

TUGAS AKHIR

PENGARUH CAMPURAN SERBUK BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS BETON

**Diajukan untuk memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Progam Sarjana Progam Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



Disusun oleh :

**Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092**

**Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH CAMPURAN SERBUK BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS
BETON



Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092



Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2025

Tim Penguji

1. Dr. Ir. Sumirin., MS
NIDN : 0004055302
2. Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN : 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 92 / A2 / S.A.T.I. X. / 2025

Pada hari ini, tanggal berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Nama : Dr. Ir. Sumirin., MS
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir :

Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092

Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185

Judul : Pengaruh Campuran Serbuk Besi terhadap Sifat Mekanis Beton
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukkan Dosen Pembimbing	12 Maret 2025	ACC
2	Seminar Proposal	23 April 2025	ACC
3	Pengumpulan Data	24 April 2025	ACC
4	Analisis Data	23 Juni 2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	24 Juni 2025	ACC
6	Selesai Laporan	15 Juni 2025	ACC

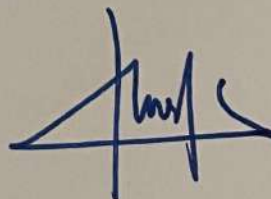
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak – pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing Utama

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sumirin., MS
NIDN : 0004055302



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN : 0625059102

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092
2. NAMA : Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
PENGARUH CAMPURAN SERBUK BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS
BETON

Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar
maka kami bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, 28 Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan 1

Yang Membuat Pernyataan 2

Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092

Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185



PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092
2. NAMA : Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185

JUDUL TUGAS AKHIR :

PENGARUH CAMPURAN SERBUK BESI TERHADAP SIFAT MEKANIS
BETON

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau Perguruan Tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 28 Mei 2025

Yang Membuat Pernyataan 1

Yang Membuat Pernyataan 2

Galuh Adi Prayoga
NIM : 30202100092

Rizal Ilham Yahya
NIM : 30202100185



MOTTO

“Maka sesungguhnya, bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetapi lah bekerja keras (untuk urusan yang lain).

Dan hanya kepada TUHAN mu lah engkau berharap”

(QS. Al – Insyirah: 6-8)

&

“Maka ingatlah kepadaKu, akupun akan mengingatmu”

(QS. Al – Baqarah: 152)

&

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik dari mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”

(QS. Al – Imron: 110)

&

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar, tetapi keberhasilan adalah milik mereka yang senantiasa berusaha”

(BJ Habibie)

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

1. Teristimewa kedua orang tua saya, Ayahanda Sukisno dan pintu surgaku Ibunda Juwariyah, gelar sarjana ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa yang tiada hentinya kepada penulis hingga dapat menyelesaikan studi sarjana hingga selesai, semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan panjang umur kepada beliau.
2. Kakakku tercinta Vina Mardliyatus Shofa, terima kasih atas doa dan dukungannya yang telah berhasil membawa penulis sampai sejauh ini sehingga akhirnya mampu menyelesaikan studinya hingga sarjana.
3. Seseorang yang selalu setia mendampingi dalam proses ini, Rahel Nurmayadha Mukti, terima kasih atas dukungan, kesabaran, dan pengertian yang tak pernah surut. Kehadiranmu di setiap fase perjalanan ini menjadi penguat ketika lelah datang, dan pengingat bahwa setiap perjuangan akan berbuah hasil. Terima kasih telah menjadi teman berpikir, tempat berbagi cerita, dan penyemangat di balik layar.
4. Teman-teman saya, yang selalu setia mendampingi dalam setiap proses perjuangan ini. Terima kasih atas dukungan, semangat, tawa, dan motivasi yang diberikan selama penyusunan skripsi ini.
5. Diri sendiri yang telah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah meski berkali-kali merasa lelah dan ingin berhenti. Terima kasih telah terus melangkah, bahkan saat langkah terasa berat. Skripsi ini bukan hanya hasil dari kerja keras, tetapi juga bukti bahwa telah mampu melewati proses yang penuh tantangan.

Galuh Adi Prayoga

30202100092

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Ayahanda Abdus Shomad dan pintu surgaku, Ibunda Alfatekah. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang penuh cinta, dan semangat yang tiada henti diberikan kepada saya hingga akhirnya saya mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga Besar Alfa Residence Team, yang selalu menjadi rumah terhangat dalam setiap langkah hidup penulis.
3. Teman-teman yang selalu setia menemani dalam setiap proses perjuangan ini. Terima kasih atas dukungan, semangat, tawa, dan motivasi yang diberikan selama penyusunan skripsi ini.
4. Dewi Sekar Wangi, terima kasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan penulis menyusun skripsi, berkontribusi baik tenaga, waktu, menemani serta menghibur penulis dalam kesedihan, mendengarkan keluh kesah dan menyakinkan penulis untuk pantang menyerah hingga penyusunan skripsi ini terselesaikan.
5. Diri sendiri yang telah kuat hingga detik ini, yang mampu mengendalikan diri dari tekanan luar, yang tidak menyerah dalam sesulit apapun, rintangan kuliah ataupun proses penyusunan penulisan skripsi, yang mampu berdiri tegak ketika dihantam permasalahan yang ada. Terima kasih diriku, semoga tetap rendah hati, ini baru awal dari permulaan hidup tetap semangat, kamu pasti bisa.

Rizal Ilham Yahya

30202100185

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Campuran Serbuk Besi terhadap Sifat Mekanis Beton” guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Ir. H. Sumirin., MS selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dan kesempatan dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan ilmu pengetahuan serta wawasannya kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

Sekian yang penulis dapat sampaikan, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca lainnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, 19 Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum Beton	5
2.1.1 Bahan-Bahan Penyusun Beton.....	5
2.1.2 Sifat-Sifat Beton.....	8
2.1.3 Macam-Macam Beton.....	12

2.2 Limbah Serbuk Besi	14
2.3 Superplasticizer	14
2.4 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Bahan Penelitian.....	16
3.2 Peralatan Penelitian	18
3.3 Pemeriksaan Bahan	23
3.3.1 Agregat Halus.....	23
3.3.2 Agregat Kasar (<i>Split</i>).....	25
3.4 Rencana Campuran Beton (Job Mix Design).....	28
3.5 Tahap Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji.....	30
3.6 Tahap Pengujian	31
3.6.1 Pengujian <i>Slump</i>	31
3.6.2 Perendaman Beton (<i>Curing</i>)	32
3.6.3 Pengukuran Berat Volume.....	32
3.6.4 Pengujian Kuat Tekan	33
3.6.5 Pengujian Kuat Tarik Belah	33
3.6.6 Pengujian Kuat Tekan Lentur.....	33
3.7 Bagan Alir	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Berat Volume Agregat	36
4.2 Kadar Lumpur	43
4.3 Kadar Air.....	49
4.4 Analisa Saringan.....	53
4.5 <i>Slump Test</i>	59

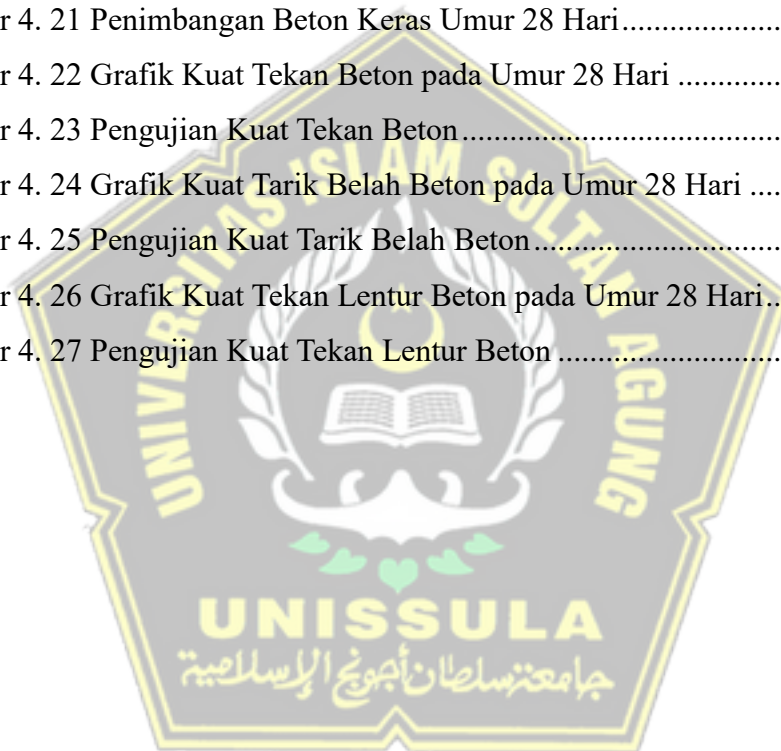
4.6 Berat Volume Beton	60
4.6.1 Berat Volume Beton Segar	60
4.6.2 Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	64
4.6.3 Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari	67
4.7 Kuat Tekan Beton.....	71
4.8 Kuat Tarik Belah Beton.....	73
4.9 Kuat Tekan Lentur Beton	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	81



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Semen <i>Portland</i>	16
Gambar 3. 2 Pasir Muntilan	16
Gambar 3. 3 <i>Split</i>	17
Gambar 3. 4 Air.....	17
Gambar 3. 5 <i>Superplasticizer</i>	17
Gambar 3. 6 Serbuk Besi	18
Gambar 3. 7 Satu set saringan dan <i>brass round sieve</i>	18
Gambar 3. 8 Timbangan.....	19
Gambar 3. 9 Kerucut Abrams.....	19
Gambar 3. 10 Cetakan Silinder dan Balok.....	20
Gambar 3. 11 Mesin Pengaduk Beton (<i>Concrete mixer cap</i>).....	20
Gambar 3. 12 Bak Perendam Beton.....	21
Gambar 3. 13 <i>Oven</i>	21
Gambar 3. 14 <i>Compression Testing Machine</i>	21
Gambar 3. 15 Alat Uji Kuat Tarik Belah.....	22
Gambar 3. 16 Alat Uji Kuat Tarik Lentur	22
Gambar 4. 1 Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan).....	38
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan).....	39
Gambar 4. 3 Berat Volume Agregat Kasar (Pasir Muntilan).....	42
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (<i>Split</i>).....	42
Gambar 4. 5 Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Endapan.....	44
Gambar 4. 6 Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Pencucian	46
Gambar 4. 7 Kadar Lumpur Agregat Kasar Cara Pencucian	48
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Kadar Lumpur Agregat	48
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Kadar Air Agregat.....	52
Gambar 4. 10 Pemeriksaan Kadar Air Agregat.....	52
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Muntilan).....	55
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (<i>split</i>). 58	

Gambar 4. 13 Analisa Saringan Agregat	58
Gambar 4. 14 Grafik <i>Slump Test</i>	59
Gambar 4. 15 <i>Slump Test</i>	60
Gambar 4. 16 Grafik Berat Volume Beton Segar	63
Gambar 4. 17 Penimbangan Beton Segar	63
Gambar 4. 18 Grafik Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam.....	66
Gambar 4. 19 Penimbangan Beton Keras Umur 24 Jam	67
Gambar 4. 20 Grafik Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari	70
Gambar 4. 21 Penimbangan Beton Keras Umur 28 Hari.....	70
Gambar 4. 22 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari	71
Gambar 4. 23 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	72
Gambar 4. 24 Grafik Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari	73
Gambar 4. 25 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.....	74
Gambar 4. 26 Grafik Kuat Tekan Lentur Beton pada Umur 28 Hari.....	75
Gambar 4. 27 Pengujian Kuat Tekan Lentur Beton	76



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hubungan Tingkat Workabilitas, Nilai <i>Slump</i> dan Tingkat Kepadatan ..	9
Tabel 3. 1 Komposisi Bahan Campuran Beton f'c 25 MPa per m ³ Berdasarkan SNI 7394-2008	28
Tabel 3. 2 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 0% dalam campuran beton untuk setiap 1 m ³	30
Tabel 3. 3 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 5% dalam campuran beton untuk setiap 1 m ³	30
Tabel 3. 4 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 10% dalam campuran beton untuk setiap 1 m ³	30
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Muntilan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).....	37
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)	38
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume <i>Split</i> dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).....	40
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (<i>Split</i>) dengan Cara Pemadatan	41
Tabel 4. 5 Kadar Lumpur Pasir Muntilan dengan Cara Endapan	44
Tabel 4. 6 Kadar Lumpur Pasir Muntilan dengan Cara Pencucian	45
Tabel 4. 7 Kadar Lumpur Split dengan Cara Pencucian	47
Tabel 4. 8 Nilai Kadar Air Pasir Muntilan	50
Tabel 4. 9 Nilai Kadar Air Split	51
Tabel 4. 10 Data Analisa Saringan Pasir Muntilan	53
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntilan	54
Tabel 4. 12 Data Analisa Saringan Agregat Kasar (<i>Split</i>)	55
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (<i>split</i>)	57
Tabel 4. 14 <i>Slump Test</i>	59
Tabel 4. 15 Berat Benda Uji Beton Segar	60
Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Segar	62

Tabel 4. 17 Berat Benda Uji Beton Keras Umur 24 Jam	64
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	65
Tabel 4. 19 Berat Benda Uji Beton Keras Umur 28 Hari.....	67
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari.....	69
Tabel 4. 21 Hasil Kuat Tekan Beton	71
Tabel 4. 22 Hasil Kuat Tarik Belah Beton	73
Tabel 4. 23 Hasil Kuat Tekan Lentur Beton.....	75



ABSTRAK

Pertumbuhan industri konstruksi yang pesat di Indonesia mendorong kebutuhan inovasi dalam pengembangan material ramah lingkungan, khususnya beton. Pemanfaatan limbah serbuk besi dari industri logam sebagai bahan tambahan dalam campuran beton, dengan tujuan mengetahui dampaknya terhadap sifat mekanis beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat tekan lentur beton setelah ditambahkan serbuk besi dalam variasi 5% dan 10% terhadap agregat halus.

Metode perhitungan campuran beton mengacu pada SNI 7394 2008 dengan mutu beton yang direncanakan sebesar 25 MPa. Beton yang diuji memiliki usia 28 hari.

Hasil uji kuat tekan beton pada variasi penambahan serbuk besi sebesar 5% dan 10% masing-masing adalah 28,62 MPa dan 21,07 MPa. Hasil uji kuat tarik belah pada variasi tersebut masing-masing sebesar 2,62 MPa dan 2,27 MPa. Hasil uji kuat tekan lentur pada variasi penambahan serbuk besi 5% dan 10% masing-masing sebesar 4,09 MPa dan 3,61 MPa. Dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk besi sebesar 5% mampu meningkatkan nilai kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur beton, meski tidak signifikan. Sementara itu, penambahan serbuk besi 10% justru mengurangi nilai tersebut secara signifikan. Hal ini menyebabkan tidak ditemukan titik optimum dari variasi campuran yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan variasi jumlah serbuk besi yang berbeda.

Kata kunci : Beton, Serbuk Besi, Sifat Mekanis Beton.

ABSTRACT

The rapid growth of the construction industry in Indonesia has driven the need for innovation in the development of environmentally friendly materials, particularly concrete. The use of iron powder waste from the metal industry as an additive in concrete mixes aims to determine its impact on the mechanical properties of concrete. This study aimed to determine the compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength of concrete after the addition of iron powder in 5% and 10% variations to fine aggregate.

The concrete mix calculation method refers to SNI 7394 2008, with a planned concrete quality of 25 MPa. The concrete tested was 28 days old.

The compressive strength test results for the 5% and 10% iron powder addition variations were 28.62 MPa and 21.07 MPa, respectively.

The splitting tensile strength test results for these variations were 2.62 MPa and 2.27 MPa, respectively. The flexural compressive strength test results for the 5% and 10% iron powder addition variations were 4.09 MPa and 3.61 MPa, respectively. It can be concluded that the addition of 5% iron powder can increase the compressive, tensile, and flexural strength of concrete, although not significantly. Meanwhile, the addition of 10% iron powder actually reduces these values significantly. This results in no optimum point being found for the mixture variations used. Therefore, further research is needed with different amounts of iron powder.

