

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL DENGAN BETON SUBSTITUSI AGREGAT KASAR PECAHAN BATA RINGAN SERTA PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER* (*Studi Penelitian*)

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

Disusun Oleh:

M FARID ANSHARI
2107210168



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M Farid Anshari
NPM : 2107210168
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan Beton Substitusi Agregat Kasar Pecahan Bata Ringan Serta Penambahan *Superplasticizer*.
Bidang Ilmu : Struktur

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

DISETUJUI DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, **30** Agustus 2025
Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Sri Frapanti, S.T. M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

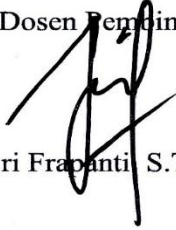
Nama : M Farid Anshari
NPM : 2107210168
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan
Beton Substitusi Agregat Kasar Pecahan Bata Ringan Serta
Penambahan *Superplasticizer*.
Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, **30** Agustus 2025

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing


Sri Frapanti S.T, M.T

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II


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


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

Ketua Prodi Teknik Sipil


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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M Farid Anshari
Tempat, Tanggal Lahir : Pangkalan Brandan, 18 September 2003
NPM : 2107210181
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul “Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan Beton Substitusi Agregat Kasar Pecahan Bata Ringan Serta Penambahan *Superplasticizer*”

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

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

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 Agustus 2025

 M Farid Anshari

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL DENGAN BETON SUBSTITUSI AGREGAT KASAR PECAHAN BATA RINGAN SERTA PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER*

M Farid Anshari

2107210168

Sri Frapanti, S.T. M.T

Perkembangan konstruksi mendorong pemanfaatan material alternatif untuk efisiensi dan pengurangan limbah. Pecahan bata ringan berpotensi digunakan sebagai substitusi agregat kasar, sedangkan *Superplasticizer* dapat meningkatkan mutu beton. Penelitian ini bertujuan membandingkan kuat tekan beton normal dengan beton campuran bata ringan serta penambahan *Superplasticizer*. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental dengan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, menggunakan variasi bata ringan 15%, 35%, dan 55% serta *superplasticizer* 1%. Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menunjukkan beton normal memiliki kuat tekan 20,57 MPa. Substitusi bata ringan menurunkan kuat tekan, masing-masing 13,77 MPa (15%), 9,05 MPa (35%), dan 6,59 MPa (55%). Penambahan *Superplasticizer* meningkatkan hasil, misalnya pada 15% bata ringan + *superplasticizer* mencapai 15,34 MPa, dan beton normal + *Superplasticizer* menjadi 22,35 MPa. Disimpulkan bahwa pecahan bata ringan menurunkan kuat tekan beton, namun dengan *Superplasticizer* kualitas beton dapat ditingkatkan dan masih berpotensi untuk konstruksi non-struktural.

Kata Kunci: Beton, Bata Ringan, *Superplasticizer*, Kuat Tekan.

ABSTRACT

ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL DENGAN BETON SUBSTITUSI AGREGAT KASAR PECAHAN BATA RINGAN SERTA PENAMBAHAN *SUPERPLASTICIZER*

M Farid Anshari

2107210168

Sri Frapanti, S.T. M.T

The development of construction encourages the use of alternative materials to improve efficiency and reduce waste. Lightweight brick fragments have the potential to be used as a substitute for coarse aggregates, while superplasticizers can improve the quality of concrete. This study aims to compare the compressive strength of normal concrete with concrete containing lightweight brick fragments and the addition of superplasticizer. The research was conducted experimentally using cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, with lightweight brick variations of 15%, 35%, and 55%, and superplasticizer of 1%. The compressive strength test at 28 days showed that normal concrete had a compressive strength of 20.57 MPa. The substitution of lightweight brick reduced compressive strength, with values of 13.77 MPa (15%), 9.05 MPa (35%), and 6.59 MPa (55%). The addition of superplasticizer improved the results, for example, 15% lightweight brick + superplasticizer achieved 15.34 MPa, and normal concrete + superplasticizer reached 22.35 MPa. It can be concluded that lightweight brick fragments decrease the compressive strength of concrete; however, with superplasticizer, the quality of concrete can be improved and has potential for use in non-structural applications.

Keywords: Concrete, Lightweight Brick, Superplasticizer, Compressive Strength

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton Normal Dengan Beton Substitusi Agregat Kasar Pecahan Bata Ringan dan Penambahan *Superplasticizer*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada :

1. Yang teristimewa ibunda tercinta, Hj. Hafifah,S.Ag, dan kakak kandung tercinta, Shafira Aulia,S.Tr.Keb, yang senantiasa memberikan do'a, dukungan dan semangat tanpa henti dalam setiap langkah perjalanan akademik penulis.
2. Ibu Sri Frapanti,S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ade Faisal,S.T. M.Sc. Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1 dan sekaligus Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang diharapkan dapat memberikan koreksi dan masukan yang konstruktif kepada penulis dalam proses penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Josef Hadipramana,S.T. M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 sekaligus pimpinan Kepala Program Studi Teknik Sipil yang diharapkan dapat memberikan koreksi dan masukan yang konstruktif kepada penulis dalam proses penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T. M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat karib kelas D1 Pagi Teknik Sipil yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang diharapkan bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman Mahasiswa Teknik Sipil khususnya. *Aamiin.*

Wassalamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 12 Maret 2025

M. Farid Anshari
NPM : 2107210168

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Pembahasan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Beton	5
2.2. Material Penyusun Beton	6
2.2.1. Agregat	6
2.2.2. Semen	7
2.2.3. Air	7
2.3. Bahan Tambahan	7
2.3.1. Bata Ringan	8
2.3.2. <i>Superplasticizer</i>	9
2.4. Jenis - Jenis Beton	11
2.5. Kuat Tekan Beton	12
2.6. Penelitian Terdahulu	13
2.6.1. Evaluasi Penelitian Terdahulu	18

BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1. Metode Penelitian	20
3.2. Data Primer	20
3.3. Data Sekunder	20
3.4. Pelaksanaan Penelitian	21
3.4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.4.2. Rencana Penelitian	21
3.4.3. Tahapan Penelitian	24
3.5. Persiapan Bahan dan Alat.	27
3.5.1. Bahan	27
3.5.2. Alat	27
3.6. Pemeriksaan Agregat	28
3.6.1. Analisa Saringan	28
3.6.2. Kadar Air Agregat	30
3.6.3. Berat Jenis Agregat Halus	30
3.6.4. Berat Jenis Agregat Kasar	31
3.6.5. Kadar Lumpur	32
3.7. Pengolahan Bata Ringan	33
3.8. Penggunaan <i>Superplasticizer</i>	33
3.9. Perencanaan Pencampuran (<i>Mix Design</i>)	33
3.10. Pembuatan Benda Uji	41
3.11. <i>Slump Test</i>	45
3.12. Perawatan Benda Uji	46
3.13. Pengujian Kuat Tekan Beton	47
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1. Pemeriksaan Agregat halus	48
4.1.1. Analisa Saringan	48
4.1.2. Berat Jenis dan Penyerapan	49
4.1.3. Kadar air	50
4.1.4. Kadar Lumpur	50
4.1.5. Berat Isi	51
4.2. Pemeriksaan Agregat Kasar	52

4.2.1. Analisa Saringan	52
4.2.2. Berat Jenis dan Penyerapan	53
4.2.3. Kadar Air	54
4.2.4. Kadar Lumpur	55
4.2.5. Berat Isi	56
4.3. Perencanaan Pencampuran Beton (<i>Mix Design</i>)	57
4.4. Kebutuhan Bahan	62
4.5. Pengujian Slump	64
4.6. Pengujian Kuat Tekan	66
BAB 5 PENUTUP	74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Informasi Produk (PT. Sika Indonesia, 2022).	10
Tabel 2.2 Toleransi waktu pengujian kuat tekan beton (SNI 1974: 2011)	13
Tabel 3.1 Variasi campuran beton.	21
Tabel 3.2 <i>Time Schedule</i> Penelitian.	23
Tabel 3.3 Rekomendasi nilai slump pekerjaan konstruksi (SNI 7656:2012)	34
Tabel 3.4 Hubungan antara rasio air-semen atau rasio air - bahan bersifat pengikat dan kekuatan beton (SNI 7656:2012).	36
Tabel 3.5 Volume agregat kasar per-satuan volume beton (SNI 7656:2012)	38
Tabel 3.6 Perkiraan awal berat beton segar (SNI 7656:2012).	39
Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus.	48
Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.	49
Tabel 4.3 Hasil pengujian kadar air agregat halus.	50
Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus.	50
Tabel 4.5 Hasil pengujian berat isi agregat halus.	51
Tabel 4.6 Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar.	52
Tabel 4.7 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar.	53
Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar.	55
Tabel 4.9 Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.	55
Tabel 4.10 Hasil pemeriksaan berat isi agregat kasar.	56
Tabel 4.11 Data perencanaan pencampuran beton (<i>Mix Design</i>).	57
Tabel 4.12 Rasio air, kadar udara dan ukuran agregat maksimum batu pecah.	58
Tabel 4.13 Rasio air semen.	59
Tabel 4.14 Berat kering agregat kasar.	60
Tabel 4.15 Berat beton segar.	60
Tabel 4.16 Hasil perbandingan berat.	61
Tabel 4.17 Kebutuhan material untuk 1 benda uji.	63
Tabel 4.18 Kebutuhan material untuk 3 benda uji.	64

Tabel 4.19 Hasil pengujian slump beton segar.	65
Tabel 4.20 Hasil pengujian kuat tekan beton tanpa penambahan <i>Superplasticizer</i> .	66
Tabel 4.21 Tabel kuat tekan beton dengan penambahan <i>Superplasticizer</i> .	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bata Ringan.	8
Gambar 2.2 <i>SikaCim Concrete Additive</i> .	10
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian.	26
Gambar 3.2 Sketsa benda uji silinder.	42
Gambar 3.3 Sketsa kerucut <i>Abrams</i> .	46
Gambar 3.4 Skema uji kuat tekan beton.	47
Gambar 4.1 Grafik Slump Test benda uji silinder.	65
Gambar 4.2 Grafik kuat tekan beton tanpa penambahan <i>Superplasticizer</i> .	67
Gambar 4.3 Grafik kuat tekan rata-rata beton tanpa <i>Superplasticizer</i> .	68
Gambar 4.4 Grafik kuat tekan beton dengan penambahan <i>Superplasticizer</i> .	70
Gambar 4.5 Grafik rata-rata kuat tekan beton dengan <i>Superplasticizer</i> .	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Dunia konstruksi saat ini berkembang sangat pesat di berbagai bidang, seperti pembangunan gedung, jembatan, jalan, dan lainnya. Beton menjadi salah satu material yang sering digunakan sebagai bahan utama dalam struktur konstruksi tersebut. Beton menjadi pilihan utama dalam berbagai proyek konstruksi karena memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan material lainnya. Salah satu alasan utamanya adalah harganya yang relatif terjangkau, sehingga sangat ekonomis untuk digunakan dalam pembangunan skala kecil maupun besar. Selain itu, beton memiliki kekuatan yang baik, menjadikannya mampu menahan beban yang besar serta cocok untuk berbagai jenis struktur. Bahan baku penyusunnya juga mudah ditemukan di berbagai daerah, seperti semen, pasir, kerikil, dan air, sehingga ketersediaannya tidak menjadi kendala (Indriani, 2021)

Beton merupakan bahan bangunan komposit yang terdiri dari kombinasi dengan ukuran tertentu antara agregat kasar, halus, air dan semen. Beton dalam kondisi basah dapat dibentuk berbagai macam model, dan beton yang telah mengeras membentuk material seperti batu. Beton digunakan untuk membuat berbagai macam konstruksi seperti perkerasan jalan, struktur bangunan, pondasi, dan jembatan (Cunradiana dkk., 2020). Dalam pembuatan beton, pemilihan bahan yang digunakan memegang peran penting untuk mencapai mutu beton sesuai dengan tujuan tertentu, dengan tetap mempertimbangkan biaya yang ekonomis. Agregat dalam beton berfungsi untuk memberikan kekuatan yang tinggi, mengurangi susutan selama proses pengerasan, serta dengan gradasi yang baik untuk menghasilkan beton berkualitas tinggi (Handiyana & Nisumanti 2016).

Limbah bata ringan merupakan sisa pecahan atau potongan yang dihasilkan dalam proses pemasangan bata. Hingga saat ini, limbah tersebut masih menjadi sumber permasalahan dalam pengelolaannya, karena sebagian besar hanya dibiarkan menumpuk atau dijual dengan harga yang sangat murah meskipun dalam jumlah

besar. Bata ringan adalah jenis beton dengan berat jenis yang lebih rendah dari beton biasa. Selain bobotnya yang lebih ringan, bata ringan juga memiliki berbagai keunggulan, seperti mampu menahan berat, memiliki insulasi panas dan suara yang baik, dan tahan lama. Salah satu cara pemanfaatannya adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan metode aplikatif (Agung & Agustapraja, 2021).

Menurut Jamal dkk (2017) penambahan *SikaCim Concrete Additive* dalam campuran beton dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan serta nilai kuat tekan beton. Hasil maksimal kuat tekan pada 28 hari diperoleh pada variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* sebesar 0,7% dari berat semen, dengan pengurangan kadar air sebanyak 15% dari kadar air awal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian dan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan kuat tekan beton normal dan beton campuran pecahan bata ringan 15%, 35%, 55% sebagai substitusi agregat kasar serta penambahan *Superplasticizer*.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan pecahan bata ringan 15%, 35%, 55% sebagai substitusi agregat kasar serta *Superplasticizer* terhadap mutu beton.

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini akan membatasi pembahasan pada aspek-aspek tertentu. Ruang lingkup yang akan dibahas dalam penelitian ini mencakup:

1. Metode perencanaan campuran beton mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7656: 2012).
2. Benda uji berupa silinder 15cm x 30cm.
3. Menggunakan pecahan batu bata ringan sebagai substitusi agregat kasar dengan variasi proporsi sebesar 15%, 35% dan 55%.

4. Menggunakan penambahan *Superplasticizer* dengan proporsi sebesar 1%.
5. Pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai perbandingan kuat tekan antara beton normal dengan beton yang menggunakan campuran pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar serta penambahan *Superplasticizer*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar dan penambahan *Superplasticizer* terhadap kuat tekan beton

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengembangkan alternatif material bangunan yang efisien dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan bata ringan sebagai pengganti sebagian agregat kasar dengan bahan tambah *Superplasticizer* untuk kualitas beton.
2. Mendukung pengurangan limbah bangunan dengan memanfaatkan bata ringan sehingga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

1.6. Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penyusunan tugas akhir ini diuraikan secara singkat di bawah ini :

BAB 1 PENDAHULUAN

Latar belakang tugas akhir di bahas dalam bab ini. Ini juga membahas rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika pembahasan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini menjelaskan konsep teori yang mendukung Tugas Akhir, memberikan dasar teori yang digunakan, dan memberikan informasi yang akan membantu peneliti memahami masalah yang akan diteliti.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan tentang tahapan penelitian, pelaksanaan penelitian, Teknik pengumpulan data, peralatan yang dipakai, dan jenis data yang diperlukan.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan hasil penelitian dan diskusi tentang analisis perhitungan dan pemecahan masalah.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan hasil dari diskusi penelitian yang telah dilakukan serta rekomendasi dari penulis terkait dengan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan pembentuk massa padat (SNI 03-2834-2000). Menurut Aji & Purnomo (2010), beton merupakan salah satu bahan utama yang paling sering digunakan dalam pembangunan fisik dewasa ini. Beton dapat didefinisikan sebagai campuran dari agregat halus dan agregat kasar dengan semen, yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu. Karena sifatnya yang khas, maka diperlukan pengetahuan yang cukup luas, antara lain mengenai sifat bahan dasarnya, cara pembuatannya, cara evaluasinya, dan variasi bahan tambahannya. Tingkat mutu beton atau sifat-sifat lain yang hendak dicapai, dapat dihasilkan dengan perencanaan yang baik dalam pemilihan bahan-bahan pembentuk serta komposisinya. Beton yang dihasilkan diharapkan memenuhi ketentuan-ketentuan seperti kelecakan dan konsistensi yang memungkinkan pengerjaan beton dengan mudah tanpa menimbulkan segregasi atau pemisahan agregat dan bleeding, ketahanan terhadap kondisi khusus yang diinginkan, memenuhi kekuatan yang hendak dicapai, serta ekonomis dari segi biayanya.

Kekuatan beton ditentukan oleh kuat tekan karakteristik (f'_c) pada usia 28 hari. Kuat tekan karakteristik adalah tegangan yang melampaui 95% dari pengukuran kuat tekan uniaksial yang diambil dari tes penekanan standar, yaitu dengan kubus berukuran 150 mm x 150 mm, atau silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm (Frapanti dkk., 2023). Beton memiliki beberapa karakteristik kekuatannya sehingga harus direncanakan dengan sangat baik pada bagian bangunan yang akan dibuat. Beton tidak memiliki kuat tarik yang baik, sehingga mudah mengalami keretakan. Dari itu diperlukan cara untuk mengatasinya, misalnya dengan memberikan serat baja, tulangan baja, dan sebagainya untuk meningkatkan kuat tarik yang tinggi (Tjokrodinuljo, 2007).

Kelebihan yang terdapat pada beton yaitu dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, dapat menahan beban yang berat, tahan terhadap temperatur yang tinggi, biaya pemeliharaan yang terjangkau, resisten terhadap korosi atau pembusukan yang disebabkan kondisi alam, memiliki nilai kuat tekan yang tinggi dengan biaya terjangkau. Sedangkan kelemahan pada beton yaitu bentuk yang sudah dibuat sulit untuk diubah, lemah terhadap kuat tarik, memiliki massa yang besar, memiliki daya pantul suara yang besar, dan sulit kedap air (Handiyana & Nisumanti, 2016).

