

TUGAS AKHIR
ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON YANG MENGANDUNG
SERBUK BATA BAKAR SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS
(Studi Penelitian)

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

Disusun Oleh :

SARAH AZZUHRAH
2107210177



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 : Sarah Azzuhrah

Npm : 2107210177

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Yang Mengandung
Serbuk Bata Bakar Sebagai Substitusi Agregat Halus

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 21 Agustus 2025

Dosen Pembimbing



Rizki Efrida, S.T, M.T

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Sarah Azzuhrah

Npm : 2107210177

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Yang Mengandung
Serbuk Bata Bakar Sebagai Substitusi Agregat Halus

Bidang Ilmu : Struktur

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

Medan, 21 Agustus 2025

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Pembimbing



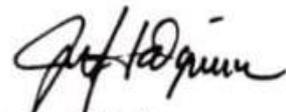
Rizki Efrida, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I



Sri Frapanti, S.T., M.T.

Dosen Pembanding II



Dr. Josef Hadipramana

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



Dr. Josef Hadipramana

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Sarah Azzuhrah
Tempat, Tanggal Lahir : Batang Kuis, 17 Agustus 2003
Npm : 2107210177
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisis Nilai Modulus Elastisitas Beton Yang Mengandung Serbuk Bata Bakar Sebagai Substitusi Agregat Halus"

Bukan merupakan plagiatisme, 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 bukan merupakan karya tulis. Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademi di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Medan, 21 Agustus 2025

Saya yang Menyatakan



Sarah Azzuhrah

ABSTRAK

ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON YANG MENGANDUNG SERBUK BATA BAKAR SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS (STUDI PENELITIAN)

Sarah Azzuhrah

2107210177

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

Beton merupakan material konstruksi esensial, namun ketersediaan agregat halus alami, seperti pasir, semakin terbatas akibat pembangunan pesat. Limbah bata bakar, hasil kegagalan produksi, memiliki potensi sebagai alternatif pengganti agregat halus untuk mengurangi ketergantungan pada pasir alam dan berkontribusi pada solusi limbah konstruksi yang efisien dan ramah lingkungan. Modulus elastisitas beton adalah parameter krusial dalam perancangan struktur karena menggambarkan kekakuan material dan deformasi akibat beban. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton yang menggunakan serbuk bata bakar sebagai substitusi agregat halus. Ruang lingkup penelitian meliputi pembuatan benda uji silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, kuat tekan rencana 25 MPa, serta pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas setelah perendaman 28 hari. Serbuk limbah bata bakar digunakan sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 25%, 50%, dan 75% dari berat agregat halus, masing-masing variasi dicetak sebanyak 3 buah sampel untuk pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa beton normal mencapai 27 MPa, sedangkan kuat tekan menurun seiring peningkatan persentase substitusi bata bakar: 21 MPa untuk 25% substitusi, 17 MPa untuk 50%, dan 12 MPa untuk 75%. Modulus elastisitas beton juga menunjukkan penurunan seiring bertambahnya persentase serbuk bata bakar, sejalan dengan hasil kuat tekan. Penggunaan serbuk bata bakar sebagai substitusi agregat halus menyebabkan penurunan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas beton seiring dengan peningkatan persentase substitusi. Kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton normal (27 MPa), sedangkan terendah pada beton dengan 75% substitusi bata bakar (12 MPa).

Kata Kunci: Beton, Modulus Elastisitas, Kuat Tekan, Serbuk Bata Bakar, Agregat Halus, Substitusi, Limbah Konstruksi.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETE CONTAINING BURNT BRICK POWDER AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE (RESEARCH STUDY)

Sarah Azzuhrah

2107210177

Rizki Efrida, S.T., M.T

Concrete is an essential construction material, but the availability of natural fine aggregates, such as sand, is increasingly limited due to rapid development. Burnt brick waste, resulting from production failures, has the potential to serve as an alternative to natural fine aggregate, reducing dependence on natural sand and contributing to efficient and environmentally friendly construction waste solutions. This study aims to analyze the compressive strength and elastic modulus of concrete using burnt brick powder as a fine aggregate substitute. The research scope includes the fabrication of cylindrical concrete specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm, compressive strength of 25 MPa, and testing of compressive strength and elastic modulus after 28 days of curing. Burnt brick waste powder is used as a fine aggregate substitute at variations of 25%, 50%, and 75% by weight of fine aggregate. For each variation, 3 samples were cast for compressive strength and elastic modulus testing. Compressive strength test results indicate that normal concrete reached 27 MPa, while compressive strength decreased with increasing burnt brick substitution percentage: 21 MPa for 25% substitution, 17 MPa for 50%, and 12 MPa for 75%. The elastic modulus of concrete also showed a decrease with increasing burnt brick powder percentage, consistent with the compressive strength results. The use of burnt brick powder as a fine aggregate substitute leads to a decrease in concrete's compressive strength and elastic modulus values as the substitution percentage increases. The highest compressive strength was obtained in normal concrete (27 MPa), while the lowest was in concrete with 75% burnt brick substitution (12 MPa).

Keywords: Concrete, Elastic Modulus, Compressive Strength, Burnt Brick Powder, Fine Aggregate, Substitution, Construction Waste.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr.wb

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. 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 Nilai Modulus Elastisitas Beton Yang Mengandung Serbuk Bata Bakar Sebagai Substitusi Agregat Halus” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Ibu Rizki Efrida, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing sekaligus Sekretaris Program Studi Teknik Sipil yang telah banyak membimbing dan mengarahkan serta memberi saran dalam proses penulisan demi kelancaran menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Sri Frapatanti, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Josef Hadipramana selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil yang telah memberi masukan dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Assoc. Prof. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan I 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 Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kedua orang tua Ayahanda tersayang Jochary, S.H dan Ibunda tercinta Nurma, yang telah membesarkan dan selalu mendoakan terima kasih untuk semua dukungan dan kasih sayang penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya.
9. Saudari dan Saudara kakak tercinta Tiara Azzahrah dan Adik tersayang Abiyyu Hibrizi Abrar, terima kasih telah memberikan doa dan dukungan serta menyemangati hingga akhir dan telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2021 terkhusus Kelas D1.
11. Terakhir, terima kasih kepada diri sendiri yang telah berusaha keras meyakinkan dan menguatkan diri untuk menyelesaikan studi ini hingga selesai, semoga langkah kebaikan selalu menyertai.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan saran yang membangun untuk bahan pembelajaran berkesinambungan di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca serta dunia konstruksi teknik sipil.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Medan, 21 Agustus 2025



Sarah Azzuhrah

2107210177

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Beton	6
2.2 Material Penyusun Beton	7
2.2.1 Semen	8
2.2.2 Agregat Halus	8
2.2.3 Agregat Kasar	9
2.2.4 Air	9
2.2.5 Bata Bakar	10
2.3 Slump Test	10
2.4 Kuat Tekan Beton	11
2.5 Modulus Elastisitas	12
2.6 Penelitian Terdahulu	12
2.7 Hipotesa	14

BAB 3 METODE PENELITIAN	16
3.1 Bagan Air Penelitian	16
3.2 Metode Penelitian	17
3.3 Tahapan Penelitian	17
3.4 Lokasi dan Waktu Penelitian	18
3.5 Sumber dan Teknik Pengambilan Data	19
3.5.1 Primer	19
3.5.2 Sekunder	19
3.6 Alat dan Bahan	19
3.6.1 Alat	19
3.6.2 Bahan	20
3.7 Langkah-Langkah Pemeriksaan Agregat	21
3.8 Persiapan Penelitian	22
3.9 Pemeriksaan Agregat	22
3.9.1 Pengujian Analisa Saringan	23
3.9.2. Berat Jenis dan Penyerapannya	24
3.9.3. Pengujian Kadar Air	25
3.9.4. Pengujian Kadar Lumpur	26
3.9.5. Berat Isi	27
3.10. Pembuatan Benda Uji	27
3.11. Mix Design	29
3.12. Pemeriksaan Slump Test	30
3.13. Perawatan Benda Uji	31
3.14. Pengujian Kuat Tekan	31
3.15. Pengujian Modulus Elastisitas	32
3.16. Time Schedule	33
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Umum	34
4.2 Pemeriksaan Agregat Halus	34
4.2.1 Analisa Saringan Agregat Halus	34
4.2.2 Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus	38
4.2.3 Kadar Air Agregat Halus	40

4.2.4 Kadar Lumpur Agregat Halus	42
4.2.5 Berat Isi Agregat Halus	42
4.3 Pemeriksaan Agregat Kasar	43
4.3.1 Analisa Saringan Agregat Kasar	43
4.3.2 Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar	45
4.3.3 Kadar Air Agregat Kasar	46
4.3.4 Kadar Lumpur Agregat Kasar	47
4.3.5 Berat Isi Agregat Kasar	47
4.4 Perencanaan Campuran Dan Kebutuhan Bahan Beton	48
4.4.1 Mix Design	49
4.5 Hasil Pengujian Slump Test	65
4.6 Hasil Dan Analisa Pengujian Beton	67
4.6.1 Hasil Kuat Tekan Beton	67
4.6.2 Hasil Modulus Elastisitas Beton	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	79
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Beton	6
Tabel 2.2 Batas Gradasi Agregat Halus	8
Tabel 2.3 Batas Gradasi Agregat Kasar	9
Tabel 2.4 Nilai Slump yang Dianjurkan Untuk Konstruksi	11
Tabel 3.1 Jumlah Benda Uji	20
Tabel 3.2 Persentase Campuran Beton	28
Tabel 3.3 Nilai Slump yang Dianjurkan Untuk Konstruksi	29
Tabel 4.1 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)	33
Tabel 4.2 Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (Bata Bakar)	35
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus (Pasir)	37
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus (Bata Bakar)	38
Table 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Pasir)	39
Table 4.6 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Bata Bakar)	40
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	41
Tabel 4.8 Berat Isi Agregat Halus	42
Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Analisa Sarigan Agregat Kasar (Kerikil)	42
Tabel 4.10 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Kerikil)	44
Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar	45
Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar	46
Tabel 4.13 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar	47
Tabel 4.14 Data-Data Pengetesan Dasar	47
Tabel 4.15 <i>Mix Design</i> Beton Normal Mutu Sedang	48
Tabel 4.16 <i>Nilai Deviasi Standar</i>	50
Tabel 4.17 Tingkat Mutu Pekerjaan	50
Tabel 4.18 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum	52
Tabel 4.19 Nilai Slump Berdasarkan (SNI 7656-2012)	53
Tabel 4.20 Perkiraan Kadar Air Bebas (SNI 03-2834,2000)	53
Tabel 4.21 Analisa Gradasi Agregat Kasar	62
Tabel 4.22 Analisa Gradasi Agregat Halus	62
Tabel 4.23 Jumlah Bata Bakar yang Dibutuhkan Untuk 1 Benda Uji Silinder	63

Tabel 4.24 Proporsi Campuran Beton dengan BB (Bata Bakar)	64
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Nilai Slump	65
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kuat Tekan	69
Tabel 4.27 Berat Jenis Sampel Beton	70
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengujian Kuat Tekan Beton	12
Gambar 2.2 Kurva Tegangan Regangan yang Diberi Tekanan	12
Gambar 3.1 Bagan Air Penelitian	15
Gambar 3.2 Dimensi Benda Uji	28
Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)	35
Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Bata Bakar)	37
Gambar 4.3 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar	44
Gambar 4.4 Grafik Hubungan FAS dengan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata	51
Gambar 4.5 Grafik Gradasi Agregat Halus	55
Gambar 4.6 Grafik Gradasi Agregat Kasar	55
Gambar 4.7 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan	56
Gambar 4.8 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Isi Beton Pada FAS	57
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Nilai Slump	65
Gambar 4.10 Grafik Hasil Kuat Tekan	69
Gambar 4.11 Grafik Hasil Modulus Elastisitas	72

DAFTAR NOTASI

$f'c$	=	Kuat tekan beton	(Mpa)
E_c	=	Modulus elastisitas beton	(Mpa)
FM	=	Modulus kehalusan	(%)
S	=	Deviasi standar	(Mpa)
M	=	Nilai tambah margin	(Mpa)
P	=	Beban tekan	(Kg)
A	=	Luas penampang	(cm ²)
W_{semen}	=	Jumlah semen	(Kg/m ³)
W_{air}	=	Jumlah air	(Kg/m ³)
W_{beton}	=	Berat beton	(Kg/m ³)
FAS	=	Faktor air semen	-
W_c	=	Berat jenis beton	(Kg/m ³)
V	=	Volume	(m ³)
W_h	=	Jumlah air agregat halus	(Kg/m ³)
W_k	=	Jumlah air agregat kasar	(Kg/m ³)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Batu bata adalah salah satu unsur bangunan dalam pembuatan konstruksi bangunan yang terbuat dari tanah liat ditambah air dengan atau tanpa bahan campuran lain melalui beberapa tahap pengerjaan, seperti menggali, mengolah, mencetak, mengeringkan, membakar pada temperatur tinggi hingga matang dan berubah warna, serta akan mengeras seperti batu jika didinginkan hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Bata merah merupakan salah satu bahan yang digunakan untuk membuat dinding. Batu bata merah terbuat dari tanah liat yang dibakar dengan suhu tinggi hingga berubah warna menjadi merah.

