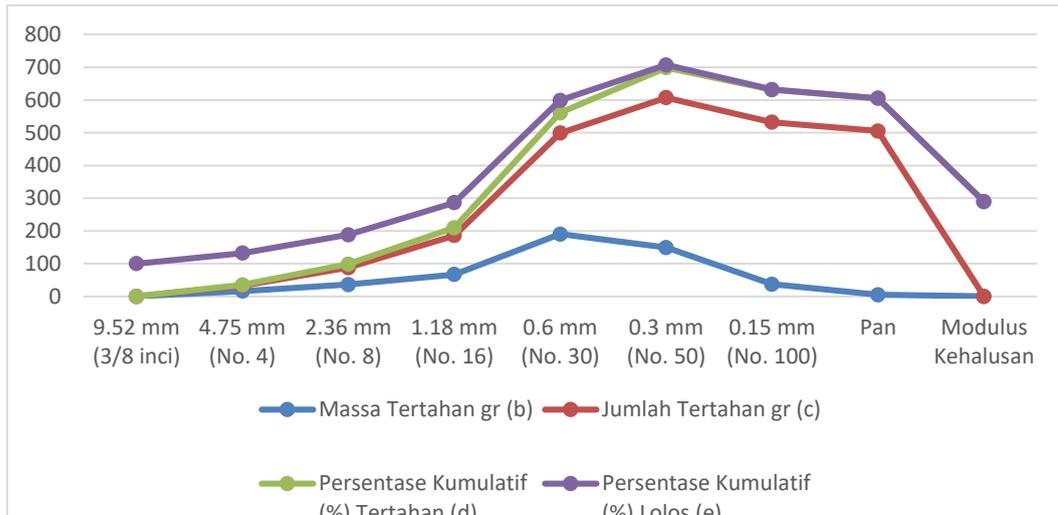
Tabel 4.8: Daerah gradasi agregat halus.

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

Keterangan:

- a. Daerah I : Pasir kasar
- b. Daerah II : Pasir agak kasar
- c. Daerah III: Pasir agak halus
- d. Daerah IV: Pasir halus

Berdasarkan dari data hasil pengujian pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, agregat halus ini termasuk ke dalam agregat halus atau pasir dengan gradasi pasir daerah II yaitu pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah II dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Grafik gradasi pasir yang lewat gradasi daerah II.

4.4.2 Kadar Air Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar air agregat halus ini mengikuti panduan dari (SNI 1971: 2011). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar air agregat halus yang ada pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Hasil pengujian kadar air agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		gr	1135	1254
Massa Wadah	b		gr	628	593
Massa Benda Uji	W1	a - b	gr	507	661
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		gr	1128	1246
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	c - b	gr	500	653
Kadar Air Total	P	$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$	%	1,40	1,23
Rata - Rata			%	1,31	

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali yang mana pengujian pertama diperoleh hasil sebesar 1,40% dan pengujian kedua sebesar 1,23%. Maka hasil rata-rata kadar air yang didapat adalah 1,31%.

4.4.3 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus berpedoman pada (SNI 1970:2008). Dari hasil penelitian ini didapat nilai berat jenis dan penyerapan agregat halus yang ada pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Agregat Halus	Satuan	Notasi	Benda Uji		Rata - rata
			I	II	
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	gr	S	500	500	500
Berat benda uji kering oven	gr	A	487	482	484,5
Berat piknometer yang berisi air	gr	B	662	661	661,5
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas bacaan	gr	C	964	975	969,5
Berat jenis curah (S_d)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + S - C)}$	2,46	2,59	2,53
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	gr/cm ³	$\frac{S}{(B + S - C)}$	2,53	2,69	2,61
Berat jenis contoh semu (S_a)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + A - C)}$	2,63	2,87	2,75
Penyerapan air (S_w)	%	$\frac{S - A}{A} \times 100$	2,67	3,73	3,20

Pengujian dilakukan sebanyak dua kali dengan pengujian pertama didapatkan sebesar 2,53 gr/cm³, sedangkan pengujian kedua didapatkan sebesar 2,69 gr/cm³, maka rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (S_s) sebesar 2,61 gr/cm³, dan diklasifikasikan sebagai agregat normal karena nilainya masih dalam batas yang diizinkan yaitu $\geq 2,50$.

Dan penyerapan air dari hasil pengujian pertama yaitu sebesar 2,67%, sedangkan pengujian kedua sebesar 3,73%, sehingga didapatkan rata-rata penyerapan air (S_w) sebesar 3,20%.

4.4.4 Berat Isi Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian berat isi agregat halus ini mengacu pada (ASTM

C29:2009). Dari hasil penelitian ini maka didapat nilai berat isi agregat halus seperti yang ada pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Hasil pengujian berat isi agregat halus.

No	Keterangan	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Rojok	Cara Goyang
1	Berat contoh & Wadah		kg	16,982	17,89	17,908
2	Berat Wadah		kg	5,3	5,3	5,3
3	Berat Contoh	1 - 2	kg	11,682	12,59	12,608
4	Volume Wadah		m ³	0,010162	0,010162	0,010162
5	Berat Isi	3 ÷ 4	kg/m ³	1149,577	1238,929	1240,701
6	Rata - Rata		kg/m ³	1209,736		

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh rata-rata berat isi agregat halus sebesar $1209,73 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 1,210 \text{ gr/cm}^3$.

4.4.5 Kadar Lumpur Agregat Halus

Pelaksanaan pengujian kadar lumpur agregat halus berpedoman pada (ASTM C177:2013). Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar lumpur agregat halus yang ada pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Rata-Rata	Satuan
			I	II		
Berat Wadah + Isi	W1		1128	1661		gr
Berat Wadah	W2		628	628		gr
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1099	1627		gr
Berat Kering Contoh Awal	W4	W1 - W2	500	1033	0,48	gr

Tabel 4.12: *Lanjutan.*

Berat Kering Contoh Akhir	W5	W3 - W2	471	999	0,47	gr
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W6	W4 - W5	29	34	0,85	gr
Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W7	$(W6 \div W4) \times 100$	5,80	3,29	1,76	%

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali yang mana pengujian pertama hasilnya sebesar 5,80% dan pengujian kedua hasilnya sebesar 3,29%. Maka hasil kadar lumpur rata-rata yang diperoleh adalah sebesar 1,76%.