2.2. Material Penyusun Beton

Dalam pembuatan beton, diperlukan berbagai material penyusun yang memiliki peran penting untuk memastikan kualitas dan kekuatan beton yang dihasilkan. Material-material tersebut bekerja bersama untuk memenuhi kebutuhan konstruksi, baik dari segi mutu maupun daya tahan beton dalam jangka waktu yang panjang. Berikut adalah material penyusun beton :

2.2.1. Agregat

Pada suatu campuran beton normal, agregat menempati 70% hingga 75% volume beton yang mengeras. Sisanya ditempati oleh pasta semen, air yang tersisa dari reaksi hidrasi serta rongga udara. Secara umum semakin padat susunan agregat dalam campuran beton, maka beton yang dihasilkan akan semakin tahan lama dan ekonomis. Oleh karena itu agar dapat dipadatkan dengan baik maka ukuran agregat dipilih sedemikian rupa hingga memenuhi gradasi yang disarankan (Setiawan dkk., 2021).

Agregat terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Agregat Kasar.

Kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci) (SNI 1970: 2008).

2. Agregat Halus.

Agregat Halus. Pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4) (SNI 1970: 2008).

2.2.2. Semen

Secara umum semen adalah bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat bahan-bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat (Mulyono, 2005)

Menurut SNI 15-2049-2004, semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *Portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling Bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

2.2.3. Air

Air merupakan bahan yang penting dalam pembuatan suatu campuran beton. Air yang dicampur dengan semen akan membungkus agregat halus dan agregat kasar menjadi satu kesatuan. Pencampuran semen dan air akan menimbulkan suatu reaksi kimia yang dapat disebut dengan istilah reaksi hidrasi. Dalam reaksi hidrasi komponen-komponen pokok dalam semen bereaksi dengan molekul air membentuk hidrat atau produk hidrasi. Dalam pembuatan campuran beton sebaiknya menggunakan air yang bersih yang tidak tercampur dengan kotoran-kotoran kimia yang memungkinkan timbulnya reaksi sampingan dari reaksi hidrasi (Setiawan dkk., 2021).

2.3. Bahan Tambahan

Terdapat 2 bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

2.3.1. Bata Ringan

Bata ringan merupakan bata berpori yang memiliki nilai berat jenis (*density*) lebih ringan daripada bata pada umumnya. Berat jenisnya antara 600-1600 kg/m³ dan kekuatannya bergantung pada komposisi campuran yang terdapat di dalamnya (Ngabdurrochman, 2009). Kelebihan utama pada bata ringan adalah pada berat volumenya yang kecil, sehingga apabila digunakan pada bangunan tingkat tinggi akan mengurangi berat sendiri pada bangunan secara signifikan (Pah dkk., 2023).

Bata ringan memiliki massa yang lebih ringan dari bata merah konvensional karena bata ringan memiliki banyak pori-pori yang sengaja dibuat (Goritman dkk., 2012). Bata ringan memiliki dua jenis bata yaitu: *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) dan *Cellular Lightweight Concrete* (CLC). Keduanya memiliki kesamaan yaitu menambahkan gelembung udara ke dalam mortar sehingga mengurangi berat mortar secara drastis. Perbedaan dari bata ringan AAC dan bata ringan CLC adalah dari segi proses pengeringannya. Bata ringan AAC mengalami pengeringan dalam oven autoklaf bertekanan tinggi sedangkan bata ringan CLC mengalami proses pengeringan secara alami. Bata ringan CLC juga sering disebut juga sebagai bata ringan *Non-Autoclaved Aerated Concrete* (NAAC) (Suji'at & Yudha, 2021).



Gambar 2.1: Bata Ringan.

2.3.2. *Superplasticizer*

Penggunaan *superplasticizer* dalam campuran beton secara signifikan mereduksi kebutuhan air dalam campuran dengan tetap mempertahankan kelecakannya, sehingga terjadi peningkatan kekuatan dan durabilitas beton. Namun, penggunaan *superplasticizer* yang berlebihan dapat mengakibatkan masalah *bleeding* dan segregasi pada campuran beton yang akan berdampak pada perlemahan beton (Ardiansyah et al., 2024).

Bahan tambahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Sikacim Concrete*. *Sikacim Concrete* ialah suatu zat kimia untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat pengerasan pada beton, yang berupa bubuk atau cairan yang ditambah kedalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Atau untuk diperoleh beton dengan kuat tekan yang sama, tapi adukan dibuat menjadi lebih encer agar lebih mudah dalam penuangannya (Desmi, 2018). *SikaCim Concrete Additive* adalah obat beton / *admixture high range water reducing* yang diformulasikan khusus untuk industri beton pracetak; untuk memenuhi kebutuhan pembukaan bekisting lebih cepat dan pencapaian kuat tekan awal lebih tinggi. Memungkinkan peralatan pengecoran beton untuk digunakan dengan kapasitas penuh. Efektif pada semua rentang dosis yang direkomendasikan (PT. Sika Indonesia, 2022).

Menurut Jamal, dkk (2017) penambahan *SikaCim Concrete Additive* dalam campuran beton dapat mencapai kuat tekan yang direncanakan serta nilai kuat tekan beton. Hasil maksimal kuat tekan pada 28 hari diperoleh pada variasi penambahan *SikaCim Concrete Additive* sebesar 0,7% dari berat semen, dengan pengurangan kadar air sebanyak 15% dari kadar air awal.



Gambar 2.2: *Superplasticizer*.

1. Karakteristik / kelebihan

SikaCim Concrete Additive memiliki kelebihan sebagai berikut :

- a. Pengurangan air sampai dengan 20 % yang akan memberikan efek kenaikan kuat tekan 40 % pada usia 28 hari.
- b. Meningkatkan kekedapan air.

Tabel 2.1: Informasi Produk (PT. Sika Indonesia, 2022).

Bahan dasar kimia	<i>Modified Naphthalene Formaldehyde Sulfonate</i>
Kemasan	900 ml x 10, jerigen 5 liters, jerigen
Umur Penyimpanan	12 bulan dari tanggal produksi, jika disimpan dengan baik dalam kemasan aslinya dengan keadaan tidak rusak dan segel belum terbuka.
Kondisi Penyimpanan	Simpan pada kondisi kering dengan suhu antara +5°C- + 30°C. Lindungi dari sinar matahari langsung dan embun.
Tampilan / warna	Cairan / Coklat Tua
Massa Jenis	1.17 ± 0.01 kg/ L (pada suhu +20 °C)

2.4. Jenis - Jenis Beton

Menurut Mulyono, (2005) jenis - jenis beton sebagai berikut :

1. Beton ringan

Agregat yang digunakan untuk memproduksi beton ringan merupakan agregat ringan juga. Agregat yang digunakan umumnya merupakan hasil pembakaran shale, lempung, slates, residu slag, residu batu-bara, dan banyak lagi hasil pembakaran vulkanik (Holm, 1994: 522).

2. Beton berat

Beton berat adalah beton yang dihasilkan dari agregat yang mempunyai berat isi lebih besar dari beton normal atau lebih dari 2400 kg/m^3 . Beton yang mempunyai berat yang tinggi ini biasanya digunakan untuk kepentingan tertentu seperti menahan radiasi, menahan benturan dan lainnya.

3. Beton massa (*Mass Concrete*)

Dinamakan beton massa karena digunakan untuk pekerjaan beton yang besar dan masif misalnya untuk bendungan, kanal, pondasi jembatan, dan lain lain. Batuan yang digunakan dapat lebih besar dari yang disyaratkan sampai 150 mm, dengan *slump* rendah yang akan mengurangi jumlah semen.

4. *Ferro-cement*

Adalah bahan gabungan yang diperoleh dari campuran beton dengan tulangan kawat ayam/kawat yang dianyam. Beton jenis ini akan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi dan daktil, serta lebih *waterproofing*. Ketebalannya biasanya antara 10-60 mm dengan volume tulangan 6%-8% satu lapis atau dua lapis. Karena kerapatannya yang tinggi dari tulangan maka volume agregat halus sekitar 60-75% volume mortarnya.

5. Beton serat (*fibre concrete*)

Merupakan campuran beton ditambah serat, umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500 μm , dengan panjang sekitar 25 mm. Bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*poly-propylene*), atau potongan kawat baja. Kelemahannya sulit dikerjakan, namun lebih banyak kelebihanannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktil, dan tahan benturan.

6. Beton siklop

Beton jenis ini menggunakan agregat yang besar-besar, sampai dengan 20 cm, batasannya tidak lebih dari 20%. Digunakan untuk pekerjaan beton massa. (*mass concrete*).

7. Beton hampa (*Vacuum Concrete*)

Beton vakum adalah beton yang air sisa dari proses hidrasinya (sekitar 50%), disedot keluar setelah beton mengeras. Penyedotan ini dinamakan *vacuum method*.

2.5. Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Walaupun dalam beton terdapat tegangan tarik yang kecil, diasumsikan bahwa semua tegangan tekan didukung oleh beton tersebut. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39 atau kubus dengan prosedur BS-1881 Part 115; Part 116 pada umur 28 hari (Mulyono, 2005).

Menurut SNI 1974:2011, Pengujian kuat tekan merupakan pemberian beban monoton secara terus menerus dengan laju yang konstan pada benda uji di antara dua batang pembebanan yang akan menciptakan tegangan tekan. Pada pengujian kuat tekan posisi benda uji yang berbentuk silinder pada saat dibebani yaitu dalam keadaan berdiri/tegak. Sehingga, kuat tekan adalah tegangan tekan pada pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan.

Menurut Rahmawati dkk (2021) pengertian kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Kuat tekan beton

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dengan :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa).

A = Luas penampang benda uji (mm^2).

P = Beban tekan (N).

Berdasarkan SNI 1974:2011 semua benda uji untuk umur uji yang ditentukan harus diuji dalam toleransi waktu yang diizinkan. Toleransi waktu tersebut dijelaskan pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 : Toleransi waktu pengujian kuat tekan beton (SNI 1974: 2011)

Umur Pengujian	Toleransi Waktu
12 Jam	± 15 menit atau 2,1%
24 Jam	± 30 menit atau 2,1%
3 Hari	± 2 jam atau 2,8%
7 Hari	± 6 jam atau 3,6%
28 Hari	± 20 jam atau 3,0%
90 Hari	± 2 hari atau 2,2%

2.6. Penelitian Terdahulu

Penulisan ini didasarkan pada berbagai sumber yang memberikan gambaran mendalam mengenai aspek-aspek utama yang berkaitan dengan topik pembahasan, serta memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang hal-hal yang menjadi fokus penelitian ini.

Berikut adalah rangkuman penelitian terdahulu:

1. Sigit Agung Priyono dan Hammam Rofiqi Agustapraja (2021)

Pada tahun 2021 Sigit Agung Priyono dan Hammam Rofiqi Agustapraja melakukan penelitian yang berjudul “Limbah Bata Ringan Untuk Bahan Campuran Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Beton K-250”. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

- a. Pemeriksaan material bata ringan menunjukkan bahwa nilai kelembapan rata-rata sebesar 11,17% berat jenis rata-rata 1,50 gr/cm³, penyerapan air 11,2% dan berat volume 0,881 kg/l, dimana seluruh pemeriksaan tidak memenuhi standar agregat halus konvensional. Analisis ayakan menghasilkan FM = 3,19 yang berada pada zona 2, namun Sebagian nilai masih diluar ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI). Hal ini menunjukkan bahwa limbah bata ringan memiliki daya penyerapan yang lebih tinggi dari pada pasir normal.
 - b. Pada uji kuat tekan beton, beton normal (0%) menghasilkan kuat tekan 21,78 MPa (7 hari) dan 27,36 MPa (28 hari). Campuran 3% mengalami penurunan signifikan menjadi 18,87 MPa (7 hari) dan 15,85 MPa (28 hari) sehingga tidak memenuhi mutu K-250. Sebaliknya, campuran 5% dan 7% justru memberikan peningkatan dengan hasil berturut-turut 24,39 MPa & 23,78 MPa serta 26,00 MPa & 25,29 MPa, yang memenuhi standar mutu beton K-250.
 - c. Berdasarkan hasil uji lab yang dilakukan, diperoleh hasil untuk campuran limbah bata ringan 3% tidak dapat memenuhi standart kuat tekan K-250, karena untuk mutu beton K-250 minimal beton dengan kekuatan 21,78 Mpa. Sedangkan untuk campuran 5% dan 7% memenuhi standart SNI (Agung Priyono & Agustapraja, 2021).
2. As'at Pujianto dkk (2021)
- Pada tahun 2021, As'at Pujianto bersama rekan penelitiannya yakni Restu Faizah, Acep Widiyanto, Tri Ananda Putra, Hakas Prayuda dan Fadhila Firdausa, melakukan penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Bata Ringan Sebagai Bahan Penyusun Pengganti Pada Beton”. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:
- a. Hasil pengujian slump menunjukkan bahwa semakin besar ukuran agregat limbah bata ringan yang digunakan, nilai slump semakin menurun. Nilai slump tertinggi diperoleh pada PA16 sebesar 13,65 cm, kemudian menurun pada PA22,4 sebesar 12,55 cm, dan terendah pada PA25 sebesar 10,34 cm. Hal ini disebabkan semakin besar ukuran agregat, semakin luas permukaannya, sehingga menyerap lebih banyak air. Oleh karena itu,

agregat kasar sebaiknya digunakan dalam kondisi kering jenuh permukaan untuk mengurangi penyerapan air saat pengecoran.

- b. Pengujian kuat tekan pada umur 3, 7, dan 28 hari menunjukkan bahwa semakin besar ukuran agregat limbah bata ringan, maka kuat tekan beton cenderung menurun, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Pada umur 28 hari, kuat tekan tertinggi diperoleh pada PA16 sebesar 6,55 MPa, diikuti PA22,4 sebesar 6,43 MPa, dan terendah pada PA25 sebesar 5,72 MPa. Penurunan ini disebabkan semakin besar ukuran agregat menghasilkan pori-pori lebih banyak pada beton akibat area yang tidak terisi pasta semen.

3. Adila Zaidayanti dkk (2023)

Pada tahun 2023 Adila Zaidayanti dan rekan penelitiannya yakni Sugeng Riyanto, dan Akhmad Suryadi, melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Pemakaian Limbah Bata Ringan Dan Bahan Tambah *Silica Fume* Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Hancur”. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan:

a. Pemeriksaan bata ringan

Hasil uji sifat fisik menunjukkan bahwa limbah bata ringan memiliki daya serap air yang sangat tinggi yakni 45,03%, sehingga menyerap banyak air pada campuran. Hal ini berpengaruh pada hasil uji slump, dimana nilai slump cenderung menurun seiring meningkatnya persentase limbah bata ringan, meskipun demikian, nilai slump yang diperoleh masih berada dalam rentang yang direncanakan (7,5-15 cm), hanya saja semakin tinggi persentase limbah bata ringan, workabilitas beton segar menjadi semakin berkurang.

- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal pada umur 28 hari memiliki kuat tekan 30,10 MPa, sedangkan campuran 10% *silica fume* + 0% limbah bata ringan menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 32,12 MPa. Namun, semakin tinggi persentase limbah bata ringan (15–30%) nilai kuat tekan semakin menurun, meskipun penggunaan *silica fume* mampu sedikit memperbaikinya. Analisis ANOVA membuktikan bahwa baik penggunaan *silica fume* maupun limbah bata ringan berpengaruh signifikan

terhadap kuat tekan beton, sementara interaksi keduanya juga memberikan pengaruh yang perlu diperhatikan.

4. Tarmizi Taher dkk (2020)

Pada tahun 2020, Tarmizi Taher dan rekan penelitiannya yakni Suharwanto dan Komarudin melakukan penelitian yang berjudul “Agregat Beton Daur Ulang Dari Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Agregat Natural Pada Beton Normal”. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

- a. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa limbah bata ringan memiliki berat jenis rendah ($1,54 \text{ gr/cm}^3$) dan daya serap air yang tinggi (26,26%), sehingga tergolong material ringan. Hal ini akan memengaruhi nilai slump beton segar, di mana semakin besar persentase limbah bata ringan yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar, maka nilai slump semakin menurun. Dengan kata lain, workabilitas beton berkurang seiring meningkatnya kadar limbah bata ringan.
- b. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan tertinggi, sedangkan beton dengan campuran limbah bata ringan mengalami penurunan kuat tekan seiring bertambahnya persentase penggantian agregat kasar. Pada umur 28 hari, beton normal mencapai 24,64 MPa, sedangkan campuran 25% limbah bata ringan turun menjadi 18,72 MPa, 50% sebesar 14,88 MPa, 75% sebesar 11,68 MPa, dan 100% hanya 7,84 MPa. Penurunan ini disebabkan sifat bata ringan yang porous sehingga ikatan pasta semen dengan agregat menjadi lebih lemah.
- c. Berdasarkan hasil pengujian berat isi, beton dengan substitusi limbah bata ringan dapat dikategorikan sebagai beton ringan. Namun demikian, semakin tinggi persentase limbah bata ringan, kuat tekan beton semakin rendah sehingga kurang layak untuk beton struktural.