Batu bata yang dibakar adalah salah satu bahan bangunan yang paling umum digunakan dalam konstruksi. Tanah liat merupakan bahan dasar pembuatan batu bata yang dibakar dan dikeringkan. Proses pembakaran pada batu bata bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan agar batu bata yang diperoleh mengeras dengan sempurna dan dalam waktu yang cukup singkat (Frapanti et al., 2024). Kualitas batu bata menentukan kekuatan dan ketahanan struktur bangunan. Namun seringkali terjadi kesalahan dalam proses produksi sehingga mengakibatkan produk batu bata tidak memenuhi standar mutu. Kerusakan ini bisa berupa retakan, pecah, atau bahkan pembentukan yang tidak tepat. Kegagalan produksi batu bata seringkali disebabkan oleh adanya kendala pada proses pembakaran yang dapat menyebabkan batu bata menjadi rapuh dan tidak memenuhi standar mutu. Selain itu, faktor seperti komposisi campuran tanah dan spesifikasi mesin juga berkontribusi terhadap kesalahan ini. Salah satu cara untuk memanfaatkan kegagalan produksi batu bata adalah dengan menggunakan-nya sebagai pengganti agregat halus yaitu pasir dalam produksi beton.

Agregat halus berperan penting dalam menentukan kuat tekan beton serta sifat-sifat lainnya. Namun seiring meningkatnya kebutuhan konstruksi, sumber pasir alam dalam bentuk agregat halus semakin terbatas, sehingga perlu adanya alternatif pengganti pasir alam tanpa mengurangi mutu beton. Ketersediaan agregat halus

alami semakin berkurang akibat pembangunan yang pesat. Salah satu material potensial yang dapat menggantikan agregat halus adalah batu bata bakar. Penggunaan batu bata bakar sebagai pengganti agregat halus dapat mengurangi ketergantungan pada pasir alam yang semakin menipis, sekaligus memberikan solusi terhadap limbah konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan lebih banyak penelitian mengenai penggunaan batu bata bakar sebagai pengganti agregat halus untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya pasir alam yang semakin menipis, serta berkontribusi pada pengembangan material konstruksi yang efisien dan ramah lingkungan.

Dengan meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan, penggunaan bata bakar dapat menjadi solusi inovatif dalam industri konstruksi. Adapun penelitian yang akan dilakukan yaitu substitusi agregat halus dengan menganalisis nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas beton adalah ukuran kekakuan material beton. Modulus elastisitas menggambarkan hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dalam batas elastis material. Modulus Elastisitas atau yang juga dikenal sebagai *Modulus Young* adalah salah satu parameter mekanik yang sangat krusial dalam perancangan dan analisis struktur beton. Secara sederhana, modulus elastisitas menunjukkan fungsi kekakuan material, yaitu seberapa besar deformasi (*strain*) yang muncul ketika material terkena tegangan.

Modulus elastisitas beton sangat mempengaruhi deformasi awal dari struktur akibat beban mati, beban hidup, atau beban sementara. Beton dengan modulus elastisitas tinggi akan mengalami deformasi yang lebih sedikit, menjadikan lebih sesuai untuk struktur yang memerlukan kekakuan besar seperti kolom, balok panjang, atau lantai jembatan. Modulus elastisitas secara langsung mempengaruhi perhitungan defleksi (lendutan) elemen struktural seperti balok. Semakin rendah nilai modulus elastisitas beton, semakin besar defleksi yang akan terjadi. Fenomena ini juga berkaitan dengan potensi retakan yang muncul pada beton, yang dapat berdampak pada kekuatan dan ketahanan struktur dalam waktu lama. Besaran modulus elastisitas memiliki hubungan langsung dengan kuat tekan beton. Beton berkualitas tinggi (misalnya lebih dari 40 Mpa) umumnya menunjukkan modulus elastisitas yang tinggi. Oleh karena itu, nilai modulus elastisitas juga berfungsi sebagai indikator tidak langsung bagi kualitas dan performa beton. Modulus

elastisitas beton bukan hanya sekedar parameter teknis, tetapi juga memiliki peranan strategis dalam menentukan keamanan, kekakuan dan kenyamanan struktur. Jika nilai ini tidak diperhatikan secara detail, struktur beton bisa menghadapi masalah deformasi berlebihan, retak, atau bahkan kegagalan fungsional. Maka dari itu, pemahaman dan pengukuran modulus elastisitas sangat krusial di setiap fase perancangan dan pelaksanaan struktur beton.

Pada penelitian ini didasari oleh penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu *The Use of Coarse and Fine Crushed Bricks as Aggregate in Concrete* (Debieb & Kenai, 2008) disimpulkan bahwa penurunan kuat tekan pada umur 28 hari sekitar 35, 30 dan 40% ketika kasar, halus atau keduanya halus dan agregat kasar masing-masing disubstitusi. Penurunan kuat lentur sekitar 15%, mencapai 40% ketika agregat kasar dan halus didaur ulang beton digunakan. Modulus elastisitas bervariasi dengan cara yang sama seperti kekuatan tekan dan pengurangan sebesar 30%, 40% dan 50% diamati untuk yang kasar, halus dan kasar dan bata pecah halus beton, masing-masing. Penelitian *Mechanical Properties of Brick Aggregate Concrete* (Cachim, 2009) dimana hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa batu bata yang dihancurkan dapat digunakan sebagai pengganti agregat alam dalam persentase hingga 15% tanpa pengurangan kekuatan. Untuk substitusi agregat alami sebesar 30%, terjadi pengurangan sifat beton (hingga 20%, tergantung pada jenis bata). Hubungan tegangan-regangan sangat mirip untuk kedua jenis beton, bahkan di cabang pelunakan, menguatkan penggunaan beton agregat bata dalam aplikasi struktural yang menuntut rendah. Maka dari itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui untuk efektivitas batu bata pecah sebagai pengganti agregat halus pada produksi beton serta untuk mengetahui nilai modulus elastisitas beton dengan variasi berbeda yaitu variasi campuran bata bakar pada beton normal yaitu 25%, 50% dan 75%.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dibuat, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai kuat tekan beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus?

2. Bagaimana nilai modulus elastisitas beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Pembatasan masalah ini dilakukan untuk menyempitkan focus pada isu – isu yang dibahas, sehingga penelitian dapat lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan. Adapun beberapa batasan masalah tersebut yaitu :

1. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Perencanaan campuran beton berdasar Standar Nasional Indonesia (SNI) yang telah diterapkan yaitu SNI 7656-2012 (Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal).
3. Benda uji yang ingin digunakan adalah berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
4. Kuat tekan beton yang direncanakan adalah $f'c$ 25 Mpa.
5. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas beton dilakukan setelah perendaman selama 28 hari.
6. Semen yang digunakan yaitu semen PCC (*Portland Cement Composit*).
7. Substitusi agregat halus yaitu serbuk limbah bata bakar yang gagal produksi.
8. Variasi campuran bata bakar pada beton yaitu 25%, 50% dan 75% dari berat agregat halus.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah didapat, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil nilai kuat tekan beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus.
2. Mengetahui hasil nilai modulus elastisitas beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus.

1.5. Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang didapat dari penelitian ini :

1. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat dan memberikan informasi yang jelas bagi pengembangan ilmu beton tentang pengaruh bata bakar sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton.
2. Penelitian ini juga diharapkan menjadi material konstruksi yang baru dan ramah lingkungan.

1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan pada tugas akhir dengan judul : “ANALISIS NILAI MODULUS ELASTISITAS BETON TERHADAP PENGGUNAAN BATA BAKAR SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS” ini terbagi menjadi 5 bab yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang teori teori yang berkaitan dan relevan dengan pokok bahasan studi. Teori teori tersebut bertujuan sebagai dasar kajian ataupun acuan dalam mengerjakan penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang metode metode ataupun prosedur yang akan digunakan dalam pengerjaan penelitian dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pemaparan hasil analisis perhitungan dan pemecahan masalah dari penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang di dapat selama melakukan penelitian dan juga beberapa saran saran yang diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian lainnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Beton

Beton merupakan material yang diperoleh dari pencampuran bahan pembentuk atau penyusun beton, yaitu semen sebagai bahan perekat atau pengikat, air sebagai bahan pereaksi, agregat sebagai bahan penguat, serta dapat ditambah dengan bahan *additive*. Beton merupakan bahan bangunan yang umum digunakan pada konstruksi bangunan karena material penyusun beton sangat mudah dan terjangkau yang memungkinkan siapa saja dapat membuat campuran beton (Hunggurami et al., 2017). Beton pada dasarnya memiliki keunggulan-keunggulan diantaranya memiliki modulus elastisitas yang tinggi, perawatan dan pembentukan yang mudah serta mudah mendapatkan bahan penyusunannya (Melinda et al., 2020).

Beton, bahan konstruksi buatan manusia yang paling banyak digunakan, telah menjadi subjek penelitian dan pengembangan yang ekstensif. Popularitasnya berasal dari kemampuannya untuk mengeras saat bersentuhan dengan air dan menahan tekanan yang signifikan (Shomal Zadeh et al, 2023). Beton merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi karena stabilitas dan kekuatannya yang luar biasa dalam menahan tekanan tingkat tinggi. Terdapat klasifikasi beton berdasarkan kuat tekan menurut Tjokrodimuljo (2007) yaitu :

Tabel 2.1 : Klasifikasi Beton (Tjokrodimuljo, 2007)

Jenis Beton	Kuat Tekan (Mpa)
Beton Sederhana	Sampai 10 Mpa
Beton Normal	15-30 Mpa
Beton Prategang	30-40 Mpa
Beton Kuat Tekan Tinggi	40-80 Mpa
Beton Kuat Tekan Sangat Tinggi	>80 Mpa

Menurut (Tjokrodimuljo, 1996) beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain :

Kelebihan beton :

1. Beton memiliki kekuatan tekan yang baik dan tahan terhadap korosi dan degradasi karena kondisi lingkungan.
2. Beton segar dapat dengan mudah dicor sesuai keinginan. Cetakan juga dapat digunakan beberapa kali sehingga lebih ekonomis.
3. Beton segar dapat disemprotkan ke permukaan beton lama yang retak atau dapat dituangkan ke dalam retakan beton selama perbaikan.
4. Beton siap pakai dapat dipompa menggunakan pompa beton sehingga dapat dituangkan ke tempat-tempat yang sulit dijangkau.
5. Beton bersifat abrasi dan tahan api sehingga biaya perawatannya juga lebih rendah.

Kekurangan beton :

1. Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik dan karena itu rentan terhadap retak. Oleh karena itu, diperlukan tulangan baja untuk menahan gaya tarik.
2. Beton dapat menyusut atau memuai akibat perubahan suhu, sehingga diperlukan sambungan ekspansi (*expansion joint*) untuk mencegah terbentuknya retakan akibat perubahan suhu.
3. Untuk mendapatkan beton kedap air yang sempurna, perlu dilakukan dengan hati-hati.
4. Beton bersifat getas (tidak plastis) sehingga harus diperhitungkan dan diperiksa secara cermat agar setelah dicampur dengan baja, beton menjadi plastis terutama pada struktur tahan gempa.