4.5 Hasil Pemeriksaan Serbuk Besi

Pada penelitian ini menggunakan limbah serbuk besi yang telah diolah dan siap pakai sebagai substitusi sebagian agregat halus dalam campuran beton. Serbuk besi ini termasuk ke dalam kategori agregat halus karena lolos saringan nomor 4. Adapun pemeriksaan yang dilakukan diantaranya analisa saringan, kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat isi, dan kadar lumpur.

4.5.1 Analisa Saringan Serbuk Besi

Dari hasil penelitian ini didapat nilai analisa saringan halus pada serbuk besi yang ada pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Hasil pengujian analisa saringan serbuk besi.

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Tertahan	Persentase Kumulatif (%)	
			Tertahan	Lolos
mm (Inci)	gr	gr	(d)	(e)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
9.52 mm (3/8 inci)	0	0	0	100
4.75 mm (No. 4)	0	0	0	100
2.36 mm (No. 8)	0	0	0	100
1.18 mm (No. 16)	2	2	0,2	99,8
0.6 mm (No. 30)	64	66	6,6	93,4

Tabel 4.13: *Lanjutan.*

0.3 mm (No. 50)	634	700	70,0	30,0
0.15 mm (No. 100)	207	907	91	9
Pan	93	1000	100	0
Modulus Kehalusan			167,5	

Berdasarkan Tabel 4.13 diperoleh nilai modulus kehalusan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{FM (Modulus Kehalusan)} &= \frac{\sum \text{Berat tertahan kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{167,5}{100} \\
 &= 1,675
 \end{aligned}$$

Dari pengujian ini diperoleh hasil FM (Modulus Kehalusan) sebesar 1,675%. Maka nilai ini masih memenuhi syarat agregat halus yaitu 1,5 - 3,80 berdasarkan SK SNI S-04-1989. Dari pengujian ini dapat ditentukan jenis agregat halus yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.14.

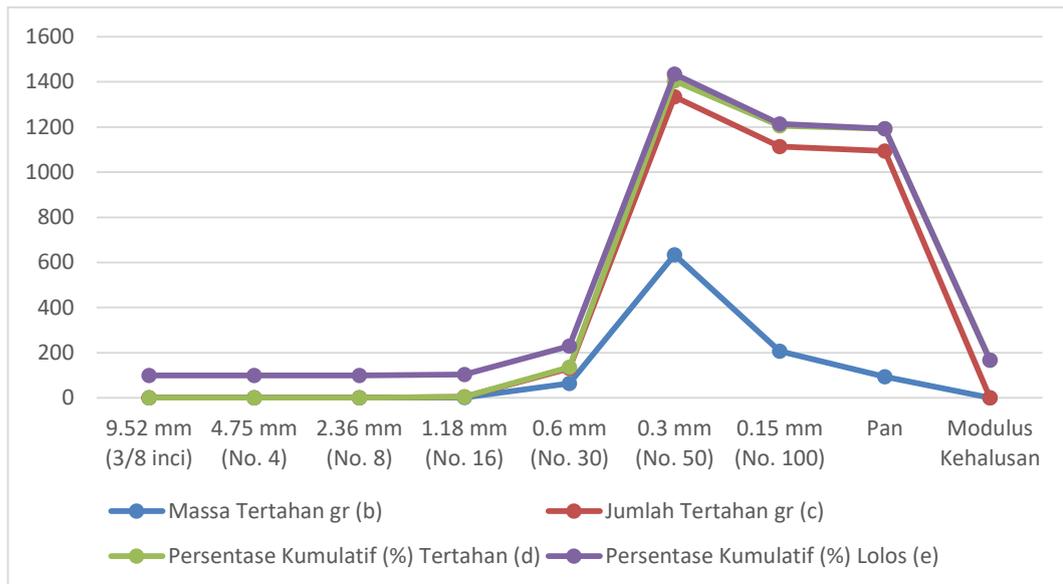
Tabel 4.14: Daerah gradasi agregat halus.

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

Keterangan:

- a. Daerah I : Pasir kasar
- b. Daerah II : Pasir agak kasar
- c. Daerah III : Pasir agak halus
- d. Daerah IV : Pasir halus

Berdasarkan Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 dapat ditentukan serbuk besi ini termasuk ke dalam agregat halus dengan gradasi pasir daerah IV, yaitu pasir halus. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi daerah IV dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Grafik gradasi serbuk besi.

4.5.2 Kadar Air Serbuk Besi

Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar air serbuk besi yang ada pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Hasil pengujian kadar air serbuk besi.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Satuan	Benda Uji	
				I	II
Massa Wadah + Benda Uji	a		gr	1202	1337
Massa Wadah	b		gr	628	590
Massa Benda Uji	W1	a - b	gr	574	747
Massa Wadah + Benda Uji Kering Oven	c		gr	1199	1325
Massa Benda Uji Kering Oven	W2	c - b	gr	571	735

Tabel 4.15: *Lanjutan.*

Kadar Air Total	P	$\frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$	%	0,53	1,63
Rata - Rata			%	1,08	

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali yang mana pengujian pertama diperoleh hasil sebesar 0,53% dan pengujian kedua sebesar 1,63%. Maka hasil rata-rata kadar air yang didapat adalah 1,08%.

4.5.3 Berat Jenis dan Penyerapan Serbuk Besi

Dari hasil penelitian ini didapat nilai berat jenis dan penyerapan pada serbuk besi yang ada pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan serbuk besi.