Keywords : Concrete, Iron Powder, Concrete Mechanical Properties

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi di Indonesia berkembang pesat, terutama dalam pembangunan infrastruktur. Pertumbuhan ini mendorong meningkatnya penggunaan beton dalam jumlah besar, oleh karena itu, berbagai upaya dilakukan Untuk menciptakan beton dengan bahan baku yang mudah diperoleh, biaya yang ringan, ataupun dengan memanfaatkan limbah lingkungan sebagai alternatif.

Beton adalah salah satu material konstruksi yang banyak digunakan dalam pembangunan modern. Material ini memiliki beberapa keunggulan, seperti kekuatan tekan yang tinggi, ketersediaan bahan penyusun yang melimpah dan terjangkau, ketahanan terhadap perubahan cuaca, serta perawatan yang mudah. Beton secara umum dibuat dari campuran kerikil, pasir, semen, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (SNI 03-2847-2013).

Kuat tekan beton menurut Tri Mulyono (2019), dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya faktor air-semen, usia beton, jenis dan jumlah semen, serta karakteristik agregat. Aspek tersebut penting untuk dipertimbangkan, mengingat beton memiliki kerentanan terhadap keretakan.

Perkembangan industri bengkel baja juga meningkatkan tingginya limbah industri yang dapat mencemari lingkungan. Produksi pengolahan logam yang tinggi di Indonesia menghasilkan limbah berupa serbuk logam. limbah serbuk besi ini berpotensi digunakan sebagai pengganti pasir dalam campuran beton., menjadi bagian dari inovasi dalam teknologi konstruksi. Butiran serbuk besi yang berukuran kecil mengakibatkan serbuk besi dapat mengisi partikel-partikel pada agregat halus, sehingga dapat menjadi bahan tambahan bagi agregat halus pada beton. Penelitian ini akan meneliti tentang pengaruh campuran serbuk besi terhadap sifat mekanis beton.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini, yaitu :

1. Berapa nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur pada beton normal?
2. Bagaimana pengaruh tambahan serbuk besi terhadap kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton?
3. Berapa proporsi campuran optimal dari kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur dengan tambahan serbuk besi pada beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui nilai kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur pada beton normal.
2. Mengetahui pengaruh tambahan serbuk besi terhadap kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur beton.
3. Mengetahui proporsi campuran optimal dari kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur dengan tambahan serbuk besi pada beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini, yaitu:

1. Mengurangi limbah dari industri pengolahan logam di Indonesia agar terjadi keseimbangan.
2. Memanfaatkan limbah serbuk besi bubuk sebagai bahan tambah pada campuran beton.
3. Memperoleh material beton ramah lingkungan dalam dunia perkembangan konstruksi.

1.5 Batasan Penelitian

1. Serbuk besi yang digunakan berasal dari limbah besi bubuk.
2. Pengujian beton dilakukan pada usia 28 hari.
3. Semen Portland Type I.
4. Menggunakan SikaCim Concrete 1003 sebagai superplasticizer.
5. Superplasticizer digunakan sebanyak 1% dari volume Air.

1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir

Sistematika laporan pada penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang digunakan dalam penelitian sebagai dasar untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemui.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan bahan dan benda uji, alat yang digunakan, serta prosedur pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan analisis data dari penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang sering digunakan dalam berbagai jenis bangunan. Hampir semua struktur, seperti gedung, bangunan air, dan infrastruktur transportasi, memanfaatkan beton sebagai elemen utama dalam pembangunannya. Beton memiliki kemampuan untuk menahan tekanan, serta tahan terhadap perubahan cuaca dan suhu yang tinggi, fleksibilitas dalam pembentukan, serta kemudahan dalam perawatan (Hamdi et al., 2022). Menurut SNI 2847:2019, Beton dibuat dari campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air. Bahan ini juga bisa dicampur dengan bahan tambahan tertentu.

Beton sangat populer dalam pembangunan modern. Material ini memiliki beberapa keunggulan, seperti daya tekan yang tinggi, ketersediaan bahan baku yang melimpah dengan harga relatif terjangkau, serta ketahanan terhadap berbagai kondisi cuaca dan kemudahan dalam perawatannya.

2.1.1 Bahan-Bahan Penyusun Beton

2.1.1.1 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam beton bisa berupa pasir alam atau pasir buatan. Pasir alam berasal dari proses alami pelapukan batuan, sedangkan pasir buatan diperoleh melalui proses pemecahan batu dengan peralatan khusus. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal", agregat halus yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi persyaratan berikut :

1. Agregat halus tidak boleh memiliki kandungan lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya. Jika kandungannya melebihi batas ini, pasir harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.
2. Butir agregat halus harus kuat dan tidak mudah pecah atau hancur akibat pengaruh cuaca.

3. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan organik yang dapat mempengaruhi kualitas beton.
4. Nilai modulus kehalusan agregat halus harus berada dalam rentang 1,5 hingga 3,8.

2.1.1.2 Agregat Kasar

Agregat kasar dalam beton bisa berupa kerikil alami atau batu pecah. Secara umum, agregat kasar adalah butiran dengan ukuran lebih dari 5 mm. Berikut kriteria untuk agregat kasar:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang kuat, tidak berpori, dan tahan lama sehingga tidak mudah pecah atau hancur akibat cuaca.
2. Agregat kasar tidak boleh memiliki lebih dari 20% butiran berbentuk pipih dari total beratnya..
3. Agregat kasar harus bebas dari zat-zat yang bisa merusak beton, seperti bahan reaktif terhadap alkali.
4. Agregat kasar harus memiliki tingkat kekerasan yang memadai, sehingga ketika diuji menggunakan bejana Rudeloff dengan beban 20 ton, tidak mengalami pembubukan hingga fraksi tertentu :
 - Ukuran 9,5 – 19 mm harus lebih dari 24% dari total beratnya.
 - Ukuran 19 – 30 mm harus lebih dari 22% dari total beratnya.Atau, jika diuji menggunakan mesin Pengaus *Los Angeles*, kehilangan beratnya tidak boleh melebihi 50%.
5. Agregat kasar harus memiliki butiran berukuran beragam dengan syarat sebagai berikut:
 - Butiran yang tersisa di atas ayakan 31,5 mm harus 0% dari total berat.
 - Butiran yang tersisa di atas ayakan 4 mm harus antara 90% hingga 98% dari total berat.
 - Perbedaan antara sisa butiran di dua ayakan berturut-turut tidak boleh melebihi 60% dan tidak boleh kurang dari 10% dari total berat.
6. Ukuran butiran terbesar dalam agregat kasar tidak boleh melebihi:
 - Seperlima dari jarak terkecil antara sisi cetakan.
 - Sepertiga dari ketebalan pelat, atau

- Tiga perempat dari jarak bersih terkecil antara tulangan atau kumpulan tulangan.

2.1.1.3 Semen

Semen bekerja sebagai bahan perekat yang menggabungkan berbagai bahan seperti batu dan pasir dalam pembuatan beton. Sifat utama dari semen adalah kemampuannya untuk mengikat ketika berpadu dengan air dan mengeras melalui proses yang disebut hidrolis. Proses hidrolis ini adalah reaksi antara semen dan air yang menghasilkan struktur keras seperti batu (batuan semen), yang juga tahan terhadap air.

Semen portland di Indonesia berdasarkan tujuan penggunaannya, diklasifikasikan ke dalam lima jenis, yaitu :

1. Tipe I. Digunakan untuk keperluan biasa dan tidak memerlukan karakteristik khusus seperti pada jenis lainnya.
2. Tipe II. Dirancang untuk tahan terhadap sulfat serta menghasilkan panas hidrasi yang sedang.
3. Tipe III. Digunakan ketika dibutuhkan kekuatan awal yang tinggi dalam penerapannya.
4. Tipe IV. Dirancang untuk kondisi yang membutuhkan panas hidrasi rendah.
5. Tipe V. Dibuat khusus untuk lingkungan dengan tingkat sulfat yang sangat tinggi.

2.1.1.4 Air

Air memainkan peran penting dalam pembuatan dan perawatan beton. Air yang digunakan harus memenuhi standar tertentu, yaitu tidak boleh mengandung zat-zat yang merusak beton atau baja. Air tawar yang layak dikonsumsi seperti air minum bisa digunakan untuk membuat adukan dan merawat beton.

Air yang kotor atau berwarna gelap tidak boleh digunakan. Selain itu, air yang mengandung bahan berbahaya seperti fosfat, minyak, asam, alkali, bahan organik, atau garam juga tidak boleh digunakan.

Perawatan beton dilakukan setelah proses pengecoran. Metode yang umum digunakan adalah dengan terus membasahi beton atau merendamnya dalam air. Air

yang digunakan untuk perawatan beton harus memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan air yang digunakan untuk pencampuran. Selain memenuhi persyaratan untuk membuat adukan, air juga harus memiliki tingkat keasaman yang tepat, yaitu tidak boleh memiliki pH lebih dari 6 dan tidak boleh terlalu rendah kandungan kapurnya.

2.1.2 Sifat-Sifat Beton

Beton memiliki dua sifat utama, yaitu sifat beton segar dan sifat beton keras. Memahami kedua sifat ini sangat penting agar mutu beton sesuai dengan kebutuhan konstruksi tertentu. Saat masih segar atau belum mengeras, beton memiliki tekstur yang lunak dan mudah dibentuk. Namun, setelah mengeras, beton memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban. Kualitas beton segar yang baik memudahkan proses pengerjaan dan berkontribusi pada hasil akhir yang berkualitas. Berikut adalah sifat-sifat beton segar:

2.1.2.1 Workabilitas

Sifat ini menunjukkan seberapa mudah campuran beton dapat diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan tanpa menyebabkan pemisahan antar material penyusunnya :

1. Konsistensi, yang diukur melalui uji slump untuk mengetahui kelenturan campuran beton.
2. Kompakabilitas, yaitu kemampuan beton untuk dipadatkan secara merata tanpa rongga udara berlebih.
3. Mobilitas, yang menunjukkan seberapa mudah beton mengalir ke dalam cetakan.
4. Stabilitas, yakni kemampuan beton untuk tetap homogen dan tidak mengalami segregasi selama proses pengerjaan atau pemadatan.

Kemudahan dalam pengerjaan beton segar dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Jumlah air dalam campuran. Semakin banyak air yang digunakan dalam campuran beton, maka semakin mudah untuk dikerjakan. Namun, jika air terlalu banyak, maka kekuatan beton akan berkurang.

2. Kandungan semen. Jika jumlah semen dalam campuran ditingkatkan, maka kemudahan dalam pengerjaan beton segar juga akan meningkat.
3. Gradasi agregat halus. Jika agregat halus memiliki gradasi yang sesuai dengan standar, maka campuran beton akan lebih mudah dikerjakan.
4. Bentuk butir agregat. Agregat yang berbentuk bulat lebih mudah diproses dibandingkan agregat dengan bentuk lainnya.
5. Penggunaan bahan tambahan. Admixture dan bahan tambahan mineral dapat meningkatkan kemudahan dalam pengerjaan beton segar.

Kemudahan dalam pengerjaan beton berkaitan langsung dengan tingkat kelecakannya. Tingkat kelecakan dapat diukur dengan uji slump. Semakin tinggi hasil uji slump, maka campuran beton akan semakin encer dan lebih mudah dikerjakan. Nilai slump umumnya berada dalam rentang 80 hingga 120 mm.

Tabel 2. 1 Hubungan Tingkat Workabilitas, Nilai *Slump* dan Tingkat Kepadatan

Tingkat Workabilitas	Nilai <i>Slump</i>	Faktor Kepadatan
Sangat rendah	0 – 25	0.8 – 0.87
Rendah sampai sedang	25 – 50	0.87 – 0.93
Sedang sampai tinggi	50 – 100	0.93 – 0.95
Tinggi	100 – 175	> 0.95

Pengujian workabilitas pada mortar beton dilakukan dengan cara mengecek menggunakan meja getar (flow table) berdasarkan standar ASTM C124-39. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur konsistensi mortar dengan mengetahui seberapa jauh campuran dapat menyebar setelah mendapatkan hentakan sebanyak 15 kali dalam waktu 15 detik. Nilai fluiditas ditentukan dari selisih antara diameter penyebaran mortar segar setelah diujikan (D dalam cm) dengan diameter awalnya (10cm). Secara matematis, fluiditas dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Flow} = (D - 10) \times 100 / 10 \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk mortar beton normal nilainya antara 0 – 150%.

2.1.2.2 Penyusutan

Secara umum, penyusutan didefinisikan sebagai perubahan volume yang terjadi tanpa adanya beban. Proses penyusutan pada beton terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

1. Penyusutan awal, terjadi akibat hilangnya air karena penguapan serta perembesan melalui bekisting.
2. Penyusutan karena perubahan suhu, terjadi saat beton mulai mendingin. Jika tidak dilakukan perawatan yang tepat, penyusutan ini dapat mengakibatkan retak pada beton dalam kondisi plastis.
3. Retak yang memiliki lebar lebih dari 0,15 mm. Retak semacam ini tidak berisiko menyebabkan air masuk hingga mencapai tulangan, sehingga dampaknya dapat diabaikan.
4. Retak dengan lebar antara 0,15 hingga 0,5 mm, perlu ditangani dengan cara menutup retakan, misalnya menggunakan emulsi lateks atau bahan lainnya.

2.1.2.3 Keawetan

Keawetan beton merujuk pada seberapa lama material tersebut tetap tahan terhadap keausan dan kerusakan, meskipun mengalami berbagai serangan dari faktor eksternal, baik fisik, mekanik, maupun kimia. Beberapa faktor yang dapat merusak beton meliputi perubahan cuaca yang terus-menerus, seperti hujan dan paparan sinar matahari, serta zat kimia perusak, seperti air limbah, air laut, lemak, dan gula. Cara untuk menjaga ketahanan beton terhadap faktor-faktor tersebut:

1. Membuat permukaan beton lebih halus, misalnya dengan menggunakan *exposed concrete*.
2. Memastikan beton tidak memiliki rongga (pori-pori) dengan melakukan pemadatan yang optimal.
3. Menambahkan bahan khusus sesuai dengan kebutuhan tertentu untuk meningkatkan ketahanan beton.

Menurut Yohanes (2014), karakteristik beton dalam kondisi keras meliputi beberapa aspek berikut :

1. Kuat Tekan

Kuat tekan beton didapatkan melalui proses pengujian standar menggunakan mesin uji, di mana beban tekan diberikan secara bertahap pada benda uji berbentuk silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) hingga terjadi keruntuhan. Metode pengujian ini mengacu pada standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) C39-86. Secara umum, kuat tekan

beton pada usia 28 hari berkisar antara 10 hingga 65 MPa, sedangkan kuat tekan beton bertulang biasanya berkisar antara 17 hingga 30 MPa.

2. Kuat Tarik

Mengukur kuat tarik beton secara akurat merupakan tantangan yang sulit. Sifat tarik beton biasanya ditentukan dengan menggunakan modulus keruntuhan (*modulus of rupture*). Namun, metode terbaru dengan uji belah silinder beton telah menunjukkan hasil yang lebih representatif terhadap kuat tarik sebenarnya. Berdasarkan pengujian berulang, nilai pendekatan kuat tarik beton berkisar antara $0,50 \sqrt{f_c'}$ hingga $0,60 \sqrt{f_c'}$, dengan nilai standar untuk beton normal sebesar $0,57 \sqrt{f_c'}$.

3. Kuat Geser

Menentukan kekuatan geser beton lebih sulit karena sulit memisahkan tegangan geser dari jenis tegangan lainnya. Hal ini menjadi salah satu alasan mengapa banyak buku referensi memberikan berbagai nilai kekuatan geser. Nilainya bisa berbeda-beda, mulai dari 20% dari kuat tekan beton dalam kondisi beban normal hingga mencapai 85% dari kuat tekan ketika ada kombinasi antara tegangan geser dan tekan.