2.2. Material Pembuatan Beton

Bahan-bahan yang digunakan dalam pencampuran beton sebagai bahan utama konstruksi adalah semen, agregat dan air. Saat merancang campuran beton, terkadang ditambahkan bahan tambahan (*admixtures*) untuk mencapai tujuan tertentu. Bahan baku pembuatan beton dari campuran ini akan digunakan berupa batu bata bakar yang menggantikan agregat halus yaitu pasir.

2.2.1. Semen

Semen adalah bahan perekat yang digunakan dalam konstruksi untuk mengikat material agregat kasar, agregat halus, dan apabila ditambah dengan air akan menjadi

satu kesatuan yang disebut beton segar. Semen memiliki sifat hidrolis yang dapat mengeras saat dicampur dengan air. 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 (SNI 15-2049-2004).

2.2.2. Agregat Halus

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

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

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

2.2.3. Agregat Kasar

Menurut (SNI 03-1970, 2008), agregat kasar adalah kerikil yang dihasilkan dari penguraian alami batu atau batu pecah dari industri pemecah batu dan ukuran

butiran antara 4,75 mm (no.4) sampai 40 mm. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butiran yang keras, permukaan yang kasar, dan kekal. Fungsi agregat kasar adalah memberikan stabilitas dan tahanan gesek campuran terhadap suatu aksi perpindahan. Stabilitas ditentukan oleh bentuk dan tekstur permukaan agregat kasar. Umumnya karakteristik morfologis agregat kasar dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu, bentuk, ukuran, angularity, dan tekstur permukaan (Guo et al., 2016).

Tabel 2.3 : Batas gradasi agregat kasar menurut SNI 03–2834–2000

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Lewat Ayakan, Diameter Terbesar 37,5 mm	
	Minimum	Maksimum
37,5 (1,5 in)	0	5
25 (1 in)	0	10
12,5 (1/2 in)	25	60
4,75 (No.4)	95	100

2.2.4. Air

Menurut (SNI 03-6861, 2002) dalam campuran beton air tidak boleh mengandung senyawa yang berbahaya atau bahan kimia lainnya, karena dapat menurunkan mutu beton dan dapat mengubah sifat beton. Kekuatan beton juga dapat berkurang jika ada kotoran didalam air. Air yang mengandung kotoran akan memperlama waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35-37% dari berat semen (Zulkarnain, 2021).

2.2.5. Bata Bakar

Menurut (SNI 15-2094, 2000) batu bata salah satu bahan yang biasa digunakan untuk membangun, dimana batu bata ini terbuat dari tanah liat atau tanah lempung tanpa adanya campuran dari bahan-bahan lain. Bata merah yang baik memiliki

komposisi kimia seperti Silikat (SiO_2) sebesar $\pm 60\%$, Aluminat (Al_2O_3) $\pm 30\%$, Ferri Trioksida (Fe_2O_3) $\pm 5\%$, Kalsium Oksida (CaO) $< 5\%$ dan Magnesium (Mg) $\pm 1\%$. Bata merah adalah suatu unsur bangunan yang diperuntukan pembuatan konstruksi bangunan yang terbuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran dicetak lalu dibakar dengan suhu tinggi hingga tidak hancur lagi bila direndam dengan air, pengerjaan seluruhnya dilakukan manual dengan cetakan dari kayu (Amin et al., 2014).

Limbah bata bakar itu sendiri adalah hasil dari limbah konstruksi kegagalan pada saat produksi yang mana bentuknya retak dan pecah. Dari limbah batu bata tersebut kemudian dihancurkan menjadi butiran halus agar dapat digunakan dalam bahan tambah pembuatan beton. Pada tempat pabrikasi batu bata banyak batu bata yang pecah ataupun retak mengakibatkan harga jual yang rendah dalam hal ini akan membuat batu bata dibuang dan menjadi limbah, limbah ini dapat digunakan kembali dalam produksi beton (Alfiqry, 2019). Penggunaan bata bakar yang dihancurkan sebagai alternatif pasir dalam pembuatan beton adalah salah satu pendekatan inovatif dan berkelanjutan dalam bidang konstruksi, terutama untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam seperti pasir alami. Limbah bata bakar atau potongan bata merah yang tak terpakai (dari proyek yang tersisa atau bangunan yang dibongkar) dapat diolah menjadi partikel halus (dikenal sebagai serbuk bata merah atau agregat halus dari bata bakar) dan dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian atau seluruh pasir dalam campuran beton.

2.3. Slump Test

Slump didefinisikan sebagai jumlah pengurangan tinggi pada bagian tengah permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump dilepaskan. Slump beton adalah istilah yang digunakan untuk mengukur konsistensi atau kepadatan beton yang baru dicampur. Pengujian ini penting dalam industri konstruksi untuk memastikan bahwa beton yang digunakan memenuhi standar kualitas yang disyaratkan untuk ketahanan dan kekuatan bangunan. Kemerosotan beton merupakan ukuran seberapa mudah beton dapat dicampur, dipindahkan dan dibentuk. Pengukuran dilakukan dengan mencatat selisih tinggi beton segar dalam cetakan sebelum dan sesudah pengangkatan cetakan. Kemerosotan ideal biasanya

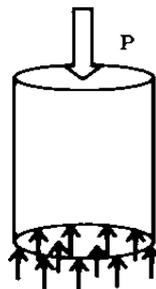
antara 50 dan 100 mm, tergantung pada jenis beton dan persyaratan struktural proyek.

Tabel 2.4 : Nilai slump yang dianjurkan untuk konstruksi (SNI 7656:2012)

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

2.4. Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton adalah pembebanan pada sampel yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan maksimal beton dalam menerima beban. Sehingga nantinya akan diperoleh mutu yang dihasilkan dari setiap sampel beton (Irwansyah, 2021). Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menahan beban sebelum mengalami kerusakan. Kekuatan tekan dari beton umumnya diuji pada umur beton 7 hari, 14 hari dan yang paling umum 28 hari. Pada umur 28 hari, beton biasanya telah mencapai 99% dari kekuatan maksimalnya. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh proporsi campuran beton khususnya perbandingan air semen, jenis serta kualitas semen, sifat agregat dan juga perawatan beton (*curing*). Kuat tekan beton diukur dalam satuan megapascal (Mpa).



Gambar 2.1 : Pengujian Kuat Tekan Beton

Adapun rumus empiris untuk mendapatkan nilai nilai kuat tekan beton ialah :

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Dimana :

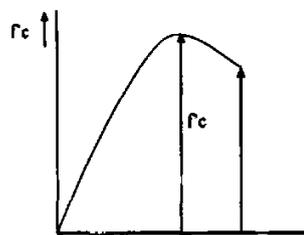
$f'c$ = Kuat Tekan beton (MPa)

P = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

2.5. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau *modulus young* adalah kemiringan garis singgung dari diagram tegangan–regangan dalam daerah batas elastis linier dan harganya bergantung pada jenis materialnya. Modulus elastisitas adalah konstanta bahan yang memiliki nilai tertentu untuk bahan tertentu. Semakin kecil modulus elastisitas suatu bahan, maka akan semakin mudah bagi bahan tersebut mengalami perpanjangan atau perpendekan. Begitu pula sebaliknya, semakin besar modulus elastisitas suatu bahan, maka akan semakin sulit bagi bahan tersebut mengalami perpanjangan atau perpendekan (Hamdani, H., Ni Nyoman Kencawati, 2018). Menurut (Harahap, 2019) pada umumnya bahan, termasuk beton, memiliki daerah awal pada diagram tegangan-regangannya dimana bahan berkelakuan seeara elastis dan linier. Kemiringan diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier itulah yang dinamakan Modulus Elastisitas atau *Modulus Young*.



Gambar 2.2 : Kurva tegangan-regangan yang diberi tekanan

Rumus empiri untuk modulus elastisitas beton ialah :

$$Ec = \sqrt{f'c}$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton

f'_c = Kuat tekan beton

2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian 1 : Farid Debieb, Said Kenai 2008. Berjudul : *The Use Of Coarse and Fine Crushed Bricks as Aggregate in Concrete*

Dengan kesimpulan Pemanfaatan bata pecah kasar dan halus sebagai agregat dalam campuran beton berpengaruh pada kuat tekan. Kuat tekan mengalami penurunan pada umur 28 hari sekitar 35, 30 dan 40% ketika kasar, halus atau keduanya halus dan agregat kasar masing-masing disubstitusi. Hubungan antara kekuatan tekan dan uji non-destruktif sangat mirip dengan yang ditetapkan untuk beton agregat alam. Penurunan kuat lentur sekitar 15%, mencapai 40% ketika beton agregat kasar dan halus digunakan. Rasio tekan/lentur kekuatannya bervariasi antara 8,1 dan 11,8. Modulus elastisitas bervariasi dengan cara yang sama seperti kekuatan tekan dan pengurangan sebesar 30%, 40% dan 50% diamati untuk yang kasar, halus, dan kasar maupun halus.

Penelitian 2 : Paulo B. Cachim 2009. Berjudul : *Mechanical Properties of Brick Aggregate Concrete*

Dengan kesimpulan : Hasil percobaan menunjukkan dengan jelas bahwa batu bata yang dihancurkan dapat digunakan sebagai pengganti agregat alam dalam persentase hingga 15% tanpa pengurangan kekuatan. Untuk substitusi agregat alami sebesar 30%, terjadi pengurangan sifat beton (hingga 20%, tergantung pada jenis bata). Penggunaan indeks kekuatan memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang dampak penggantian agregat. Penggunaan indeks kekuatan memungkinkan perbandingan yang lebih baik antara hasil. Hubungan tegangan-regangan sangat mirip untuk kedua jenis beton, bahkan di cabang pelunakan, menguatkan penggunaan beton agregat bata dalam aplikasi struktural yang menuntut rendah. Batu bata yang dihancurkan, bila digunakan dalam jumlah sedang sebagai agregat alami pengganti, dapat bertindak sebagai agen pengeras beton sendiri ketika mereka sudah jenuh terlebih dahulu, karena dapat menyediakan air untuk semen hidrasi yang tidak mempengaruhi rasio air/semen awal.

Penelitian 3 : Okky Hendra Hermawan, Nadya Safira, M. Fajar Sidiq, Aulia Rahman. Berjudul : Analisa Kuat Tekan Beton Akibat Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata

Dengan kesimpulan : Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dihasilkan pengujian kuat tekan beton umur 7 hari dengan persentase terendah 10% serbuk batu bata mempunyai kuat tekan rata-rata 13,18 MPa, pada persentase 15% menghasilkan kuat tekan rata-rata 14,33 MPa, dan pada persentase 20% menghasilkan kuat tekan rata-rata 13,73 MPa. Akan tetapi masih lebih rendah dari beton normal tanpa campuran serbuk batu bata yang mempunyai kuat tekan rata-rata 14,39 MPa. Pada pengujian kuat tekan beton umur 28 hari dengan penambahan serbuk batu bata mengalami penurunan kekuatan, dimana pada persentase 10% serbuk batu bata mempunyai kuat tekan rata-rata 18,85 MPa, pada persentase 15% menghasilkan kuat tekan rata-rata 18,20 MPa, dan pada persentase 20% menghasilkan kuat tekan rata-rata 18,15 MPa, dan masih lebih rendah dari beton normal tanpa campuran serbuk batu bata yang mempunyai kuat tekan rata-rata 23,75 Mpa.

2.7. Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini yaitu, dari hasil penelitian terdahulu yang telah dipaparkan dapat disimpulkan bahwa serbuk bata merah atau bata bakar pada substitusi agregat halus terhadap campuran beton mengalami kenaikan selama masih dibawah 25% dari campuran agregat halus, jika penggunaan serbuk bata merah pada substitusi agregat halus terhadap campuran beton dilakukan diatas 25 % maka terjadi penurunan terhadap nilai kuat tekan beton dalam 28 hari.