5. Mardewi Jamal dkk (2017)

Tahun 2017, Mardewi Jamal dan rekan penelitiannya yakni Massayu Widiastuti, dan Anggi Tossib Anugrah, melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Sikacim Concrete Additive* Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halus Pasir Mahakam”. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan:

- a. Penambahan *Sikacim concrete additive* pada campuran beton dengan agregat halus pasir mahakam dan agregat kasar koral Bengalon mampu meningkatkan kuat tekan beton diumur 28 hari dengan nilai 8,39% pada penambahan *sikacim concrete additive* 0,7%.
 - b. Penambahan *sikacim* sebagai bahan tambah dapat memenuhi syarat kuat tekan beton K- 250 (20,7 MPa) dengan nilai tertinggi 23,78 MPa.
 - c. Nilai Slump yang didapat dari pengujian *Sikacim Concrete Additive* adalah 9,5 cm untuk penambahan *Sikacim* 0,7% dan 17 cm untuk penambahan *Sikacim Concrete Additive* 0,9%.
6. Fadia S Kallak (2009)
- Tahun 2009 Fadia S Kallak melakukan penelitian yang berjudul “*Use of Crushed Bricks as Coarse Aggregate in Concrete*” berdasarkan penelitian diperoleh Kesimpulan:
- a. Penelitian ini menemukan bahwa penggunaan bata yang dihancurkan sebagai agregat kasar dapat diterapkan secara memadai untuk menghasilkan beton dengan karakteristik kekuatan yang dapat diterima.
 - b. Penggunaan bata yang dihancurkan sebagai agregat kasar menyebabkan penurunan kuat tekan beton sekitar (11–87%) pada umur 28 hari, tergantung pada proporsi bata yang digunakan.
 - c. Penggunaan bata yang dihancurkan sebagai agregat kasar dalam beton meningkatkan rasio air terhadap semen, karena meningkatnya daya serap air pada beton.
 - d. Kemudahan pengerjaan (*workability*) beton dengan agregat bata yang dihancurkan lebih rendah dibandingkan dengan beton normal.
7. Teewara Suwan dan Pitiwat Wattanachai (2017)
- Tahun 2017 Teewara Suwan dan Pitiwat Wattanachai melakukan penelitian yang berjudul “*Properties and Internal Curing of Concrete Containing Recycled Autoclaved Aerated Lightweight Concrete as Aggregate*” berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan:
- a. Penambahan limbah bata ringan sebagai agregat menyebabkan workabilitas campuran menurun karena daya serap airnya yang tinggi.

Namun, berat jenis beton *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC) menjadi lebih rendah sehingga menghasilkan beton ringan.

- b. Nilai *Slump* beton dipengaruhi oleh kandungan air. Nilai *Slump* cenderung meningkat dengan meningkatnya penggantian agregat AAC-LWA, karena adanya air ekstra di permukaan agregat. Namun, nilai flow dari semua campuran mirip dengan beton agregat normal (NC) dan diklasifikasikan dalam kategori konsistensi sedang dengan nilai flow 50–60%.
- c. Penggunaan limbah bata ringan cenderung menurunkan kuat tekan beton jika dibandingkan dengan campuran normal. Meski demikian, nilai kuat tekan yang diperoleh masih dalam kisaran yang dapat diterima untuk beton non-struktural, terutama pada campuran dengan persentase substitusi terbatas.

2.6.1. Evaluasi Penelitian Terdahulu

Melalui evaluasi penelitian terdahulu, dapat diperoleh gambaran mengenai kontribusi yang telah diberikan serta keterbatasan yang ditemui pada masing-masing penelitian. Evaluasi ini juga memberikan pemahaman yang lebih jelas mengenai posisi penelitian yang sedang dilakukan. Berikut adalah hasil evaluasi dari rangkuman penelitian terdahulu sebelumnya:

1. Pemeriksaan material

Hampir semua penelitian menunjukkan bahwa limbah bata ringan memiliki berat jenis rendah yaitu $\pm 1,50 - 1,54 \text{ gr/cm}^3$, dan daya serap yang tinggi yaitu 11% - 45%. Nilai kelembapan dan berat volume yang dihasilkan umumnya tidak memenuhi standar agregat halus maupun agregat kasar asli. Analisis ayakan pada beberapa studi menunjukkan masih berada dalam zonasi SNI, meskipun sebagian nilai keluar dari ketentuan. Sifat ini menjadikan limbah bata ringan lebih menyerap air dibanding agregat normal, sehingga berpengaruh pada kualitas campuran beton.

2. Workabilitas beton

Nilai slump beton dengan limbah bata ringan cenderung menurun seiring bertambahnya persentase atau ukuran agregat yang digunakan, menunjukkan

penurunan workabilitas. Pada beberapa penelitian, nilai slump masih berada dalam kategori rencana yaitu 7,5 -15 cm, namun semakin tinggi kadar limbah bata ringan, campuran semakin sulit dikerjakan. Pada studi lain menemukan nilai slump dapat meningkat apabila air di tambahan terbawa dari permukaan agregat bata ringan, tetapi *flow test* menunjukkan hasil yang relatif masih mirip dengan beton normal pada kisaran 50-60%.

3. Uji kuat tekan beton

- a. hasil untuk campuran limbah bata ringan 3% tidak dapat memenuhi standart kuat tekan K-250, karena untuk mutu beton K-250 minimal beton dengan kekuatan 21,78 Mpa. Sedangkan untuk campuran 5% dan 7% memenuhi standart SNI (Agung Priyono & Agustapraja, 2021).
- b. Pada substitusi lebih besar, kuat tekan beton cenderung menurun signifikan, meskipun penambahan bahan tambah seperti *Silica Fume* dapat sedikit memperbaiki kekuatan (Zidayanti dkk., 2023)
- c. Berdasarkan hasil dan pembahasan beton yang menggunakan campuran bata ringan tidak mencapai mutu yang direncanakan. Seiring bertambahnya persentase campuran bata ringan, terjadi penurunan terhadap kuat tekan (Taher dkk., 2020)
- d. Pada penelitian internasional oleh (Kallak, 2009) dan (Suwan & Wattanachai, 2017), juga mendukung bahwa penggunaan bata hancur atau AAC waste menurunkan kuat tekan sekitar 11% - 87%.

4. Bahan tambah (*Additive*) dan solusi alternatif

- a. Penambahan *Superplasticizer* terbukti meningkatkan kuat tekan hingga $\pm 8\%$ dan memperbaiki workabilitas beton (Jamal dkk., 2017)
- b. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa penggunaan *silica fume* sebesar 0% dan 10% memiliki pengaruh yang berbeda terhadap kuat tekan beton (Zidayanti dkk., 2023).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian adalah suatu pendekatan atau rangkaian langkah yang diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan dengan cara mengumpulkan, mencatat, mempelajari, dan menganalisis data yang diperoleh.

3.2. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium, yaitu :

1. Analisa saringan agregat (SNI ASTM C136:2012).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970:2016).
3. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969:2016).
4. Pemeriksaan berat isi agregat (SNI 1973:2008).
5. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971-2011).
6. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI 03-4141, 1996).
7. Perencanaan campuran beton (*mix design*) (SNI 7656:012).
8. Uji kekentalan adukan beton segar (*Slump*) (SNI 1972:2008).
9. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493:2011).
10. Uji kuat tekan beton (SNI 1974:2011).

3.3. Data Sekunder

Data sekunder ialah data yang diperoleh dari berbagai buku seperti buku SNI dan ASTM (American Society for Testing and Materials) ataupun artikel yang terkait dengan metode pengujian beton serta konsultasi langsung dengan dosen pembimbing secara langsung guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

3.4. Pelaksanaan Penelitian

3.4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penelitian ini dilakukan pada Maret 2025 hingga Juni 2025

3.4.2. Rencana Penelitian

Rencana penelitian yang digunakan adalah dengan metode eksperimen. Penelitian ini menggunakan campuran pecahan bata ringan dengan persentase 15%, 35% dan 55% dan bahan tambah *Superplasticizer* dengan persentase 1%. Benda uji yang dibuat berbentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm untuk pengujian kuat tekan beton, jumlah benda uji yang dibuat yaitu 24 buah benda uji dengan umur beton 28 hari dengan penjelasan sebagai berikut:

Tabel 3.1: Variasi campuran beton.

No	Kode Benda Uji	Agregat Kasar	Agregat Halus	Pecahan Bata Ringan	<i>Superplasticizer</i>	Jumlah Sampel
1.	BN	100%	100%	0%	0%	3
2.	BBR 15%	85%	100%	15%	0%	3
3.	BBR 35%	65%	100%	35%	0%	3
4.	BBR 55%	45%	100%	55%	0%	3
5.	B+S 1%	100%	100%	0%	1%	3
6.	BBR 15 % + S1%	85%	100%	15%	1%	3
7.	BBR 35 % + S1%	65%	100%	35%	1%	3
8.	BBR 15 % + S1%	45%	100%	55%	1%	3
Jumlah						24

Keterangan :

- BN : Beton normal berbentuk silinder dengan variasi campuran 0% pecahan bata ringan, dan 0% *Superplasticizer*.
- B+S : Beton berbentuk silinder dengan variasi campuran 0% pecahan bata ringan, dan 1% *Superplasticizer*.
- BBR : Beton berbentuk silinder dengan variasi campuran 15%, 35%, 55% bata ringan, dan 0% *Superplasticizer*.
- BBR+S : Beton berbentuk silinder dengan variasi campuran 15%, 35%, 55% bata ringan, dan 1% *Superplasticizer*.

Tabel 3.2 : *Time Schedule* Penelitian.

No.	Nama Kegiatan	Bulan Pertama				Bulan kedua				Bulan ketiga				Bulan keempat			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur																
2.	Persiapan Laboratorium																
3.	Persiapan Material																
4.	Analisa Saringan																
5.	Kadar Air																
6.	Berat Jenis dan Penyerapan																
7.	Kadar Lumpur																
8.	Perencanaan <i>Mix Design</i> (SNI-7656:2012)																
9.	Pembuatan Benda Uji																
10.	Pengujian <i>Slump</i>																
11.	Perendaman Benda Uji																
12.	Pengujian Kuat Tekan																

3.4.3. Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan penelitian yang dilaksanakan :

1. Persiapan material
Mempersiapkan material yang digunakan dalam penelitian beton seperti agregat halus dan kasar, semen, air, serta bahan tambahan seperti bata ringan dan *Superplasticizer*.
2. Pemeriksaan material
Pemeriksaan material dilakukan untuk mengetahui apakah material telah memenuhi standar yang ditentukan dalam pencampuran beton.
3. Bata ringan
Bata ringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai agregat kasar. Bata ringan diperoleh secara komersial di toko material lalu dipecahkan dan disaring sebagaimana persyaratan saringan agregat kasar pada beton normal.
4. *Superplasticizer*
Pada penelitian ini, *Superplasticizer* digunakan sebagai bahan tambahan pada campuran beton yang dimana bahan ini diperoleh secara komersial di toko material.
5. Perencanaan Pencampuran (*Mix Design*)
Melakukan proporsi campuran beton dengan perhitungan campuran beton yang meliputi beton normal dan beton dengan tambahan pecahan bata ringan dan *Superplasticizer*.
6. Pembuatan benda uji
Setelah melakukan pemeriksaan material dan melakukan perencanaan proporsi campuran beton, kemudian melakukan pencampuran semua material beton yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, semen, air dan bahan tambahan pecahan bata ringan dan *Superplasticizer*. Semua material dicampur kedalam mesin molen (*Concrete Mixer*).
7. Pengujian *Slump* (*Slump Test*)
Adukan beton dimasukkan kedalam kerucut abrams untuk melakukan pengujian *Slump* pada beton guna mengetahui nilai kekentalan dan plastisitas beton. Adukan beton dimasukkan kedalam kerucut abrams dan dirojak

sebanyak 25 kali rojokan pada setiap 1/3 pengisian kedalam kerucut sebanyak 3 tahap pengisian.

8. Pencetakan benda uji

Setelah hasil *Slump Test* pencampuran beton memenuhi persyaratan, beton segar dimasukan ke dalam cetakan beton silinder dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm.

9. Perendaman benda uji

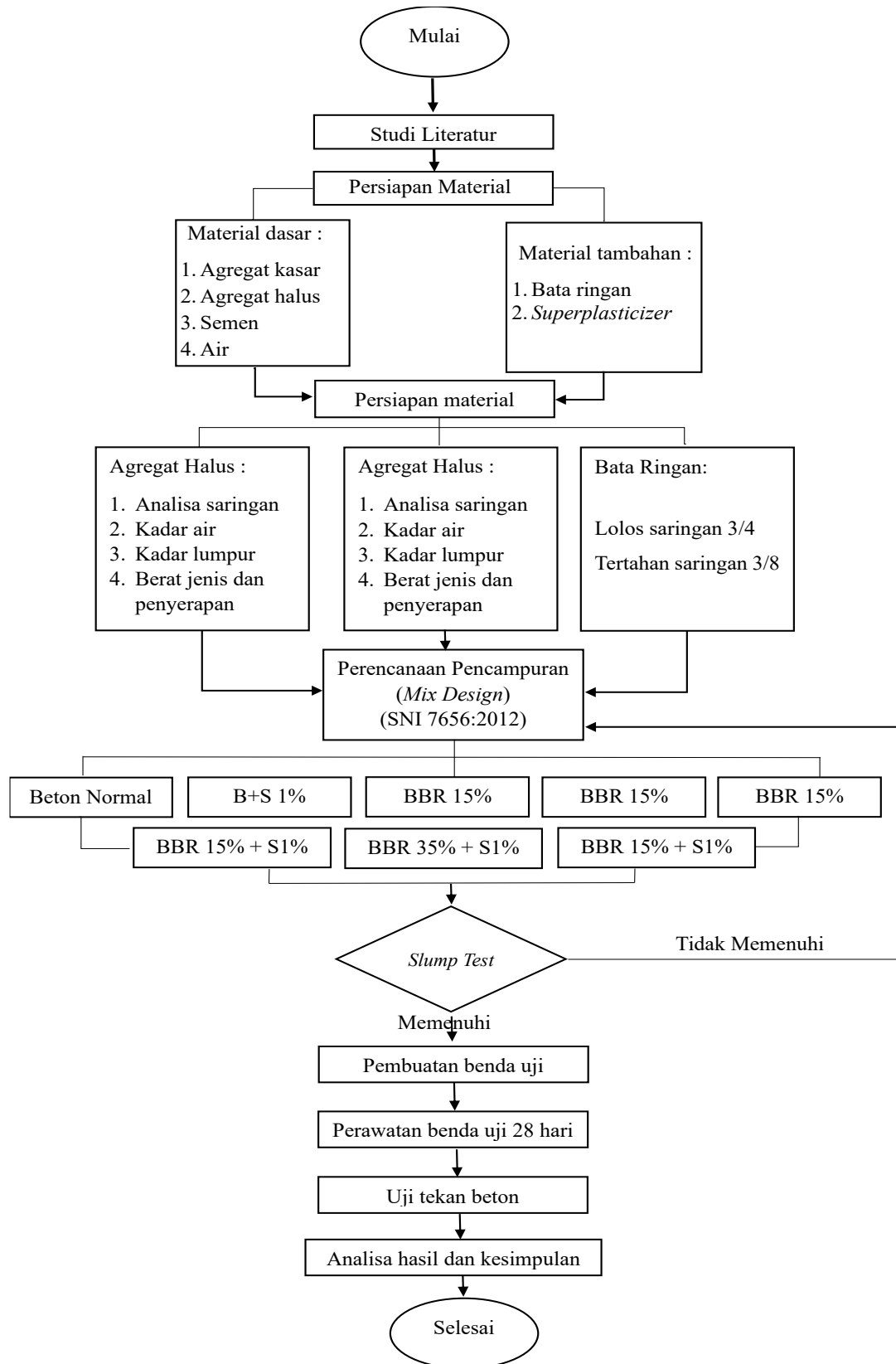
Setelah benda uji mengeras, dikeluarkan dari cetakan benda uji dan melakukan perendaman benda uji selama 28 hari. Benda uji beton direndam dalam bak rendaman sebelum pengujian untuk menjaga kelembapan agar proses hidrasi semen berlangsung sempurna, sehingga kekuatan beton mencapai nilai optimal.

10. Pengujian beton

Setelah diangkat dari bak perendaman dan dikeringkan kembali selama 24 jam lalu dilakukan pengujian untuk mengetahui hasil nilai kuat tekan pada benda uji beton.

11. Pembahasan dan konsultasi Laporan Akhir

Setelah pengujian selesai dilakukan kemudian dilakukan pengolahan dan mengevaluasi data dari hasil pengujian, kemudian melakukan penulisan dan bimbingan untuk laporan akhir tersebut.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.5. Persiapan Bahan dan Alat.

Berikut adalah bahan dan alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian.

3.5.1. Bahan

Komponen material yang digunakan untuk pembentuk beton adalah sebagai berikut:

1. Semen

Semen yang digunakan adalah Semen Padang tipe I PCC (*Portland Composite Cemen*). Semen PCC merupakan perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik (SNI 15-2049, 2004).

2. Agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan adalah kerikil dan pasir yang berasal dari Sei Wampu.

3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PDAM Tirtanadi Medan.

4. Bata ringan

Tempurung kelapa yang digunakan pada penelitian ini berbentuk pecahan seperti kerikil sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar yang diperoleh dari pembelian di toko material.

5. *Superplasticizer*

Superplasticizer yang digunakan pada penelitian ini adalah *SikaCim Concrete* yang diperoleh dari pembelian di toko material.

3.5.2. Alat

Alat - alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Saringan Agregat
Saringan agregat yang digunakan antara lain saringan No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, dan No.100 untuk agregat halus dan saringan 11/2", 3/4", 3/8" dan No.4 untuk agregat kasar.
2. Alat pendukung pengujian material seperti tabung piknometer, gelas ukur, spirtus, kawat kasa dan sebagainya.
3. Timbangan digital.
4. Oven.
5. Molen (*Concrete Mixer*).
6. Cetakan silinder benda uji beton berdiamter 15cm dan tinggi 30cm.
7. Mesin uji kompresi (*Compression Testing Machine*).