Serbuk Besi	Satuan	Notasi	Benda Uji		Rata - rata
			I	II	
Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan	gr	S	500	500	500
Berat benda uji kering oven	gr	A	476	490	483
Berat piknometer yang berisi air	gr	B	894	894	894
Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas bacaan	gr	C A	1323	1374	1349
Berat jenis curah (S_d)	gr/cm ³	$\frac{(B + S - C)}{A}$	6,70	24,50	15,60
Berat jenis jenuh kering permukaan (S_s)	gr/cm ³	$\frac{S}{(B + S - C)}$	7,04	25,00	16,02
Berat jenis contoh semu (S_a)	gr/cm ³	$\frac{A}{(B + A - C)}$	10,13	49,00	29,56
Penyerapan air (S_w)	%	$\frac{S - A}{A} \times 100$	5,04	2,04	3,54

Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali dengan pengujian pertama didapatkan sebesar 7,04 gr/cm³, sedangkan pengujian kedua didapatkan sebesar

25,00 gr/cm³, maka rata-rata berat jenis jenuh kering permukaan (S_s) sebesar 16,02 gr/cm³. Dan penyerapan air dari hasil pengujian pertama sangat tinggi yaitu sebesar 5,04 %, hal ini terjadi karena serbuk besi direndam di dalam air agar mencapai kondisi jenuh kering muka (SSD) dan mengakibatkan terjadinya korosi pada butir serbuk besi. Maka dari itu butir serbuk besi kehilangan kekuatannya dan menjadi rapuh. Sedangkan pengujian kedua sebesar 2,04%, sehingga didapatkan rata-rata penyerapan air (S_w) sebesar 3,54%.

4.5.4 Berat Isi Serbuk Besi

Dari hasil penelitian ini maka didapat nilai berat isi serbuk besi seperti yang ada pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Hasil pengujian berat isi serbuk besi.

No	Keterangan	Persamaan	Satuan	Cara Lepas	Cara Rojok	Cara Goyang
1	Berat contoh & Wadah		kg	18,966	19,78	19,808
2	Berat Wadah		kg	5,3	5,3	5,3
3	Berat Contoh	1 - 2	kg	13,666	14,48	14,508
4	Volume Wadah		m ³	0,010162	0,010162	0,010162
5	Berat Isi	3 ÷ 4	kg/m ³	1344,814	1424,916	1427,672
6	Rata - Rata		kg/m ³	1399,134		

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh rata-rata berat isi agregat halus sebesar 1399,134 kg/m³ → 1,40 gr/cm³.

4.5.5 Kadar Lumpur Serbuk Besi

Dari hasil penelitian ini didapat nilai kadar lumpur serbuk besi yang ada pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18: Hasil pengujian kadar lumpur serbuk besi.

Keterangan	Notasi	Persamaan	Benda Uji		Rata-Rata	Satuan
			I	II		
Berat Wadah + Isi	W1		1215	1683		gr
Berat Wadah	W2		610	610		gr
Berat Wadah + Contoh Kering	W3		1190	1627		gr
Berat Kering Contoh Awal	W4	$W1 - W2$	605	1073	0,56	gr
Berat Kering Contoh Akhir	W5	$W3 - W2$	580	1017	0,57	gr
Berat Kotoran Agregat Lolos Saringan No.200	W6	$W4 - W5$	25	56	40,50	gr
Persentase Kotoran Agregat Lolos Saringan No. 200	W7	$(W6 \div W4) \times 100$	4,13	5,2	4,68	%

Berdasarkan hasil pengujian ini diperoleh nilai kadar lumpur rata-rata dalam serbuk besi yang digunakan sebesar 4,68%. Lumpur pada serbuk besi ini dapat berupa sisa oli dan minyak pada besi sebelum dilakukan pembubutan. Maka dengan hasil pengujian ini nilai kadar lumpur dari serbuk besi masih memenuhi kategori agregat halus yaitu kurang dari 5%.

4.6 Perencanaan Campuran Beton

Setelah pengujian agregat kasar dan agregat halus sudah selesai dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah gunakan data-data yang telah didapat untuk perencanaan campuran beton. Adapun data-data yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Data hasil tes dasar.

No.	Data Tes Dasar	Nilai
1.	Berat jenis agregat kasar	2,87 gr/cm ³
2.	Berat jenis agregat halus	2,61 gr/cm ³

Tabel 4.19: *Lanjutan.*

3.	Penyerapan agregat kasar	0,44%
4.	Penyerapan agregat halus	3,20%
5.	Berat isi agregat kasar	1425,24 kg/m ³
6.	Berat isi agregat halus	1208,73 kg/m ³
7.	Kadar air agregat kasar	0,20%
8.	Kadar air agregat halus	1,31%
9.	FM agregat kasar	8,11%
10.	FM agregat halus	2,89%
11.	Kadar lumpur agregat kasar	0,85%
12.	Kadar lumpur agregat halus	1,76%

Setelah pengujian dasar dilakukan maka nilai-nilai tersebut akan digunakan untuk perencanaan campuran beton (*mix design*) yang diinginkan. Banyaknya masing-masing bahan per m³ beton dihitung sebagai berikut:

1. Mutu beton rencana (f^c) = 20 Mpa, umur 28 hari.
2. Deviasi standar 7.
3. Nilai standar deviasi dapat diperoleh berdasarkan jumlah benda uji, jika jumlah benda uji kurang dari 30 maka dilakukan koreksi seperti pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20: Faktor modifikasi untuk deviasi standar berdasarkan jumlah benda uji (SNI 2834-2013).

Jumlah pengujian	Faktor modifikasi untuk deviasi standar benda uji
<15	Lihat butir 5.3.2.2
15	1,61
20	1,08
25	1,03
≤ 30	1

Dari Tabel 4.20 didapat faktor koreksi dengan jumlah pengujian ≤ 30 buah = 1.

4. Nilai tambah (m) = $k \times s$, dimana m adalah nilai tambah, k adalah tetapan statistik yang nilainya tergantung pada proses hasil uji yang lebih rendah dari $f'c$ (diambil 1,64) dan s adalah standar deviasi, maka $m = 1,64 \times s \times f_k = 1,64 \times 7 \times 1 = 11,48$ MPa.
5. Hitung kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ($f'cr$) dimana $f'cr = f'c + tm = 20 + 11,48 = 31,48$ MPa \rightarrow 31 MPa.
6. Jenis semen yang digunakan adalah semen PC (*Portland Cement*) tipe I.
7. *Slump* yang disyaratkan adalah 60 – 180 mm (SNI 03-2834-2000).
8. Agregat yang digunakan memiliki ukuran agregat maksimum 20 mm.
9. Perkiraan kebutuhan air per- m^3 beton dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Perkiraan kebutuhan air per-meter³ beton (SNI 03-2834-2000).