Hipotesa alternatif :

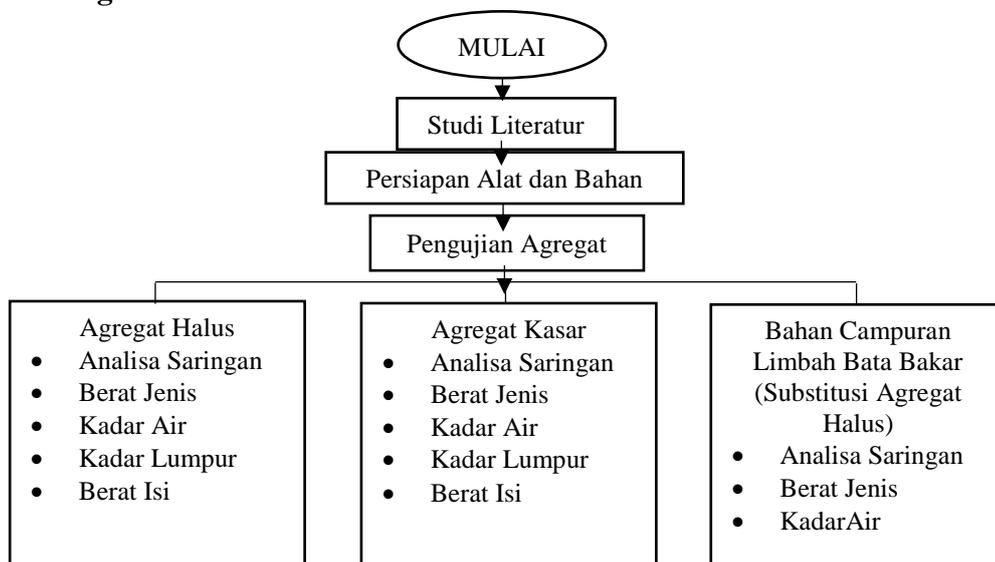
Substitusi serbuk bata merah atau bata bakar terhadap agregat halus dalam campuran beton sebesar $\leq 25\%$ dapat meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari, sedangkan substitusi $> 25\%$ akan menurunkan kuat tekan beton.

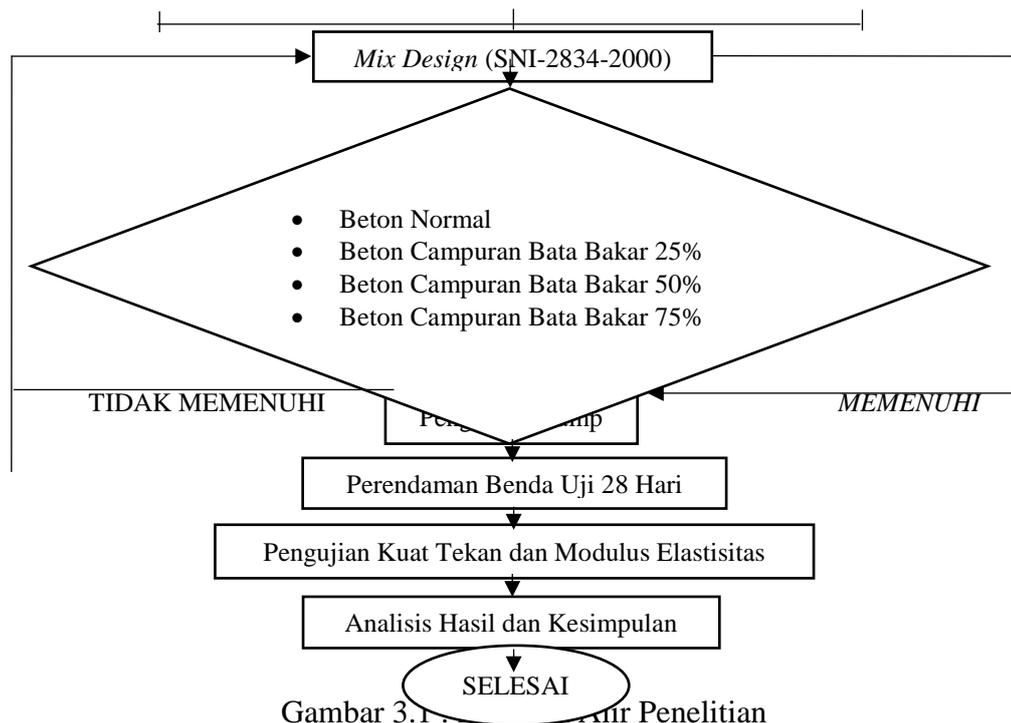
Hipotesa nol :

Substitusi serbuk bata merah atau bata bakar terhadap agregat halus dalam campuran beton tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian





3.2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian pembuatan benda uji beton dengan menambahkan bata bakar ialah metode *experiment*. Adapun variasi jumlah bata bakar yang akan digunakan adalah 0%, 25%, 50% dan 75%. Benda uji akan dicetak dalam bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan masing-masing variasi akan dicetak sebanyak 3 buah sampel untuk pengujian kuat tekan dan modulus elasisitas pada beton. Beton akan diuji pada saat umur beton mencapai 28 hari.

3.3. Tahapan Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan suatu metode pembuatan campuran beton yang meliputi beberapa proses untuk mencapai setiap hasil penelitian, yang dilaksanakan sesuai dengan standar yang ditentukan. Gambar 3.1 menunjukkan proses perencanaan sistematis untuk melakukan penelitian dari awal sampai akhir. Adapun tahapan-tahapan penelitian ini ialah :

1. Studi Literatur

Tahap paling awal penelitian ialah peneliti melakukan studi literatur sebagai bahan referensi dalam melaksanakan penelitian.

2. **Persiapan Material**

Dalam hal ini peneliti mempersiapkan material yang akan digunakan seperti agregat kasar, agregat halus, semen, air dan bata bakar.
3. **Pemeriksaan Material**

Pemeriksaan material dilakukan untuk memastikan bahwa material penyusun beton telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, jika digunakan dalam campuran (*mix design*).
4. **Bata Bakar**

Bata bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai substitusi agregat halus yang menjadi limbah konstruksi akibat kegagalan pada saat produksi yang mana bentuknya retak dan pecah.
5. **Pengujian Dasar Material**

Pengujian ini berupa pemeriksaan pada sampel agregat kasar, agregat halus dan bata bakar. Pengujian ini berupa pemeriksaan analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, kadar air, kadar lumpur dan berat isi.
6. **Mix Design**

Perhitungan *mix design* membantu menentukan proporsi campuran beton dan dalam perhitungannya harus sesuai dengan apa yang dibutuhkan. Proporsi campuran beton meliputi beton normal dan beton bata bakar sesuai komposisi yang ditentukan.
7. **Pembuatan Benda Uji**

Setelah proses perhitungan *mix design* selesai, hal yang dilakukan adalah proses pembuatan benda uji dengan cara mencampurkan seluruh bahan yaitu agregat kasar, agregat halus, semen, air dan bahan tambah berupa bata bakar.
8. **Slump Test**

Pengujian Slump beton bertujuan untuk mengukur konsistensi atau kepadatan beton yang baru dicampur.
9. **Perawatan Benda Uji**

Jika beton telah kering seluruhnya, beton dikeluarkan dari cetakan lalu dilakukan perawatan beton (*curing*). Perlakuan ini dilakukan dengan cara merendam beton dalam bak perendaman selama perkiraan waktu 28 hari.
10. **Pengujian Kuat Tekan**

Setelah perendaman selama 28 hari dilakukan pengujian kuat tekan. Uji kuat tekan beton yang berfungsi untuk mengetahui berapa besar ketahanan beton setelah diberi beban-beban tertentu.

11. Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Setelah pengujian kuat tekan dilakukan uji modulus elastisitas yang berfungsi untuk mengetahui seberapa kaku atau elastis beton tersebut.

12. Hasil dan Kesimpulan

Setelah pengujian modulus elastisitas maka tahap terakhir pengolahan data dari pengujian yang telah dilakukan dan kemudian dilakukan pembahasan terkait hasil pengujian yang diperoleh.

3.4. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Waktu penelitian direncanakan kurang lebih selama 3 bulan dan dimulai pada bulan Maret.

3.5. Sumber dan Teknik Pengambilan Data

3.5.1. Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu :

1. Analisa saringan agregat (SNI 03-1968-1990).
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (SNI 1969-2016).
3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (SNI 1970-2016).
4. Pemeriksaan kadar air agregat (SNI 1971-2011).
5. Pemeriksaan kadar lumpur (SNI 03-4142-1996).
6. Pemeriksaan berat isi (SNI 1973 : 2008).
7. Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) (SNI 2834-2000).
8. Pembuatan dan perawatan benda uji beton (SNI 2493: 2011).
9. Uji kuat tekan beton (SNI 1974-2011).
10. Analisa modulus elastisitas (SNI 2847-2019).

3.5.2. Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari buku dan jurnal-jurnal (literatur) penelitian yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan dan juga didapat dari bimbingan langsung melalui dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.6. Alat dan Bahan

3.6.1. Alat

1. Satu set saringan untuk :
 - Agregat halus : No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, Pan
 - Agregat kasar : $1\frac{1}{2}$ " , $1\frac{3}{4}$ " , $1\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{8}$ " , No.4Saringan ini digunakan untuk memeriksa gradasi masing-masing agregat.
2. Timbangan digital, berfungsi sebagai alat untuk menimbang berat bahan dan material yang digunakan secara akurat pada penelitian.
3. Gelas ukur, digunakan sebagai wadah takaran air yang diperlukan pada penelitian.
4. *Stopwatch*, berfungsi sebagai alat mengukur waktu pada saat pengujian.
5. Piknometer, berfungsi sebagai alat untuk melakukan pengujian berat jenis dan penyerapan pada pasir dan bata bakar.
6. Oven, berfungsi sebagai alat mengeringkan sampel bahan dan material.
7. Wadah, berfungsi sebagai tempat penampungan material.
8. Plastik ukuran 5 kg, berfungsi sebagai wadah untuk bahan dan material yang telah dilakukan pengujian.
9. Pan, berfungsi sebagai alat untuk alas pengaduk beton segar.
10. Skop tangan, berfungsi sebagai alat pencampur beton segar, dan meratakan permukaan beton dalam cetakan.
11. Selang, berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air dan membersihkan mixer.
12. Cetakan (*bekisting*) beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
13. Vaseline dan kuas, berfungsi untuk melapisi cetakan beton agar tidak menempel dalam cetakan.

14. Satu set alat *slump test*, yang terdiri :
 - Kerucut abrams
 - Penggaris
 - Plat
15. Mesin pengaduk (*mixer*), berfungsi sebagai alat pencampur semua bahan hingga membentuk adonan beton segar.
16. Bak perendam, berfungsi untuk merendam beton yang telah dilepaskan dari cetakan.
17. Mesin uji tekan beton (*compression test machine*), berfungsi untuk mengukur kuat tekan beton.

3.6.2. Bahan

Bahan atau material yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Semen
Semen yang digunakan pada penelitian ini merupakan semen portland tipe I.
2. Agregat Kasar
Agregat kasar yang akan digunakan adalah kerikil yang terdapat di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Agregat Halus
Agregat halus yang akan digunakan adalah pasir alam yang terdapat di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Air
Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang layak minum dan sesuai dengan syarat-syarat penggunaan air pada beton.
5. Bata Bakar
Bata bakar yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah bata bakar gagal produksi.

3.7. Langkah-Langkah Pemeriksaan Agregat

Benda uji dibuat dengan menempatkan campuran beton yang telah disiapkan ke dalam cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah benda uji dilepaskan dari bekisting, benda uji akan diperlakukan dengan cara direndam dalam bak perendaman selama 28 hari, yang biasa dikenal dengan proses *curing*. Setelah itu sampel akan diuji kuat tekannya dengan uji *compression test*. Sampel yang direncanakan 12 buah dengan 3 variasi campuran dan 1 beton normal, dimana setiap variasi memiliki 3 sampel seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 3.1 : Jumlah Benda Uji

No	Variasi	Jumlah Benda Uji
1	BN	3
2	BBB 25%	3
3	BBB 50%	3
4	BBB 75%	3
Total Sampel		12

Dimana :

BN : Beton Normal.