4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemiringan di bagian awal garis lurus pada grafik tegangan-regangan. Nilainya akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya kuat tekan beton. Besaran modulus elastisitas ini bisa dihitung secara tepat menggunakan persamaan empiris :

$$E_c = 0,043 W_c \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk beton normal :

$$(w_c = 23 \text{ kN/m}^3), E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

E_c = modulus elastisitas beton tekan (MPa)

w_c = berat isi beton (kg/m³)

f_c' = kuat tekan beton (MPa)

2.1.3 Macam-Macam Beton

Beton merupakan bahan yang terbuat dari campuran semen, air, dan agregat. Selain itu, dapat ditambahkan berbagai bahan tambahan, seperti serat, material ramah lingkungan, zat kimia dengan perbandingan tertentu. Beton sendiri memiliki berbagai jenis, salah satunya diklasifikasikan berdasarkan berat satuannya sesuai dengan standar SNI 03-2847 sebagai berikut :

2.1.3.1 Beton Normal

Beton normal adalah jenis beton yang memiliki berat isi berkisar antara 2. 200 hingga 2. 500 kg/m³. Beton ini menggunakan agregat alami, baik yang sudah hancur maupun yang masih utuh, tanpa ditambahkan bahan tambahan. Kuat tekan beton yang ditetapkan dalam perencanaan struktur, disebut sebagai (f'_c), adalah nilai kuat tekan yang harus dipenuhi. Uji kuat tekan ini dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Hasil uji tersebut dinyatakan dalam satuan megaPascal (MPa).

2.1.3.2 Beton Berat

Standar SNI tidak secara khusus mengklasifikasikan beton berat. Namun, secara umum, beton dengan berat satuan lebih dari 2. 500 kg/m³ dianggap sebagai beton berat, meskipun beberapa pihak menetapkan batas bawahnya pada 3. 200 kg/m³. Beton dengan berat satuan yang berada di antara kategori tersebut umumnya dianggap kurang efektif jika dibandingkan antara berat dan kekuatannya. Meskipun demikian, tidak ada aturan yang melarang pembuatan beton dengan berat satuan dalam rentang 1. 900 kg/m³ hingga 2. 200 kg/m³.

2.1.3.3 Beton Serat (*Fibre Concrete*)

Beton serat adalah jenis beton yang dibuat dengan dicampur serat agar kekuatan tariknya menjadi lebih baik. Selain itu, serat juga berperan dalam mengurangi kemungkinan munculnya retak akibat perubahan kondisi lingkungan tersebut. Penambahan serat juga memperbaiki tampilan permukaan beton, sehingga struktur bisa lebih tahan terhadap kerusakan tiba-tiba akibat beban berlebih.

2.1.3.4 Beton Ramah Lingkungan

Menurut *The Institution of Structural Engineers* (ISE), cara memproduksi beton yang ramah lingkungan bisa dilakukan dengan menerapkan tiga prinsip

utama, yaitu: (1) meningkatkan penggunaan energi dan bahan dasar secara efisien, serta (2) memanfaatkan limbah atau sisa-sisa bahan, dan (3) meminimalkan dampak negatif terhadap kesehatan dan keselamatan pengguna konstruksi, baik selama proses pembangunan maupun saat bangunan beroperasi. Pendekatan ini dilakukan dengan menerapkan konsep 4R: *Reduce* (mengurangi), *Refurbish* (memperbaiki), *Reuse* (menggunakan kembali), dan *Recycle* (mendaur ulang).

2.1.3.5 Beton Massa

Beton massa adalah jenis beton yang dicor dalam jumlah besar, dengan rasio antara volume dan luas permukaan yang tinggi. Umumnya, suatu beton dikategorikan sebagai beton massa jika memiliki dimensi lebih dari 60 cm (Tjokrodinulyo, 2007). Beton yang termasuk dalam kategori beton massa dirancang dengan mempertimbangkan berbagai aspek, seperti kondisi cuaca, rasio volume terhadap luas permukaan, tingkat pemanasan, serta ketahanan terhadap perubahan suhu, perubahan volume, dan pengaruh material di sekitarnya. Selain itu, desain juga harus memperhitungkan fungsi struktur serta potensi dampak negatif akibat retak. Perhitungan panas hidrasi yang akurat menjadi hal penting, terutama ketika dimensi penampang struktur mencapai atau melebihi 76 cm, atau saat penggunaan semen melebihi 356 kg/m³. Salah satu permasalahan utama yang sering terjadi pada beton massa adalah munculnya retakan.

2.1.3.6 Beton Hampa

Beton hampa adalah jenis beton yang setelah dicampur dan diaduk rata, kemudian dituang dan dipadatkan seperti cara membuat beton biasa. Namun, kelebihan dari beton ini terletak pada proses penyedotan sisa air reaksi menggunakan metode khusus yang dikenal sebagai sistem vakum. Dengan teknik ini, hanya air yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen yang tetap tersisa dalam beton, sehingga menghasilkan struktur yang lebih kuat dan berkualitas tinggi. Karena kekuatannya yang unggul, beton hampa umumnya digunakan untuk konstruksi gedung-gedung pencakar langit.

2.2 Limbah Serbuk Besi

Besi biasanya ditemukan dalam bentuk magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), goethit, limonit, atau siderit. Meskipun saat ini cadangan bijih besi masih melimpah, penggunaannya yang terus meningkat secara eksponensial menyebabkan jumlahnya semakin berkurang, mengingat sumbernya terbatas. Sebagai ilustrasi, *Lester Brown* dari *Worldwatch Institute* memperkirakan bahwa dengan tingkat pertumbuhan konsumsi sebesar 2% per tahun, cadangan bijih besi dapat habis dalam 64 tahun. Limbah serbuk besi merupakan hasil sampingan dari proses pemotongan atau pengolahan besi lainnya, namun kandungan kimianya tetap sama seperti besi pada umumnya, yaitu mengandung silika, fosfor, dan belerang. Serbuk besi ini bisa digunakan sebagai pengganti dari pasir dalam campuran beton. Hal ini disebabkan karena serbuk besi mengandung silika yang bisa meningkatkan kekuatan dan tekstur beton. Tekstur yang lebih kasar juga membantu pencampuran beton menjadi lebih padat. Untuk tugas akhir ini, serbuk besi digunakan sebagai bahan campuran beton dengan persentase 5% dan 10%.

2.3 Superplasticizer

Superplasticizer adalah bahan tambahan yang digunakan dalam campuran beton atau mortar, selain air, agregat, semen, dan serat. Bahan ini ditambahkan sebelum atau selama proses pengadukan. Bahan ini terdiri dari asam sulfonat yang berfungsi meningkatkan nilai slump dan memudahkan pengerjaan beton (*workability*) hingga mencapai 23 cm, sekaligus mengurangi kebutuhan air serta penggunaan semen. Namun, *Superplasticizer* juga memiliki kelemahan, yaitu menyebabkan *slump* beton berkurang dengan cepat, sehingga *workability*-nya menurun dalam waktu relatif singkat. Dalam penelitian ini, yang melibatkan penambahan serat tembaga dan serbuk besi pada beton, digunakan *Superplasticizer* Sikament LN sebanyak 2% dari berat semen.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian menurut Fansuri, S., & Nura, A. I. (2020), mengungkapkan bahwa penambahan serbuk besi memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap kuat tekan beton. Beton yang diberi serbuk besi memiliki kekuatan yang

lebih baik. Namun, bila jumlah serbuk besi yang ditambahkan terlalu banyak, justru akan membuat kekuatan beton turun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk besi dalam jumlah optimal berada dalam rentang 10% hingga 30%, dengan kekuatan tekan beton tertinggi mencapai 21,42 N/mm² dan peningkatan kekuatan beton berkisar antara 26% hingga 60%.

Penelitian menurut Kurniati,A.(2020) menyimpulkan bahwa penambahan serbuk besi sebanyak 2,5% sudah cukup untuk mengisi rongga yang tidak terisi penuh oleh pasir, sekaligus memastikan bahwa beton tetap terlapisi dengan baik oleh semen. Hasil uji pada variasi 0%, 2,5%, 5%, dan 10% masing-masing memiliki berat campuran sebesar 2419 kg/m³, 2424 kg/m³, 2449 kg/m³, dan 2501 kg/m³. Kuat tekan terbaik diperoleh pada campuran dengan 2,5% serbuk besi, di mana terjadi peningkatan kuat tekan sebesar 6,6%.

Penelitian menurut Paryati, N. (2015), juga menyatakan bahwa penggunaan serbuk besi dan baja yang optimal adalah 25%, dengan kekuatan tekan beton (σ_k) mencapai 121,9823 kg/cm². Namun, penelitian ini menghadapi beberapa kendala, seperti kesalahan dalam memilih permukaan uji tekan, yang menyebabkan hasil kekuatan tekan beton lebih rendah. Selain itu, terjadi korosi antar butir agregat yang menyebabkan penurunan kekuatan tekan, serta munculnya gelembung udara dan segregasi (pemisahan butiran) yang berdampak pada penurunan kekuatan beton.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Dalam tugas akhir ini, terdapat berbagai jenis material yang dipakai dalam campuran beton. Material-material ini mencakup berbagai bahan utama yang berperan dalam pembentukan dan kualitas beton, yaitu:

1. Semen Portland (PC) tipe I dengan merek Gresik. Semen ini dikemas dalam bentuk zak dengan berat 50 kg per zak.



Gambar 3. 1 Semen *Portland*

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

2. Agregat halus yang digunakan adalah pasir Muntilan, yang diperoleh dari toko bahan bangunan. Pasir ini harus memenuhi persyaratan tertentu, yaitu tertahan pada saringan Nomor 200 dan dapat melewati saringan Nomor 4, guna memastikan kualitas dan kesesuaian dalam campuran beton.



Gambar 3. 2 Pasir Muntilan

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

3. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (split) dengan ukuran yang tertahan pada saringan Nomor 4. Agregat kasar berfungsi sebagai bahan pengisi yang meningkatkan kekuatan, stabilitas, dan daya tahan beton, sehingga menghasilkan struktur yang lebih kokoh dan tahan lama.



Gambar 3. 3 Split

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

4. Air yang digunakan dalam campuran beton harus dalam kondisi bersih dan bebas dari kandungan lumpur, minyak, atau zat kimia lainnya yang dapat memengaruhi kualitas beton. Air yang digunakan diperoleh dari saluran air di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung.



Gambar 3. 4 Air

(Sumber: dkijakartaprovo.go.id, 2025)

5. *Superplasticizer* digunakan sebagai bahan tambahan dalam adonan beton untuk meningkatkan kualitas campuran. Jenis *superplasticizer* yang digunakan adalah SikaCim Concrete 1003.



Gambar 3. 5 Superplasticizer

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

6. Serbuk limbah besi bubuk yang digunakan diperoleh dari industri pengrajin besi. Proporsi serbuk besi dalam campuran beton ditentukan berdasarkan persentase dari berat semen yang digunakan.



Gambar 3. 6 Serbuk Besi

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

3.2 Peralatan Penelitian

Ada berbagai macam alat yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Alat-alat yang dipergunakan yaitu:

1. Satu set saringan dan brass round sieve :

Untuk mengelompokkan ukuran butir dalam analisis agregat kasar dan halus sehingga menghasilkan komposisi gabungan berdasarkan proses penyaringan. Saringan yang digunakan memiliki ukuran mulai dari 1 inci hingga Nomor 200. Brass Round Sieve berfungsi untuk menggerakkan saringan yang dipasang pada media getar dengan kecepatan stabil, sehingga proses pengayakan dapat berlangsung secara optimal. Saringan ini menggunakan model MBT sejak 1974 dengan standar ASTM TEST SIEVE, di mana gradasi ukuran telah ditentukan sebelumnya menggunakan alat getar.



Gambar 3. 7 Satu set saringan dan *brass round sieve*

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

2. Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang campuran beton serta benda uji secara akurat. Terdapat dua jenis timbangan yang digunakan dalam proses pembuatan benda uji beton, yaitu timbangan dengan kapasitas kurang dari 25 kg untuk menimbang material atau benda uji yang beratnya di bawah 25 kg, serta timbangan dengan kapasitas kurang dari 40 kg untuk material atau benda uji yang beratnya tidak melebihi 40 kg.



Gambar 3. 8 Timbangan

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

3. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams serta pelat baja dan tongkat besi digunakan untuk mengukur tingkat kekakuan atau workability dari beton segar melalui metode uji slump test. Tujuannya adalah menentukan jumlah air dalam campuran beton. Hasil dari slump test ini memberikan informasi mengenai mutu beton serta estimasi waktu pengeringannya. Alat ini berbentuk kerucut dan terbuat dari logam, dengan diameter bagian atas 10 cm, diameter bagian bawah 20 cm, serta tinggi 30 cm. Tongkat besi penusuk memiliki panjang 60 cm dengan diameter 16 mm, serta dilengkapi alas kedap air sebagai media penuangan campuran beton.



Gambar 3. 9 Kerucut Abrams

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

4. Cetakan Silinder dan Balok

Pada laboratorium teknologi bahan konstruksi Fakultas Teknik UNISSULA, terdapat dua jenis cetakan benda uji, yaitu cetakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta cetakan berbentuk balok dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm. Cetakan ini terbuat dari besi yang kuat untuk menahan beban campuran beton yang dituangkan ke dalamnya. Selain itu, cetakan dilengkapi dengan baut dan mur pada setiap sisinya untuk menghubungkan bagian-bagian cetakan serta mempermudah proses pelepasan benda uji setelah beton mengeras.



Gambar 3. 10 Cetakan Silinder dan Balok
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

5. Mesin Pengaduk Beton (*Concrete mixer cap*)

Alat ini digunakan untuk mencampur material beton sesuai dengan skala yang telah ditentukan. Dengan bantuan mesin pengaduk, campuran beton dapat tercampur secara merata, serta proses pengerjaan menjadi lebih efisien.



Gambar 3. 11 Mesin Pengaduk Beton (*Concrete mixer cap*)
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

6. Bak Perendam Beton

Digunakan untuk merendam hasil cetakan beton sebagai upaya perawatan (Curing) beton selama 28 hari.



Gambar 3. 12 Bak Perendam Beton

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

7. Oven

Oven digunakan untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam agregat, atau digunakan untuk tujuan lainnya sesuai kebutuhan pengujian.



Gambar 3. 13 Oven

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

8. Mesin Uji Kuat Tekan (*Compression Testing Machine*)

Berfungsi untuk menguji kuat tekan benda uji beton guna mengetahui nilai ketahanannya terhadap tekanan. Penelitian ini menggunakan mesin *Compression Testing Machine*, kuat tekan beton dapat diketahui melalui skala yang terdapat pada alat saat benda uji ditempatkan secara simetris di bawah penekan. Skala akan bergerak seiring dengan tekanan yang diberikan secara konstan hingga benda uji mengalami retak atau pecah.



Gambar 3. 14 *Compression Testing Machine*

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

9. Alat Uji Kuat Tarik Belah

Alat uji kuat tarik belah digunakan untuk mengukur kuat tarik tidak langsung dari beton. Metode ini dikenal sebagai uji kuat tarik belah (*Split Tensile Strength Test*), di mana benda uji beton silinder ditekan secara diametral hingga terbelah.



Gambar 3. 15 Alat Uji Kuat Tarik Belah

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

10. Alat Uji Kuat Tarik Lentur

Alat uji kuat tarik lentur adalah alat yang digunakan untuk mengukur kemampuan beton dalam menahan gaya tarik akibat beban lentur (tekuk). Alat ini dirancang untuk melakukan pengujian terhadap benda uji berbentuk balok beton, guna menentukan kuat tarik lentur (*Modulus of Rupture*) dari beton.



Gambar 3. 16 Alat Uji Kuat Tarik Lentur

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

11. Alat Bantu

Dalam proses pembuatan benda uji beton pada penelitian ini, digunakan beberapa alat bantu, antara lain cangkul, ember, cawan, mistar, dan peralatan lainnya.

3.3 Pemeriksaan Bahan

Sebelum melakukan proses pencampuran, bahan penyusun beton harus melalui tahap pemeriksaan terlebih dahulu. Pemeriksaan ini dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar untuk menentukan nilai kadar air, kadar lumpur, serta analisis saringan guna memastikan kualitas material yang digunakan.