Ukuran maksimum agregat (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0 - 10	10 - 30	30 - 60	60 - 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Berdasarkan Tabel 4.21 ukuran agregat maksimum 20 mm dengan *slump* 60 – 180 mm dapat diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk:

- a. Agregat kasar (W_k) = 225 kg/ m^3
- b. Agregat halus (W_h) = 195 kg/ m^3

Pada penelitian ini menggunakan agregat campuran yaitu batu pecah dan batu tak dipecahkan (pasir alam). Untuk menentukan perkiraan jumlah air agregat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air per } m^3 \text{ beton} &= \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 195 + \frac{1}{3} \cdot 225 \\
 &= 205 \text{ kg}/m^3
 \end{aligned}$$

10. Menentukan nilai faktor air semen (FAS) dan kadar air semen minimum.

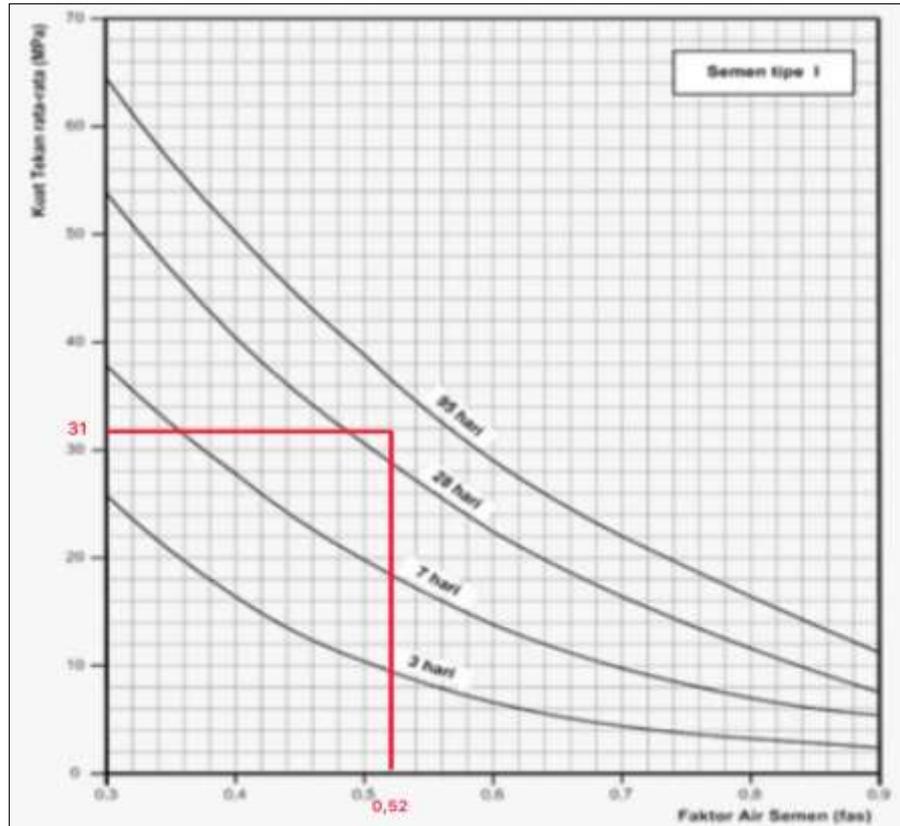
Tabel 4.22: Persyaratan FAS dan jumlah semen minimum untuk berbagai macam pembetonan dan lingkungan khusus (SNI 03-2834-2000).

Jenis Pembetonan	Jumlah semen minimum per-m ³ beton (kg)	Nilai FAS maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkalidari tanah		Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 6

Berdasarkan jenis pembetonan yang digunakan adalah beton di luar ruang bangunan yang terlindung dari hujan dan terik matahari langsung, maka jumlah semen minimum per-m³ beton sebesar 275 kg dan nilai FAS maksimum adalah sebesar 0,60.

11. Menentukan FAS yang digunakan.

Nilai FAS yang digunakan dapat dilihat dari Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Grafik FAS dan kuat tekan rata-rata.

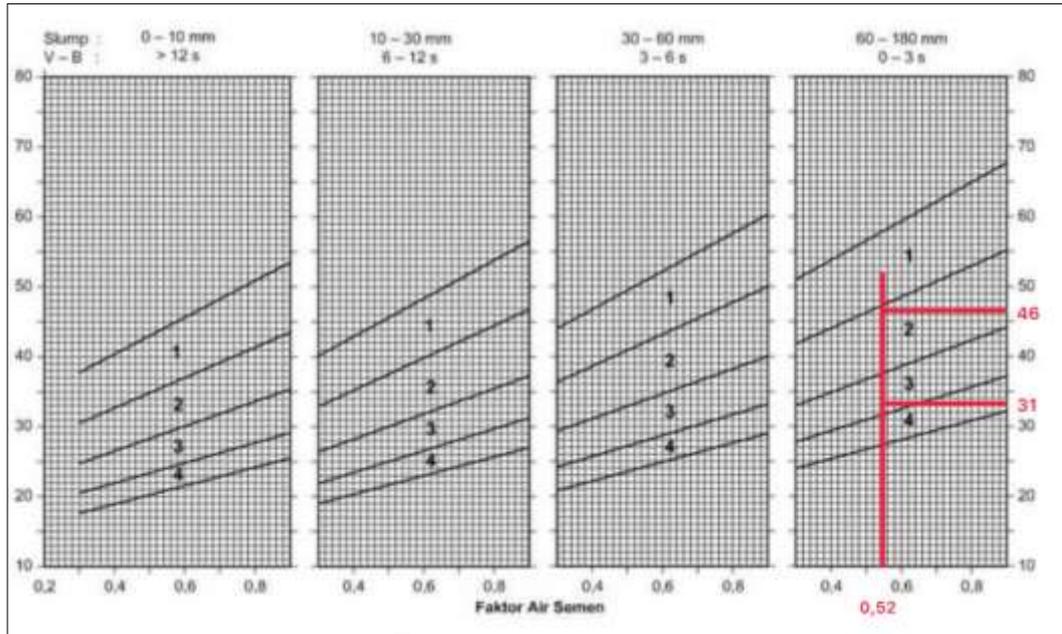
Dari Gambar 4.4 diperoleh nilai FAS yang digunakan adalah sebesar 0,52.