BBB 25% : Beton dengan campuran Bata Bakar 25% dari berat Agregat Halus

BPF 50% : Beton dengan campuran Bata Bakar 50% dari berat Agregat Halus

BPF 75% : Beton dengan campuran Bata Bakar 75% dari berat Agregat Halus

3.8. Persiapan Penelitian

Langkah persiapan melibatkan persiapan setiap jenis bahan yang akan digunakan dan kemudian memilahnya terlebih dahulu. Bahan-bahan yang telah

disiapkan harus dipisahkan untuk memudahkan penyelesaian langkah-langkah penelitian dan tidak tercampur dengan bahan-bahan lain sehingga mempengaruhi kualitas bahan. Material dibersihkan dari lumpur dan material basah dijemur di bawah sinar matahari. Bahan tambahan yaitu bata bakar juga harus dihancurkan terlebih dahulu sesuai ukuran yang diinginkan menjadi agregat halus.

3.9. Pemeriksaan Agregat

Pengujian agregat kasar dan halus dilakukan untuk mengetahui kondisi atau kelayakan agregat sebagai bahan pembentuk beton. Pemeriksaan ini dilakukan sesuai pedoman SNI dan dilakukan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Penelitian ini melibatkan beberapa langkah atau pengujian, antara lain :

1. Analisa saringan
2. Berat jenis dan penyerapannya
3. Berat isi
4. Kadar air
5. Kadar lumpur

3.9.1. Pengujian Analisa Saringan

Pemeriksaan dilakukan di Laboratorium Beton Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Pengujian analisa saringan dilakukan untuk menentukan ukuran partikel agregat yang terdapat dalam sebuah sampel sehingga dapat digunakan dalam komposisi campuran beton. Dari pengujian analisa saringan akan dihasilkan data-data batas gradasi agregat halus sehingga diketahui modulus kehalusannya. Alat yang digunakan pada uji ini adalah satu set alat saringan dengan ukuran 1^{1/2}" , 1, 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No. 200 dan Pan. Langkah kerja pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan dan menyusun set saringan untuk agregat halus dan agregat kasar.
2. Mengambil dan menimbang benda uji sehingga mencapai berat yang diinginkan.

3. Meletakkan material pada saringan paling atas dan kemudian menyaring dengan cara di ayak sehingga material jatuh sesuai dengan ukurannya dan terpisah secara merata dan tersaring dengan sempurna.
4. Kemudian mengambil dan memasukkan material ke dalam plastik untuk memisahkannya dari material lainnya.
5. Menimbang dan mencatat berat setiap material yang tertahan pada tiap saringan.

Sesudah pengujian dilakukan, akan didapatkan modulus kehalusan dengan memakai persamaan berikut :

$$\text{Persen berat tertahan (\%)} = \frac{\text{Berat Tertahan}}{\text{Berat Total}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\text{FM (Modulus Kehalusan)} = \frac{\text{Jumlah\% Kumulatif Tertahan}}{100} \quad (3.2)$$

3.9.2. Berat Jenis dan Penyerapannya

Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis dan penyerapan pada masing-masing agregat dalam kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD). Adapun prosedur pengujian ini sebagai berikut :

A. Agregat Halus

1. Menjemur material untuk mendapatkan kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) atau kering permukaan kemudian ditimbang sesuai berat yang direncanakan.
2. Menimbang dan mencatat berat piknometer.
3. Lalu masukkan air kedalam piknometer dan ditimbang kembali.
4. Setelah itu masukkan material kedalam piknometer berisi air dan panaskan selama 15 menit sambil menggoyangkannya setiap 5 menit agar gelembung udara keluar.

B. Agregat Kasar

1. Mempersiapkan material dan mencucinya untuk menghilangkan lumpur atau bahan lain yang melekat pada material.
2. Kemudian material dimasukkan ke dalam plastik dan direndam didalam air selama 24 jam.

3. Setelah 24 jam buang air dan keringkan material menggunakan serbet.
4. Menimbang material dan mencatat beratnya.
5. Kemudian memasukkan material kedalam oven pada temperatur $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
6. Kemudian mengeluarkan sampel material dari oven dan diamkan hingga dingin dalam suhu ruangan.
7. Menimbang sampel kembali dan catat.

Sesudah pengujian dilakukan, akan didapatkan berat jenis pada agregat halus dan agregat kasar dengan memakai persamaan berikut :

A. Agregat Kasar

$$\text{Berat jenis curah (Sd)} = \frac{A}{(B-C)} \quad (3.3)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)} = \frac{B}{(B-C)} \quad (3.4)$$

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

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

Keterangan:

A = Berat benda uji kering oven (gr)

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

C = Berat benda uji dalam air (gr)

B. Agregat Halus

$$\text{Berat jenis curah (Sd)} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (3.7)$$

$$\text{Berat jenis jenuh kering permukaan (Ss)} = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (3.8)$$

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

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

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gr)

B = Berat piknometer penuh berisi air (gr)

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

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

3.9.3. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air berperan penting dalam menentukan rasio air semen. Rasio ini mempengaruhi kekuatan tekan beton. Makin tinggi rasio air semen, makin rendah kuat tekannya. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui kadar air agregat sebelum mencampur bahan beton. Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan persentase kadar air yang terkandung dalam agregat, baik halus maupun kasar, untuk digunakan dalam perencanaan campuran beton dan pengendalian mutu. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Menyaring sampel agregat dengan set saringan halus untuk agregat halus dan set saringan kasar untuk agregat kasar.
3. Menimbang wadah yang akan digunakan.
4. Memasukkan agregat pada wadah.
5. Setelah itu menimbang berat agregat dengan wadah.
6. Mengeringkan agregat di dalam wadah kedalam oven sampai batas konstan selama 24 jam dengan suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$.
7. Mengeluarkan wadah berisi agregat dan tinggalkan hingga mendingin.
8. Menimbang kembali agregat dan mencatat hasil kadar air masing-masing agregat.

Sesudah pengujian dilakukan dan didapat berat masing-masing, kadar air dapat dihitung dengan memakai persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat contoh SSD dan berat wadah} &= W_1 \\ \text{Berat contoh kering oven dan berat wadah} &= W_2 \\ \text{Berat wadah} &= W_3 \\ \text{Berat air} &= W_1 - W_2 \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\text{Berat contoh kering} = W_2 - W_3 \quad (3.12)$$

$$\text{Kadar air} = \left[\frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \right] \times 100\% \quad (3.13)$$

3.9.4. Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar lumpur yang terdapat pada tiap agregat. Kadar lumpur yang berlebihan pada agregat dapat mempengaruhi ikatan antara semen dan agregat. Pengujian kadar lumpur mengikuti ketentuan SK SNI S-04-1989-F tentang kadar lumpur agregat, yaitu:

1. Agregat halus (pasir) memiliki kadar lumpur maksimum 5%
2. Agregat kasar (split) memiliki kadar lumpur maksimum 1%

Kadar lumpur juga berpengaruh pada rasio air-semen karena kadar lumpur yang tinggi meningkatkan jumlah air yang diperlukan untuk mencapai workability tertentu. Berikut adalah langkah kerja dalam pengujian kadar lumpur:

1. Siapkan agregat yang akan diuji dengan berat sesuai yang direncanakan.
2. Timbang berat wadah
3. Masukkan agregat yang sudah ditimbang ke dalam wadah
4. Cuci sampel tersebut hingga bersih dan air akibat cucian sudah tidak keruh lagi.
5. Masukkan agregat kedalam wadah dan timbang kembali.
6. Masukkan kedalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama 24 jam.
7. Setelah itu keluarkan dan dinginkan sampel.
8. Timbang berat sampel yang sudah dingin.

3.9.5. Berat Isi Agregat

Pengujian berat isi pada material dilakukan untuk menentukan berat isi suatu material yaitu pada agregat halus dan agregat kasar. Berat isi adalah perbandingan antara berat material dan volume material tersebut. Adapun langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut,

1. Siapkan material yang akan diuji.
2. Menimbang berat wadah.
3. Mengukur tinggi dan berat wadah.
4. Mencari volume wadah.
5. Masukkan material dalam kondisi kering oven kedalam wadah baja sebanyak $\frac{1}{3}$ nya lalu ditusuk dengan tongkat pemadat hingga 25 kali.
6. Lakukan hal yang sama pada ketinggian $\frac{2}{3}$ wadah dan penuh.
7. Ratakan permukaan benda uji ketika wadah baja sudah terisi penuh.

8. Pastikan wadah baja terisi penuh setelah penusukan dan ratakan menggunakan mistar.

9. Timbang benda uji dan wadah lalu catat hasilnya.

Sesudah dilakukan pengujian dan didapat berat masing-masing, maka berat isi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Berat contoh SSD dan berat wadah} &= W1 \\ \text{Berat wadah} &= W2 \\ \text{Volume wadah} &= V \\ \text{Berat agregat (W3)} &= W1 - W2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\text{Berat isi} = \frac{W3}{V} \quad (3.15)$$

3.10. Pembuatan Benda Uji

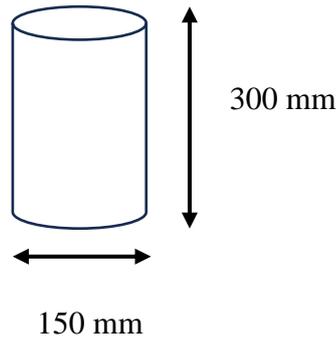
Setelah dilakukan pengujian pada tiap agregat, maka data-data tersebut akan digunakan dalam perencanaan campuran beton. Perencanaan campuran beton disebut juga dengan proses *mix design*. Perencanaan ini nantinya akan menghasilkan persentase pada tiap komponen bahan pembentuk beton. Perencanaan *mix design* ini dilakukan di Laboratorium Beton Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Persentase komponen material beton juga akan berbeda sesuai dengan mutu beton rencana yang akan dibuat. Setelah dilakukan perencanaan *mix design*, maka setiap material akan dicampurkan dengan alat *mixer*, lalu dicetak pada cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Menentukan mutu beton rencana, pada penelitian ini ditetapkan mutu beton $f'c$ 25 Mpa.
2. Menentukan persentase komposisi bahan beton sesuai dengan persyaratan pada SNI 2834-2000/ACI 211.1-91.
3. Tetapkan faktor air semen berdasarkan kuat tekan rencana beton.
4. Menyiapkan tiap material sesuai dengan komposisi yang sudah direncanakan.
5. Mempersiapkan mesin *mixer* yang digunakan untuk mencampur tiap material komposisi beton.