3.3.1 Agregat Halus

Agregat halus (pasir muntitan) harus melewati tiga jenis pemeriksaan, yaitu pengujian kadar lumpur, pengujian kadar air, dan analisis saringan. Hal ini untuk memastikan kualitas dan ketepatan agregat halus dalam campuran beton.

1. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Menurut standar SNI S-04-1989-F, Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%. Oleh karena itu, pemeriksaan kadar lumpur harus dilakukan sebelum agregat digunakan dalam beton. Terdapat dua cara untuk mengukur kadar lumpur, yaitu metode endapan dan metode pencucian.

a. Cara Endapan

Tahapan pengecekan kadar lumpur dalam agregat halus menggunakan metode endapan dilakukan sebagai berikut :

- 1) Masukkan 500 ml pasir muntitan ke dalam gelas ukur.
- 2) Tambahkan air bersih hingga lumpur yang terdapat dalam pasir larut sepenuhnya.
- 3) Kocok gelas ukur hingga pasir tercampur merata dengan air.
- 4) Letakkan gelas ukur di permukaan datar dan biarkan endapan terbentuk selama 24 jam.
- 5) Setelah 24 jam, ukur volume pasir serta volume lumpur yang mengendap.

b. Cara Pencucian

Tahapan pencucian pasir untuk menentukan kadar lumpur yang terkandung di dalamnya dilakukan sebagai berikut:

- 1) Timbang berat cawan kosong.
- 2) Timbang kembali cawan yang berisi pasir dalam kondisi kering sebanyak 500 gram.

- 3) Pindahkan pasir ke wadah yang lebih besar, lalu cuci hingga bersih.
- 4) Timbang kembali berat cawan beserta pasir yang telah dicuci hingga bersih.
- 5) Keringkan pasir dalam oven selama 24 jam.
- 6) Setelah proses pengeringan selesai, keluarkan pasir dan timbang kembali..

Kadar lumpur dalam agregat halus dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

V_1 = Volume Pasir (ml)

V_2 = Volume Lumpur (ml)

2. Pemeriksaan Nilai Kadar Air

Pemeriksaan kadar air bertujuan untuk mengetahui persentase air dalam agregat. Berdasarkan standar ASTM C70, kadar air dalam agregat berkisar antara 0,2% sampai 4%. Dalam campuran beton, kadar air penting dalam membantu reaksi kimia selama proses pengerasan dan juga berfungsi sebagai pelumas agar campuran bisa dituangkan ke dalam cetakan sesuai rencana.

Berikut langkah-langkah untuk menentukan kadar air:

- a. Timbang cawan kosong dan catat beratnya.
- b. Masukkan pasir muntiran ke dalam cawan, lalu timbang kembali cawan beserta pasir sebagai benda uji.
- c. Setelah ditimbang, masukkan benda uji ke dalam oven dan keringkan selama 24 jam.
- d. Setelah 24 jam, keluarkan benda uji dari oven dan biarkan hingga mencapai suhu ruangan.
- e. Timbang kembali benda uji dan hitung kadar air yang terkandung di dalamnya.

Kadar air dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Nilai Kadar Air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan :

a = Berat Wadah (gram)

b = Berat Wadah + Agregat sebelum dioven (gram)

c = Berat Wadah + Agregat setelah dioven (gram)

3. Pemeriksaan Analisa Saringan

Berdasarkan ASTM C136:2012, pemeriksaan analisis saringan bertujuan untuk memastikan gradasi agregat halus serta mengetahui persentase ukuran butiran agregat. Material yang melewati saringan Nomor 4 (4,76 mm) hingga saringan Nomor 200 (0,075 mm) diklasifikasikan sebagai agregat halus.

Untuk analisis saringan, langkah-langkahnya adalah:

- Siapkan benda uji dalam kondisi kering.
- Susun saringan dimulai dari ukuran terbesar hingga terkecil, dengan saringan terbesar di bagian paling atas.
- Masukkan benda uji ke dalam saringan terbesar, lalu tutup dan kocok satu set saringan selama 15 menit.
- Setelah proses penyaringan selesai, timbang jumlah agregat yang tertahan di setiap saringan.

Perhitungan analisis saringan dapat dilakukan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Berat Kehilangan} = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.3)$$

Dengan :

b_1 = Berat Agregat Semula (gram)

b_2 = Berat Agregat setelah disaring (gram)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \% \text{komulatif Agregat Tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana: MHB = Modulus Kehalusan Butir

3.3.2 Agregat Kasar (*Split*)

Sama seperti agregat halus, agregat kasar juga harus melalui tiga jenis pemeriksaan, yaitu :

1. Pemeriksaan Nilai Kadar Lumpur

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, Kandungan lumpur dalam agregat kasar (split) tidak boleh melebihi 1%. Oleh karena itu, sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton, perlu dilakukan pengecekan kadar lumpur.

Berikut adalah langkah-langkah untuk mengukur kadar lumpur pada agregat kasar (split):

- a. Timbang cawan dalam keadaan kosong.
- b. Timbang agregat kasar (split) sebanyak 500 gram.
- c. Cuci agregat dengan air bersih agar tidak ada lumpur yang menempel.
- d. Setelah dicuci, keringkan dalam oven selama 24 jam.
- e. Keluarkan agregat dari oven dan biarkan hingga mencapai suhu ruangan.
- f. Timbang kembali sampel dan hitung persentase kandungan lumpurnya.

Nilai kadar lumpur dalam agregat kasar (split) dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\text{Nilai Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan :

V_1 = Volume Split (gram)

V_2 = Volume Lumpur (gram)

2. Pemeriksaan Nilai Kadar Air

Nilai kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terdapat dalam agregat dengan berat agregat dalam kondisi kering. Menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM C70), kadar air dalam agregat berkisar antara 0,2% hingga 4%. Berikut adalah langkah-langkah untuk mengetahui jumlah kadar air yang terkandung dalam agregat:

- a. Timbang wadah kosong dan catat beratnya.
- b. Masukkan agregat kasar (split) ke dalam wadah, lalu timbang kembali wadah beserta benda uji.
- c. Setelah penimbangan, masukkan benda uji ke dalam oven dan keringkan selama 24 jam.
- d. Setelah 24 jam, keluarkan benda uji dari oven dan biarkan hingga mencapai suhu ruangan.

- e. Timbang kembali benda uji dan hitung kadar air yang terkandung di dalamnya.

Nilai kadar air dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\text{Nilai Kadar Air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan :

a = Berat Wadah (gram)

b = Berat Wadah + Agregat sebelum dioven (gram)

c = Berat Wadah + Agregat setelah dioven (gram)

3. Pemeriksaan Analisa Saringan

Berdasarkan SNI ASTM C136:2012, pemeriksaan analisis saringan bertujuan untuk memastikan gradasi agregat kasar serta menentukan persentase ukuran butiran agregat. Material yang tertahan pada saringan Nomor 4 (4,74 mm) hingga 40 mm (1,5 inci) dikategorikan sebagai agregat kasar.

Berikut adalah prosedur pemeriksaan analisis saringan :

- Susun saringan mulai dari ukuran terbesar hingga terkecil, dengan saringan berukuran terbesar di bagian paling atas.
- Masukkan benda uji ke dalam saringan terbesar, lalu tutup dan kocok satu set saringan selama 15 menit.
- Setelah proses penyaringan selesai, timbang jumlah agregat yang tertahan pada setiap saringan.

Perhitungan analisis saringan dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\text{Berat Kehilangan} = \frac{b1-b2}{b1} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.7)$$

Dengan :

$b1$ = Berat Agregat Semula (gram)

$b2$ = Berat Agregat setelah disaring (gram)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \% \text{ komulatif Agregat Tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana :

MHB = Modulus Halus Butir

3.4 Rencana Campuran Beton (Job Mix Design)

Menurut SNI 7394-2008, jumlah material yang dibutuhkan untuk mencapai mutu beton dengan rencana kuat tekan f_c 25 MPa per meter kubik (m^3) adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Komposisi Bahan Campuran Beton f_c 25 MPa per m^3

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	413 kg
Pasir	681 kg
Split	1021 kg
Air	215 liter

(Sumber : SNI 7394-2008)

Dalam penelitian ini, serbuk besi digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton dengan variasi 0%, 5%, dan 10% dari berat semen. Dalam campuran tersebut, juga ditambahkan Superplasticizer sebanyak 1% dari volume air yang digunakan. Beton dirancang dengan rencana kuat tekan f_c sebesar 25 MPa dan mengalami proses curing selama 28 hari.

a. Perhitungan Volume untuk Setiap Benda Uji Silinder

Volume benda uji silinder dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan

V = Volume Silinder (mm)

Π = Phi (3,14)

r = Jari – Jari Silinder (mm)

h = Tinggi Silinder (mm)

Dengan demikian, volume setiap benda uji silinder dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

Diketahui :

h = 300 mm

d = 150 mm

$r = \frac{1}{2} \times d$

$$= \frac{1}{2} \times 150 = 75 \text{ mm}$$

Maka

$$\begin{aligned} V &= \pi r^2 h \\ &= 3,14 \times (75)^2 \times 300 \\ &= 5298750 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Volume untuk Setiap Benda Uji Balok

Volume benda uji balok dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$V = p \times l \times t \dots\dots\dots(3.10)$$

Dengan

V = Volume Balok

p = Panjang (mm)

l = Lebar (mm)

t = Tinggi (mm)

Dengan demikian, volume setiap benda uji balok dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

Diketahui :

p = 600 mm

l = 150 mm

t = 150 mm

Maka

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 600 \times 150 \times 150 \\ &= 13500000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dengan tambahan Superplasticizer sebesar 1% dari volume air yang digunakan, perhitungannya dapat dilakukan dengan rumus berikut :

$$\text{Superplasticizer} = (1/100) \times \text{Volume Air yang digunakan} \dots\dots\dots(3.11)$$

Tabel 3.2 hingga Tabel 3.4 menyajikan data mengenai komposisi bahan penyusun beton dengan variasi persentase serbuk besi sebagai bahan campuran sebanyak 0%, 5%, 10% serta tambahan Superplasticizer sebesar 1% dari volume air untuk setiap 1 m³ campuran beton.

Tabel 3. 2 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 0% dalam campuran beton untuk setiap 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	413 kg
Pasir	681 kg
Serbuk Besi	0,00 kg
Split	1021 kg
Air	215 liter
Superplasticizer	2,15 liter

Tabel 3. 3 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 5% dalam campuran beton untuk setiap 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	413 kg
Pasir	681 kg
Serbuk Besi	34,05 kg
Split	1021 kg
Air	215 liter
Superplasticizer	2,15 liter

Tabel 3. 4 Komposisi bahan penyusun beton dengan tambahan serbuk besi 10% dalam campuran beton untuk setiap 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	413 kg
Pasir	681 kg
Serbuk Besi	68,1 kg
Split	1021 kg
Air	215 liter
Superplasticizer	2,15 liter

3.5 Tahap Pelaksanaan Pembuatan Benda Uji

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan benda uji beton. Berikut langkah-langkahnya :

1. Menyiapkan bahan-bahan seperti kerikil, semen, pasir, air, serbuk besi, dan superplasticizer sesuai dengan proporsi yang telah dirancang.
2. Selanjutnya, lakukan proses pencampuran antara kerikil, semen, pasir, serbuk besi, dan air hingga merata.

3. Setelah campuran beton tercampur sempurna, matikan mesin pengaduk dan lakukan uji slump. Uji ini dilakukan dengan memasukkan beton ke dalam kerucut Abrams yang telah dilumasi oli. Pengisian dilakukan dalam tiga tahap, dengan setiap tahap diisi sepertiga bagian dan dipadatkan menggunakan 25 tusukan secara merata. Lapisan terakhir dibuat sedikit berlebih, kemudian diratakan menggunakan alat penusuk. Setelah permukaannya rata, cetakan diangkat secara vertikal dalam waktu 3-7 detik tanpa diputar atau digeser. Kemudian, kerucut diletakkan di samping beton untuk mengukur nilai slump.
4. Setelah 24 jam, benda uji beton dikeluarkan dari cetakan silinder dan direndam dalam air selama 26 hari. Setelah masa perendaman selesai, beton diangkat dan dibiarkan sampai benar-benar kering selama 2 hari.
5. Sebelum melakukan pengujian kuat tekan, permukaan beton diratakan menggunakan *capping* berbahan sulfur.

3.6 Tahap Pengujian

Untuk proses ini, akan dilakukan serangkaian pengujian terhadap benda uji. Selain itu, dilakukan uji slump untuk menilai tingkat kekakuan atau kemudahan pengerjaan campuran beton segar sebelum dicetak dalam cetakan berbentuk silinder atau kubus. Beton juga akan menjalani proses perawatan (*curing*) selama 28 hari, serta dilakukan pengukuran berat volume. Tahapan pengujian dilakukan sebagai berikut :

3.6.1 Pengujian *Slump*

Uji *slump* untuk menilai tingkat *workability* beton segar sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan konstruksi. *Slump test* harus dilakukan segera setelah beton segar dituangkan. Jika terjadi penurunan plastisitas, perlu dipastikan terlebih dahulu apakah beton tersebut masih layak digunakan atau tidak. Dalam pengujian *slump* pada campuran beton yang mengandung serbuk besi bubuk, adapun tahap-tahap pengujian, antara lain :

1. Menyiapkan kerucut Abrams yang telah dibasahi, kemudian meletakkannya di atas permukaan datar yang lembab, tidak menyerap air, dan cukup kaku.

2. Mengisi kerucut Abrams dengan campuran beton dalam tiga tahap, masing-masing sepertiga dari volume kerucut. Setiap lapisan dipadatkan dengan 25 tusukan secara merata, dengan penusukan menembus lapisan sebelumnya namun tidak menyentuh dasar cetakan.
3. Pada lapisan terakhir, campuran beton ditambahkan sedikit melebihi batas cetakan setelah proses pemadatan, kemudian diratakan menggunakan batang penusuk.
4. Setelah permukaan beton rata, cetakan diangkat secara vertikal dalam waktu 3–7 detik tanpa memutar atau menggeser kerucut selama proses pengangkatan.
5. Seluruh proses uji *slump* tidak boleh melebihi waktu 2,5 menit.
6. Setelah cetakan diangkat, kerucut Abrams diletakkan di samping beton yang diuji, kemudian pengukuran nilai *slump* dilakukan dengan mengukur penurunan permukaan atas beton pada titik tengahnya..

Jika terjadi kegagalan dalam uji slump, pengujian dapat diulang dengan batas maksimal tiga kali. Jika setelah tiga kali pengujian ulang hasilnya masih tidak memenuhi standar, maka beton dinyatakan tidak layak atau tidak memenuhi persyaratan.

3.6.2 Perendaman Beton (*Curing*)

Pengujian dilakukan setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan silinder pada usia 24 jam. Tujuan dari curing adalah untuk menjaga kelembaban dan suhu yang optimal agar beton dapat mengembangkan kekuatan maksimal. Perawatan benda uji dilakukan sesuai standar ASTM C31-91 atau SNI 2493-2011, dengan tahapan:

1. Melepaskan benda uji dari cetakan silinder setelah berusia 24 jam.
2. Mengisi bak perendaman dengan air bersih.
3. Memasukkan benda uji ke dalam bak perendaman dan memastikan seluruh permukaannya terendam sepenuhnya.
4. Melakukan proses perendaman selama 28 hari.