12. Menentukan jumlah semen.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar semen} &= \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{fas} \\
 &= \frac{205}{0,52} \\
 &= 394 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

13. Menentukan persentase agregat halus.

Agregat halus yang digunakan masuk ke dalam kategori daerah II dengan nilai slump 60 - 180 dan FAS yang digunakan sebesar 0,52 dapat dilihat dari Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Grafik persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm.

Jenis agregat halus yang digunakan masuk ke dalam kategori daerah II dan FAS yang digunakan adalah sebesar 0,52. Berdasarkan Gambar 4.5 diperoleh nilai batas atas adalah sebesar 46 dan nilai batas bawah adalah sebesar 31. Persentase agregat halus merupakan nilai rata-rata dari nilai batas atas dan batas bawah.

$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat halus} &= \frac{46 + 31}{2} \\ &= 38,5\% \end{aligned}$$

14. Persentase agregat kasar.

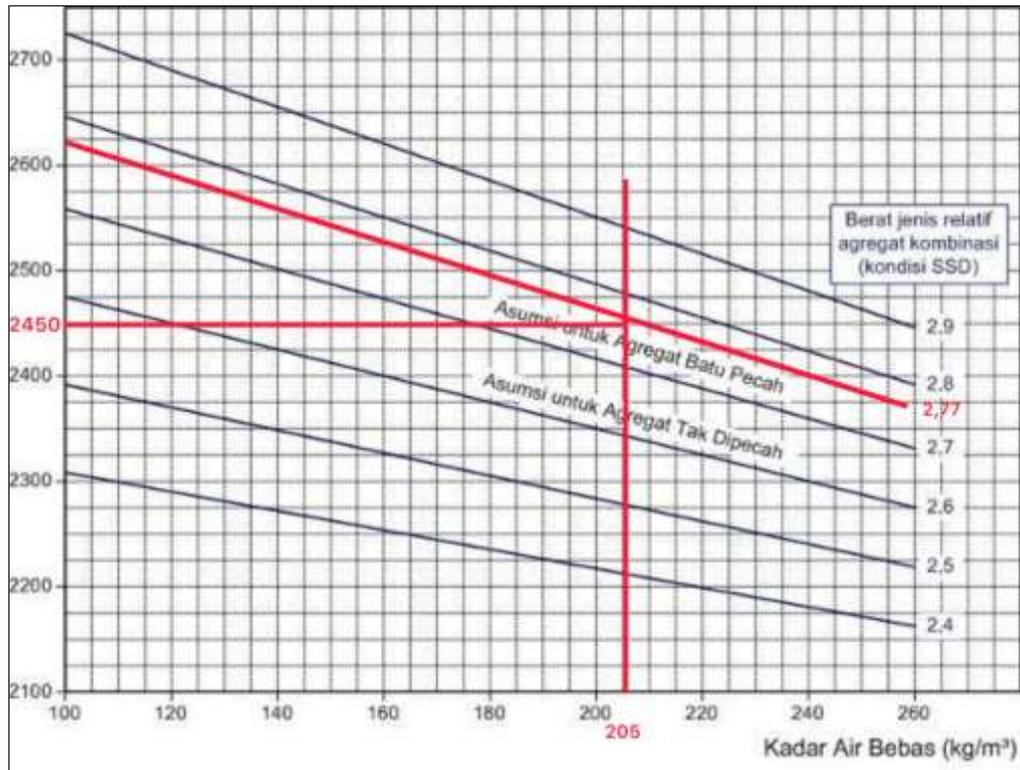
$$\begin{aligned} \text{Persentase agregat kasar} &= 100\% - \text{persentase agregat halus} \\ &= 100\% - 38,5\% \\ &= 61,5\% \end{aligned}$$

15. Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD).

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis agregat gabungan} &= \frac{P_h}{100} \times B_j \text{ agr. halus} + \frac{P_k}{100} \times B_j \text{ agr. kasar} \\ &= \frac{38,5}{100} \times 2,61 + \frac{61,5}{100} \times 2,87 \\ &= 2,77 \end{aligned}$$

16. Berat isi beton basah.

Diperoleh nilai berat isi beton basah adalah sebesar 2450 kg/m³. Dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6: Grafik perkiraan berat beton basah yang telah selesai dipadatkan.

17. Kadar agregat gabungan.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat gabungan} &= \text{berat isi beton} - (\text{kadar semen} + \text{kadar air bebas}) \\
 &= 2450 - (394 + 205) \\
 &= 1851 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

18. Kadar agregat halus.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat halus} &= \text{persen agregat halus} \times \text{kadar agregat gabungan} \\
 &= 38,5\% \times 1851 \\
 &= 712,63 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

19. Kadar agregat kasar.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar agregat kasar} &= \text{kadar agregat gabungan} - \text{kadar agregat halus} \\
 &= 1851 - 712,63 \\
 &= 1138,4 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

20. Proporsi campuran.

Berdasarkan hasil perhitungan *mix design* di atas maka didapatkan susunan campuran proporsi teoritis untuk setiap per- m^3 beton sebagai berikut:

Tabel 4.23: Rekapitulasi *mix design* dan proporsi campuran beton.