6. Masukkan setiap material komposisi campuran beton yang sudah disiapkan sebelumnya kedalam *mixer* dimulai dari agregat kasar, agregat halus dan semen.
 7. Tetapkan jumlah air, lalu masukkan air ke dalam *mixer* menggunakan gelas ukur sesuai dengan proporsi komposisi campuran yang sudah direncanakan sebelumnya.
 8. Nyalakan mesin *mixer* dan tunggu hingga setiap material tercampur secara merata.
 9. Setelah campuran beton terbentuk, keluarkan beton segar ke pan dan lakukan uji slump untuk mendapatkan nilai slump.
 10. Menuang beton segar kembali ke dalam pan, lalu masukkan beton segar ke dalam cetakan sampai terisi 1/3 cetakan, lalu beton segar dirojok agar gelembung udara dalam beton segar dapat keluar. Lakukan tahap ini sampai terisi 2/3 cetakan dan hingga penuh dengan melakukan rojokan setelah tiap tahapnya
 11. Tunggu hingga 24 jam hingga beton mengeras kemudian buka cetakan silinder.
- Berikut adalah persentase campuran beton pada penelitian penggunaan limbah bata bakar sebagai pengganti agregat halus dan limbah hasil uji beton sebagai agregat kasar :

Tabel 3.2 : Persentase Campuran Beton

Tipe beton	Semen (%)	Air (%)	Agregat Kasar (%)	Agregat Halus (%)	Bata Bakar (%)	Jumlah
Beton Normal	100	100	100	100	-	3
Beton Campuran Bata Bakar 25%	100	100	100	75	25	3
Beton Campuran Bata Bakar 50%	100	100	100	50	50	3
Beton Campuran Bata Bakar 75%	100	100	100	25	75	3



Gambar 3.2 : Dimensi Benda Uji

3.11. Mix Design

Pada tahap ini, penelitian mengikuti SNI-03-2834-2000 sebagai pedoman dalam proses perencanaan campuran adukan beton (Mix Design). Mix design adalah suatu proses teoritis yang bertujuan untuk menetapkan persentase dan komposisi dari bahan-bahan yang akan digunakan sebagai material pembentuk beton agar mencapai biaya yang lebih efisien, memenuhi kekuatan dan keawetan yang sesuai dengan rencana, serta memiliki kelecekan yang tepat sehingga mempermudah pekerjaan. Perencanaan campuran adukan beton menurut SNI 03-2834-2000 adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kekuatan kuat yang direncanakan f_c' pada umur tertentu.
2. Menghitung rumus deviasi standar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.16)$$

Dimana :

S = Deviasi standar

x_i = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji

\bar{x} = Kuat tekan beton rata-rata menurut rumus

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.17)$$

3.12. Pemeriksaan Slump Test

Uji slump dilakukan untuk mengetahui keseragaman beton segar atau kemudahan pengerjaan beton segar. Uji ini dilakukan menggunakan peralatan

kerucut Abrams. Tahapan pengujian slump adalah sebagai berikut:

1. Bersihkan kerucut Abrams dari tanah atau agregat yang menempel dan pastikan kerucut Abrams dalam keadaan kering agar tidak menambah kadar air pada beton segar.
2. Tuang beton segar ke dalam hopper Abrams secara perlahan, mulai dari 1/3, 2/3 hingga penuh. Seperti cetakan, beton kerucut Abrams juga perlu dipadatkan untuk menghilangkan gelembung udara di dalamnya.
3. Setelah hopper Abrams terisi penuh dan padat, angkat hopper hingga beton segar menyebar dan jatuh ke dalam wadah.
4. Letakkan kerucut Abrams dalam posisi terbalik.
5. Ukur dan catat jarak antara bagian datar kerucut Abrams dan titik jatuhnya beton segar.

Berikut adalah nilai slump yang dianjurkan untuk konstruksi berdasarkan tipe konstruksinya sesuai kriteria SNI :

Tabel 3.3 : Nilai slump yang dianjurkan untuk konstruksi (SNI 7656:2012)

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

3.13. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji (*curing*) bertujuan untuk mempertahankan atau memastikan bahwa beton dapat mencapai kekuatan dan kualitas yang optimal.

Perawatan atau pemeliharaan dilakukan sesuai dengan jadwal umur beton, yang dalam penelitian ini adalah 28 hari.

Langkah-langkah dalam proses pengawetan sampel beton adalah sebagai berikut

1. Isi bak perendaman yang telah disiapkan dengan air bersih.
2. Tempatkan sampel beton dalam wadah berisi air.
3. Rendam sampel selama 28 hari, lalu angkat.
4. Keringkan sampel beton, lalu timbang.

3.14. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan yaitu *Compression Machine Test*. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui dan mengukur kemampuan beton dalam menahan beban tekan sampai batas daya dukung struktur beton. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan benda uji pada mesin uji kuat tekan, kemudian benda uji diberikan tekanan hingga beton runtuh. Dari alat pengujian kuat tekan akan diketahui nilai gaya yang dapat ditahan beton. Pengujian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.18)$$

Dimana :

$f'c$ = Kuat Tekan beton (MPa)

P = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

Ketika uji sudah selesai, hasil uji dibandingkan dengan kekuatan beton rencana ($f'c$). Jika hasil uji terbukti lebih rendah dari $f'c$ rencana, maka perlu dilakukan evaluasi atau perbaikan baik pada campuran maupun metode pelaksanaannya.

3.15. Pengujian Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas beton merupakan ukuran kemampuan beton untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi akibat beban. Modulus elastisitas sangat penting untuk menentukan kekuatan dan lendutan beton (Elisabeth, 2020). Analisis modulus elastisitas pada penelitian ini dilakukan pada umur 28 hari benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas beton.

Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah SNI 2847:2019 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_c = \sqrt{f'_c} \quad (3.19)$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton

f'_c = Kuat tekan beton

$$E_c = W_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f'_c} \text{ (Untuk nilai } W_c \text{ di antara } 1400 \text{ dan } 2560 \text{ kg/m}^3\text{)} \quad (3.20)$$

Dimana :

W_c = Berat jenis beton

Sebelum melakukan perhitungan, harus menentukan berapa berat jenis tiap sampel uji beton dengan menggunakan persamaan :

$$W_c = \frac{W}{V} \quad (3.21)$$

Dimana :

W = Berat benda uji (kg)

V = Volume Silinder = 0,0053 m³

3.16. Time Schedule

No	Uraian Kegiatan	Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5				
		Minggu				Minggu				Minggu				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	3	4	5	
1.	Persiapan Bahan:													
a.	Agregat Kasar (Batu Pecah)													
b.	Agregat Halus (Pasir)													
c.	Semen													
d.	Air													
e.	Bata Bakar													
2.	Persiapan Alat:													
a.	Izin menggunakan laboratorium													
b.	Bak perendaman													
3.	Pelaksanaan:													
a.	Analisa saringan													
b.	Kadar air agregat kasar dan													

	halus pasir dan bata bakar																		
c.	Berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus																		
d.	Berat isi agregat kasar dan agregat halus																		
e.	Kadar lumpur agregat kasar dan halus																		
f.	<i>Mix design</i>																		
g.	Membuat benda uji																		
h.	Perendaman 28 hari																		
4.	Pelaksanaan Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas																		
a.	Beton Normal																		
b.	Variasi BB 25%																		
c.	Variasi BB 50%																		
d.	Variasi BB 75%																		

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Bab ini meliputi pemeriksaan agregat, baik agregat halus maupun agregat kasar. Peneliti memperoleh data material meliputi analisa saringan, berat jenis dan penyerapan, kadar air, kadar lumpur dan berat isi. Pemeriksaan dilakukan di Laboratorium mengikuti panduan dari SNI tentang pemeriksaan agregat serta mengikuti buku panduan praktikum beton Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4.2. Pemeriksaan Agregat Halus

4.2.1. Analisa Saringan Agregat Halus

Pemeriksaan analisa saringan dilakukan berdasarkan acuan SNI 03-1968-1990 tentang analisa saringan agregat halus. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada tabel

berikut:

Tabel 4.1 : Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)

SIEVE SIZE	Retained Fraction				Cumulative	
	Sampe 1 1	Sampe 1 2	Total Weight (gr)	Retained (%) (% Berat Tertahan)	Cum Retained (% Kum Berat Tertahan)	Passing (% Berat yang Lolos)
No. 3/8	0	0	0	0	0	100
No. 4	75	85	160	6.40	6.40	93.60
No. 8	90	105	195	7.80	14.20	85.80
No. 16	140	150	290	11.60	25.80	74.20
No. 30	445	390	835	33.40	59.20	40.80
No. 50	330	365	695	27.80	87.00	13.00
No.100	105	85	190	7.60	94.60	5.40
PAN	65	70	135	5.40	100	0.00
Total	1253	1247	2500	100	287.2	
FM (Modulus Kehalusan):					2.87	
Wt. Of Oven Dry Sampel:					2500	

- Persentase Berat Tertahan Rata-Rata :

$$\text{No.4} = \frac{160}{2500} \times 100\% = 6,40 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{195}{2500} \times 100\% = 7,80 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{290}{2500} \times 100\% = 11,60 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{835}{2500} \times 100\% = 33,40 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{695}{2500} \times 100\% = 27,80 \%$$

$$\text{No.100} = \frac{190}{2500} \times 100\% = 7,60 \%$$

$$\text{PAN} = \frac{135}{2500} \times 100\% = 5,40 \%$$

- Persentase Berat Kumulatif Tertahan :

$$\text{No.4} = 0 + 6,40 = 6,40 \%$$

$$\text{No.8} = 6,40 + 7,80 = 14,20 \%$$

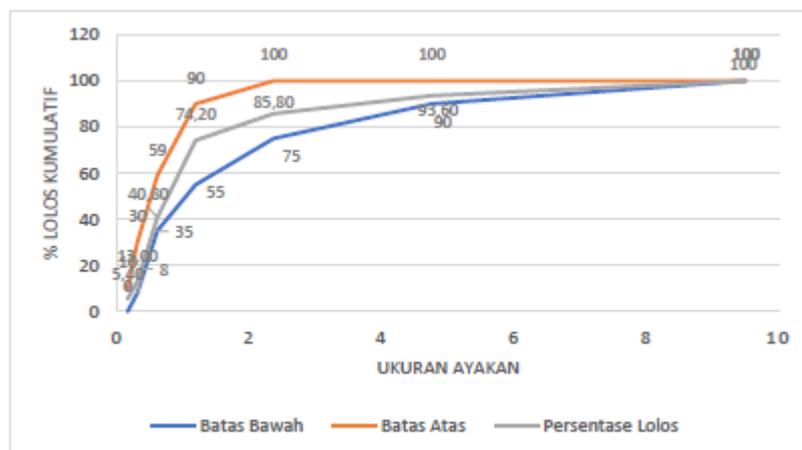
$$\text{No.16} = 13,88 + 11,60 = 25,80 \%$$

$$\text{No.30} = 25,96 + 33,40 = 59,20 \%$$

$$\begin{aligned} \text{No.50} &= 59,72 + 27,80 = 87,00 \% \\ \text{No.100} &= 87,68 + 7,60 = 94,60 \% \\ \text{PAN} &= 95,2 + 5,40 = 100 \% \end{aligned}$$

Jumlah Persentase Kumulatif yang Tertahan = 287,2 %

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus Kehalusan)} &= \frac{\text{jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} \\ &= \frac{287,2}{100} \\ &= 2,87 \end{aligned}$$



Gambar 4.1 : Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)

Dari Hasil pemeriksaan analisa saringan agregat halus pada percobaan ini didapat FM sebesar 2,886%. Nilai tersebut masih diijinkan untuk termasuk sebagai agregat halus, dimana nilai yang diijinkan adalah 1,5% - 3,8% berada di Zona 2.