3.6. Pemeriksaan Agregat

Pada penelitian ini, pengujian agregat kasar dan agregat halus dilakukan di laboratorium dengan mengacu pada panduan Standar Nasional Indonesia (SNI) serta Laporan Praktikum Beton dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara sebagai pedoman dalam proses pembuatan beton. Berikut adalah pemeriksaan yang dilakukan pada penelitian:

3.6.1. Analisa Saringan

Analisa saringan merupakan pemeriksaan distribusi ukuran agregat kasar dan halus menggunakan saringan standar tertentu. Analisa ini bertujuan untuk menentukan persentase masing - masing jenis agregat dalam campuran. Berikut prosedur pelaksanaan analisa saringan :

1. Pengujian analisa saringan agregat halus
 - a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian
 - b. Mengambil dan menimbang agregat halus dengan yang disyaratkan.
 - c. Menyusun saringan sehingga membentuk 1 set saringan No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, dan PAN.

- d. Kemudian menyaring agregat halus sampai benar-benar tersaring dengan baik.
 - e. Setelah tersaring dengan baik, kemudian mengambil dan memasukan agregat halus yang tertahan di setiap saringan kedalam plastik.
 - f. Menimbang dan mencatat setiap agregat halus yang tertahan pada tiap saringan.
2. Pengujian analisa saringan agregat kasar.
- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian.
 - b. Mengambil dan menimbang agregat kasar dengan yang disyaratkan.
 - c. Menyusun saringan sehingga membentuk 1 set saringan No. 1/5", 3/4", 3/8", dan No. 4.
 - d. Menyaring agregat halus sampai benar - benar tersaring dengan baik.
 - e. Setelah tersaring dengan baik, kemudian mengambil hasil saringan yang tertahan di tiap saringan kedalam plastik.
 - f. Menimbang dan mencatat setiap agregat yang tertahan pada tiap saringan.

Untuk campuran agregat kasar dan agregat halus, bagian contoh uji yang lebih halus dari saringan 4,75 mm (No.4) dapat dikurangi dengan menggunakan pemisah contoh uji mekanis menurut metode ASTM C 702. Jika langkah kerja ini diikuti, massa setiap ukuran dari contoh uji awal dapat dihitung sebagai berikut :

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \quad (3.1)$$

Keterangan :

- A = Massa setiap ukuran pada jumlah contoh uji total (gram).
- W_1 = Massa setiap fraksi yang lolos saringan 4,75 mm (No.4) (gram).
- W_2 = Massa bagian yang berkurang pada contoh uji lolos saringan 4,75 mm (No.4) yang disaring (gram).
- B = Jumlah massa agregat halus dari agregat gabungan (gram).

3.6.2. Kadar Air Agregat

Kadar air dalam agregat dapat mempengaruhi Faktor Air Semen (FAS) pada campuran beton. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1971:2011. Perhitungan kadar air menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar air (\%)} = \left(\frac{W_1 - W_2}{W_2} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan :

W_1 = Berat benda uji + wadah (gr).

W_2 = Berat benda uji kering + wadah (gr).

Berikut adalah langkah kerja yang dilakukan pada pemeriksaan kadar air agregat berdasarkan panduan SNI 1971:2011:

1. Mengambil sampel bahan yang mewakili jumlah besar material yang akan digunakan.
2. Menempatkan sampel dalam wadah dan menimbangnya.
3. Mengeringkan sampel dalam oven pada suhu $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ selama 24 jam hingga mencapai berat konstan.
4. Mengeluarkan sampel dari oven, mendinginkan hingga suhu ruangan, lalu menimbang kembali.

3.6.3. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat suatu material dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Pemeriksaan berat jenis dilakukan berdasarkan panduan SNI 1970:2016, dengan hasil pengujian yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{A}{B + S - C} \quad (3.3)$$

$$\text{Berat jenis kondisi kering permukaan (SSD)} = \frac{S}{B + S - C} \quad (3.4)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{B + A - C} \quad (3.5)$$

$$\text{Penyerapan} = \left(\frac{S - A}{A} \right) \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan :

- A = Berat benda uji kering oven (gram).
- B = Berat picnometer berisi air (gram).
- C = Berat picnometer dengan benda uji dan air (gram).
- S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

Berikut adalah langkah kerja yang dilakukan pada pemeriksaan berat jenis agregat halus berdasarkan panduan SNI 1970:2016:

1. Mempersiapkan alat dan bahan.
2. Mengeringkan agregat halus yang jenuh air sampai kondisi kering permukaan (SSD).
3. Memasukkan contoh agregat halus ke dalam cetakan kerucut pasir, lalu memadatkan dengan tongkat pemadat dengan memukul sisi dari cetakan sebanyak 25 kali.
4. Memasukkan air ke dalam piknometer sampai penuh lalu menimbang dan mencatat hasilnya.
5. Membuang air dari piknometer.
6. Memasukkan contoh agregat sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, lalu mengisi piknometer dengan air sampai penuh.
7. Menggoyang piknometer sampai gelembung udara keluar.
8. Menambahkan air sampai setengah, kemudian memanaskan piknometer dengan spiritus selama ± 15 menit setiap 5 menit diguncang selama 1 menit, lakukan sampai 3 kali.
9. Merendam piknometer ke dalam ember berisi air selama ± 24 jam.
10. Setelah direndam, piknometer diangkat dan ditimbang beratnya.

3.6.4. Berat Jenis Agregat Kasar

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat jenis kering} = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.7)$$

$$\text{Berat jenis kondisi kering permukaan (SSD)} = \frac{B}{(B-C)} \quad (3.8)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \quad (3.9)$$

$$\text{Penyerapan} = \left(\frac{B-A}{A} \right) \times 100\% \quad (3.10)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

C = Berat benda uji dalam air (gram).

Pada pemeriksaan berat jenis agregat kasar ini mengacu pada panduan SNI 1968:2016 dengan prosedur sebagai berikut :

1. Keringkan contoh uji tersebut pada temperature ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$).
2. Setelah itu rendam agregat tersebut didalam air pada temperature ruang selama 15 jam sampai dengan 19 jam.
3. Pindahkan contoh uji dari dalam air kedalam lembaran kain penyerap air dan digulung bolak balik sampai semua lapisan air permukaan hilang.
4. Tentukan berat contoh uji pada kondisi jenuh kering permukaan. Catat beratnya dengan ketelitian 1,0 gram atau 0,1% dari berat contoh uji, pilih nilai yang paling besar.
5. Setelah berat ditentukan, tempatkan contoh uji yang berada dalam kondisi jenuh kering permukaan tersebut didalam wadah lalu tentukan beratnya didalam air.
6. Keringkan contoh uji pada kembali pada temperature ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) sampai berat tetap.

3.6.5. Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur agregat berpedoman pada SNI 03-4141:1996 menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar Lumpur} = \frac{(W-R)}{W} \times 100\% \quad (3.11)$$

Keterangan :

W = Berat sampel sebelum pengujian (gr)

R = Berat sampel setelah pengujian (gr)

Berikut adalah tahapan pekerjaan dalam pemeriksaan kadar lumpur :

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Menyaring benda uji dengan saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan di $\frac{1}{2}$ ".
3. Menimbang benda uji dengan berat yang ditentukan.
4. Mencuci contoh bahan dengan air bersih, lalu jemur hingga berat konstan kemudian menimbangnya kembali.
5. Memindahkan contoh bahan kedalam wadah kemudian memasukkannya kedalam oven dengan suhu ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam.

3.7. Pengolahan Bata Ringan

Dalam penelitian ini, bata ringan diperoleh dari pembelian di toko material yang berada di Kota Medan yang kemudian bata ringan dipecahkan dan disaring memenuhi dengan persyaratan penyaringan agregat kasar untuk pencampuran beton. Persentase campuran bata ringan yang digunakan adalah 15%, 35%, dan 55%.

3.8. Penggunaan *Superplasticizer*

Dalam penelitian ini, *Superplasticizer* yang digunakan adalah *SikaCim Concrete*, yaitu aditif yang berperan dalam meningkatkan kekuatan awal dan akhir beton. *SikaCim Concrete* diperoleh melalui pembelian di toko material. Aditif ini dicampurkan dengan proporsi 1% dari total air yang digunakan dan ditambahkan langsung kedalam pencampuran beton.

3.9. Perencanaan Pencampuran (*Mix Design*)

Dalam penelitian ini, perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 7656: 2012. Salah satu tujuan penerapan standar

ini dalam rancangan campuran beton adalah untuk menghasilkan beton yang mudah diolah serta memenuhi standar pengolahan di Indonesia. Derajat kekentalan dan kemudahan pengerjaan beton dapat diamati melalui uji set. Adapun rencana campuran beton berdasarkan SNI 7656: 2012 adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan Slump

Slump dapat ditingkatkan apabila digunakan bahan tambahan kimia, dengan syarat beton yang mengandung bahan tambahan tersebut memiliki rasio air semen atau rasio air terhadap bahan pengikat yang sama atau lebih kecil, serta tidak mengalami segregasi atau signifikan atau *bleeding* yang berlebihan. Untuk metode pemadatan selain menggunakan penggetaran, peningkatan *Slump* diperbolehkan hingga 25 mm. Dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.3 : Rekomendasi nilai *slump* pekerjaan konstruksi (SNI 7656:2012)

Tipe Konstruksi	Maksimum (mm)	Minimum (mm)
Dinding penahan dan pondasi telapak	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pancang, dan dinding sub struktur	75	25
Balok dan dinding beton	100	25
Kolom struktural	100	25
Perkerasan dan slab	75	25
Beton massal	50	25

2. Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum

Secara umum, ukuran agregat maksimum yang digunakan harus sebesar mungkin secara ekonomis, namun tetap disesuaikan dengan dimensi elemen struktur atau konstruksi. Ukuran nominal agregat maksimum tidak boleh melebihi:

- 1/5 dari dimensi terkecil antara dinding cetakan atau bekisting,
- 1/3 dari ketebalan pelat lantai,

- c. $\frac{3}{4}$ dari jarak minimum antara batang tulangan, kelompok tulangan, atau tendon prategang (*pretensioning strands*).

Untuk mendapatkan beton berkekuatan tinggi, hasil terbaik dapat dicapai dengan menggunakan ukuran nominal agregat maksimum yang lebih kecil. Hal ini karena agregat yang lebih kecil dapat meningkatkan kekuatan beton pada rasio air semen yang ditentukan.

3. Perkiraan air

Jumlah air yang diperlukan untuk setiap satuan volume beton guna mencapai *Slump* tertentu dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Ukuran nominal maksimum, bentuk partikel, dan gradasi agregat.
- b. Perkiraan kadar udara dalam campuran.
- c. Suhu beton saat pencampuran.
- d. Penggunaan bahan tambahan kimia.

Dalam pemakaian yang normal, jumlah semen atau bahan bersifat semen lainnya tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap *Slump*. Penggunaan sejumlah kecil bahan tambahan mineral yang lebih halus dapat mengurangi kebutuhan air. Perkiraan jumlah air yang dibutuhkan bergantung pada ukuran agregat dan target *Slump* yang diinginkan.

Perbedaan kebutuhan air tidak selalu berdampak langsung pada kekuatan beton karena terdapat faktor penyimpangan lainnya yang turut memengaruhi. Agregat kasar dengan bentuk bulat maupun bersudut, jika memiliki mutu dan gradasi yang sama, umumnya akan menghasilkan beton dengan kekuatan tekan yang setara pada jumlah semen yang sama, meskipun terdapat perbedaan dalam rasio air-semen atau air - (semen + *pozolanik*) akibat perbedaan kebutuhan air pencampur. Bentuk partikel agregat tidak selalu menjadi indikator apakah beton akan memiliki kekuatan lebih tinggi atau lebih rendah dari yang direncanakan.

Dalam memperkirakan kebutuhan air, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah penggunaan bahan tambahan kimia. Bahan ini berfungsi untuk meningkatkan kemudahan pengerjaan beton, meningkatkan daya tahan, mengoptimalkan biaya, mengatur waktu pengikatan, mempercepat

perkembangan kekuatan, atau mengontrol panas hidrasi. Namun, penggunaannya harus melalui evaluasi yang cermat.

Jika bahan tambahan yang sesuai dengan standar ASTM C 494 digunakan untuk mengurangi kadar air atau mengatur waktu pengikatan, jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton dapat berkurang secara signifikan, baik digunakan sendiri maupun bersamaan dengan bahan tambahan lainnya. Pada nilai *Slump* yang sama, penggunaan bahan tambahan kimia dalam jumlah kecil dapat meningkatkan sifat beton, seperti kemudahan pengerjaan, kualitas hasil akhir, kemampuan pemompaan, daya tahan, serta kuat tekan dan kuat lenturnya. Selain itu, jika bahan tambahan kimia dalam bentuk cair digunakan dalam jumlah besar, volumenya harus diperhitungkan sebagai bagian dari air pencampur agar keseimbangan campuran tetap terjaga.

4. Penentuan rasio air-semen atau air bersifat pengikat

Nilai rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang akan dibutuhkan bergantung pada sejumlah factor yang termasuk daya tahan serta persyaratan kekuatan. Agregat dan semen yang berbeda biasanya menunjukkan nilai kekuatan yang berbeda dengan rasio w/c atau $w/(c+p)$ yang sama, sehingga perlu ditetapkan hubungan antara kekuatan dan w/c atau $w/(c+p)$.

Tabel 3.4: Hubungan antara rasio air-semen atau rasio air - bahan bersifat pengikat dan kekuatan beton (SNI 7656:2012).

Kekuatan beton usia 28 hari (MPa)	Rasio Air - semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

Nilai kekuatan ini dihitung berdasarkan benda uji silinder berukuran 150 mm x 300 mm yang dirawat dalam kondisi lembab pada suhu ($23 \pm 1,7^\circ\text{C}$) sebelum pengujian. Hubungan yang disajikan dalam Tabel 3.2 berlaku untuk nominal agregat maksimum dengan ukuran antara 19 hingga 25 mm.

5. Perhitungan kadar semen

Jumlah semen per satuan volume beton ditentukan berdasarkan langkah 3 dan langkah 4 yang telah dijelaskan sebelumnya. Kebutuhan semen diperoleh dengan membagi perkiraan jumlah air pencampur (langkah 3) dengan rasio air-semen (langkah 4). Namun, jika terdapat ketentuan khusus mengenai batas minimum penggunaan semen, selain persyaratan terkait kekuatan dan daya tahan, maka campuran harus disesuaikan dengan kriteria yang mengarah pada penggunaan semen dalam jumlah lebih besar. Penggunaan bahan *pozolanik* atau bahan tambahan kimia dapat mempengaruhi karakteristik beton, baik dalam kondisi segar maupun setelah mengeras.

6. Taksiran agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan bila sejumlah tertentu volume agregat (kondisi kering oven) dipakai untuk tiap satuan volume beton. Volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat pada Tabel. Atau dilakukan perhitungan secara analitis atau grafis.

- Volume berdasarkan berat kering oven sesuai standar SNI 03-4804-1998.
- Menghitung modulus kehausan menggunakan SNI 03-1968-1990.

Tabel 3.5 : Volume agregat kasar per-satuan volume beton (SNI 7656:2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per-satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53

Tabel 3.5: *Lanjutan.*

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per-satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	0,87	0,85	0,83	0,81

7. Taksiran agregat halus

Jika berat per satuan volume beton dapat dianggap atau diperkirakan berdasarkan pengalaman, maka berat agregat halus yang diperlukan dapat dihitung dengan mengurangi berat beton segar dengan total berat bahan-bahan lainnya. Biasanya, berat satuan beton sudah diketahui dengan tingkat ketelitian yang memadai berdasarkan pengalaman sebelumnya menggunakan bahan yang sama.

Dalam hal informasi semacam ini tidak diperoleh, tabel dapat digunakan untuk perkiraan awal. Meskipun perkiraan berat beton per m^3 tersebut mungkin agak kasar, proporsi campuran yang dihasilkan akan cukup akurat untuk memungkinkan penyesuaian mudah berdasarkan campuran percobaan, seperti yang akan dijelaskan dalam contoh - contoh berikut:

Tabel 3.6: Perkiraan awal berat beton segar (SNI 7656:2012).

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m^3)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
9,5	2280	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275

Tabel 3.6: *Lanjutan.*

Ukuran nominal agregat maksimum (mm)	Perkiraan awal berat beton (kg/m ³)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

Dapat diperhalus lagi dengan cara sebagai berikut: untuk setiap perbedaan air pencampur 5 kg dengan *Slump* sebesar 75 mm sampai dengan 100 mm (Tabel 2), koreksi berat tiap m³ sebanyak 8 kg pada arah berlawanan; untuk setiap perbedaan 20 kg kadar semen dari 330 kg, koreksi berat per m³ sebesar 3 kg dalam arah bersamaan; untuk setiap perbedaan berat jenis agregat 0,1 terhadap nilai 2,7. koreksi berat beton sebesar 60 kg dalam arah yang sama. Untuk beton dengan tambahan udara, gunakan Tabel. Berat dapat ditambah 1% untuk setiap 1% berkurangnya kadar udara dari jumlah tersebut.

Bila diinginkan perhitungan berat beton per m³, secara teoritis rumus berikut ini dapat digunakan:

$$U = 10G_a (100 - A) + c(1 - G_a/G_c) - w(G_a - 1) \quad (3.12)$$

Keterangan :

U : Berat beton segar (kg/m³)

G_a : Berat jenis rata-rata gabungan agregat halus dan agregat kasar, kering Permukaan jenuh (SSD)

G_c : Berat jenis semen (umumnya = 3,15)

A : Kadar udara (%)

W : Syarat banyaknya air pencampur (kg/m³)

C : Syarat banyaknya semen (kg/m³)

Untuk mendapatkan volume agregat halus yang disyaratkan, satuan volume beton dikurangi jumlah seluruh volume dari bahan-bahan yang diketahui, yaitu air, udara, bahan yang bersifat semen, dan agregat kasar. Volume beton adalah sama dengan berat beton dibagi densitas bahan.