No.	Uraian	Gambar / tabel / perhitungan		Nilai	
1.	Kuat teakan yang disyaratkan	Benda uji balok		20 MPa	
2.	Deviasi standar (Sr)	Ditetapkan		7 MPa	
3.	Nilai tambah (m)	Ditetapkan		11,48 MPa	
4.	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan	(1+3)		31,48 MPa	
5.	Jenis semen	Ditetapkan		Semen Portland tipe 1	
6.	Jenis agregat : - kasar	Ditetapkan		Batu pecah	
	- halus			Pasir alam	
7.	FAS (ambil nilai terendah)	Gambar 4.4		0,52	
8.	FAS maksimum	Tabel 4.22		0,60	
9.	Slump	Ditetapkan		60 – 180 mm	
10.	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan		20 mm	
11.	Kadar air bebas	Ditetapkan		205 kg/m ³	
12.	Kadar semen	(11 : 7)		394 kg/m ³	
13.	Kadar semen maksimum	Ditetapkan		394 kg/m ³	
14.	Kadar semen minimum	Tabel 4.22		275 kg/m ³	
15.	FAS yang disesuaikan	Ditetapkan		0,52	
16.	Susunan butir agregat halus	Ditetapkan		Gradasi daerah II	
17.	Susunan butir agregat kasar	Ditetapkan		20 mm	
18.	Persen agregat halus	Gambar 4.5		38,5%	
19.	Berat jenis relatif agregat gabungan	Dihitung		2,77	
20.	Berat isi beton basah	Gambar 4.6		2450 kg/m ³	
21.	Kadar agregat gabungan	(20 – (12 + 11))		1851 kg/m ³	
22.	Kadar agregat halus	(18 x 21)		712,63 kg/m ³	
23.	Kadar agregat kasar	(21 – 22)		1138,4 kg/m ³	
24.	Proporsi campuran: (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat (kg)	
	- Tiap m ³	394	205	Halus	Kasar
	- Tiap campuran uji (6 benda uji) m ³ : 0,081 (balok)	31,91	16,60	57,72	92,21

Tabel 4.23: Lanjutan.

	Proporsi campuran dengan angka penyusutan 10 %	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat (kg)	
				Halus	Kasar
25.	- Tiap m ³	433,4	225,5	783,89	1252,24
	- Tiap campuran uji (6 benda uji) m ³ : 0,081 (balok)	35,10	18,26	63,50	101,43

21. Proporsi campuran benda uji

Proporsi campuran benda uji dengan penambahan serbuk besi sebanyak 5%, 10%, dan 15% dari agregat halusnya dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24: Proporsi campuran benda uji dengan penambahan serbuk besi.

Sampel balok	Volume	Variasi serbuk besi	Agregat halus	Agregat kasar	Semen	Air	Serbuk besi
(Buah)	(m ³)	(%)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
6	0,081	0	63,50	101,43	35,10	18,26	0
6	0,081	5	60,32	101,43	35,10	18,26	3,17
6	0,081	10	57,15	101,43	35,10	18,26	6,35
6	0,081	15	53,98	101,43	35,10	18,26	9,52
Jumlah			234,95	405,72	140,4	73,04	19,04

4.7 Slump Test

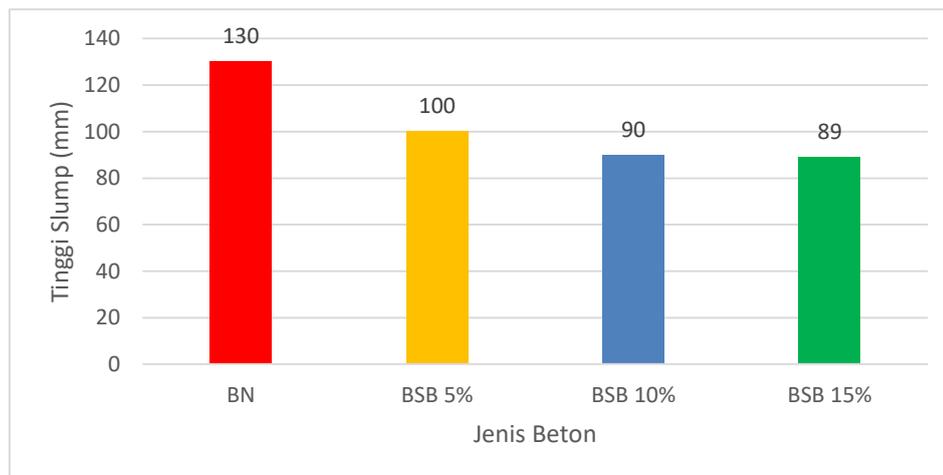
Pengujian *slump* dilakukan dengan kerucut *abrams* dengan cara mengisi kerucut *abrams* dengan beton segar sebanyak 3 lapis, tiap lapis kira-kira 1/3 dari isi kerucut pada tiap lapisan dilakukan penusukan/rojokan sebanyak 25 kali, tongkat penusuk harus masuk sampai bagian bawah tiap-tiap lapisan setelah pengisian selesai ratakan permukaan kerucut lalu angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan dalam waktu tidak lebih 2,5 menit, ukur tinggi adukan selisih tinggi kerucut dengan adukan adalah nilai dari *slump*. Adapun hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada

Tabel 4.25 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.25: Hasil pengujian *slump*.

No.	Jenis beton	Nilai slump (mm)	Keterangan
1	BN	130	Memenuhi
2	BSB 5%	100	Memenuhi
3	BSB 10%	90	Memenuhi
4	BSB 15%	89	Memenuhi
RATA-RATA NILAI SLUMP		102,25	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian *slump* pada penelitian ini, didapatkan nilai *slump* rata-rata sebesar 102,25 mm. Maka nilai *slump* tersebut telah memenuhi syarat yang ditetapkan pada penelitian ini sebesar 60 – 180 mm sesuai dengan SNI 03-2834-2000.



Gambar 4.7: Diagram batang nilai *slump*.

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir menyebabkan terjadinya penurunan nilai *slump* beton. Beton normal (BN) memiliki nilai *slump* tertinggi yaitu 130 mm, maka beton lebih encer dan mudah dikerjakan. Sebaliknya, penurunan nilai *slump* pada campuran dengan serbuk besi menurun menjadi masing-masing 100 mm, 90 mm, dan 89 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase serbuk besi yang digunakan maka beton lebih mengental, maka tingkat kemudahan pengerjaan beton

semakin berkurang. Meskipun demikian, seluruh nilai *slump* yang diperoleh masih berada dalam rentang standar SNI 03-2834-2000 yaitu 60-180 mm, sehingga beton dengan campuran serbuk besi tetap memenuhi syarat.