Pemeriksaan agregat halus pegujian berat jenis dan penyerapan agregat halus bata bakar didapat sebagai berikut :

Tabel 4.2 : Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus (Bata Bakar)

SIEVE SIZE	Retained Fraction				Cumulative	
	Sampe 1 1	Sampe 1 2	Total Weight (gr)	Retained (%) (%) Berat Tertahan	Cum Retained (% Kum Berat Tertahan)	Passing (% Berat yang Lolos)
No. 3/8	0	0	0	0	0	100

No. 4	85	75	160	6.40	6.40	93.60
No. 8	105	90	195	7.80	14.20	85.80
No. 16	150	140	290	11.60	25.80	74.20
No. 30	390	445	835	33.40	59.20	40.80
No. 50	365	330	695	27.80	87.00	13.00
No. 100	85	105	190	7.60	94.60	5.40
PAN	65	70	135	5.40	100	0.00
Total	1250	1250	2500	100	287.2	
FM (Modulus Kehalusan):					2.87	
Wt. Of Oven Dry Sampel:					2500	

- Persentase Berat Tertahan Rata-Rata :

$$\text{No.4} = \frac{160}{2500} \times 100\% = 6,40 \%$$

$$\text{No.8} = \frac{195}{2500} \times 100\% = 7,80 \%$$

$$\text{No.16} = \frac{290}{2500} \times 100\% = 11,60 \%$$

$$\text{No.30} = \frac{835}{2500} \times 100\% = 33,40 \%$$

$$\text{No.50} = \frac{695}{2500} \times 100\% = 27,80 \%$$

$$\text{No.100} = \frac{190}{2500} \times 100\% = 7,60 \%$$

$$\text{PAN} = \frac{135}{2500} \times 100\% = 5,40 \%$$

- Persentase Berat Kumulatif Tertahan :

$$\text{No.4} = 0 + 6,40 = 6,40 \%$$

$$\text{No.8} = 6,40 + 7,80 = 14,20 \%$$

$$\text{No.16} = 13,88 + 11,60 = 25,80 \%$$

$$\text{No.30} = 25,96 + 33,40 = 59,20 \%$$

$$\text{No.50} = 59,72 + 27,80 = 87,00 \%$$

$$\text{No.100} = 87,68 + 7,60 = 94,60 \%$$

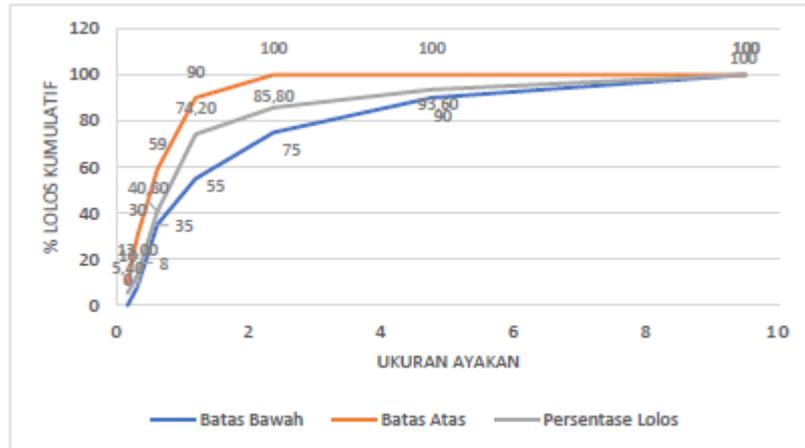
$$\text{PAN} = 95,2 + 5,40 = 100 \%$$

Jumlah Persentase Kumulatif yang Tertahan = 287,2 %

$$\text{FM (Modulus Kehalusan)} = \frac{\text{jumlah \% kumulatif tertahan}}{100}$$

$$= \frac{287,2}{100}$$

$$= 2,87$$



Gambar 4.2 : Grafik Analisa Saringan Agregat Halus (Bata Bakar)

4.2.2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus pegujian berat jenis dan penyerapan agregat halus pasir didapat sebagai berikut :

Tabel 4.3 : Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (Pasir)

<i>FINE AGREGATS (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)</i>	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
<i>Wt Of SSD Sample in Air (Berat Contoh SSD Kering Permukaan Jenuh) (B)</i>	500	500	500
<i>Wt Of Oven Dry Sample (Berat Contoh Kering Oven 110°C Sampai Konstan) (E)</i>	495	490	492.5
<i>Wt Of Flask + Water (Berat Piknometer Penuh Air) (D)</i>	670	660	665
<i>Wt Of Flask + Water + Sampel (Berat Contoh SSD di dalam Piknometer Penuh Air) (C)</i>	970	965	967.5
<i>Bulk Sp Gravity Dry (Berat Jenis Contoh Kering) E/(B+D-C)</i>	2.48	2.51	2.49

<i>Bulk Sp Gravity SSD</i> (Berat Jenis Contoh Kering SSD) $B/(B+D-C)$	2.50	2.56	2.53
--	------	------	------

Tabel 4.3 : *Lanjutan*

<i>Apparent Sp Gravity Dry</i> (Berat Jenis Contoh Semu) $E/(E+D-C)$	2.54	2.65	2.59
<i>Absorption</i> (Penyerapan) $((B-E) / E) \times 100\%$ (%)	1.01	2.04	1.53

Berdasarkan hasil pemeriksaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus pasir dari 2 sampel dengan Berat Contoh SSD (*Saturated Surface Dry*) Kering Permukaan Jenuh rata-rata 500 gr. Dari percobaan ini di dapat nilai rata-rata Berat Jenis Contoh Kering 2,49 gr, Berat Jenis Contoh Kering SSD (*Saturated Surface Dry*) 2,53 gr dan Berat Jenis Contoh Semu 2,59 gr sehingga rata-rata nilai Penyerapan yang di dapat pada percobaan ini sebesar 1,53% dan dapat dikategorikan sebagai agregat halus normal karena masih dalam batas nilai yang diijinkan yaitu antara 2,2 – 2,7.

Pemeriksaan agregat halus pegujian berat jenis dan penyerapan agregat halus bata bakar didapat sebagai berikut :

Tabel 4.4 : Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (Bata Bakar)

<i>FINE AGGREGAT</i> (Agregat Halus) <i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan No.4)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
<i>Wt Of SSD Sample in Air</i> (Berat Contoh SSD Kering Permukaan Jenuh) (B)	500	500	500
<i>Wt Of Oven Dry Sample</i> (Berat Contoh Kering Oven 110°C Sampai Konstan) (E)	488	492	490
<i>Wt Of Flask + Water</i> (Berat Piknometer Penuh Air) (D)	682	689	685.5
<i>Wt Of Flask + Water + Sampel</i> (Berat Contoh SSD di dalam Piknometer Penuh Air) (C)	977	987	982

Tabel 4.4 : Lanjutan

<i>FINE AGGREGAT</i> (Agregat Halus) <i>Passing No.4</i> (Lolos Ayakan No.4)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
<i>Bulk Sp Gravity Dry</i> (Berat Jenis Contoh Kering) E/(B+D-C)	2.38	2.44	2.41
<i>Bulk Sp Gravity SSD</i> (Berat Jenis Contoh Kering SSD) B/(B+D-C)	2.44	2.48	2.46
<i>Apparent Sp Gravity Dry</i> (Berat Jenis Contoh Semu) E/(E+D-C)	2.53	2.54	2.53
<i>Absorption</i> (Penyerapan) ((B-E) / E) x 100%) (%)	2.46	1.63	2.04

Berdasarkan hasil pemeriksaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus bata bakar dari 2 sampel dengan Berat Contoh SSD (*Saturated Surface Dry*) Kering Permukaan Jenuh rata-rata 500 gr. Dari percobaan ini di dapat nilai rata-rata Berat Jenis Contoh Kering 2,41 gr, Berat Jenis Contoh Kering SSD (*Saturated Surface Dry*) 2,46 gr dan Berat Jenis Contoh Semu 2,53 gr sehingga rata-rata nilai Penyerapan yang di dapat pada percobaan ini sebesar 2,04%.

4.2.3. Kadar Air Agregat Halus

Pemeriksaan dan pengujian kadar air agregat halus pasir didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.5 : Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Pasir)

<i>FINE AGGREGAT</i> (AGREGAT HALUS PASIR)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
<i>Wt Of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah)	1495	1510
<i>Wt Of SSD Sample</i> (Berat Contoh SSD)	1000	1000
<i>Wt Of Oven Dray Sample & Mold</i> (Berat	1480	1500

Contoh Kering Oven & Berat Wadah)		
<i>Wt Of Mold</i> (Berat Wadah)	495	510

Tabel 4.5 : *Lanjutan*

<i>FINE AGGREGAT</i> (AGREGAT HALUS PASIR)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
<i>Wt Of Water</i> (Berat Air)	15	10
<i>Wt Of Oven Dray Sample</i> (Berat Contoh Kering)	985	990
<i>Water Content</i> (Kadar Air)	1.52	1.01
<i>Average</i> (Rata-Rata)	1,27	

Dari pengujian kadar air agregat halus pada penelitian ini dengan percobaan 2 sampel dimana nilai kadar air pada sampel 1 sebesar 1,52 % dan sampel 2 sebesar 1,01 % sehingga di dapat nilai rata-rata sebesar 1,27%.

Pemeriksaan dan pengujian kadar air agregat halus bata bakar didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.6 : Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus (Bata Bakar)

<i>FINE AGGREGAT BURNT BRICKS</i> (AGREGAT HALUS BATA BAKAR)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
<i>Wt Of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah)	1510	1495
<i>Wt Of SSD Sample</i> (Berat Contoh SSD)	1000	1000
<i>Wt Of Oven Dray Sample & Mold</i> (Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah)	1500	1480
<i>Wt Of Mold</i> (Berat Wadah)	510	495
<i>Wt Of Water</i> (Berat Air)	10	15
<i>Wt Of Oven Dray Sample</i> (Berat Contoh Kering) gr	990	985

<i>Water Content</i> (Kadar Air)	1.01	1.52
<i>Average</i> (Rata-Rata)	1.27	

Dari pengujian kadar air agregat halus pada penelitian ini dengan percobaan 2 sampel dimana nilai kadar air pada sampel 1 sebesar 1,01 % dan sampel 2 sebesar 1,52 % sehingga di dapat nilai rata-rata sebesar 1,27%.

4.2.4. Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus pengujian kadar lumpur agregat halus didapat sebagai berikut :

Tabel 4.7 : Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Agregat Halus Lolos Saringan No.4 mm	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
Berat Contoh Kering: A (gr)	1000	1000	1000
Berat Kering Contoh Setelah Dicuci: B (gr)	969	972	970.5
Berat Kotoran Agregat: C (gr)	31	28	29.5
Persentase Kotoran Agregat (%)	3.1	2.8	2.95

Hasil pemeriksaan pengujian kadar lumpur agregat halus didapat persentase kadar lumpur rata-rata 2,95 %. Nilai ini masih berada dalam batas yang diijinkan yaitu maksimal 5% (SK SNI S-04-1989-F), sehingga agregat tidak perlu harus dicuci sebelum pengadukan.

4.2.5. Berat Isi Agregat Halus

Pemeriksaan berat isi agregat halus dilakukan dengan cara lepas, cara tusuk, dan cara penggoyangan. Pemeriksaan berat isi agregat halus didapatkan sebagai berikut.

Tabel 4.8 : Berat Isi Agregat Halus

Pengujian	Cara			Rata-Rata
	Lepas	Tusuk	Penggoyangan	
Berat Contoh (gr)	17605	18070	16820	17498.3
Berat Wadah (gr)	5336	5336	5336	5336
Berat Contoh & Wadah (gr)	22941	23406	22156	22834.3
Volume Wadah (gr)	11125.4	11125.4	11125.4	11125.4
Berat Isi (gr/cm ³)	1.58	1.62	1.51	1.57

Didapat berat isi rata-rata dari hasil pengujian diatas sebesar 1,51 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diizinkan yaitu minimal 1,2 gr/cm³ (SII No.52–1980).

4.3. Pemeriksaan Agregat Kasar

4.3.1. Analisa Saringan Agregat Kasar

Pemeriksaan dan pengujian analisa gradasi agregat kasar dengan spesifikasi ukuran maksimal 40 mm dan berdasarkan acuan SNI 03-1968-1990 tentang analisa saringan agregat kasar. Dari hasil penelitian ini didapat nilai analisa gradasi agregat kasar yang tertera pada tabel berikut :

Tabel 4.9 : Hasil Pemeriksaan Analisa Sarigan Agregat Kasar (Kerikil)

SIEVE SIZE	Retained Fraction				Cumulative	
	Sampel 1	Sampel 2	Total Weight (gr)	Retained (%) (% Berat Tertahan)	Cum Retained (% Kum Berat Tertahan)	Passing (% Berat yang Lolos)
1,5 In	0	0	0	0.0	0.0	100.0
3/4 In	680	605	1285	42.8	42.8	57.2

3,8 In	385	355	740	24.7	67.5	32.5
No. 4	460	515	975	32.5	100.0	3.0
No. 8	0	0	0	0.0	100.0	0.0
No. 16	0	0	0	0.0	100.0	0.0

Tabel 4.9 : 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)
No. 30	0	0	0	0.0	100.0	0.0
No. 50	0	0	0	0.0	100.0	0.0
No. 100	0	0	0	0.0	100.0	0.0
PAN	0	0	0	0.0	100.0	0.0
Total	1525	1475	3000		710.3	
FM (Modulus Kehalusan):				7.10		
Wt. Of Oven Dry Sampel:				3000		

- Persentase Berat Tertahan Rata-Rata :

$$\text{No.3/4} = \frac{1285}{3000} \times 100\% = 42,83 \%$$

$$\text{No.3/8} = \frac{740}{3000} \times 100\% = 24,67 \%$$

$$\text{No.4} = \frac{975}{3000} \times 100\% = 32,5 \%$$

- Persentase Berat Kumulatif Tertahan :