3.6.3 Pengukuran Berat Volume

Untuk melakukan pengukuran berat volume dapat menggunakan rumus perhitungan berikut :

$$Y = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan

Y = Berat Jenis Beton (gram/cm³)

W = Berat Beton (gram)

V = Volume Silinder Beton (cm³)

3.6.4 Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban yang diberikan per satuan luas, di mana benda uji beton akan mengalami kerusakan ketika diberikan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan. Untuk menghitung kuat tekan dapat menggunakan rumus :

$$F'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan :

F_c = Kuat tekan beton (N/mm²) atau (Mpa)

P = Beban maksimum dalam newton

A = Luas bidang tekan benda uji (mm²)

3.6.5 Pengujian Kuat Tarik Belah

Secara umum, kuat tarik belah beton berada pada rentang 8% hingga 15% dari kuat tekan beton. Pengujian terhadap kuat tekan maupun kuat tarik belah dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm:

$$F'_t = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d} \dots\dots\dots(3.13)$$

Keterangan :

F_t = Kuat tarik belah beton (N/mm²) atau (Mpa)

P = Beban maksimum dalam newton

l = Panjang (mm)

d = Diameter (mm)

3.6.6 Pengujian Kuat Tekan Lentur

Kuat lentur beton umumnya dinyatakan dalam bentuk *modulus of rupture*, yaitu gaya tarik maksimum yang dapat ditahan beton saat mengalami lenturan. Pengujian dilakukan menggunakan balok beton dengan dimensi (150 × 600 × 150) mm, yang kemudian diberikan beban terpusat secara bertahap hingga mengalami keruntuhan :

$$MOR = \frac{PL}{bh^2} \dots\dots\dots(3.14)$$

Keterangan :

MOR = Kuat tekan lentur (Mpa)

P = Beban maksimum dalam newton

L = Jarak bentang tumpuan balok (cm)

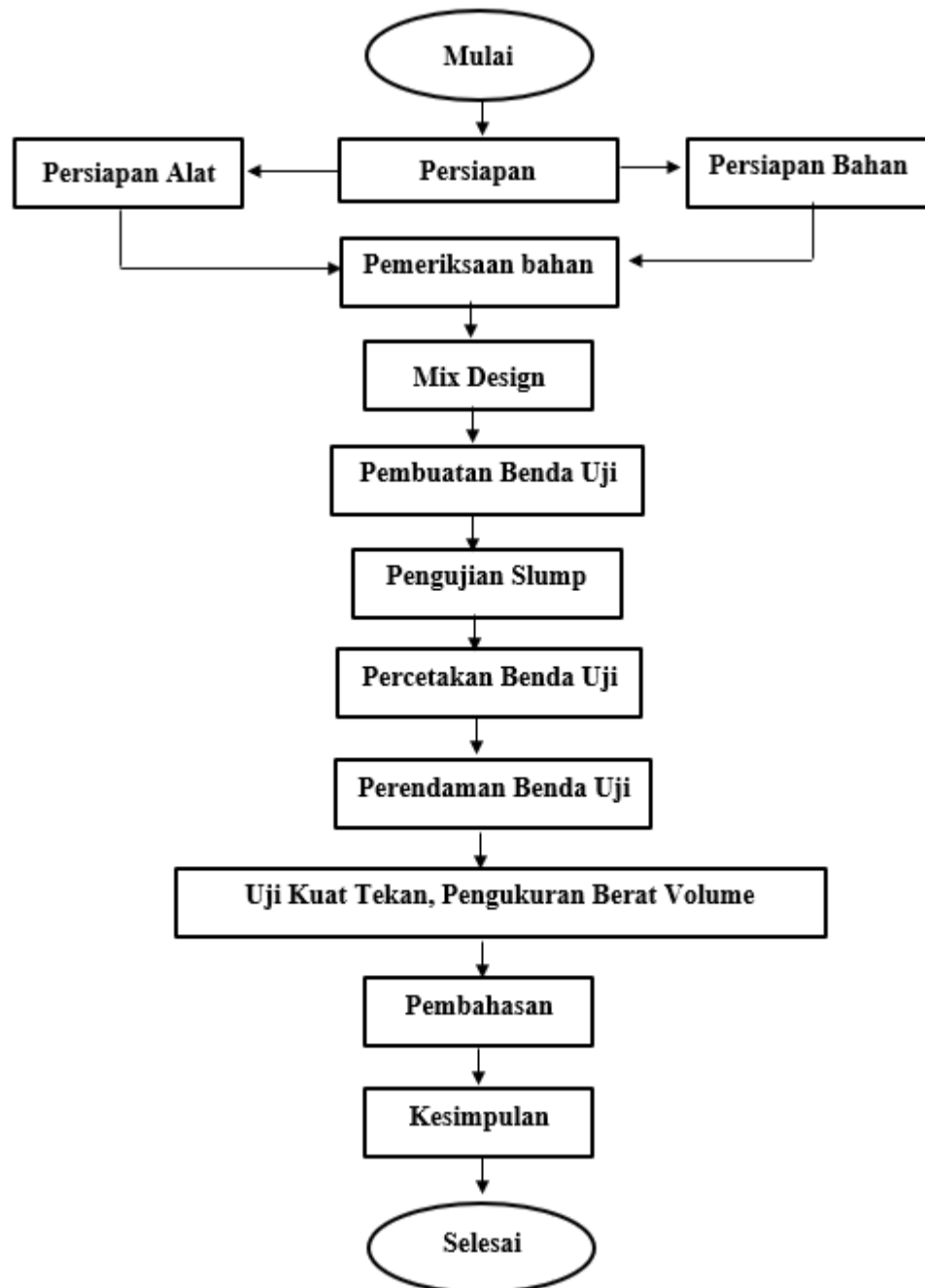
b = Lebar balok (cm)

h = Tinggi balok (cm)



3.7 Bagan Alir

Bagan alir ini menyajikan secara sistematis tahapan-tahapan dalam proses penelitian :



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Berat Volume Agregat

Berat Volume Agregat yang di uji meliputi Agregat Halus (Pasir Muntitan) dan Agregat Kasar (Split)

1. Agregat Halus

a. Cara Lepas

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntitan) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

▪ Kode wadah Sil A

$$W_1 = 10,55 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,65 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 17,65 - 10,55 \\ &= 7,10 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,10 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1339,62 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

▪ Kode wadah Sil B

$$W_1 = 10,33 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,45 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 17,45 - 10,33 \\ &= 7,12 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,12 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1343,40 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1339,62 + 1343,40}{2} \\ &= 1341,51 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume pasir muntitan dengan cara lepas (tanpa pemadatan).

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Muntitan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil A	10,55	17,65	7,10	1343,40	1341,51
2	Sil B	10,33	17,45	7,12	1343,40	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan hasil perhitungan, mendapatkan rata-rata nilai berat volume Pasir Muntitan dengan cara lepas (tanpa pemadatan) sebesar 1341,51 kg/m².

b. Cara Pemadatan

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat halus (Pasir Muntitan) dengan cara pemadatan menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

▪ Kode wadah Sil A

$$W_1 = 10,55 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 19,86 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 19,86 - 10,55 \\ &= 9,31 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{9,31}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1756,60 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

▪ Kode wadah Sil B

$$W_1 = 10,33 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 19,71 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 19,71 - 10,33 \\ &= 9,38 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{9,38}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1769,81 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1756,60 + 1769,81}{2} \\ &= 1763,21 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume pasir muntilan dengan cara pemadatan.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil A	10,55	19,86	9,31	1756,60	1763,21
2	Sil B	10,33	19,71	9,38	1769,81	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2025)

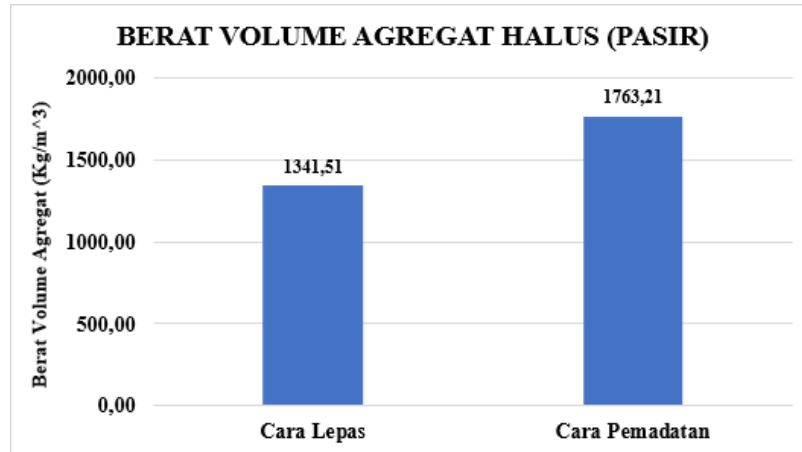
Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, diperoleh Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan sebesar 1763,21 kg/m³.



Gambar 4. 1 Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Dari Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)

(Sumber: Hasil Penelitian, 2025)

Hasil penelitian menunjukkan berat volume agregat halus dengan Cara Pemadatan lebih tinggi daripada dengan Cara Lepas, karena proses pemadatan memungkinkan butiran agregat tersusun lebih rapat, mengurangi rongga antar partikel dan meningkatkan massa jenis per satuan volume.

2. Agregat Kasar

a. Cara Lepas

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (*Split*) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode wadah Sil A

$$W_1 = 10,55 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,75 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 17,75 - 10,55 \\ &= 7,20 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,20}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1358,49 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Kode wadah Sil B

$$W_1 = 10,33 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,49 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 17,49 - 10,33$$

$$= 7,16 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,16}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1350,94 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1358,49 + 1350,94}{2} \\ &= 1354,72 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume *split* dengan cara lepas (tanpa pemadatan).

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume *Split* dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) W_3 / V_{Wadah}	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil A	10,55	17,75	7,20	1358,49	1354,72
2	Sil B	10,33	17,49	7,16	1350,94	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, mendapatkan Rata-Rata Nilai Berat Volume *Split* dengan Cara Lepas (Tanpa pemadatan) sebesar 1354,72 kg/m².

b. Cara Pemadatan

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (*Split*) dengan Cara Pemadatan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode wadah Sil A

$$W_1 = 10,55 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 18,68 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 18,68 - 10,55 = 8,31 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,31}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1567,92 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

- Kode wadah Sil B

$$W_1 = 10,33 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 18,55 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 18,55 - 10,33$$

$$= 8,22 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,22}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1550,94 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1567,92 + 1550,94}{2} \\ &= 1559,43 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume *split* dengan cara pemadatan.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (*Split*) dengan Cara Pemadatan

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) W_3 / V_{Wadah}	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil A	10,55	18,68	8,31	1567,92	1559,43
2	Sil B	10,33	18,55	8,22	1550,94	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2025)

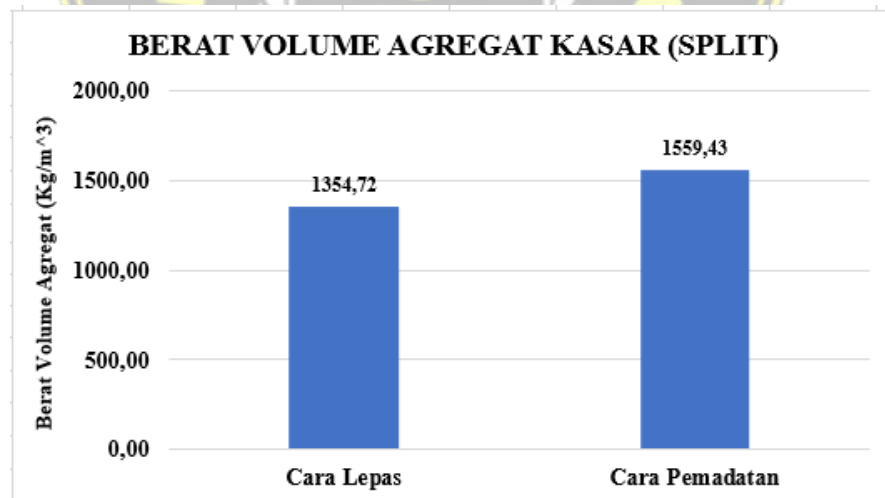
Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, diperoleh Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat Kasar (*Split*) dengan Cara Pemadatan sebesar 1559,43 kg/m².



Gambar 4. 3 Berat Volume Agregat Kasar (Pasir Muntilan)

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Grafik Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (*Split*) dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (*Split*)

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.4 Berat volume agregat kasar meningkat dalam kondisi dipadatkan dibandingkan dengan kondisi lepas, karena proses pemadatan membuat susunan butiran menjadi lebih rapat dan terkonsolidasi, yang mengakibatkan penurunan porositas dan bertambahnya massa dalam setiap satuan volume.

4.2 Kadar Lumpur

Pengujian Kadar Lumpur ini terdapat 2 cara yaitu dengan Cara Endapan dan Cara Pencucian.

1. Agregat Halus (Pasir Muntilan)

a. Cara Endapan

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Muntilan dengan Cara Endapan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$$

▪ Percobaan ke I

$$V_1 = 550 \text{ ml}$$

$$V_2 = 20 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Lumpur I} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{20}{500 + 20} \times 100\% \\ &= 3,85 \%\end{aligned}$$

▪ Percobaan ke II

$$V_1 = 550 \text{ ml}$$

$$V_2 = 30 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Lumpur II} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{30}{500 + 30} \times 100\% \\ &= 5,66 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \times 100\% \\ &= \frac{3,85 + 5,66}{2} \\ &= 4,76 \%\end{aligned}$$

Berikut perhitungan nilai kadar lumpur pasir muntitan dengan cara endapan.

Tabel 4. 5 Kadar Lumpur Pasir Muntitan dengan Cara Endapan

Percobaan	Volume Pasir (ml) V_1	Volume Lumpur (ml) V_2	Nilai Kadar Lumpur %	Rata-Rata %
			$\frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$	
I	550	20	3,85	4,76
II	550	30	5,66	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Endapan sebesar 4,76 %.



Gambar 4. 5 Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Endapan
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

b. Cara Pencucian

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Agregat Halus (Pasir Muntitan) dengan Cara Pencucian menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

▪ Percobaan ke I

$$a = 46 \text{ gram}$$

$$b = 546 \text{ gram}$$

$$c = 524 \text{ gram}$$

$$\text{Nilai Kadar Lumpur I (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

$$= \frac{(546-524)}{(524-46)} \times 100 \%$$

$$= \frac{22}{478} \times 100 \%$$

$$= 4,60 \%$$

▪ Percobaan ke II

a = 38 gram

b = 538 gram

c = 518 gram

$$\text{Nilai Kadar Lumpur II (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

$$= \frac{(538-518)}{(518-38)} \times 100 \%$$

$$= \frac{20}{480} \times 100 \%$$

$$= 4,17 \%$$

$$\text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2}$$

$$= \frac{4,60+4,17}{2} \times 100 \%$$

$$= \frac{8,77}{2} \times 100 \%$$

$$= 4,39 \%$$

Berikut hasil perhitungan nilai kadar lumpur pasir muntitan dengan cara pencucian.

Tabel 4. 6 Kadar Lumpur Pasir Muntitan dengan Cara Pencucian

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Lumpur	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	Gram	%	%
	a	b		c	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100$ %	
I	46	546	580	524	4,60	4,39
II	38	538	574	518	4,17	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Pencucian sebesar 4,39 %.



Gambar 4. 6 Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Pencucian
(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

2. Agregat Kasar (Split)

a. Cara Pencucian

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pencucian menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

▪ Percobaan ke I

$$a = 53,8 \text{ gram}$$

$$b = 553,8 \text{ gram}$$

$$c = 550,0 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \% \\ &= \frac{(553,8-550,0)}{(550,0-53,8)} \times 100 \% \\ &= \frac{3,8}{496,2} \times 100 \% \\ &= 0,77 \% \end{aligned}$$

▪ Percobaan ke II

$$a = 45,8 \text{ gram}$$

$$b = 545,8 \text{ gram}$$

$$c = 541,5 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \% \\ &= \frac{(545,8-541,5)}{(541,5-45,8)} \times 100 \% \\ &= \frac{4,3}{495,7} \times 100 \% \\ &= 0,87 \% \end{aligned}$$

Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur (%)

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\ &= \frac{0,77+0,87}{2} \times 100 \% \\ &= \frac{1,64}{2} \times 100 \% \\ &= 0,82 \% \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai kadar lumpur split dengan cara pencucian.