4.8 Kuat Geser Beton

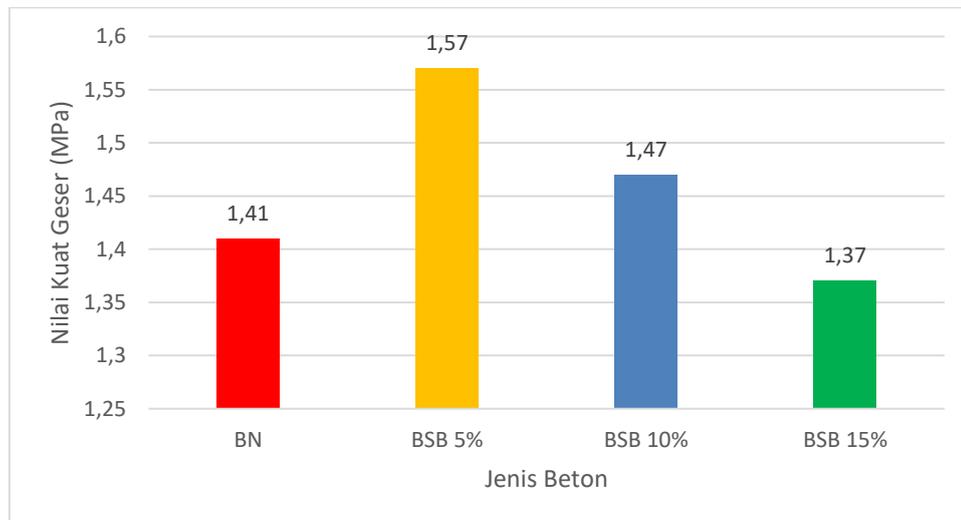
Pengujian kuat geser beton dilakukan setelah benda uji berumur 28 hari. Berikut ini merupakan hasil pengujian kuat geser beton:

Tabel 4.26: Hasil pengujian kuat geser.

No.	Kode benda uji	Ukuran benda uji (mm)			Umur beton (hari)	Berat benda uji (kg)	Beban (N)	Kuat geser (MPa)	Kuat geser rata-rata (MPa)
		l	b	h					
1.	BN (1)	600	150	150	28	32,48	32240	1,43	1,41
2.	BN (2)	600	150	150	28	32,16	32200	1,43	
3.	BN (3)	600	150	150	28	31,04	31400	1,39	
4.	BN (4)	600	150	150	28	30,96	31230	1,38	
5.	BN (5)	600	150	150	28	32,69	32930	1,46	
6.	BN (6)	600	150	150	28	31,14	30910	1,37	
7.	BSB 5% (1)	600	150	150	28	32,51	34720	1,54	1,57
8.	BSB 5% (2)	600	150	150	28	32,26	34680	1,54	
9.	BSB 5% (3)	600	150	150	28	33,88	35900	1,59	
10.	BSB 5% (4)	600	150	150	28	32,62	35650	1,58	
11.	BSB 5% (5)	600	150	150	28	32,49	35800	1,59	
12.	BSB 5% (6)	600	150	150	28	32,73	35970	1,60	
13.	BSB 10% (1)	600	150	150	28	33,06	33590	1,49	1,47
14.	BSB 10% (2)	600	150	150	28	32,85	33400	1,48	
15.	BSB 10% (3)	600	150	150	28	32,90	33550	1,49	
16.	BSB 10% (4)	600	150	150	28	33,97	33130	1,47	

Tabel 4.26: *Lanjutan.*

17.	BSB 10% (5)	600	150	150	28	34,02	31660	1,40	1,37
18.	BSB 10% (6)	600	150	150	28	33,11	32940	1,46	
19.	BSB 15% (1)	600	150	150	28	32,74	31370	1,39	
20.	BSB 15% (2)	600	150	150	28	32,81	31340	1,39	
21.	BSB 15% (3)	600	150	150	28	32,05	32000	1,42	
22.	BSB 15% (4)	600	150	150	28	32,97	31060	1,38	
23.	BSB 15% (5)	600	150	150	28	33,03	30100	1,33	
24.	BSB 15% (6)	600	150	150	28	33,50	30050	1,33	



Gambar 4.8: Diagram batang kuat geser rata-rata (MPa).

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai kuat geser rata-rata beton variasi tertinggi diperoleh oleh BSB 5% yang mengalami kenaikan sebesar 11,35% dari beton variasi BN. Sedangkan nilai kuat geser rata-rata paling rendah diperoleh dari BSB 15% yang mengalami penurunan sebesar 2,84% dari beton variasi BN. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk besi dapat memperbaiki ikatan dalam beton sehingga meningkatkan kuat geser, namun hanya

efektif sampai persentase tertentu. Jika digunakan terlalu banyak, justru menurunkan kualitas karena *workability* berkurang dan distribusi agregat terganggu.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk besi berpengaruh terhadap kuat geser beton. Beton normal (BN) memiliki kuat geser rata-rata sebesar 1,41 MPa. Pada beton serbuk besi (BSB 5%) kuat geser meningkat menjadi 1,57 MPa, dengan peningkatan sekitar 11,35% dibandingkan beton normal. Pada beton serbuk besi (BSB 10%) kuat geser mencapai 1,47 MPa, masih lebih tinggi dibanding beton normal dengan peningkatan sekitar 4,26%. Namun pada beton serbuk besi (BSB 15%) kuat geser justru menurun menjadi 1,37 MPa, dengan penurunan sekitar 2,84% dibanding beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk besi dapat memperbaiki ikatan dalam beton sehingga meningkatkan kuat geser, namun hanya efektif sampai persentase tertentu. Jika digunakan terlalu banyak, justru menurunkan kualitas karena *workability* berkurang dan distribusi agregat terganggu.
2. Berdasarkan hasil uji, persentase optimal serbuk besi sebagai pengganti sebagian pasir terdapat pada variasi 5%, dengan kuat geser rata-rata 1,57 MPa. Artinya, penggunaan serbuk besi 5% memberikan peningkatan kuat geser beton paling signifikan dibanding beton normal maupun versi lainnya.

5.2 Saran

1. Untuk Dosen

Diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam memberikan arahan kepada mahasiswa agar lebih banyak mengembangkan penelitian berbasis pemanfaatan limbah industri, sehingga dapat berkontribusi pada inovasi material konstruksi ramah lingkungan sekaligus memberikan solusi terhadap

permasalahan limbah.