8. Penyesuaian terhadap kelembapan agregat

Jumlah agregat yang ditimbang untuk beton harus mempertimbangkan kandungan air yang terserap dalam agregat. Secara umum, agregat berada dalam kondisi lembab, sehingga berat keringnya perlu ditambahkan dengan persentase air yang dikandungnya, baik yang terserap maupun yang terdapat di permukaan. Jumlah air pencampuran yang ditambahkan ke dalam campuran harus disesuaikan dengan mengurangi air bebas yang berasal dari agregat, yaitu selisih antara total air yang terkandung dalam agregat dan air yang terserap.

- a. Dalam beberapa hal mungkin diperlukan untuk mencampur agregat dalam keadaan kering. Jika penyerapan air lebih besar dari 1,0% dan bila struktur pori-pori dalam jumlah butiran agregat sedemikian rupa hingga bagian yang cukup berarti dari penyerapan berlangsung dalam waktu sebelumnya terjadinya pengikatan awal, ada kemungkinan terjadi kehilangan *Slump* yang lebih besar sebagai akibat berkurangnya air pencampur. Juga rasio air-semen akan berkurang akibat adanya air yang terserap sebelum terjadinya pengikatan.
- b. Menurut SNI 03-2493-1991, mengizinkan mencampur agregat dalam kondisi kering udara bila penyerapannya kurang dari 1,0% dengan kemungkinan diserapnya air dari beton yang belum menjalani proses pengikatan (*unset concrete*).

9. Pengaturan campuran beton

Proporsi hasil perhitungan harus diperiksa melalui pembuatan campuran percobaan yang dipersiapkan dan diuji menurut SNI 2493:2011 atau sebanyak campuran di lapangan. Pemakaian air harus cukup untuk menghasilkan *Slump* yang disyaratkan sewaktu memilih proporsi percobaan. Beton harus diperiksa berat isi dan jumlah yang dihasilkan/*yield* (SNI 1973:2008) dan kadar udara (SNI 1973:2008). Juga harus diperiksa sifat pengerjaannya, bebas dari segregasi,

dan sifat penyelesaiannya. Pengaturan yang sesuai harus pula dilakukan untuk campuran-campuran sebagai berikut.

Kebutuhan air pencampur untuk menghasilkan nilai *Slump* yang sama seperti campuran percobaan adalah setara dengan jumlah bersih air pencampur dibagi dengan jumlah beton yang dihasilkan dari campuran percobaan dalam m^3 . Jika nilai *Slump* campuran percobaan tidak sesuai, tambahkan atau kurangi jumlah kandungan air sebanyak 2 kg/m^3 untuk setiap pertambahan atau pengurangan nilai *Slump* sebesar 10 mm.

Perkiraan kembali berat beton segar untuk penyesuaian setara dengan berat beton segar dalam kg/m^3 dari campuran percobaan, dikurangi atau ditambahkan oleh persentase perubahan kadar air campuran percobaan yang telah disesuaikan.

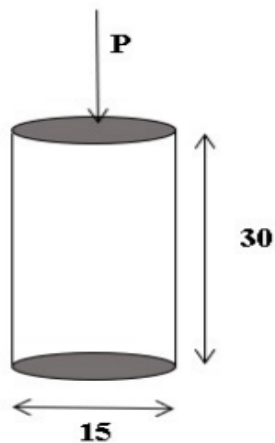
3.10. Pembuatan Benda Uji

Setelah perencanaan campuran (*Mix Design*) dilakukan, langkah berikutnya adalah pembuatan benda uji untuk pengujian kekuatan beton. Proses ini mengacu pada SNI 7656: 2012 tentang "Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal" dengan komposisi campuran yang telah ditentukan, termasuk penambahan serat bambu sesuai dengan perencanaan. Benda uji dibuat menggunakan cetakan berbentuk silinder dengan ukuran $\varnothing 15 \text{ cm}$ dan tinggi 30 cm yang berjumlah 15 buah. Berikut penjelasannya :

1. Beton normal dengan umur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
2. Beton dengan campuran pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 15% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
3. Beton dengan campuran pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 35% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
4. Beton dengan campuran pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 55% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.

5. Beton normal dengan tambahan *Superplasticizer* sebanyak 1% dengan umur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
6. Beton dengan campuran pecahan bata ringangan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 15% dengan tambahan *Superplasticizer* sebanyak 1% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
7. Beton dengan campuran pecahan bata ringangan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 35% dengan tambahan *Superplasticizer* sebanyak 1% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.
8. Beton dengan campuran pecahan bata ringangan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 55% dengan tambahan *Superplasticizer* sebanyak 1% berumur 28 hari berjumlah 3 buah untuk diambil nilai rata-ratanya.

Maka, jumlah benda uji yang akan dibuat berjumlah 15 buah berbentuk silinder untuk pengujian kuat tekan.



Gambar 3.2: Sketsa benda uji silinder.

Prosedur pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. Pembuatan benda uji Beton Normal (BN) :
 - a. Membersihkan peralatan yang akan digunakan, kemudian menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan dalam *mix design*.

- b. Menyiapkan molen (*Concrete Mixer*) dengan bagian dalam yang telah dilembabkan.
 - c. Menuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen ke dalam molen (*Concrete Mixer*), lalu memutar hingga seluruh bahan tercampur secara merata.
 - d. Menambahkan air sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil terus diaduk.
 - e. Setelah campuran tercampur merata, dilakukan uji *Slump test* untuk mengukur tingkat *workability* beton.
 - f. Jika hasil *Slump test* memenuhi spesifikasi, adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan dengan metode perojokan.
 - g. Membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam. Setelah itu, cetakan dibuka dan dilakukan proses perawatan beton.
2. Pembuatan benda uji Beton Normal dengan penambahan *Superplasticizer* (B+S)
- a. Membersihkan peralatan yang akan digunakan, kemudian menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan dalam *mix design*.
 - b. Menyiapkan molen (*Concrete Mixer*) dengan bagian dalam yang telah dilembabkan.
 - c. Menuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen ke dalam molen (*Concrete Mixer*), lalu memutar hingga seluruh bahan tercampur secara merata.
 - d. Menambahkan air sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil terus diaduk.
 - e. Kemudian masukkan *Superplasticizer* sedikit demi sedikit dengan takaran yang telah ditentukan.
 - f. Setelah campuran tercampur merata, dilakukan uji *Slump test* untuk mengukur tingkat *workability* beton.
 - g. Jika hasil *Slump test* memenuhi spesifikasi, adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan dengan metode perojokan.
 - h. Membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam. Setelah itu, cetakan dibuka dan dilakukan proses perawatan beton.

3. Pembuatan benda uji beton campuran pecahan bata ringan (BBR)
 - a. Membersihkan peralatan yang akan digunakan, kemudian menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan dalam *Mix Design*.
 - b. Menyiapkan molen (*Concrete Mixer*) dengan bagian dalam yang telah dilembabkan.
 - c. Menuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen ke dalam molen (*Concrete Mixer*).
 - d. Menuangkan pecahan Bata ringan sesuai dengan proporsi campuran yang telah ditentukan (15% untuk sampel 1, 35% untuk sampel 2, dan 55% untuk sampel 3) lalu memutar hingga seluruh bahan tercampur secara merata.
 - e. Menambahkan air sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil terus diaduk.
 - f. Setelah campuran tercampur merata, dilakukan uji *Slump test* untuk mengukur tingkat *workability* beton.
 - g. Jika hasil *Slump test* memenuhi spesifikasi, adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan dengan metode perojokan.
 - h. Membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam. Setelah itu, cetakan dibuka dan dilakukan proses perawatan beton.
4. Pembuatan benda uji beton dengan campuran pecahan bata ringan serta penambahan *Superplasticizer* (BBR+S)
 - a. Membersihkan peralatan yang akan digunakan, kemudian menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditetapkan dalam *Mix Design*.
 - b. Menyiapkan molen (*Concrete Mixer*) dengan bagian dalam yang telah dilembabkan.
 - c. Menuangkan agregat halus, agregat kasar, dan semen ke dalam molen (*Concrete Mixer*).
 - d. Menuangkan pecahan Bata ringan sesuai dengan proporsi campuran yang telah ditentukan (15% untuk sampel 1, 35% untuk sampel 2, dan 55% untuk sampel 3) lalu memutar hingga seluruh bahan tercampur secara merata.

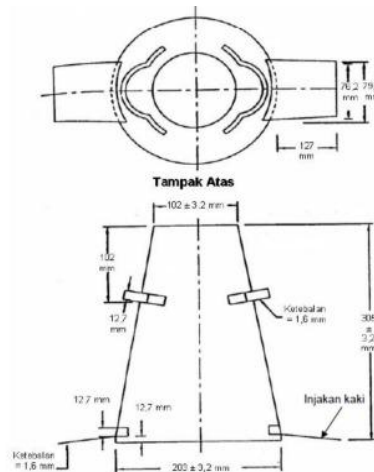
- e. Menambahkan air sedikit demi sedikit ke dalam campuran sambil terus diaduk.
- f. Kemudian memasukkan *Superplasticizer* sedikit demi sedikit dengan takaran yang telah ditentukan.
- g. Setelah campuran tercampur merata, dilakukan uji *Slump test* untuk mengukur tingkat *workability* beton.
- h. Jika hasil *Slump test* memenuhi spesifikasi, adukan beton dituangkan ke dalam cetakan silinder dan dipadatkan dengan metode perojokan.
- i. Membiarkan beton dalam cetakan selama 24 jam. Setelah itu, cetakan dibuka dan dilakukan proses perawatan beton.

3.11. *Slump Test*

Nilai Slump ditentukan untuk setiap campuran beton, baik beton standar maupun beton dengan bahan tambahan (*admixture*). Pengujian kemerosotan dilakukan pada beton segar yang dituangkan ke dalam cetakan kerucut *Abrams*. Berikut perosedur pengujian Slump:

1. Membasahi cetakan kerucut *Abrams* dan pelat dasarnya menggunakan kain lembab.
2. Meletakkan cetakan di atas pelat dengan posisi stabil.
3. Mengisi sepertiga bagian pertama cetakan dengan beton segar, kemudian memadatkannya menggunakan batang logam dengan metode penusukan secara merata. Penusukan dilakukan di bagian tepi dengan sudut miring mengikuti dinding cetakan, hingga batang logam menyentuh dasar cetakan. Penusukan dilakukan sebanyak 25-30 kali.
4. Mengisi kembali cetakan dengan sepertiga beton segar berikutnya (hingga mencapai dua pertiga dari total volume cetakan), lalu melakukan penusukan sebanyak 25-30 kali dengan memastikan tusukan mencapai lapisan sebelumnya.
5. Menuangkan sisa beton segar hingga cetakan penuh dan melakukan penusukan sesuai langkah sebelumnya.

6. Setelah proses pemadatan selesai, meratakan permukaan beton dalam cetakan dan menunggu sekitar 30 detik. Selama waktu tunggu, beton yang berlebih di luar cetakan dan pelat dapat dibersihkan.
7. Mengangkat cetakan secara perlahan dengan gerakan tegak lurus ke atas.
8. Mengukur nilai *Slump* dengan meletakkan cetakan kerucut *Abrams* di samping beton yang telah diuji, lalu membandingkan perbedaan tinggi rata-rata benda uji.
9. Nilai toleransi *Slump* untuk beton segar adalah sekitar ± 2 cm.
10. Jika hasil pengujian menunjukkan nilai *Slump* sesuai standar, maka beton segar dapat digunakan.



Gambar 3.3 : Sketsa kerucut Abrams.

3.12. Perawatan Benda Uji

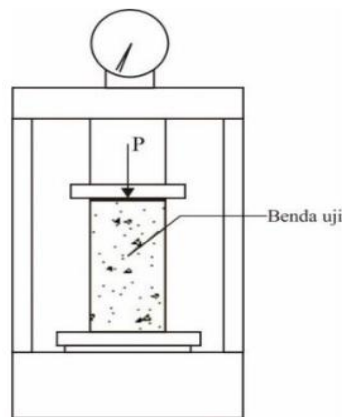
Proses perawatan (*curing*) yang dilakukan untuk benda uji pada penelitian ini berdasarkan ketentuan SNI 2493:2011. Proses ini dilakukan dengan cara merendam benda uji kedalam bak perendam berisi air. Benda uji direndam setelah mencapai umur rencana (28 hari).

3.13. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton diperoleh melalui pengujian sampel beton menggunakan mesin uji tekan. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban secara bertahap pada sampel dengan kecepatan peningkatan beban yang telah ditentukan. Pengujian berlanjut hingga benda uji mengalami retak (*crack*).

Adapun tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut :

1. Sebelum pengujian dilakukan, mencatat data benda uji seperti nomor, tanggal pembuatan, dan jadwal pengujian.
2. Melapisi permukaan benda uji dengan pelat baja agar tekanan merata serta memastikan posisi benda uji dalam keadaan sentris.
3. Mengoperasikan mesin uji tekan dengan kecepatan penambahan beban yang konstan, lalu mencatat beban maksimum yang dapat ditahan oleh setiap benda uji.



Gambar 3.4: Skema uji kuat tekan beton.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan Agregat halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berupa pasir alam yang diperoleh dari Binjai, Sumatera Utara. Pemeriksaan agregat halus meliputi Analisa saringan, kadar air, kadar lumpur, serta berat jenis dan penyerapan.

4.1.1. Analisa Saringan

Pemeriksaan analisa saringan dilakukan berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI ASTM C136:2012) tentang analisa saringan agregat halus. Hasil dari pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1: Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus.

SIEVE SIZE	Retained Fraction				Cumulative	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Weight (gr)	Retained (%) Berat Tertahan)	Cum Retained (%) Berat Tertahan	Passing (%) Berat yang Lolos)
No. 4	0	0	0	0,00	0,00	100,00
No. 8	4	4	8	0,20	0,20	99,80
No. 16	65	75	140	3,50	3,70	96,30
No. 30	940	980	1920	48,00	51,70	48,30
No. 50	960	920	1880	47,00	98,70	1,30
No. 100	25	20	45	1,13	99,83	0,17
PAN	6	1	7	0,18	100,00	0,00
Total	2000	2000	4000	56,338	354,125	
FM (Modulus Kehalusan):				3,54		
Wt. of Oven Dry Sampel:				4000		

$$\text{Modulus Halus Butiran (MHB)} = \frac{\% \text{ Kumulatif}}{100} = \frac{345,125}{100} = 3,54$$

Hasil dari pengujian analisa saringan selain untuk menentukan nilai modulus halus butiran, juga digunakan untuk mengetahui gradasi agregat halus. Hasil dari pengujian ini diperoleh nilai modulus kehalusan sebesar 3,54 yang berarti memenuhi persyaratan ketetapan analisa saringan agregat SNI ASTM C136:2012.

4.1.2. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilakukan berdasarkan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI 1970:2008). Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2:

Tabel 4.2: Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Agregat Halus Lolos Ayakan No.4	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata- Rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (B)	500,0	500,0	500,0
Berat setelah oven (E)	495,0	490,0	492,5
Berat piknometer penuh air (D)	670,0	660,0	665,0
Berat contoh SSD +piknometer +air (C)	970,0	965,0	967,5
Berat jenis contoh kering ($E/(B+D-C)$)	2,475	2,513	2,494
Berat jenis contoh SSD ($B/(B+D-C)$)	2,500	2,564	2,532
Berat jenis contoh semu ($E/(E+D-C)$)	2,538	2,649	2,594
Penyerapan $(B-E)/E \times 100\%$	1,010	2,041	1,525

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis rata-rata dalam kondisi jenuh permukaan kering (SSD) adalah 2,53, yang termasuk dalam kategori agregat umum karena masih berada dalam rentang yang diizinkan SNI 1970:2008, yakni antara 2,2 sampai 2,8. Sementara itu, nilai penyerapan air yang diperoleh dari pengujian ialah sebesar 1,52%.

4.1.3. Kadar air

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kandungan air yang terdapat pada agregat halus yang akan digunakan. Adapun hasil pengujian kadar air agregat halus terdapat pada Tabel 4.3:

Tabel 4.3: Hasil pengujian kadar air agregat halus.

<i>Fine Agregat</i>	1	2
<i>Wt of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah) gr	1155	1155
<i>Wt of Oven Dray Sample & Mold</i> (Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah) gr	1120	1125
<i>Wt of Mold</i> (Berat Wadah) gr	155	155
<i>Wt of Water</i> (Berat Air) gr	35	30
<i>Wt of Oven Dray Sample</i> (Berat Contoh Kering) gr	965	970
<i>Water Content</i>	3,63	3,09
<i>Ave</i>	3,36	

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata kadar air pada agregat halus sebesar 3,36%. Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali, dengan hasil kadar air pada percobaan pertama sebesar 3,63% dan pada percobaan kedua sebesar 3,09%.

4.1.4. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat mengacu pada SNI 03-4141:1996. Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.4:

Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus.