Tabel 4. 7 Kadar Lumpur Split dengan Cara Pencucian

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Lumpur	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100$ %	
I	53,8	553,8	574,0	550,0	0,77	0,82
II	45,8	545,8	564,6	541,5	0,87	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

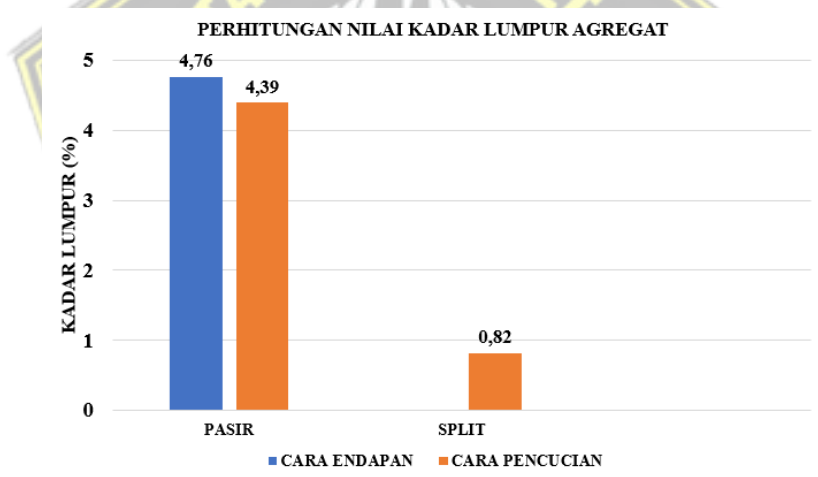
Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Split dengan Cara Pencucian sebesar 0,82 %.



Gambar 4. 7 Kadar Lumpur Agregat Kasar Cara Pencucian

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Pada Gambar 4.8 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur antara Pasir Muntitan dan Split.



Gambar 4. 8 Grafik Nilai Kadar Lumpur Agregat

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Perhitungan, didapatkan Nilai Kadar Lumpur Agregat sebagai berikut:

- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Endapan adalah 4,76 %.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Pencucian adalah 4,39 %.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pencucian adalah 0,82 %.

4.3 Kadar Air

1. Pasir Muntilan

Perhitungan Nilai Kadar Air Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Dioven menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

▪ Percobaan ke I

$$a = 48 \text{ gram}$$

$$b = 548 \text{ gram}$$

$$c = 533 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Air I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \% \\ &= \frac{(548-533)}{(533-48)} \times 100 \% \\ &= \frac{15}{485} \times 100 \% \\ &= 3,09 \% \end{aligned}$$

▪ Percobaan ke II

$$a = 42 \text{ gram}$$

$$b = 542 \text{ gram}$$

$$c = 525 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Air II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \% \\ &= \frac{(542-525)}{(525-42)} \times 100 \% \\ &= \frac{17}{483} \times 100 \% \\ &= 3,52 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Kadar Air (\%)} &= \frac{\text{Kadar Air I} + \text{Kadar Air II}}{2} \\ &= \frac{3,09+3,52}{2} \times 100 \% \\ &= \frac{6,61}{2} \times 100 \% \\ &= 3,31 \% \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan nilai kadar air pasir muntitan dengan cara dioven.

Tabel 4. 8 Nilai Kadar Air Pasir Muntitan

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dioven	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Air	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$	
I	48	548	533	3,09	3,31
II	42	542	525	3,52	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Pasir Muntitan dengan Cara Dioven sebesar 3,31 %.

2. Agregat Kasar (Split)

Perhitungan Nilai Kadar Air Agregat Kasar (Split) dengan Cara Dioven menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

▪ Percobaan ke I

$$a = 43 \text{ gram}$$

$$b = 543 \text{ gram}$$

$$c = 531 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Air I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \% \\ &= \frac{(543-531)}{(531-43)} \times 100 \% \\ &= \frac{12}{488} \times 100 \% \\ &= 2,46 \% \end{aligned}$$

▪ Percobaan ke II

$$a = 54 \text{ gram}$$

$$b = 554 \text{ gram}$$

$$c = 541 \text{ gram}$$

$$\text{Nilai Kadar Air II (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$$

$$= \frac{(554-541)}{(541-54)} \times 100 \%$$

$$= \frac{13}{487} \times 100 \%$$

$$= 2,67 \%$$

$$\text{Rata-Rata Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Kadar Air I} + \text{Kadar Air II}}{2}$$

$$= \frac{2,46+2,67}{2} \times 100 \%$$

$$= \frac{5,13}{2} \times 100 \%$$

$$= 2,57 \%$$

Berikut hasil perhitungan nilai kadar air split dengan cara dioven.

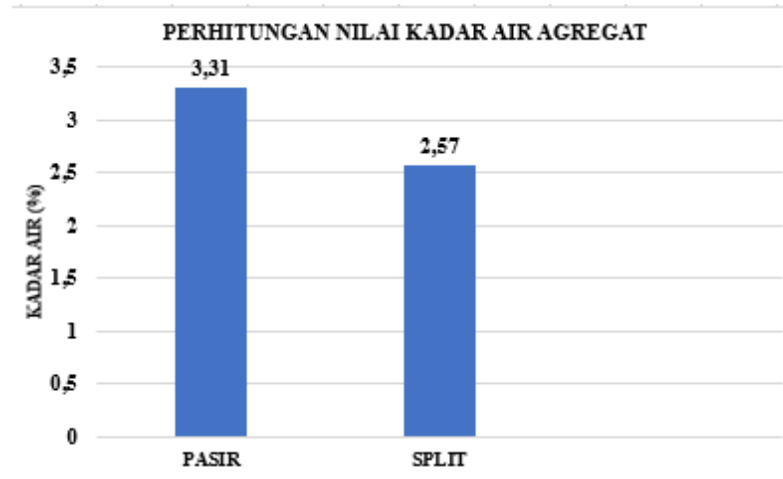
Tabel 4. 9 Nilai Kadar Air Split

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dioven	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Air	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	%	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100 \%$	%
I	43	543	531	2,46	2,57
II	54	554	541	2,67	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Split dengan Cara Dioven sebesar 2,57 %.

Pada Gambar 4.9 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Rata-Rata Nilai Kadar Air antara Pasir Muntilan dan Split.



Gambar 4. 9 Grafik Nilai Kadar Air Agregat
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Perhitungan, didapatkan Nilai Kadar Air Agregat sebagai berikut:

- Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Pasir Muntilan dengan Cara Dioven adalah 3,31 %.
- Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Agregat Kasar (Split) dengan Cara Dioven adalah 2,57 %.



Gambar 4. 10 Pemeriksaan Kadar Air Agregat
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.4 Analisa Saringan

1. Pasir Muntilan

Data yang didapat dari Penelitian Analisa Saringan Pasir Muntilan dapat dilihat dari Tabel 4.10 di bawah ini

Tabel 4. 10 Data Analisa Saringan Pasir Muntilan

No	Ukuran Saringan		Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat
	Standar (mm)	Alternatif	Gram	Gram	Gram
1	9,5	3/8 in	43	43	0
2	4,7	No. 4	43	43	0
3	2,36	No. 8	43	111	68
4	1,18	No. 16	43	144	101
5	0,59	No. 30	43	549	506
6	0,27	No.50	43	255	212
7	0,15	No.100	43	107	64
8	PAN	-	43	43	0
Jumlah					951

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

a. Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntilan

Berat Agregat Awal (*a*) = 1000 gram

Berat Agregat Setelah Disaring (*b*) = 951 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kehilangan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{1000-951}{1000} \times 100\% \\
 &= \frac{49}{1000} \times 100\% \\
 &= 4,9 \%
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Prosentase Agregat Tertinggal menggunakan rumus:

$$\text{Presentase Agregat Tertinggal} = \frac{c}{\sum c} \times 100\%$$

$$1. \text{ Tertahan Kumulatif } \emptyset 9,5 = \frac{0}{951} \times 100\% = 0 \%$$

$$2. \text{ Tertahan Kumulatif } \emptyset 4,7 = \frac{0}{951} \times 100\% = 0 \%$$

$$3. \text{ Tertahan Kumulatif } \emptyset 2,36 = \frac{68}{951} \times 100\% = 7,15 \%$$

c. Perhitungan Komulatif Agregat Tertinggal

1. Lolos Saringan Ø 9,5 = (0 + 0) % = 0 %
2. Lolos Saringan Ø 4,7 = (0 + 0) % = 0 %
3. Lolos Saringan Ø 2,36 = (0 + 7,15) % = 7,15 %

d. Perhitungan *Present Finer (f)* menggunakan rumus:

$$f = 100 \% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

1. Saringan Ø 9,5 = 100 % - 0 % = 100 %
2. Saringan Ø 4,7 = 100 % - 0 % = 100 %
3. Saringan Ø 2,36 = 100 % - 7,15 % = 92,85 %

Berikut hasil perhitungan analisa saringan pasir muntlan.

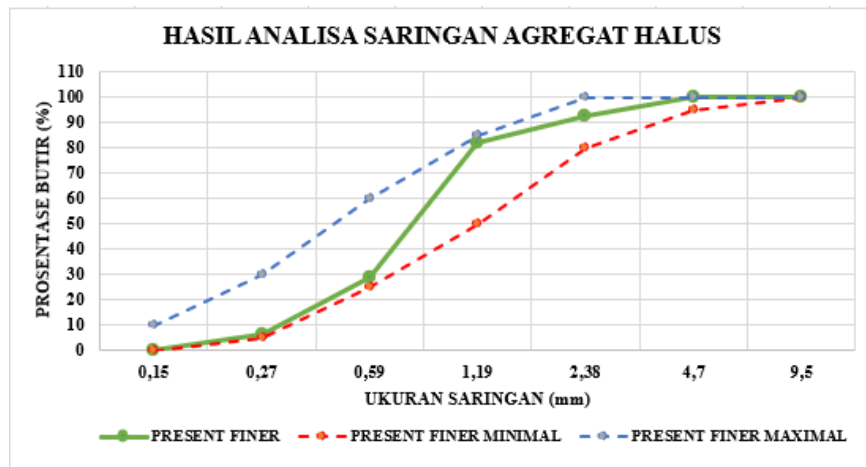
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntlan

No	Ukuran Saringan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat	Prosentase Agregat Tertinggal	Kumulatif Agregat Tertinggal	<i>Present Finer</i>	Spesifikasi ASTM C 33	
	mm	Gram	Gram	Gram	%	%	%	Min	Max
					$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$			%	%
1	9,5	43	43	0	0	0	100	100	100
2	4,7	43	43	0	0	0	100	95	100
3	2,36	43	111	68	7,15	7,15	92,85	80	100
4	1,18	43	144	101	10,62	17,77	82,23	50	85
5	0,59	43	549	506	53,21	70,98	29,02	25	60
6	0,27	43	255	212	22,29	93,27	6,73	5	30
7	0,15	43	107	64	6,73	100	0	0	10
Jumlah				951	100	289,17	410,83	-	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \% \text{Komulatif Agregat Tertinggal}}{100 \%} \\
 &= \frac{289,17}{100\%} \\
 &= 2,89
 \end{aligned}$$

Berikut hasil dari perhitungan analisa saringan pasir muntilan.



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Muntilan)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.11 di atas Nilai Present Finer dari Agregat Halus (Pasir Muntilan) memenuhi spesifikasi ASTM C 33 dan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 2,89.

2. Agregat Kasar (*Split*)

Data yang didapat dari Penelitian Analisa Saringan Agregat Kasar (*Split*):

Tabel 4. 12 Data Analisa Saringan Agregat Kasar (*Split*)

No	Ukuran Saringan		Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat
	Standar (mm)	Alternatif	Gram	Gram	Gram
1	25	1 in	54	54	0
2	19	3/4 in	54	420	366
3	12,5	1/2 in	54	446	392
4	9,5	3/8 in	54	247	193
5	4,7	No. 4	54	97	43
6	2,36	No. 8	54	54	0
7	1,18	No. 16	54	54	0
8	0,59	No. 30	54	54	0
Jumlah					994

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

a. Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (*Split*)

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Agregat Awal (a)} &= 1000 \text{ gram} \\
 \text{Berat Agregat Setelah Disaring (b)} &= 994 \text{ gram} \\
 \text{Berat Kehilangan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{1000-994}{1000} \times 100\% \\
 &= \frac{6}{1000} \times 100\% \\
 &= 0,6 \%
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Prosentase Agregat Tertinggal menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Prosentase Agregat Tertinggal} &= \frac{c}{\sum c} \times 100\% \\
 1. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 25 &= \frac{0}{994} \times 100\% = 0 \% \\
 2. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 19 &= \frac{366}{994} \times 100\% = 36,82 \% \\
 3. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 12,5 &= \frac{392}{994} \times 100\% = 39,44 \%
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Komulatif Agregat Tertinggal

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Lolos Saringan } \phi 25 &= (0 + 0) \% = 0 \% \\
 2. \text{ Lolos Saringan } \phi 19 &= (0 + 36,82) \% = 36,82 \% \\
 3. \text{ Lolos Saringan } \phi 12,5 &= (36,82 + 39,44) \% = 76,26 \%
 \end{aligned}$$

d. Perhitungan *Present Finer (f)* menggunakan rumus:

$$f = 100 \% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Saringan } \phi 25 &= 100 \% - 0 \% = 100 \% \\
 2. \text{ Saringan } \phi 19 &= 100 \% - 36,82 \% = 63,18 \% \\
 3. \text{ Saringan } \phi 12,5 &= 100 \% - 76,26 \% = 23,74 \%
 \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar (*split*).

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (*split*)

No	Ukuran Saringan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat	Prosentase Agregat Tertinggal	Kumulatif Agregat Tertinggal	<i>Present Finer</i>	Spesifikasi ASTM C 33	
	mm	Gram	Gram	Gram	%	%	%	Min	Max
					$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$			%	%
1	25	54	54	0	0	0	100	90	100
2	19	54	420	366	36,82	36,82	63,18	40	85
3	12,5	54	446	392	39,44	76,26	23,74	10	40
4	9,5	54	247	193	19,42	95,68	4,32	0	15
5	4,7	54	97	43	4,33	100	0	0	5
6	2,36	54	54	0	0	100	0	0	0
7	1,18	54	54	0	0	100	0	0	0
8	0,59	54	54	0	0	100	0	0	0
Jumlah				994	100	608,76	191,24	-	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

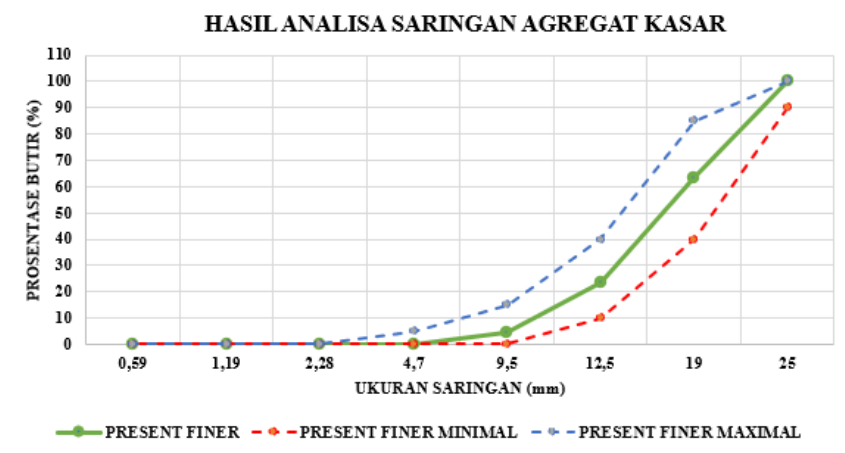
MHB

$$= \frac{\sum \% \text{Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100 \%}$$

$$= \frac{608,76}{100}$$

$$= 6,09$$

Berikut hasil dari perhitungan analisa agregat kasar (*split*).