2. Untuk Mahasiswa

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi awal dalam kajian pemanfaatan limbah industri pada material konstruksi. Mahasiswa dapat melanjutkan penelitian ini dengan menambahkan variabel lain, seperti penggunaan bahan tambahan kimia (*admixture*) atau memvariasikan ukuran butir serbuk besi untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat beton.

3. Untuk Peneliti Selanjutnya

Diharapkan dapat menambah variasi persentase serbuk besi yang lebih beragam, tidak hanya terbatas pada 5%, 10%, 15%, serta melakukan pengujian sifat mekanis beton lainnya seperti kuat tekan, kuat tarik belah, kuat lentur, maupun ketahanan terhadap lingkungan agresif agar pemanfaatan limbah serbuk besi dapat dievaluasi lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrasyid., & Zulkarnain, F. (2023). *Pengaruh Penambahan Pecahan Tempurung Kelapa Dan Sikament-Nn Dalam Pembuatan Balok Beton Berdasarkan Uji Kuat Geser, 01*, 1–23.
- Ananda, C. K. (2024). *Pengaruh Abu Ampas Tebu dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Tambah Terhadap Kuat Geser Beton*.
- Apriyadi, Y. (2020). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Dari Sisa Pengerjaan Bubut Besi Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Dengan Faktor Air Semen (Fas) 0,4*. 1–65. <https://repository.uir.ac.id/14359/>
- Aulia, P., & Zulkarnain, F. (2023). *Uji Kuat Geser Beton Dengan Menggunakan Pasir Pantai Sebagai Agregat Halus dan Sikacim Concrete Additive Sebagai Bahan Tambah*. 2(1), 41–49.
- Badan Standarisasi Nasional. (1974). SNI 1974:2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1991). SNI 03-2495. *Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton*, 1–11.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). SNI-03-2834. *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm), 200(200)*, 1–6.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1972:2008. *Cara Uji Slump Beton*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1973:2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran dan Kadar Udara Beton*, 1–13.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 1971:2011. *Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan*, 1–11.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium*, 23. www.bsn.go.id
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012 *Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136:2012. *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*, 1–24.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1969. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*, 20.

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1970:2016. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*, 4, 20. Bawamenewi, E. (2023). *Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan*.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). *Pekerjaan Bantuan Teknis Manajemen Pengawasan dan Pemantauan Operasi Jalan Tol Paket-6*. 2012.
- Dewi, S. U., Jaya, F. H., & Hermala, D. A. (2022). *Analisis Pemanfaatan Bahan Limbah Rumah Tangga Sebagai Campuran Beton Mutu Rendah*. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 71. <https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2324>
- Fahrul, D., Jamlaay, O., & Abdin, M. (2023). *Journal Agregate Vol. 2, No. 1, Maret 2023. Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton*, 2(1), 1–11.
- Fansuri, S., & Diana, A. I. N. (2023). Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Besi Sebagai Admixture Agregat Halus. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil*, 9(1), 1–8.
- Kalooop, M. R., Samui, P., Shafeek, M., & Hu, J. W. (2020). *Estimating Slump Flow and Compressive Strength of Self-Compacting Concrete Using Emotional Neural Networks*, 10(23), 1–17. <https://doi.org/10.3390/app10238543>
- Parubahan, R. (2020). *Skripsi Oleh : Parubahan Rambe Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan*.
- Prasetyo, R. D., Pranowo, D. D., Utanaka, A., Amin, M. S., & Wari, W. N. (2024). *Pengaruh Substitusi Pasir Menggunakan Serbuk Besi dan Zat Aditif Bestmittel 0,5% Terhadap Kuat Tekan Mutu Tinggi dan Resapan Air Mortar Pracetak Ferosemen*. 3(1), 36–42.
- Setiawan, A. A., & Diana, A. I. N. (2022). *Pengaruh Penambahan Serbuk Besi Sebagai Bahan Campuran Pasir Pada Pembuatan Paving Block Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air*. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 395–402. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2022.v3i2.3326>
- Surianti, S., Asrim, A., & Wardana, R. (2023). *Analisis Dampak Penambangan Pasir Laut Terhadap Lingkungan Dan Sosial-Ekonomi Di Desa Kamelanta Kecamatan Kapontori Kabupaten Buton*. *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 12(2), 59–64. <https://doi.org/10.55340/jmi.v12i2.1433>
- Suseno, H., Suharwanto, & Komarudin. (2024). *Kuat Geser Langsung Beton Agregat Daur Ulang Dari Bata Ringan 1*. 448–458.
- Syaihu, F. R. (2022). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Pada Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton*.
- Ubaidi, B., & Pratiwi, D. (2020). *Jurnal Teknik Sipil. Pengaruh Waktu Perjalanan Beton Ready Mix Terhadap Uji Slump Test Pada Proyek Lampung City*, 1(1), 1–8.

<https://jurnal.usk.ac.id/JTS/index>

Zulkarnain, F., & Kamil, B. (2021). *Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Sungai sebagai Agregat Halus Dengan Variasi Bahan Tambah Sica Fume Pada Perendaman Air Laut*. 1–10. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Foto Dokumentasi Pada Saat Penelitian



Gambar L.1: Semen Portland (*Portland Cement*) tipe 1.



Gambar L.2: Agregat kasar.



Gambar L.3: Agregat halus.



Gambar L.4: Serbuk besi.



Gambar L.5: Proses pembuatan beton secara manual.



Gambar L.6: Pengujian *slump test*.



Gambar L.7: Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan balok.



Gambar L.8: Perendaman benda uji.



Gambar L.9: Benda uji ditimbang sebelum diuji.



Gambar L.10: Pengujian kuat geser beton.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama Lengkap : Muhammad Ananda
Tempat, Tanggal Lahir : Pasir Pengarayan, 14 Juni 2003
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Alamat : Dusun Komes
Nama Ayah : Achmad Yusuf Lubis
Nama Ibu : Husniah
HP : 0852-7703-1766
E-mail : anandamuhammad116@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 2107210081
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3, Medan, 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan Kelulusan	Nama dan Tempat	Tahun
Sekolah Dasar	SDN 03 Bireun	2009 - 2015
Sekolah Menengah Pertama	MTS Jeumala Amal	2015 – 2018
Sekolah Menengah Atas	MAS Jeumala Amal	2018 - 2021