Agregat Halus Lolos Saringan No.4 mm	Sampel I	Sampel II	Rata-rata
Berat Contoh Kering: A (gr)	500	500	500
Berat Kering contoh setelah dicuci: B (gr)	495	497	496

Tabel 4.4: *Lanjutan.*

Agregat Halus Lolos Saringan No.4 mm	Sampel I	Sampel II	Rata-rata
Berat kotoran agregat lolos saringan (No.200) setelah dicuci: C (gr)	5	3	4
Persentase kotoran agregat lolos saringan (No. 200) setelah dicuci (%)	1	0,6	0,8

Dari hasil pengujian, diketahui bahwa kadar lumpur pada sampel 1 sebesar 1% dan pada sampel 2 sebesar 0,6%, sehingga diperoleh rata-rata kadar lumpur dari kedua sampel tersebut sebesar 0,8%. Nilai yang diperoleh masih berada dalam batas izin SNI 03-4141:1996, yaitu 5%.

4.1.5. Berat Isi

Pengujian berat isi agregat halus berpedoman pada SNI 1973:2008. Hasil pemeriksaan berat isi agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.5:

Tabel 4.5: Hasil pengujian berat isi agregat halus.

Agregat Halus	Satuan	Cara			Rata-rata
		Lepas	Tusuk	Goyang	
Berat Contoh	gr	5010	5565	5270	5281,67
Berat Wadah	gr	1540	1540	1540	1540
Berat Contoh - Wadah	gr	3470	4025	3730	3741,67
Volume wadah	cm ³	2461,76	2461,76	2461,76	2461,76
Berat Isi	gr/cm ³	1,41	1,64	1,52	1,52

Berdasarkan hasil pengujian, berat isi agregat halus diperoleh nilai lepas 1,41, nilai tusuk 1,64 dan nilai penggoyangan 1,54, sehingga rata-rata berat isi agregat halus adalah 1,52.

4.2. Pemeriksaan Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, agregat kasar yang digunakan berupa kerikil yang berasal dari Deli Serdang. Pemeriksaan terhadap agregat kasar diawali dengan pengujian sifat - sifat bahannya, yang mencakup uji berat jenis dan penyerapan air, kadar air, analisis saringan, serta pengujian kadar lumpur.

4.2.1. Analisa Saringan

Berdasarkan hasil pengujian analisis gradasi agregat kasar dengan ukuran maksimum 40 mm, serta mengacu pada SNI ASTM C136-2012 mengenai analisis saringan untuk agregat kasar, diperoleh nilai-nilai gradasi agregat kasar sebagaimana tercantum pada Tabel 4.6:

Tabel 4.6: Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar.

<i>Sieve Size</i>	<i>Retained Fraction</i>				<i>Cumulative</i>	
	<i>Sampel 1</i>	<i>Sampel 2</i>	<i>Total Weight (Gr)</i>	<i>Retained (%) Berat Tertahan</i>	<i>Cum Retained (%) Kum Berat Tertahan</i>	<i>Passing (%) Berat Yang Lolos</i>
1.5"	0	0	0	0	0	100
3/4"	1030	1030	2060	34,333	34,333	65,667
3/8"	1425	1560	2985	49,750	84,083	15,917
No.4	425	330	755	12,583	96,667	3,333
No.8	0	0	0	0,000	96,667	3,333
No.16	0	0	0	0,000	96,667	3,333
No.30	0	0	0	0,000	96,667	3,333
No.50	0	0	0	0,000	96,667	3,333
No.100	0	0	0	0,000	96,667	3,333
PAN	120	80	200	3,333	100	0

Tabel 4.6: *Lanjutan.*

Sieve Size	Retained Fraction				Cumulative	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Weight (Gr)	Retained (%) (% Berat Tertahan)	Cum Retained (% Kum Berat Tertahan)	Passing (% Berat Yang Lolos)
Total	3000	3000	5800		698,417	
FM (Modulus Kehalusan):				6,98		
Wt. of Oven Dry Sampel:				6000		

$$\text{Modulus Halus Butiran (MHB)} = \frac{\% \text{ kumulatif}}{100} = \frac{698,417}{100} = 6,98\%$$

Pada pengujian ini diperoleh hasil analisis saringan agregat kasar sebesar 6,98%, yang masih berada dalam batas yang diperbolehkan, yaitu antara 6% hingga 7% sesuai dengan SNI ASTM C136-2012. Hasil ini menunjukkan bahwa agregat tersebut memenuhi persyaratan sebagai agregat kasar.

4.2.2. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar mengacu pada SNI 1969:2016. Berikut adalah hasil pengujian berat jenis dan daya serap agregat kasar yang akan dicantumkan pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7: Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar.

Agregat halus lolos ayakan No.3/8	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat contoh SSD kering permukaan jenuh (A)	2002,0	2005,0	2003,5
Berat setelah oven (B)	1965,0	1970,0	1967,5
Diudara (C)	1245,0	1250,0	1247,5

Tabel 4.7: *Lanjutan.*

Agregat halus lolos ayakan No.3/8	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat jenis curah B/(A-C)	2,596	2,609	2,603
Berat jenis contoh SSD (A/A-C)	2,645	2,656	2,650
Berat jenis contoh semu (C/C-B)	2,729	2,736	2,733
Penyerapan (A-C)/C x 100%	1,883	1,777	1,830

Pengujian dilakukan sebanyak dua kali, dimana pada pengujian pertama diperoleh berat jenis jenuh permukaan (SSD) sebesar 2,645 gr/cm³ sedangkan pada pengujian kedua sebesar 2,656 gr/cm³. Rata-rata berat jenis SSD yang diperoleh adalah 2,650 gr/cm³ yang berada dalam rentang batas yang diizinkan SNI 1969:2016, yaitu 1,6 hingga 3,2.

Untuk penyerapan air, hasil pengujian pertama menunjukkan nilai sebesar 1,883% sedangkan pengujian kedua sebesar 1,777%, sehingga rata-rata penyerapan air adalah 1,830%. Nilai ini juga masih berada dalam batas ketentuan SNI 1969:2016 yaitu 0,2 hingga 4%. Dengan demikian, agregat halus yang diuji memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai bahan campuran pada beton.

4.2.3. Kadar Air

Pengujian pemeriksaan kadar air agregat kasar mengacu pada panduan Standar Nasional Indonesia (SNI 1971-2011) tentang kadar air agregat. Nilai hasil yang didapat dari pengujian pemeriksaan kadar air agregat kasar yang telah dilakukan, maka nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8:

Tabel 4.8: Hasil pemeriksaan kadar air agregat kasar.

<i>Coarse Agregat</i>	1	2
<i>Wt of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah) gr	1700	1700
<i>Wt of Oven Dray Sample & Mold</i> (Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah) gr	1680	1695

Tabel 4.8: *Lanjutan.*

<i>Coarse Agregat</i>	1	2
<i>Wt of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah) gr	1700	1700
<i>Wt of Oven Dry Sample & Mold</i> (Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah) gr	1680	1695
<i>Wt of Mold (Berat Wadah) gr</i>	185	185
<i>Wt of Water (Berat Air) gr</i>	20	5
<i>Wt of Oven Dry Sample (Berat Contoh Kering) gr</i>	1495	1510
<i>Water Content</i>	1,34	0,33
<i>Ave</i>	0,83	

Berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat kasar diperoleh nilai kadar air sebesar 1,34 untuk sampel 1 dan 0,33 untuk sampel kedua, dengan nilai rata-rata sebesar 0,83. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar air agregat kasar masih berada dalam batas toleransi dan memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan SNI 1971:2011, sehingga agregat kasar tersebut layak digunakan sebagai campuran beton.

4.2.4. Kadar Lumpur

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar dilakukan berdasarkan acuan SNI 03-4141:1996. Adapun hasil pengujian yang diperoleh terdapat pada Tabel 4.9:

Tabel 4.9 Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.

Agregat Kasar Lolos Saringan No .3/8 mm	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Contoh Kering: A (gr)	500	500	500
Berat Kering contoh setelah dicuci: B (gr)	498	496	497

Tabel 4.9: *Lanjutan.*

Agregat Kasar Lolos Saringan No .3/8 mm	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kering contoh setelah dicuci: B (gr)	498	496	497
Berat kotoran agregat lolos saringan (No.200) setelah dicuci: C (gr)	2	4	3
Persentase kotoran agrgat lolos saringan (No.200) setelah dicuci (%)	0,4	0,8	0,6

Berdasarkan Tabel 4.9, hasil pengujian kadar lumpur pada agregat kasar menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,6%. Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali, dimana pada percobaan pertama diperoleh sebesar 0,4% dan pada percobaan kedua sebesar 0,8%.

4.2.5. Berat Isi

Pengujian berat isi agregat halus berpedoman pada SNI 1973:2008. Hasil pemeriksaan berat isi agregat halus ditunjukkan pada Tabel 4.10:

Tabel 4.10: Hasil pemerikaan berat isi agregat kasar.

Agregat kasar	Satuan	Cara			Rata-rata
		Lepas	Tusuk	Goyang	
Berat Contoh	gr	6005	6255	6321	6193,67
berat wadah	gr	1540	1540	1540	1540
berat contoh-wadah	gr	4465	4715	4781	4653,67
volume wadah	cm3	2461,76	2461,76	2461,76	2461,76
berat isi	gr/cm3	1,81	1,92	1,94	1,89

Berdasarkan hasil dari pengujian berat isi agregat kasar yang diperoleh terdapat nilai lepasnya sebesar 1,81, nilai tusuknya sebesar 1,92, dan nilai goyangnya sebesar 1,94. Maka nilai rata-rata dari pengujian berat isi agregat kasar adalah sebesar 1,89.

4.3. Perencanaan Pencampuran Beton (*Mix Design*)

Pada penelitian ini, dilakukan analisis terhadap data-data yang diperoleh selama proses penelitian guna mendapatkan campuran beton yang sesuai dengan kebutuhan. Perencanaan pencampuran beton yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7656:2012). Adapun data perencanaan campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini pada Tabel 4.11:

Tabel 4.11: Data perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*).

No	Data	Satuan	Nilai
1.	Berat Jenis Agregat Kasar	Gr/Cm ³	1,83
2.	Berat Jenis Agregat Halus	Gr/Cm ³	2,49
3.	Kadar Lumpur Agregat Kasar	%	0,8
4.	Kadar Lumpur Agregat Halus	%	0,6
5.	FM Agregat Kasar	%	6,98
6.	FM Agregat Halus	%	3,54
7.	Kadar Air Agregat Kasar	%	0,83
8.	Kadar Air Agregat Halus	%	2,83
9.	Penyerapan Agregat Kasar	%	1,83
10.	Penyerapan Agregat Halus	%	1,53
11.	Nilai Slump Rencana	mm	75 - 150
12.	Ukuran Agregat Maksimum	mm	19

Berikut merupakan masing-masing bahan per m³ beton dari campuran penyusun beton (*Mix Design*) dengan pedoman sesuai Standar Nasional Indonesia SNI 7656: 2012, sebagai berikut;

1. Perencanaan campuran beton

Perencanaan campuran beton yang digunakan adalah beton tanpa bahan tambahan udara, karena beton tidak akan mengalami paparan tingkat tinggi. Pada Tabel 4.12 ditunjukkan kebutuhan air untuk campuran beton tanpa tambahan udara dengan nilai slump antara 75 mm hingga 100 mm.

Tabel 4.12: Rasio air, kadar udara dan ukuran agregat maksimum batu pecah.

Air (Kg/M3) Untuk Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah								
Slump (Mm)	9,5	12,7	19	25	37,5	50	75	150
Beton Tanpa Tambahan Udara								
25-50	207	199	190	179	166	154	270	113
75-100	228	216	205	193	181	169	145	124
150-175	243	228	216	202	190	178	160	-
Air (Kg/M3) Untuk Ukuran Nominal Agregat Maksimum Batu Pecah								
Slump (Mm)	9,5	12,7	19	25	37,5	50	75	150
Beton Tanpa Tambahan Udara								
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Banyak Nya Udara Dalam Beton (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Beton Dengan Tambahan Udara								
25-50	181	175	168	160	150	142	122	107
75-100	202	193	184	175	165	157	133	119
150-175	216	205	197	184	174	166	154	-
>175	-	-	-	-	-	-	-	-
Jumlah Kadar Udara Yang Disarankan Untuk Tingkat Peaparan Sebagai Berikut								
Ringan (%)	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Sedang (%)	6	5,5	4,5	4,5	4,5	4	3,5	3
Berat (%)	7,5	7	6	6	5,5	5	4.5	4

2. Rasio air semen

Mengacu pada SNI 7656:2012, apabila dilakukan pencampuran percobaan untuk membuktikan hubungan kekuatan atau mengevaluasi kembali kekuatan suatu campuran beton, maka harus digunakan air pencampur dalam jumlah paling sedikit dan kadar udara terendah yang mungkin. Kadar udara harus disesuaikan hingga mencapai batas maksimum yang diizinkan, dan slump beton diatur agar mendekati nilai maksimum yang diperbolehkan. Jika dalam pelaksanaan beton memiliki kadar air atau kadar udara yang lebih rendah dari ketentuan, maka proporsi bahan penyusun beton perlu disesuaikan kembali untuk memperoleh mutu beton yang diinginkan.

Tabel 4.13: Rasio air semen.

Kekuatan Beton Umur 28 Hari (MPa)	Rasio Air Semen	
	Beton Tanpa Tambahan Udara	Beton Dengan Tambahan Udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,6
15	0,79	0,7

3. Kadar semen

Jumlah kadar semen yang digunakan adalah $205 : 0,61 = 336,07 \text{ kg}$

4. Berat kering agregat kasar

Agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang seragam akan menghasilkan beton dengan sifat kemudahan pengerjaan yang baik apabila digunakan dengan jumlah volume tertentu (pada kondisi kering oven) untuk setiap satuan volume beton. Besarnya volume agregat kasar per satuan volume beton dapat dilihat pada Tabel 4.14:

Tabel 4.14: Berat kering agregat kasar.

Ukuran Normal Agregat Maksimum	Volume Agregat Kasar Kering Oven Beton Untuk Berbagai Modulus Kehalusan			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

5. Perkiraan awal berat beton segar

Untuk perkiraan awal berat beton, baik tanpa tambahan udara maupun dengan tambahan udara, mengacu pada SNI 7656:2012, apabila berat per satuan volume beton dapat diasumsikan atau diperkirakan berdasarkan ketetapan, maka kebutuhan agregat halus dihitung dari selisih antara berat beton segar dan total berat bahan lainnya. Perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 4.15:

Tabel 4.15: Berat beton segar.

Ukuran Normal Agregat Maksimum	Rasio Air Semen	
	Beton Tanpa Tambahan Udara	Beton Dengan Tambahan Udara
9,5	228	2200
12,5	2310	2230
19	2345	2275
25	2380	2290
37,5	2410	2350
50	2445	2345
75	2490	2405
150	2530	2435

6. Volume

Kebutuhan agregat harus diperhitungkan berdasarkan volume absolut. Setelah jumlah semen, air, udara, dan agregat kasar diketahui, maka kadar agregat halus dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

- a. Volume air:

$$205/1000 = 0,205 \text{ m}^3$$

- b. Volume padat semen:

$$\frac{336,7}{3,15 \times 1000} = 0,107 \text{ m}^3$$

- c. Volume absolute agregat kasar:

$$\frac{999,57}{2,64 \times 1000} = 0,378 \text{ m}^3$$

- d. Volume udara terperangkap:

$$1\% \times 1 = 10 \text{ m}^3$$

- e. Jumlah volume padat selain agregat halus:

$$0,205 + 0,107 + 0,378 + 0,010 = 0,7 \text{ m}^3$$

- f. Volume agregat halus yang dibutuhkan:

$$1 + 0,7 = 0,3 \text{ m}^3$$

- g. Berat agregat halus kering yang dibutuhkan:

$$0,3 \times 2,61 \times 1000 = 7,83 \text{ kg}$$

7. Perbandingan berat

Berdasarkan SNI 7656:2012 didapat nilai perbandingan berat air (berat bersih), agregat kasar (kering), dan agregat halus (kering) pada Tabel 4.16:

Tabel 4.16: Hasil perbandingan berat.

	berdasarkan perkiraan	
	Massa beton (kg)	Volume <i>Absolute</i> (kg)
Air (berat bersih)	205	205
semen	336,07	336,07
Agregat Kasar (kering)	999,57	999,57
Agregat Halus (kering)	804,36	783

8. Koreksi terhadap kandungan air

Pengujian menunjukkan kadar air seperti dibawah ini jika proporsi campuran percobaan dengan anggapan berat yang digunakan, maka berat penyesuaian dari agregat menjadi:

Kadar air diperoleh :

Agregat kasar	= 0,83%	
Agregat halus	= 2,83%	
Agregat kasar (basah)	= $999,57 \times (1 + 0,0083)$	= 1007,86 kg
Agregat halus (basah)	= $804,36 \times (1 + 0,0283)$	= 827,12 kg

Air yang diserap tidak menjadi bagian dari air pencampur dan harus dikeluarkan dari penyesuaian dalam air yang ditambahkan, maka:

Air yang diberikan agregat kasar : $(0,83 - 1,83) = 1\%$

Air yang diberikan agregat halus : $(2,83 - 2,49) = 0,34\%$

Dengan demikian kebutuhan air sebagai berikut:

$$205 - (999,57 \times 0,23\%) - (804,36 \times 2,19\%) : 185,08$$

Maka perkiraan 1 m³ beton adalah sebagai berikut:

Air (yang ditambahkan)	: 185,08 kg
Semen	: 336,07 kg
Agregat kasar (basah)	: 1016,56 kg
Agregat halus (basah)	: 847,71 kg
Total	: 2385,42 kg

4.4. Kebutuhan Bahan

Kebutuhan bahan dihitung berdasarkan hasil *Mix Design* yang telah dilakukan sebelumnya. Dari perhitungan tersebut, diperoleh jumlah bahan yang diperlukan untuk pembuatan benda uji sebagai berikut:

1. Benda uji yang dibuat adalah berbentuk silinder sebanyak 24 buah.

Diameter = 15 cm

Tinggi = 30 cm

$$\begin{aligned}
 \text{Volume silinder} &= \pi \times r^2 \times H \\
 &= 3,14 \times 0,075^2 \times 0,3 \\
 &= 0,0053^3
 \end{aligned}$$

Kebutuhan material untuk 1 benda uji:

Air (yang ditambahkan)	= 0,0053 m ³	x 185.08 Kg	= 0,98 kg
Semen	= 0,0053 m ³	x 336,07 Kg	= 1,78 kg
Ag. Kasar (Basah)	= 0,0053 m ³	x 1016,56 kg	= 5,39 kg
Ag. Halus (Basah)	= 0,0053 m ³	x 847,71Kg	= 4,49 kg
Pecahan bata ringan	= 5,39 kg	x 15 %	= 0,81 kg
Pecahan bata ringan	= 5,39 kg	x 35%	= 1,89 kg
Pecahan bata ringan	= 5,39 kg	x 55%	= 2,96 kg

Tabel 4.17: Kebutuhan material untuk 1 benda uji.