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (*split*)

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.12 di atas Nilai Present Finer dari Agregat Kasar (Split) memenuhi spesifikasi ASTM C 33 dan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar (Split) sebesar 6,09



Gambar 4. 13 Analisa Saringan Agregat

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.5 Slump Test

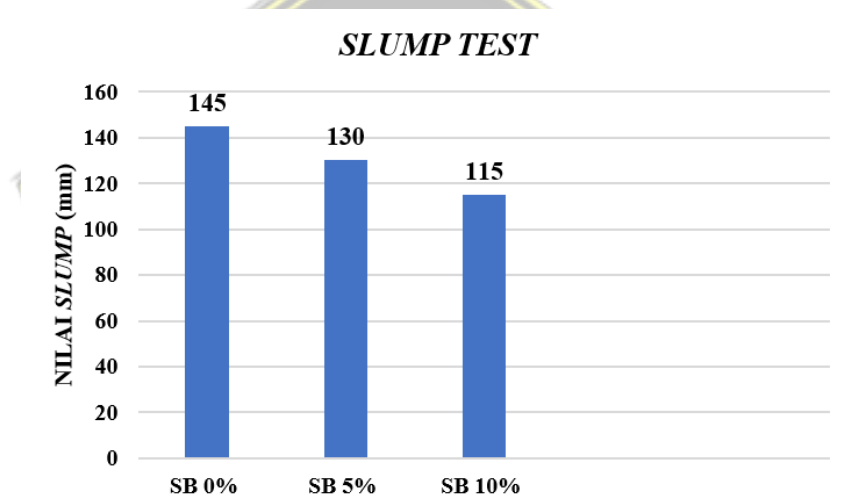
Berikut hasil dari pengukuran *slump test* pada beton segar.

Tabel 4. 14 *Slump Test*

No	Nama Sampel	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Rata-Rata (mm)
1	SB0.1	150	145
2	SB0.2	140	
3	SB5.1	130	130
4	SB5.2	130	
5	SB10.1	120	115
6	SB10.2	110	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

berikut adalah grafik dari *slump test*



Gambar 4. 14 Grafik *Slump Test*

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Dapat disimpulkan bahwa penggunaan Serbuk Besi sebagai Bahan Campuran Agregat Halus (Pasir Muntitan) Slump Test yang dihasilkan dari Campuran Beton semakin rendah (semakin encer)



Gambar 4. 15 *Slump Test*

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.6 Berat Volume Beton

Penimbangan Berat Volume Beton dilakukan pada saat beton masih dalam keadaan segar (belum mengeras) dan dilakukan saat beton sudah dalam keadaan keras. Untuk Pemeriksaan Berat Volume Beton Keras dilakukan pada saat umur beton 24 Jam (sebelum Curing) dan pada saat umur beton 28 hari (setelah Curing)

4.6.1 Berat Volume Beton Segar

Berikut data berat benda uji beton segar.

Tabel 4. 15 Berat Benda Uji Beton Segar

No	Kode Beton	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Benda Uji	Berat Benda Uji
		Kg	Kg	Kg
		<i>a</i>	<i>b</i>	$W = b - a$
1	Sil. SB0.1	10,92	23,35	12,43
2	Sil. SB0.2	12,57	25,02	12,45
3	Sil. SB0.3	10,76	23,40	12,64
4	Sil. SB0.4	10,50	23,22	12,72
5	Sil. SB0.5	12,54	24,77	12,23
6	Sil. SB0.6	10,30	22,96	12,66
7	Bal.SB0	7,62	39,73	32,11
8	Sil.SB5.1	10,92	23,47	12,55
9	Sil.SB5.2	12,57	25,24	12,67
10	Sil.SB5.3	10,76	23,32	12,56
11	Sil.SB5.4	10,50	23,40	12,90
12	Sil.SB5.5	12,54	24,91	12,37
13	Sil.SB5.6	10,30	23,32	13,02
14	Bal.SB5	7,62	40,09	32,47
15	Sil.SB10.1	10,92	23,43	12,51

No	Kode Beton	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Benda Uji	Berat Benda Uji
		Kg	Kg	Kg
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>W = b - a</i>
16	Sil.SB10.2	12,57	25,15	12,58
17	Sil.SB10.3	10,76	23,65	12,89
18	Sil.SB10.4	10,50	23,38	12,88
19	Sil.SB10.5	12,54	25,10	12,56
20	Sil.SB10.6	10,30	23,30	13,00
21	Bal.SB10.	7,62	40,10	32,48

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

- a. Rumus yang digunakan untuk menghitung Berat Volume Beton Segar:

$$y = \frac{w}{v}$$

Sebagai contoh berikut adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Serbuk Besi sebagai Campuran Agregat Halus (Pasir Muntitan) sebesar 0 %.

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Sil. SB0. 1} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,43}{0,00530} = 2345,28 \text{ Kg/m}^3 \\
 2. \text{ Sil. SB0. 2} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,45}{0,00530} = 2349,06 \text{ Kg/m}^3 \\
 3. \text{ Sil. SB0. 3} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,64}{0,00530} = 2384,91 \text{ Kg/m}^3 \\
 4. \text{ Sil. SB0. 4} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,72}{0,00530} = 2400,00 \text{ Kg/m}^3 \\
 5. \text{ Sil. SB0. 5} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,23}{0,00530} = 2307,55 \text{ Kg/m}^3 \\
 6. \text{ Sil. SB0. 6} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,66}{0,00530} = 2388,68 \text{ Kg/m}^3 \\
 7. \text{ Bal. SB0. 7} &= \frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Balok}} = \frac{32,11}{0,0135} = 2378,52 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Berat Volume Beton Segar Rata-Rata

1. PM100.SB0

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Sil.SB0.1} + \text{Sil.SB0.2} + \text{Sil.SB0.3} + \text{Sil.SB0.4} + \text{Sil.SB0.5} + \text{Sil.SB0.6} + \text{Bal.SB0.7}}{\text{Jumlah Sampel}} \\
 &= \frac{2345,28 + 2349,06 + 2384,91 + 2400,00 + 2307,55 + 2388,68 + 2378,52}{7} \\
 &= \frac{16554}{7} \\
 &= 2364,86 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

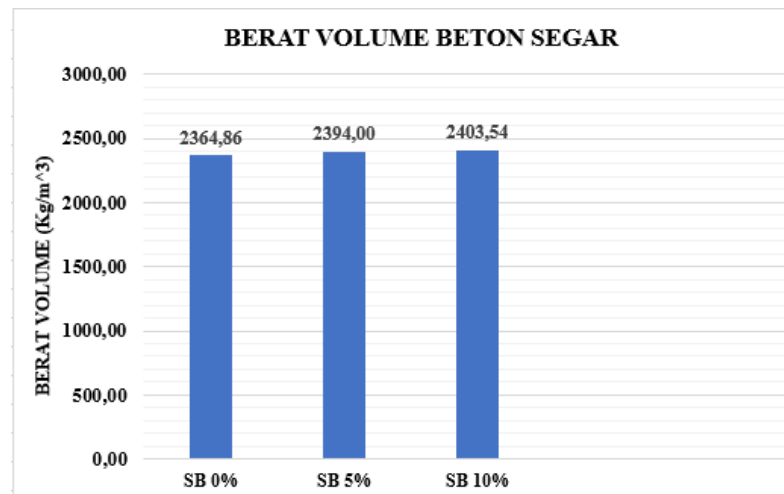
Berikut hasil perhitungan berat volume beton segar.

Tabel 4. 16 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Segar

No	Kode Beton	Berat Beton Segar	Volume Silinder	Berat Volume Beton Segar	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		$W = b - a$	$V = \pi \times r^2 \times h$	$y = \frac{w}{v}$	
1	Sil. SB0.1	12,43	0,00530	2345,28	
2	Sil. SB0.2	12,45		2349,06	
3	Sil. SB0.3	12,64		2384,91	
4	Sil. SB0.4	12,72		2400,00	
5	Sil. SB0.5	12,23		2307,55	
6	Sil. SB0.6	12,66		2388,68	
7	Bal.SB0	32,11	0,0135	2367,92	
8	Sil.SB5.1	12,55	0,00530	2390,57	
9	Sil.SB5.2	12,67		2369,81	
10	Sil.SB5.3	12,56		2433,96	
11	Sil.SB5.4	12,90		2333,96	
12	Sil.SB5.5	12,37		2456,60	
13	Sil.SB5.6	13,02		2360,38	
14	Bal.SB5	32,47	0,0135	2373,58	
15	Sil.SB10.1	12,51	0,00530	2432,08	
16	Sil.SB10.2	12,58		2340,19	
17	Sil.SB10.3	12,89		2369,81	
18	Sil.SB10.4	12,88		2452,83	
19	Sil.SB10.5	12,56		2378,52	
20	Sil.SB10.6	13,00		2405,19	
21	Bal.SB10	32,48	0,0135	2405,93	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume beton segar.



Gambar 4. 16 Grafik Berat Volume Beton Segar

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Nilai Berat Volume Beton Segar Tertinggi didapatkan pada serbuk besi sebagai campuran beton sebesar 10% (SB 10%) yaitu dengan nilai 2403,54 Kg/m³.



Gambar 4. 17 Penimbangan Beton Segar

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.6.2 Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam

Berikut data berat benda uji beton keras umur 24 jam.

Tabel 4. 17 Berat Benda Uji Beton Keras Umur 24 Jam

No	Kode Beton	Berat Benda Uji	No	Kode Beton	Berat Benda Uji
		Kg			Kg
		W			W
1	Sil. SB0.1	12,28	12	Sil.SB5.5	12,42
2	Sil. SB0.2	12,37	13	Sil.SB5.6	12,61
3	Sil. SB0.3	12,43	14	Bal.SB5	31,53
4	Sil. SB0.4	12,56	15	Sil.SB10.1	12,27
5	Sil. SB0.5	12,24	16	Sil.SB10.2	12,46
6	Sil. SB0.6	12,56	17	Sil.SB10.3	12,73
7	Bal.SB0	31,49	18	Sil.SB10.4	12,54
8	Sil.SB5.1	12,27	19	Sil.SB10.5	12,57
9	Sil.SB5.2	12,47	20	Sil.SB10.6	12,76
10	Sil.SB5.3	12,50	21	Bal.SB10	31,63
11	Sil.SB5.4	12,65			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

- a. Rumus yang digunakan untuk menghitung Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam:

$$y = \frac{W}{V}$$

Sebagai contoh berikut adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Serbuk Besi sebagai Campuran Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 0 %

$$1. \text{ Sil. PM 100. SB0. 1} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,28}{0,00530} = 2316,98 \text{ Kg/m}^3$$

$$2. \text{ Sil. PM 100. SB0. 2} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,37}{0,00530} = 2333,96 \text{ Kg/m}^3$$

$$3. \text{ Sil. PM 100. SB0. 3} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,43}{0,00530} = 2345,28 \text{ Kg/m}^3$$

$$4. \text{ Sil. PM 100. SB0 . 4} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,56}{0,00530} = 2369,81 \text{ Kg/m}^3$$

$$5. \text{ Sil. PM 100. SB0. 5} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,24}{0,00530}$$

$$= 2309,43 \text{ Kg/m}^3$$

$$6. \text{ Sil. PM 100. SB0. 6} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,56}{0,00530}$$

$$= 2369,81 \text{ Kg/m}^3$$

$$7. \text{ Bal. PM 100. SB0. 7} = \frac{\text{Berat Beton umur 24 jam}}{\text{Volume Balok}} = \frac{31,49}{0,0135}$$

$$= 2332,59 \text{ Kg/m}^3$$

b. Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam Rata-Rata

1. PM100.PS0

$$= \frac{\text{Sil.SB0.1} + \text{Sil.SB0.2} + \text{Sil.SB0.3} + \text{Sil.SB0.4} + \text{Sil.SB0.5} + \text{Sil.SB0.6} + \text{Bal.SB0.7}}{\text{Jumlah Sampel}}$$

$$= \frac{2316,98 + 2333,96 + 2345,28 + 2369,81 + 2309,43 + 2369,81 + 2332,59}{7}$$

$$= \frac{16397,86}{7}$$

$$= 2339,67 \text{ Kg/m}^3$$

Berikut hasil perhitungan berat volume beton keras umur 24 jam.

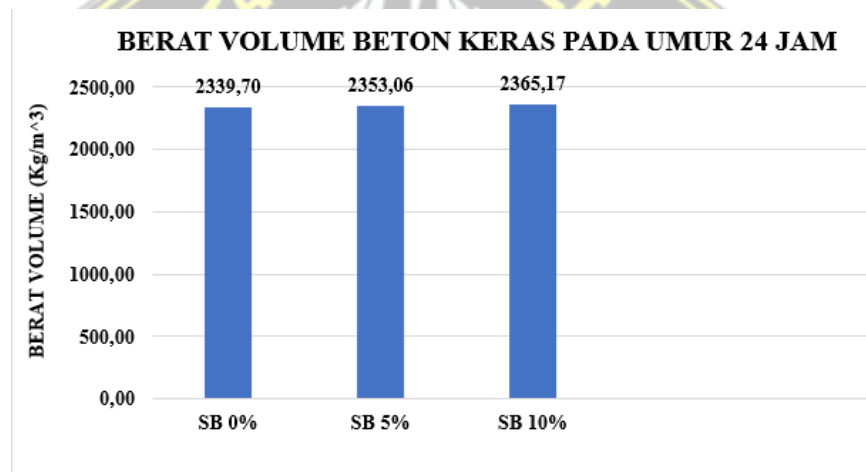
Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam

No	Kode Beton	Berat Beton Keras Umur 24 Jam	Volume Silinder	Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	
		$W = b - a$	$V = \pi \times r^2 \times h$	$y = \frac{w}{v}$	Kg/m ³
1	Sil. SB0.1	12,28	0,00530	2316,98	2339,70
2	Sil. SB0.2	12,37		2333,96	
3	Sil. SB0.3	12,43		2345,28	
4	Sil. SB0.4	12,56		2369,81	
5	Sil. SB0.5	12,24		2309,43	
6	Sil. SB0.6	12,56		2369,81	
7	Bal. SB0	31,49	0,0135	2315,09	2353,06
8	Sil. SB5.1	12,27	0,00530	2352,83	
9	Sil. SB5.2	12,47		2358,49	
10	Sil. SB5.3	12,50		2386,79	
11	Sil. SB5.4	12,65		2343,40	
12	Sil. SB5.5	12,42		2379,25	
13	Sil. SB5.6	12,61	0,0135	2315,09	2365,17
14	Bal. SB5	31,53		2350,94	
15	Sil. SB10.1	12,27	0,00530	2401,89	

No	Kode Beton	Berat Beton Keras Umur 24 Jam	Volume Silinder	Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		$W = b - a$	$V = \pi \times r^2 \times h$	$y = \frac{w}{v}$	
16	Sil.SB10.2	12,46	0,0135	2366,04	
17	Sil.SB10.3	12,73		2371,70	
18	Sil.SB10.4	12,54		2407,55	
19	Sil.SB10.5	12,57		2332,59	
20	Sil.SB10.6	12,76		2335,56	
21	Bal.SB10	31,63		2342,96	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume beton keras umur 24 jam.



Gambar 4. 18 Grafik Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Nilai Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam Tertinggi didapatkan pada serbuk besi sebagai campuran beton sebesar 10% (SB 10%) yaitu dengan nilai 2365,17 Kg/m³.



Gambar 4. 19 Penimbangan Beton Keras Umur 24 Jam

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.6.3 Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari

Berikut data berat benda uji beton keras umur 28 hari.

Tabel 4. 19 Berat Benda Uji Beton Keras Umur 28 Hari

No	Kode Beton	Berat Benda Uji	No	Kode Beton	Berat Benda Uji
		Kg			Kg
		<i>W</i>			<i>W</i>
1	Sil. SB0.1	12,46	12	Sil.SB5.5	12,44
2	Sil. SB0.2	12,54	13	Sil.SB5.6	12,66
3	Sil. SB0.3	12,49	14	Bal.SB5	31,71
4	Sil. SB0.4	12,62	15	Sil.SB10.1	12,38
5	Sil. SB0.5	12,30	16	Sil.SB10.2	12,60
6	Sil. SB0.6	12,64	17	Sil.SB10.3	12,82
7	Bal.SB0	31,67	18	Sil.SB10.4	12,65
8	Sil.SB5.1	12,45	19	Sil.SB10.5	12,75
9	Sil.SB5.2	12,59	20	Sil.SB10.6	12,93
10	Sil.SB5.3	12,61	21	Bal.SB10	31,92
11	Sil.SB5.4	12,69			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

- a. Rumus yang digunakan untuk menghitung Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari:

$$y = \frac{w}{v}$$

Sebagai contoh adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Serbuk Besi sebagai Campuran Agregat Halus (Pasir Muntitan) sebesar 0 %.

$$1. \text{ Sil. PM 100. SB0. 1} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,46}{0,00530} = 2350,94 \text{ Kg/m}^3$$

$$2. \text{ Sil. PM 100. SB0. 2} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,54}{0,00530} = 2366,04 \text{ Kg/m}^3$$

$$3. \text{ Sil. PM 100. SB0. 3} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,49}{0,00530} = 2356,60 \text{ Kg/m}^3$$

$$4. \text{ Sil. PM 100. SB0. 4} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,62}{0,00530} = 2381,13 \text{ Kg/m}^3$$

$$5. \text{ Sil. PM 100. SB0. 5} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,30}{0,00530} = 2320,75 \text{ Kg/m}^3$$

$$6. \text{ Sil. PM 100. SB0. 6} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,64}{0,00530} = 2384,91 \text{ Kg/m}^3$$

$$7. \text{ Bal. PM 100. SB0. 7} = \frac{\text{Berat Beton umur 28 Hari}}{\text{Volume Balok}} = \frac{31,67}{0,0135} = 2345,93 \text{ Kg/m}^3$$

- b. Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari Rata-Rata

1. PM100.PS0

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Sil.SB0.1} + \text{Sil.SB0.2} + \text{Sil.SB0.3} + \text{Sil.SB0.4} + \text{Sil.SB0.5} + \text{Sil.SB0.6} + \text{Bal.SB0.7}}{\text{Jumlah Sampel}} \\ &= \frac{2350,94 + 2366,04 + 2356,60 + 2381,13 + 2320,75 + 2384,91 + 2345,93}{7} \\ &= \frac{16506,3}{7} \\ &= 2358,04 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

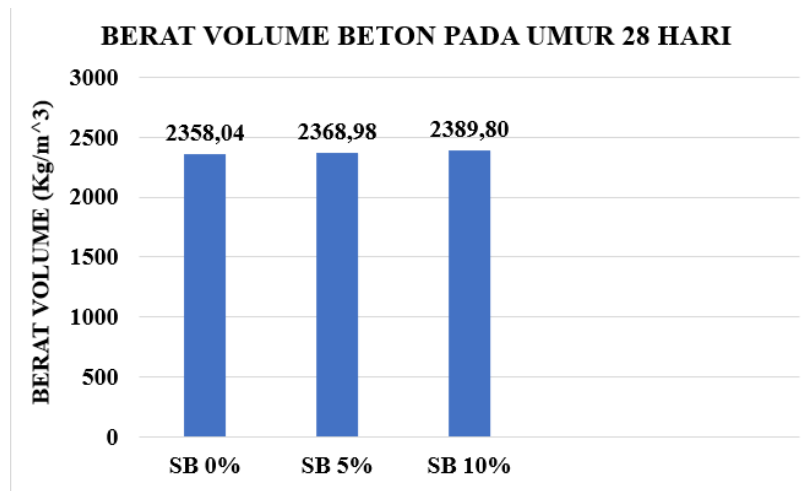
Berikut hasil perhitungan berat volume beton keras umur 28 hari.

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari

No	Kode Beton	Berat Beton Keras Umur 28 Hari	Volume Silinder	Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		$W = b - a$	$V = \pi \times r^2 \times h$	$y = \frac{w}{v}$	
1	Sil. SB0.1	12,46	0,00530	2350,94	
2	Sil. SB0.2	12,54		2366,04	
3	Sil. SB0.3	12,49		2356,60	
4	Sil. SB0.4	12,62		2381,13	
5	Sil. SB0.5	12,30		2320,75	
6	Sil. SB0.6	12,64		2384,91	
7	Bal.SB0	31,67	0,0135	2349,06	
8	Sil.SB5.1	12,45	0,00530	2375,47	
9	Sil.SB5.2	12,59		2379,25	
10	Sil.SB5.3	12,61		2394,34	
11	Sil.SB5.4	12,69		2347,17	
12	Sil.SB5.5	12,44		2388,68	
13	Sil.SB5.6	12,66	0,0135	2335,85	
14	Bal.SB5	31,71		2377,36	
15	Sil.SB10.1	12,38	0,00530	2418,87	
16	Sil.SB10.2	12,60		2386,79	
17	Sil.SB10.3	12,82		2405,66	
18	Sil.SB10.4	12,65		2439,62	
19	Sil.SB10.5	12,75		2345,93	
20	Sil.SB10.6	12,93		2348,89	
21	Bal.SB10	31,92	0,0135	2364,44	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil perhitungan nilai berat volume beton keras umur 28 hari.



Gambar 4. 20 Grafik Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Nilai Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari Tertinggi didapatkan pada serbuk besi sebagai campuran beton sebesar 10% (SB 10%) yaitu dengan nilai 2389,80 Kg/m³.



Gambar 4. 21 Penimbangan Beton Keras Umur 28 Hari

(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.7 Kuat Tekan Beton

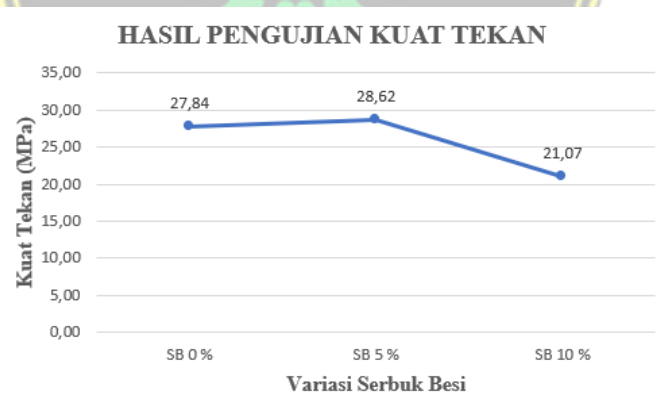
Berikut data yang didapatkan dari kuat tekan beton.

Tabel 4. 21 Hasil Kuat Tekan Beton

No	Kode Beton	Umur Beton	Beban Maksimum P	Kuat Tekan $f'c = \frac{P}{A}$	Kuat Tekan Rata-Rata $f'c$
		(Hari)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	Sil. SB0.1	28	558,638	31,612	27,84
2	Sil. SB0.2	28	449,788	25,453	
3	Sil. SB0.3	28	467,441	26,452	
4	Sil.SB5.1	28	402,604	22,783	28,62
5	Sil.SB5.2	28	604,831	34,226	
6	Sil.SB5.3	28	509,608	28,838	
7	Sil.SB10.1	28	318,344	18,015	21,07
8	Sil.SB10.2	28	466,447	26,395	
9	Sil.SB10.3	28	332,294	18,804	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil dari pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 4. 22 Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.22 didapatkan penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tekan beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 28,62 MPa tetapi tidak signifikan, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan yang signifikan dengan menghasilkan kekuatan 21,07 MPa. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa campuran 5% terjadi peningkatan karena struktur serbuk besi lebih kuat dan keras dibandingkan pasir. Struktur serbuk besi juga lebih tajam, sehingga mampu membuat ikatan yang kuat dengan komponen lainnya. Sedangkan pada campuran 10% terjadi penurunan yang signifikan dikarenakan proporsi campuran yang berlebih yang menyebabkan munculnya pori-pori yang lebih banyak pada beton.



Gambar 4. 23 Pengujian Kuat Tekan Beton
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.8 Kuat Tarik Belah Beton

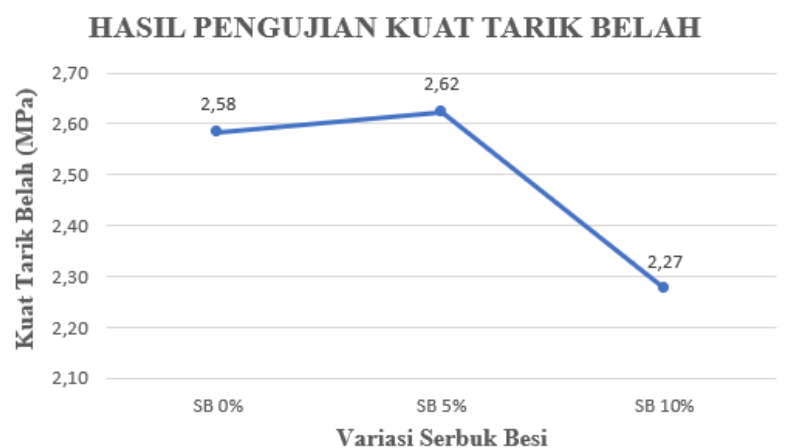
Berikut data yang didapatkan dari kuat tarik belah beton.

Tabel 4. 22 Hasil Kuat Tarik Belah Beton

No	Kode Beton	Umur Beton	Beban Maksimum P	Kuat Tarik Belah $f'_{ct} = \frac{P}{A}$	Kuat Tekan Rata-Rata f'_c
		(Hari)	(kN)	(MPa)	(MPa)
1	Sil. SB0.4	28	188,275	2,664	2,58
2	Sil. SB0.5	28	161,761	2,288	
3	Sil. SB0.6	28	197,968	2,801	
4	Sil.SB5.4	28	181,617	2,569	2,62
5	Sil.SB5.5	28	201,012	2,844	
6	Sil.SB5.6	28	173,667	2,457	
7	Sil.SB10.4	28	197,2	2,79	2,27
8	Sil.SB10.5	28	172,542	2,441	
9	Sil.SB10.6	28	112,569	1,593	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil dari pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari.



Gambar 4. 24 Grafik Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.24 didapatkan Penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tarik belah beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 2,62 MPa tetapi tidak signifikan, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan yang signifikan dengan menghasilkan kekuatan 2,27 MPa. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa campuran 5% terjadi peningkatan karena struktur serbuk besi lebih kuat dan keras dibandingkan pasir. Struktur serbuk besi juga lebih tajam, sehingga mampu membuat ikatan yang kuat dengan komponen lainnya. Sedangkan pada campuran 10% terjadi penurunan yang signifikan dikarenakan proporsi campuran yang berlebih yang menyebabkan munculnya pori-pori yang lebih banyak pada beton.



Gambar 4. 25 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)

4.9 Kuat Tekan Lentur Beton

Berikut data yang didapatkan dari kuat tekan lentur beton.

Tabel 4. 23 Hasil Kuat Tekan Lentur Beton

No	Kode Beton	Umur Beton	Beban Maksimum P	Panjang (L)(cm)	Lebar (b)(cm)	Tinggi (h)(cm)	Kekuatan Lentur (MOR)(MPa)
		(Hari)					
1	Bal.SB0.	28	27,493	60	15	15	3,67
2	Bal.SB5.	28	30,186	60	15	15	4,03
3	Bal.SB10.	28	27,072	60	15	15	3,61

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berikut hasil dari pengujian kuat tekan lentur beton pada umur 28 hari.



Gambar 4. 26 Grafik Kuat Tekan Lentur Beton pada Umur 28 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.26 didapatkan penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tekan lentur beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 4,03 MPa, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan dengan menghasilkan kekuatan 3,61 MPa. Artinya, hasil penelitian ini menyatakan bahwa pada beton normal, beton tambahan serbuk besi

5%, dan beton tambahan 10% tidak mengalami peningkatan ataupun penurunan kuat lentur yang signifikan.



Gambar 4. 27 Pengujian Kuat Tekan Lentur Beton
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2025)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai kuat tekan beton normal sebesar 27,84 MPa, nilai kuat tarik beton normal sebesar 2,58, dan nilai kuat lentur beton normal sebesar 3,67.
2. Pengaruh penggunaan serbuk besi sebagai tambahan pasir pada beton terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur, yaitu:
 - a. Penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tekan beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 28,62 MPa tetapi tidak signifikan, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan yang signifikan dengan menghasilkan kekuatan 21,07 MPa.
 - b. Penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tarik belah beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 2,62 MPa tetapi tidak signifikan, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan yang signifikan dengan menghasilkan kekuatan 2,27 MPa.
 - c. Penambahan serbuk besi terhadap campuran beton tidak menurunkan kuat tekan lentur beton pada persentase kurang dari 5% dengan menghasilkan kekuatan 4,03 MPa, sedangkan pada campuran 10% mengalami penurunan dengan menghasilkan kekuatan 3,61 MPa. Artinya, hasil penelitian ini menyatakan bahwa pada beton normal, beton tambahan serbuk besi 5%, dan beton tambahan 10% tidak mengalami peningkatan ataupun penurunan kuat lentur yang signifikan.
3. Proporsi campuran optimal dari kuat tekan, kuat tarik dan kuat lentur dengan tambahan serbuk besi yang paling tinggi adalah pada campuran 5% dengan proporsi setiap 1 m³, yaitu semen 413 Kg; pasir 681 kg; serbuk besi 34,05 kg; split 1021 kg; air 215 liter dan *superplasticizer* 2,15 liter.

5.2 Saran

1. Pemanfaatan serbuk besi untuk penambahan agregat pada campuran beton sebagai upaya untuk pengelolaan limbah pada lingkungan dapat dilakukan

dengan campuran kurang dari 5%, sedangkan campuran lebih dari 5% tidak disarankan karena dapat mengurangi kekuatan beton.

2. Penggunaan beton struktural mutu beton 20 MPa dengan campuran 10% masih disarankan.
3. Disarankan Campuran Serbuk Besi terhadap Agregat Halus menggunakan Prosentase yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan, K., & Nasional, S. (2019). *Penetapan Standar Nasional Indonesia 2847 : 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan sebagai Revisi dari Standar Nasional Indonesia 2847 : 2013*. 8.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002. Bandung: *Badan Standardisasi Nasional*, 251.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (1989). SK SNI S-04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam). *Badan Standardisasi Nasional. (1989): SK SNI S-04-1989-F. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (1990). *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. SNI 03-1974-1990, 1990, Halaman 2-6.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011a). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. SNI 1974:2011,2011,Halaman 20.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2011b). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*. SNI 2493:2011, 2011, Halaman 23.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2012). *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar (ASTM C 136-06 , IDT)*.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). *Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder*. SNI 2491:2014, 2014, Halaman 1-17.
- Fadli M. Van Gobel. (n.d.). *Nilai kuat tekan beton pada slump beton tertentu*. 5(1), 22–33.
- Fansuri, S., & Diana, A. I. N. (2020). *Pengaruh Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Limbah Serbuk Besi sebagai Admixture Agregat Halus*. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNIJA Volume 8, No. 1, April 2020e- ISSN 2685-9173*, 8.
- Hamdi, F., Lopian, F. E., Tumpu, M., Mansyur, Irianto, Mabui, D. D. S., Raidyarto, A., Sila, A. A., Pérez, C., Aranceta, J., Serra, L., Carbajal, Á., Rangan, P. R., & Hamkah. (2022). 2021, *Teknologi Beton*. In *Tohar Media* (Vol. 1, Issue 1).

- Iddrus, & Adriyanto, A. (2023). Fakultas teknik universitas wiraraja sumenep - madura. *Jurnal "MITSU" Media Informasi Teknik Sipil*, 9(1), 1–8.
- Kurniati, A. (2020). Pengaruh Pemakaian Limbah Serbuk Besi Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan $f_c'41,5$ Mpa. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 2(2), 1-2, 1–2.
- Mulyono, T. (2019). *TEKNOLOGI BETON: Dari Teori Ke Praktek*. Lembaga Pengembangan Pendidikan - UNJ.
- Pane, F. P., Tanudjaja, H., & Windah, R. S. (2015). Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton dengan Variasi Kuat Tekan Beton. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.5 Mei 2015 (313-321) ISSN: 2337-6732*, 3, 313–321.
- Paryati, N. (2001). *Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Serbuk Besi dan Baja* Ninik Paryati 1). 20–31.
- SNI-03-2834. (2002). *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*.
- SNI. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung Badan Standardisasi Nasional. *Bsn*, 1–265. www.bsn.go.id
- SNI, S. N. I., & BSN, B. S. N. (2008). *Cara uji slump beton*.
- SNI, B. S. N. (2008). *Tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*.
- Sudarmoko. (1996). *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton Bertulang*.
- Tjokrodimuljo, K. (2007). *Teknologi Beton* (Edisi satu). Yogyakarta : Biro Penerbit KMTS FT UGM., 2007.