No	Kode	Volume (m ³)	Komposisi Bahan					
			Semen (kg)	Agregat halus (kg)	Agregat kasar (kg)	Pecahan bata ringan (kg)	Air	Superplasticizer (%)
1	BN	0,0053	1,78	4,49	5,39	0	0,98	0
2	BBR 15%	0,0053	1,78	4,49	4,58	0,81	0,98	0
3	BBR 35%	0,0053	1,78	4,49	3,5	1,89	0,98	0
4	BBR 55%	0,0053	1,78	4,49	2,42	2,96	0,98	0
5	B + S 1%	0,0053	1,78	4,49	5,39	0	0,98	1
6	BBR 15% + S 1%	0,0053	1,78	4,49	4,58	0,81	0,98	1
7	BBR 35% + S 1%	0,0053	1,78	4,49	3,5	1,89	0,98	1
8	BBR 55% + S 1%	0,0053	1,78	4,49	2,42	2,96	0,98	1

Dengan demikian, kebutuhan bahan untuk satu kali adukan adalah $3 \times 0,0053 = 0,0159 \text{ m}^3$. Seluruh kebutuhan bahan untuk campuran pada setiap variasi dalam satu kali adukan dapat dilihat pada Tabel 4.18:

Tabel 4.18: Kebutuhan material untuk 3 benda uji.

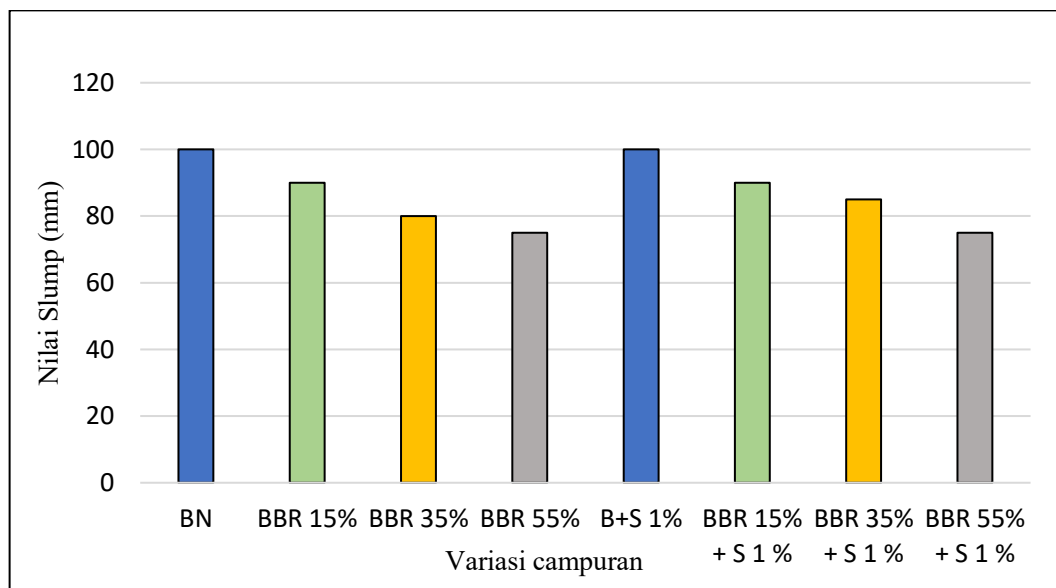
No	Kode	Volume (m ³)	Komposisi Bahan					
			Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat kasar (Kg)	Pecahan Bata ringan (kg)	Air	<i>Superplasti- cizer</i> (%)
1.	BN	0,0159	6,23	4,49	18,85	0	3,40	0
2.	BBR 15 %	0,0159	6,23	4,49	16,02	2,83	3,40	0
3.	BBR 35 %	0,0159	6,23	4,49	12,25	6,60	3,40	0
4.	BBR 55%	0,0159	6,23	4,49	8,48	10,37	3,40	0
5.	B + S 1 %	0,0159	6,23	4,49	18,85	0	3,40	3
6.	BBR 15% + S 1 %	0,0159	6,23	4,49	16,02	2,83	3,40	3
7.	BBR 35% + S 1%	0,0159	6,23	4,49	12,25	6,60	3,40	3
8.	BBR 55% + S 1%	0,0159	6,23	4,49	8,48	10,37	3,40	3

4.5. Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengukur kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar, baik beton normal maupun beton dengan campuran pecahan bata ringan. Pengujian menggunakan kerucut abrams yang diisi beton segar dalam tiga lapis, tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali rojokan dengan tongkat penusuk, setelah permukaan diratakan, kerucut diangkat tegak lurus, lalu diukur penurunan tinggi beton untuk mendapatkan nilai slump. Pada penelitian ini, nilai slump ditunjukkan pada Tabel 4.19:

Tabel 4.19: Hasil pengujian slump beton segar.

No	Variasi	Nilai slump (mm)
1.	Beton Normal (BN)	100
2.	Beton Bata Ringan (BBR 15%)	90
3.	Beton Bata Ringan (BBR 35%)	80
4.	Beton Bata Ringan (BBR 55%)	75
5.	Beton + <i>Superplasticizer</i> (B+S 1 %)	100
6.	Beton Bata Ringan + <i>Superplasticizer</i> (BBR 15% + S 1 %)	90
7.	Beton Bata Ringan + <i>Superplasticizer</i> (BBR 35% + S 1 %)	85
8.	Beton Bata Ringan + <i>Superplasticizer</i> (BBR 35% + S 1 %)	75



Gambar 4.1: Grafik *Slump Test* benda uji silinder.

Berdasarkan Tabel 4.19 dan Gambar 4.1 terlihat bahwa setiap variasi campuran beton menunjukkan perubahan nilai slump. Beton normal (BN) memiliki nilai slump tertinggi Bersama Beton + *Superplasticizer* (B+S), yaitu sebesar 100 mm. Nilai slump terendah terdapat pada variasi Beton Bata Ringan 15% (BBR 55%)

dan Beton Bata Ringan 55% + *Superplasticizer* 1% (BBR+S 55% + S 1%) masing-masing sebesar 75 mm. Penambahan *Superplasticizer* pada campuran umumnya meningkatkan nilai slump dibandingkan campuran tanpa bahan tambahan, seperti terlihat pada Beton Bata Ringan 35% (BBR 35%) dan Beton Bata Ringan 35% + *Superplasticizer* 1% (BBR 35% +S 1%) yaitu 80 mm menjadi 85 mm. Secara keseluruhan, seluruh variasi campuran masih berada pada kisaran nilai slump yang dapat diterima untuk beton struktural dengan tingkat kemudahan pengerjaan yang baik.

4.6. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari dengan menggunakan 3 sampel untuk setiap variasi benda uji. Sampel yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15cm dan tinggi 30cm. proses pengujian ini mengacu pada ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-4431-2011).

Tabel 4.20: Hasil pengujian kuat tekan beton tanpa penambahan *Superplasticizer*.

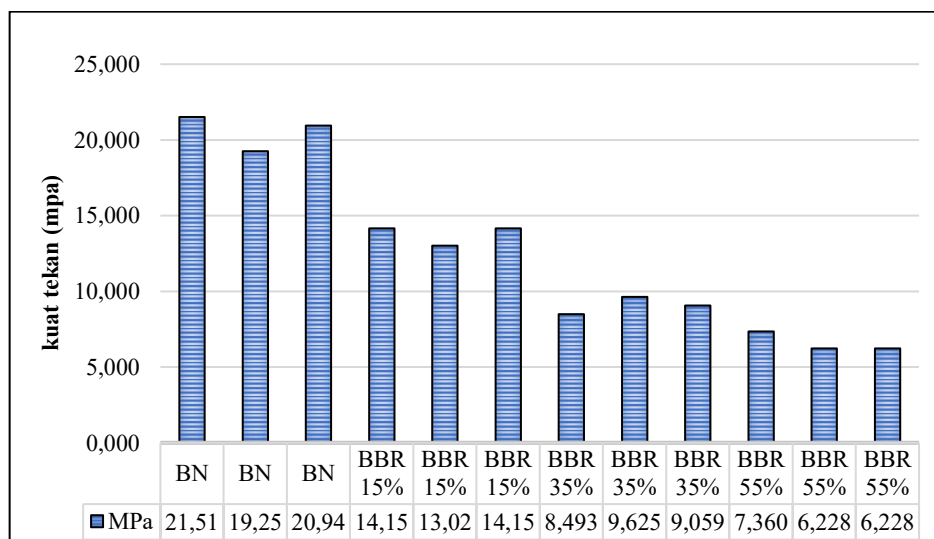
Benda uji	Persentase benda uji	Umur (hari)	Tekan aktual (kN)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata
1	BN	28	380	21,515	20,571
2		28	340	19,250	
3		28	370	20,948	
1	BBR 15%	28	250	14,154	13,777
2		28	230	13,022	
3		28	250	14,154	
1	BBR 35%	28	150	8,493	9,059
2		28	170	9,625	
3		28	160	9,059	

Tabel 4.20: *Lanjutan.*

Benda uji	Persentase benda uji	Umur (hari)	Tekan aktual (kN)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata
1	BBR 55%	28	130	7,360	6,605
2		28	110	6,228	
3		28	110	6,228	

Tabel 4.20 menunjukkan bahwa Beton Normal (BN) menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu 20,57 MPa dengan rentang nilai antara 19,25 MPa hingga 21,51 MPa. Pada variasi BBR 15% kuat tekan rata-rata menurun menjadi 13,77 MPa, sedangkan pada BBR 35% turun lebih jauh menjadi 9.05 MPa. Penurunan terbesar terjadi pada BBR 55%, yang hanya mencapai kuat tekan rata-rata 6,60 MPa. Data ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase penggantian agregat kasar dengan bata ringan, kuat tekan beton cenderung menurun secara signifikan.

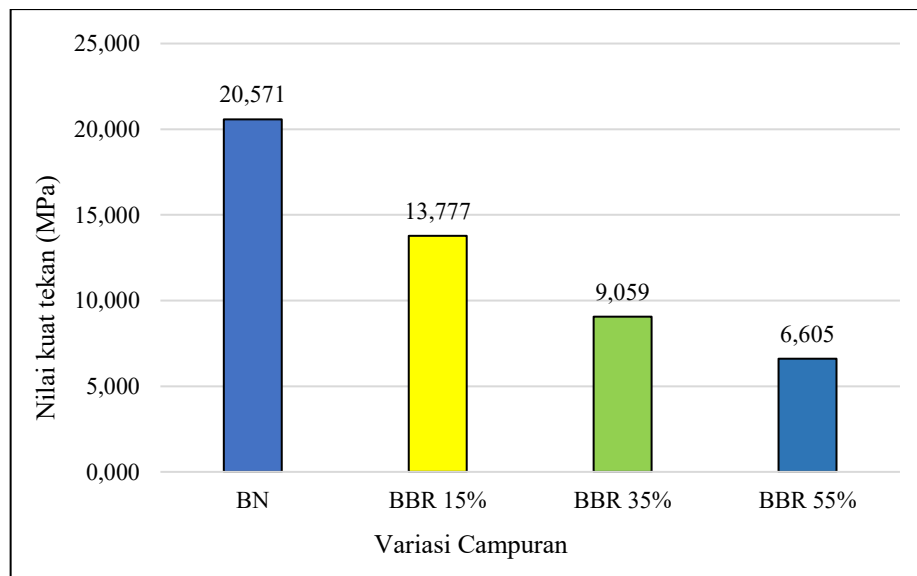
Gambar 4.2 adalah grafik hasil pengujian kuat tekan beton tanpa penambahan *Superplasticizer*:



Gambar 4.2: Grafik kuat tekan beton tanpa penambahan *Superplasticizer*.

Gambar 4.2 menunjukkan nilai kuat tekan Beton Normal (BN) memiliki hasil tertinggi dibandingkan dengan beton campuran pecahan Bata Ringan (BBR). Beton normal mendapatkan kuat tekan berturut-turut sebesar 21,51 MPa, 19,25 MPa, dan 20,94 MPa. Sementara itu beton dengan persentase pecahan bata ringan menunjukkan kecenderungan menurun. Nilai kuat tekan tertinggi pada Beton Bata Ringan 15% (BBR 15%) hanya mencapai 14,15 MPa, dan semakin rendah pada Beton Bata Ringan 35% (BBR 35%) sebesar 9,63 MPa hingga Beton Bata Ringan 55% (BBR 55%) yang hanya 6,23 MPa. Hal ini memperlihatkan bahwa semakin besar persentase substitusi agregat kasar dengan pecahan Bata Ringan, semakin berkurang kuat tekan beton yang dihasilkan.

Grafik rata - rata kuat tekan beton tanpa penambahan *Superplasticizer* terdapat pada Gambar 4.3:



Gambar 4.3: Grafik kuat tekan rata-rata beton tanpa *Superplasticizer*.

Gambar 4.3 menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata dari setiap variasi campuran beton. Beton normal (BN) memiliki kuat tekan rata - rata paling tinggi yaitu 20,57 MPa. Sedangkan beton dengan campuran pecahan bata ringan mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya persentase substitusi agregat kasar pecahan Bata Ringan. Pada Beton Bata Ringana 15% (BBR 15%) kuat tekan rata-

rata turun menjadi 13,77 MPa, lalu semakin menurun pada Beton Bata Ringan 35% (BBR 35%) sebesar 9,05 MPa, dan mencapai titik terendah pada Beton Bata Ringan 55% (BBR 55%) yaitu 6,61 MPa. Data ini menegaskan bahwa penggunaan pecahan Bata Ringan secara signifikan mempengaruhi penurunan kuat tekan beton.

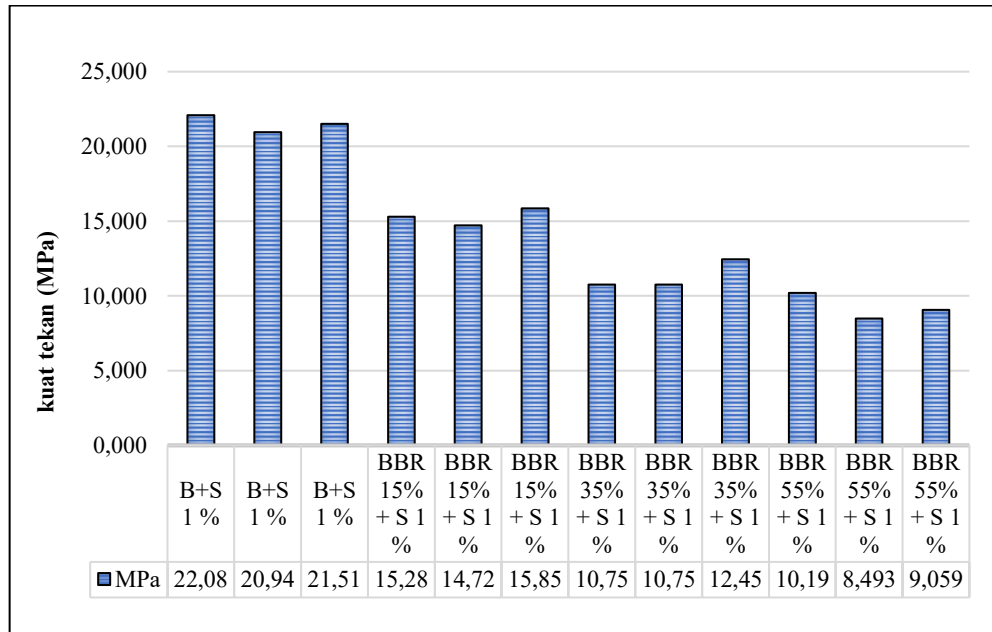
Tabel 4.21: Tabel kuat tekan beton dengan penambahan *Superplasticizer*.

Benda uji	Persentase benda uji	Umur (hari)	Tekan aktual (kN)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata
1	B+S 1%	28	390	22,081	21,515
2		28	370	20,948	
3		28	380	21,515	
1	BBR 15% + S 1 %	28	270	15,287	15,287
2		28	260	14,720	
3		28	280	15,853	
1	BBR 35% + S 1 %	28	190	10,757	11,323
2		28	190	10,757	
3		28	220	12,456	
1	BBR 55% + S 1 %	28	180	10,191	9,247
2		28	150	8,493	
3		28	160	9,059	

Tabel 4.21 menunjukkan bahwa hasil pengujian beton dengan penambahan *Superplasticizer* meningkatkan kuat tekan beton pada semua variasi penggantian agregat kasar dengan bata ringan. Beton normal (BN) tanpa *Superplasticizer* memiliki kuat tekan rata-rata 20,57 Mpa sedangkan beton normal dengan penambahan *Superplasticizer* 1% (B+S 1%) meningkat menjadi 21,51 MPa. Pada variasi Beton Bata Ringan 15% (BBR 15%) kuat tekan rata-rata tanpa penambahan *Superplasticizer* 13,78 MPa, naik menjadi 15,29 MPa dengan penambahan *Superplasticizer*. Demikian pula Beton Bata Ringan 35% (BBR 35%) meningkat dari 9,06 MPa menjadi 11,32 MPa, dan Beton Bata Ringan 55% (BBR 55%) dari

6,60 MPa menjadi 9,25 MPa. Meskipun penambahan *Superplasticizer* terbukti mampu meningkatkan kuat tekan beton, persentase penggantian Bata Ringan semakin besar tetap menyebabkan penurunan kuat tekan beton secara signifikan.

Gambar 4.4 adalah grafik hasil pengujian kuat tekan beton dengan penambahan *Superplasticizer*:

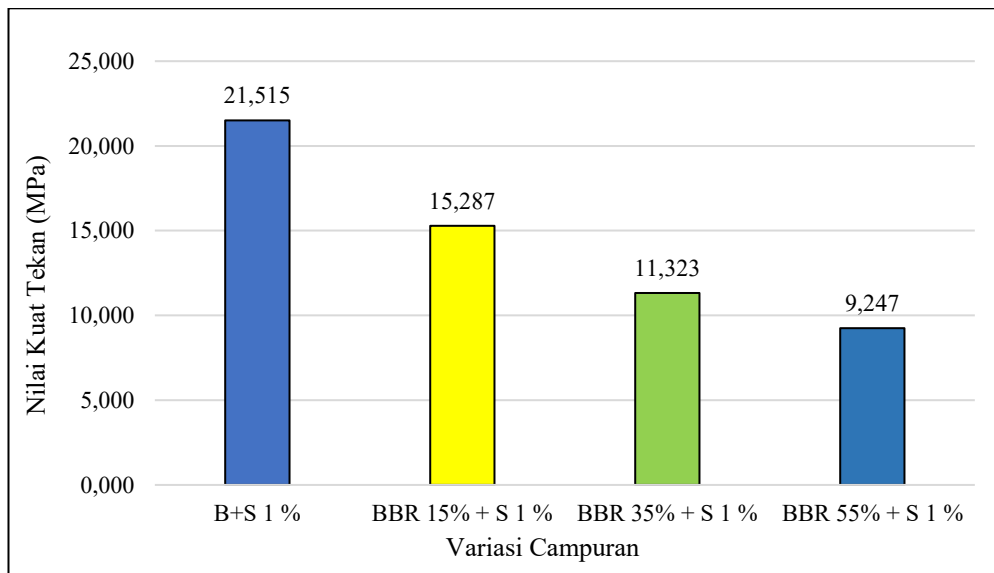


Gambar 4.4: Grafik kuat tekan beton dengan penambahan *Superplasticizer*.

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa beton dengan penambahan *Superplasticizer* 1% menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dari pada beton normal dibandingkan dengan beton campuran pecahan Bata Ringan. Beton Normal dengan *Superplasticizer* (B+S 1%) menghasilkan kuat tekan sebesar 22,08 MPa, 20,94 MPa, dan 21,51 MPa. Sedangkan Beton Bata Ringan 15% + *Superplasticizer* 1% (BBR 15% + S 1%) menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi pada variasi Beton Bata Ringan dengan 15,28 MPa, namun hasilnya masih lebih rendah dibandingkan dengan Beton Normal. Penurunan semakin terlihat pada Beton Bata Ringan 35% + *Superplasticizer* 1% (BBR 35% + S 1%) sebesar 11,75 MPa hingga Beton Bata Ringan 55% + *Superplasticizer* 1% (BBR 55% + S 1 %) yang hanya mencapai 9,06 MPa. Hasil ini memperlihatkan bahwa meskipun penggunaan *Superplasticizer*

mampu meningkatkan *workability* campuran, beton dengan substitusi agregat kasar pecahan bata ringan tetap menyebabkan penurunan kuat tekan beton.

Grarik rata-rata kuat tekan beton dengan penambahan *Superplasticizer* terdapat pada Gambar 4.5:



Gambar 4.5: Grafik rata-rata kuat tekan beton dengan *Superplasticizer*.

Gambar 4.5 menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata beton dengan penambahan *Superplasticizer* 1%. Beton Normal dengan penambahan *Superplasticizer* (B+S1%) menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu 21,51 MPa. Sementara itu, Beton Bata Ringan 15% + *Superplasticizer* 1% (BBR 15% + S 1 %) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 15,28 MPa, Beton Bata Ringan 35% + *Superplasticizer* 1% (BBR 35% + S 1 %) sebesar 11,32 MPa, dan Beton Bata Ringan 5% + *Superplasticizer* 1% (BBR 55% + S 1%) sebesar 9,25 MPa. Dari data tersebut terlihat bahwa penambahan *Superplasticizer* memberikan pengaruh positif terhadap kuat tekan beton, tren penurunan kekuatan tetap terjadi seiring meningkatnya persentase penggunaan pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar.

Dari hasil pengujian, *Superplasticizer* membantu membentuk ikatan yang lebih kuat serta menghasilkan struktur beton yang lebih rapat, sehingga penggunaan pecahan bata ringan yang dipadukan dengan *Superplasticizer* memberikan peningkatan kuat tekan dibandingkan beton tanpa penambahan *Superplasticizer*.

Perbandingan hasil kuat tekan antara beton normal dengan beton campuran pecahan bata ringan serta penambahan *Superplasticizer* sebagai berikut:

1. Perbandingan kuat tekan setiap variasi terhadap Beton Normal:

a. BBR 15 %

$$= \frac{BBR\ 15 \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -33\%$$

b. BBR 35%

$$= \frac{BBR\ 35 \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -56\%$$

c. BBR 55%

$$= \frac{BBR\ 55 \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -68\%$$

d. B+S

$$= \frac{B+S \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= 5\%$$

e. BBR + S 15%

$$= \frac{BBR+S\ 15\% \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -26\%$$

f. BBR + S 35%

$$= \frac{BBR+S\ 35\% \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -45\%$$

g. BBR + S 55%

$$= \frac{BBR+S\ 55\% \times BN}{BN} \times 100\%$$

$$= -55\%$$

2. Perbandingan pengaruh penambahan *Superplasticizer* pada setiap variasi

a. BN

$$= \frac{B+S \times BN}{BN} \times 100\%$$
$$= 5\%$$

b. BBR 15%

$$= \frac{BBR+S \ 15\% \times BBR \ 15\%}{BBR \ 15\%} \times 100\%$$
$$= 11\%$$

c. BBR 35%

$$= \frac{BBR+S \ 35\% \times BBR \ 35\%}{BBR \ 35\%} \times 100\%$$
$$= 25\%$$

d. BBR 55%

$$= \frac{BBR+S \ 55\% \times BBR \ 55\%}{BBR \ 55\%} \times 100\%$$
$$= 40\%$$

Pada perbandingan terhadap beton normal, variasi BBR 15% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 33% BBR 35% turun 56%, dan BBR 55% turun 68%. Beton dengan penambahan *Superplasticizer* tanpa pecahan bata ringan (B+S) justru menunjukkan peningkatan sebesar 5% dibanding Beton Normal. Sementara itu, beton dengan campuran pecahan bata ringan dan *Superplasticizer* (BBR+S) menunjukkan hasil yang bervariasi yaitu BBR+S 15% menurun 26%, BBR+S 35% menurun 45%, dan BBR+S 55% menurun 55% jika dibandingkan langsung dengan beton normal.

Pada perbandingan pengaruh penambahan *Superplasticizer* pada setiap variasi, didapatkan bahwa B+S memiliki kenaikan kuat tekan 5% di bandingkan dengan Beton Normal (BN). Untuk variasi 15%, penambahan *Superplasticizer* meningkatkan kuat tekan BBR sebesar 11%, pada variasi 35% peningkatannya mencapai 25% sedangkan variasi 55% peningkatannya sebesar 40%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *Superplasticizer* memberikan efek positif yang cukup signifikan terhadap kuat tekan pada beton dengan kandungan pecahan bata ringan, terutama pada kadar penggantian yang lebih tinggi.

BAB 5

PENUTUP

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data, diperoleh kesimpulan dan saran yang dapat menjadi acuan serta dikembangkan pada penelitian selanjutnya, khususnya terkait pemanfaatan limbah pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar dan penambahan *Superplasticizer* pada beton.

5.1. Kesimpulan

1. Perbandingan kuat tekan beton normal dan beton campuran pecahan bata ringan dengan tanpa *Superplasticizer*; Beton Normal (BN) memiliki kuat tekan rata-rata tertinggi yaitu 20,57 MPa, sedangkan beton campuran pecahan Bata Ringan mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase penggantian agregat kasar. Beton Bata Ringan 15% (BBR 15%) menurun menjadi 13,77 MPa (−33%), Beton Bata Ringan 35% (BBR 35%) menjadi 9,05 MPa (−56%), dan Beton Bata Ringan 55% (BBR 55%) menjadi 6,60 MPa (−68%). Penambahan *Superplasticizer* 1% meningkatkan kuat tekan pada semua variasi Beton Normal + *Superplasticizer* 1% (B + S 1%) menjadi 21,51 MPa (5%), Beton Bata Ringan 15% + *Superplasticizer* 1% (BBR 15% + S 1%) menjadi 15,29 MPa (11%), Beton Bata Ringan 35% + *Superplasticizer* 1% (BBR 35% + S 1%) menjadi 11,32 MPa (25%), dan Beton Bata Ringan 55% + *Superplasticizer* 1% (BBR 55% + S 1%) menjadi 9,25 MPa (40%) dibandingkan masing-masing beton tanpa *Superplasticizer*.
2. Penambahan penggunaan pecahan bata ringan dan *Superplasticizer* terhadap mutu beton, penggunaan pecahan bata ringan sebagai substitusi agregat kasar menurunkan mutu beton secara signifikan dari kategori kuat tekan >20 MPa (mutu sedang-tinggi) menjadi 6-15 MPa (mutu rendah hingga sedang), tergantung persentase penggantian. Penambahan *Superplasticizer* 1% terbukti mampu memperbaiki mutu beton, terutama pada kadar penggantian bata ringan

yang tinggi, namun tidak sepenuhnya mengembalikan kekuatan ke level beton normal.

5.2. Saran

1. Penggunaan pecahan bata ringan sebagai pengganti agregat kasar sebaiknya dibatasi pada persentase rendah ($\leq 15\%$) untuk meminimalkan penurunan kuat tekan beton, terutama jika beton akan digunakan untuk struktur yang memerlukan kekuatan tinggi.
2. Penambahan *Superplasticizer* direkomendasikan pada campuran beton dengan kandungan bata ringan untuk mengoptimalkan kuat tekan, namun tetap perlu dilakukan uji coba lanjutan untuk menemukan komposisi terbaik yang memenuhi syarat teknis sesuai kebutuhan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Priyono, S., & Agustapraja, H. R. (2021). Limbah Bata Ringan untuk Bahan Campuran Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Pada Beton K-250. *Jurnal Teknik*, 19(1), 23–31. <https://doi.org/10.37031/jt.v19i1.159>
- Aji, P., & Rachmat, P. (2010). *Pengendalian Mutu Beton: Sesuai SNI, ACI, dan ASTM*. ITS PRESS 2010.
- Ardiansyah, P. P., Cahyani, R. A. T., & Rusdianto, Y. (2024). Optimalisasi Penggunaan Superplastisizer dan Reduksi Air untuk Peningkatan Kinerja Beton. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 22(1), 31–38. <https://doi.org/10.22219/jmts.v22i1.32730>
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4141:1996. Metode Uji Kadar Lumpur dalam Agregat.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1972:2008. Metode Uji Keleccakan Adukan Beton Segar (Slump Test).
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1971:2011. Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1973:2008. Metode Uji Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011. Metode Uji Kuat Tekan Beton.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 2493:2011. Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136:2012. Metode Uji Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 7656:2012. Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1969:2016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1970:2016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- Cunradiana, M., Ndale, F. X., & Suku, Y. L. (2020). Pengaruh Penggunaan Tepung Bata Ringan Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Teknosiar*, 14(1), 20–27.

- Desmi, A.-. (2018). Pengaruh Penggunaan Abu Jerami Dengan Penambahan Zat Additive Sikacim Concrete Terhadap Kuat Tekan Beton. *Teras Jurnal*, 8(1), 339. <https://doi.org/10.29103/tj.v8i1.120>
- Frapanti, S., Zulkarnain, F., & Efrida, R. (2023). *Aplikasi Beton Prategang dan Desain Pada Konstruksi Bangunan* (N. Amalia (ed.)). UMSU PRESS.
- Goritman, B., Irwangsa, R., & Kusuma, J. H. (2012). Studi Kasus Perbandingan Berbagai Bata Ringan dari Segi Material, Biaya, dan Produktivitas. *Pratama Teknik Sipil, Clc*, 1–8. <http://studentjournal.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/389>
- Handiyana,Djaenudin ; Nisumanti, S. (2016). Penggunaan Sika Viscocrete 3115 Id Untuk Memudahkan Pengerjaan (Workability Beton Mutu Tinggi K.350 Dan Kuat Tekan Beton). *Vol 4. No. 3 Juni 2016*, 4(629), 107–113.
- Jamal, M., Widiastuti, M., & Anugrah, A. T. (2017). Pengaruh Penggunaan Sikacim Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halus Pasir Mahakam. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV, November*, 28–36.
- Kallak, F. S. (2009). Use of Crushed Bricks as Coarse Aggregate in Concrete. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 16(3), 64–69. <https://doi.org/10.25130/tjes.16.3.06>
- Mulyono, T. (2005). *Teknologi Beton*. C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI).
- Mustika Indriani, F. (2021). *Analisis Nilai Kuat Tekan Beton Menggunakan Limbah Bata Ringan (Hebel) Sebagai Campuran Agregat Halus*.
- Nasional, B. S. (2004). Semen Portland. *SNI 15-2049-2004*.
- Ngabdurrochman. (2009). Teknologi Beton Ringan. In *Jurnal teknik Sipil*.
- Pah, J. J. S., Ratrigis, C. I., & Sina, D. A. T. (2023). Tata Cara Rancangan Campur Untuk Membuat Bata Ringan Cellular Lightweight Concrete (Clc). *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 15–28.
- Pujianto, A., Faizah, R., Widiyanto, A., Putri, T. A., Prayuda, H., & Firdausa, F. (2021). Pemanfaatan Limbah Bata Ringan Sebagai Bahan Penyusun Pengganti Pada Beton. *Bangunan*, 26(2), 1. <https://doi.org/10.17977/um071v26i22021p1-8>
- Rahmawati, N., Sunarno, D., Eng, M., Ali, I., Soeparlan, A., & Artikel, I. (2021). Pengaruh Pemakaian Fly Ash Dan Tempurung Kelapa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil*, 5(1), 2–10.

- Setiawan, A., Sugiarto, A., & Riyanto, S. (2021). Penggunaan Limbah Ban Bekas Sebagai Substitusi Pasir Pada Campuran Bata Beton Ringan Ditinjau Kuat Tekannya. *Jurnal JOS-MRK*, 2(3), 156–161.
- SNI 03-2834-2000. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Sni 03-2834-2000*, 1–34.
- Suji'at, & Yudha. (2021). Studi Pembuatan Bata Ringan Menggunakan Pasir kali Sekar Dengan Penambahan Silica Fume. *Jurnal Teknik Sipil Unigoro*, 6(2). <https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/DeTeksi/article/view/310/278>
- Suwan, T., & Wattanachai, P. (2017). Properties and Internal Curing of Concrete Containing Recycled Autoclaved Aerated Lightweight Concrete as Aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2394641>
- Taher, T., Suharwanto, & Komarudin. (2020). Agregat Beton Daur Ulang Dari Limbah Bata Ringan Sebagai Substitusi Agregat Natural Pada Beton Normal. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 6(2), 19–27.
- Teknis, L. D. (2022). *SikaCim® Concrete Additive HIGH RANGE WATER REDUCING DESKRIPSI*. 2–4.
- Tjokrodinuljo. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit.
- Zaidayanti, A., Riyanto, S., & Suryadi, A. (2023). Pengaruh Pemakaian Limbah Bata Ringan Dan Bahan Tambah Silica Fume Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Hancur. *Maret*, 4(1), 253–258. <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>

LAMPIRAN



Gambar L.1: Pemeriksaan material.



Gambar L.2: Pengeringan material dalam pemeriksaan.



Gambar L.3: Pencampuran material.



Gambar L.4: Pengujian slump.



Gambar L.5: Perendaman benda uji.



Gambar L.6: Uji kuat tekan beton.



Gambar L.7: Pecahan bata ringan.



Gambar L.8: Penakaran *Superplasticizer*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Identitas Diri

Nama Lengkap	: M Farid Anshari
Tempat/Tanggal Lahir	: P. Berandan/18 September 2003
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Alamat	: Jl. Marelan V, Gg. Safari, Kota Medan
No.HP/Telp	: 0895603126401
Nama Ayah	: Hamsari
Nama Ibu	: Hafifah S.Ag
E-Mail	: faridanshari22@gmail.com

Data Riwayat Pendidikan

Nomor Pokok Mahasiswa	: 2107210168
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil
Perguruan Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muhctar Basri No.3 Medan 20238

Pendidikan Formal

Sekolah Dasar	: SD Dharma Patra Pangkalan Susu (2009-2015)
Sekolah Menengah Pertama	: SMP Dharma Patra Pangkalan Susu (2015-2018)
Sekolah Menengah Atas	: SMK Teknik Imelda Medan (2018-2021)