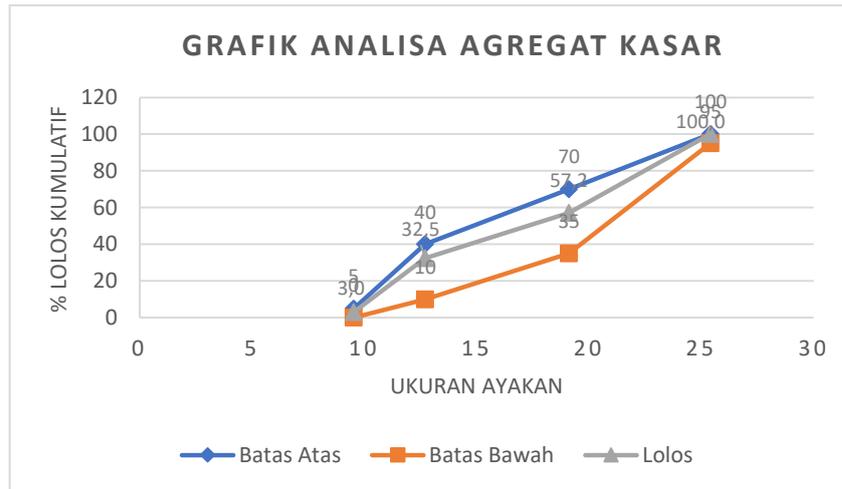
$$\text{No.3/4} = 0 + 42,83 = 42,83 \%$$

$$\text{No.3/8} = 42,83 + 24,67 = 67,5 \%$$

$$\text{No.4} = 67,5 + 32,5 = 100 \%$$

Jumlah Persentase Kumulatif yang Tertahan = 710,3 %

$$\begin{aligned} \text{FM (Modulus Kehausan)} &= \frac{\text{jumlah \% kumulatif tertahan}}{100} \\ &= \frac{710,3}{100} \\ &= 7,10 \end{aligned}$$



Gambar 4.3 : Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar

Dari hasil pengujian didapat hasil FM (Modulus Kehalusan) sebesar 7,10%. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan ASTM C33–93, yaitu 6-7% sehingga gradasi agregat tersebut cenderung kasar.

4.3.2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar kerikil didapat sebagai berikut :

Tabel 4.10 : Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Kerikil)

<i>COARSE AGREGATS</i> (Agregat Kasar) <i>Passing No.3/8</i> (Lolos Ayakan No.3/8)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
<i>Wt Of SSD Sample in Air</i> (Berat Contoh SSD Kering Permukaan Jenuh) (A)	2510	2470	2490
<i>Wt Of Oven Dry Sample</i> (Berat Contoh Kering Oven 110°C Sampai Konstan) (C)	2491	2452	2471.5
<i>Wt Of Flask + Water</i> (Berat Piknometer Penuh Air) (B)	1501	1480	1490.5
<i>Bulk Sp Gravity Dry</i> (Berat Jenis Contoh Kering) C/(A-B)	2.47	2.48	2.47
<i>Bulk Sp Gravity SSD</i> (Berat Jenis Contoh Kering SSD) A/(A-B)	2.49	2.49	2.49

Tabel 4.10 : Lanjutan

<i>COARSE AGREGATS</i> (Agregat Kasar) <i>Passing No.3/8</i> (Lolos Ayakan No.3/8)	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
<i>Apparent Sp Gravity Dry</i> (Berat Jenis Contoh Semu) $C/(C-B)$	2.52	2.52	2.52
<i>Absorption</i> (Penyerapan) $((A-C) / C) \times 100\%$ (%)	0.76	0.73	0.75

Berdasarkan hasil pemeriksaan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar kerikil dari 2 sampel dengan Berat Contoh SSD (*Saturated Surface Dry*) Kering Permukaan Jenuh rata-rata 2490 gr. Dari percobaan ini di dapat nilai rata-rata Berat Jenis Contoh Kering 2,47 gr, Berat Jenis Contoh Kering SSD (*Saturated Surface Dry*) 2,49 gr dan Berat Jenis Contoh Semu 2,52 gr sehingga rata-rata nilai Penyerapan yang di dapat pada percobaan ini sebesar 0,75 % dan dapat dikategorikan sebagai agregat halus normal karena masih dalam batas nilai yang diijinkan yaitu antara 2,2 – 2,7.

4.3.3. Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan dan pengujian kadar air agregat kasar didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4.11 : Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

COARSE AGREGAT	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
<i>Wt Of SSD Sample & Mold</i> (Berat Contoh SSD dan Berat Wadah)	2010	1995
<i>Wt Of SSD Sample</i> (Berat Contoh SSD)	1515	1515
<i>Wt Of Oven Dray Sample & Mold</i> (Berat Contoh Kering Oven & Berat Wadah)	1995	1985
<i>Wt Of Mold</i> (Berat Wadah)	495	480
<i>Wt Of Water</i> (Berat Air)	15	10
<i>Wt Of Oven Dray Sample</i> (Berat Contoh Kering)	1500	1505

Tabel 4.11 : Lanjutan

COARSE AGREGAT	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)
<i>Water Content</i> (Kadar Air)	1.00	0.66
<i>Average</i> (Rata-Rata)	0.83	

Dari pengujian kadar air agregat kasar pada penelitian ini dengan percobaan 2 sampel dimana nilai kadar air pada sampel 1 sebesar 1 % dan sampel 2 sebesar 0,66 % sehingga didapat nilai rata-rata sebesar 0,83 %.

4.3.4. Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar pengujian kadar lumpur agregat kasar didapat sebagai berikut :

Tabel 4.12 : Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Agregat Kasar Lolos Saringan No.3/8 mm	Sampel 1 (gr)	Sampel 2 (gr)	Rata-Rata
Berat Contoh Kering: A (gr)	1500	1500	1500
Berat Kering Contoh Setelah Dicuci : B (gr)	1492	1496	1494
Berat Kotoran Agregat : C (gr)	8	4	6
Persentase Kotoran Agregat (%)	0.5	0.3	0.40

Hasil pemeriksaan pengujian kadar lumpur agregat kasar didapat persentase kadar lumpur rata-rata 0,40 %. Nilai ini masih dalam batas nilai yang diijinkan yaitu maksimal 1 % (SK SNI S-04-1989-F), sehingga agregat tidak perlu dicuci kembali.

4.3.5. Berat Isi Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar pemeriksaan berat isi agregat kasar didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.13 : Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian	Cara			Rata-Rata
	Lepas	Tusuk	Penggoyangan	
Berat Contoh (gr)	29405	27010	24980	27131.7
Berat Wadah (gr)	6500	6500	6500	6500
Berat Contoh & Wadah (gr)	35905	33510	31480	33631.7
Volume Wadah (gr)	15465.2	15465.2	15465.21	15465.2
Berat Isi (gr/cm ³)	1.90	1.75	1.62	1.75

Dari pemeriksaan berat isi agregat kasar pada penelitian ini di dapat nilai 1,75 gr/cm³, nilai ini masih dalam batas yang diizinkan yaitu maksimal 1,2 gr/cm³ sesuai (SNI No.52-1980).

4.4. Perencanaan Campuran dan Kebutuhan Bahan Beton

Selanjutnya dilakukan analisis campuran beton (*Mix Design*) dari data-data yang telah diperoleh saat penelitian sehingga didapat campuran beton yang diinginkan. Data hasil pengujian dasar tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 : Data-Data Pengetesan Dasar

Keterangan	Nilai		Satuan
	Agregat Halus	Agregat Kasar	
Modulus Kehalusan	2,87	7,10	%
Berat Jenis	1,53	0,75	gr/cm ³
Kadar Air	1,27	0,83	%
Kadar Lumpur	2,95	0,40	gr/cm ³
Berat Isi	1,57	1,75	%

4.4.1. Mix Design

Setelah dilakukan pengujian dasar, nilai-nilai yang diperoleh akan digunakan untuk perencanaan campuran beton yang dibutuhkan. Berikut merupakan tabel data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan perencanaan beton (*Mix Design*):

Tabel 4.15 : *Mix Design* Beton Normal Mutu Sedang

No	Uraian	Table/Grafik Perhitungan	Nilai
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	25 Mpa
2.	Deviiasi standar	Tabel 4.16	7 Mpa
3.	Nilai tambah (margin)	Tabel 4.17	7 Mpa
4.	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	1+2+3	44 Mpa
5.	Jenis semen	Ditetapkan	Type 1
6.	Jenis agregat : Kasar Halus	Ditetapkan Ditetapkan	Batu pecah (binjai) Pasir alami (binjai)
7.	Faktor air semen bebas	Gambar 4.3	0,45
8.	Faktor air semen maksimum	Tabel 4.18	0,60
9.	Slump	Ditetapkan	75 – 100 mm
10.	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	40 mm
11.	Kadar air bebas	Persamaan 4.2	169,9 kg/m ³
12.	Jumlah semen	Persamaan 4.3	377,55 kg/m ³
13.	Jumlah semen maksimum	Ditetapkan	377,55 kg/m ³

Tabel 4.15 : Lanjutan

No	Uraian	Table/Grafik Perhitungan	Nilai		
14.	Jumlah semen minimum	Tabel 4.18	325 kg/m ³		
15.	Faktor air semen yang disesuaikan	Gambar 4.3	0,45		
16.	Susunan besar agregat halus	Gambar 4.4	Daerah gradasi zona 2		
17.	Susunan agregat kasar atau gabungan	Gambar 4.5	Gradasi maksimum 40 mm		
18.	Persen agregat halus	Gambar 4.6	36 %		
19.	Berat jenis relatif agregat (jenuh kering permukaan)	Persamaan 4.4	2,514 gr/cm ³		
20.	Berat isi beton	Gambar 4.7	2400 kg/m ³		
21.	Kadar agregat gabungan	20-(12+11)	1852,55 kg/m ³		
22.	Kadar agregat halus	18 x 21	666,91 kg/m ³		
23.	Kadar agregat kasar	21-22	1185,64 kg/m ³		
24.	Proporsi campuran	Semen (kg)	Air (kg/lt)	Agregat kondisi jenuh kering permukaan (kg)	
				Halus	Kasar
	- Tiap m ³	377,55	169,9	666,91	1185,64
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,45	1,76	3,14
	- Tiap benda uji v = 0,0053 m ³ (1 silinder)	2,01	0,904	3,525	6,288
25.	Koreksi proporsi campuran				
	- Tiap m ³	377,55	169,9	666,91	1185,64
	- Tiap campuran uji m ³	1	0,45	1,76	3,14
	- Tiap benda uji v=0,0053 m ³ (1 silinder)	2,01	0,904	3,525	6,288

1. Menentukan Nilai Kuat Tekan Rencana yang Diisyaratkan (f_c')

Kuat tekan uji yang direncanakan (benda uji silinder) adalah 25 Mpa.

2. Menentukan Nilai Standar Deviasi (S)

Faktor pengali untuk standar deviasi dengan hasil uji < 30 dapat dilihat pada Tabel 4.16 karena benda uji yang direncanakan kurang dari 15, maka nilai yang diambil 12 Mpa.

Tabel 4.16 : Nilai Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	$f'_c + 12$ Mpa
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

3. Menentukan Nilai Tambah Margin

Mencari nilai margin didapat dari Tabel 4.17, dimana dikarenakan belum pernah melakukan pengujian beton sebelumnya maka langsung diambil nilai tambah (M) 7 Mpa dengan Tingkat mutu pekerjaan kurang.

Tabel 4.17 : Tingkat Mutu Pekerjaan

Tingkat Mutu Pekerjaan	S (Mpa)
Memuaskan	2,8
Hampir Memuaskan	3,5
Sangat Baik	4,2
Baik	5,7
Sedang	6,5
Kurang	7,0

4. Menghitung Kekuatan Rata-Rata yang Ditargetkan f'_{cr}

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'_c + \text{Deviasi Standar} + M & (4.1) \\ &= 25 + 12 + 7 \\ &= 44 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$= 448.5219 \text{ kg/cm}^2$$

5. Semen yang Digunakan

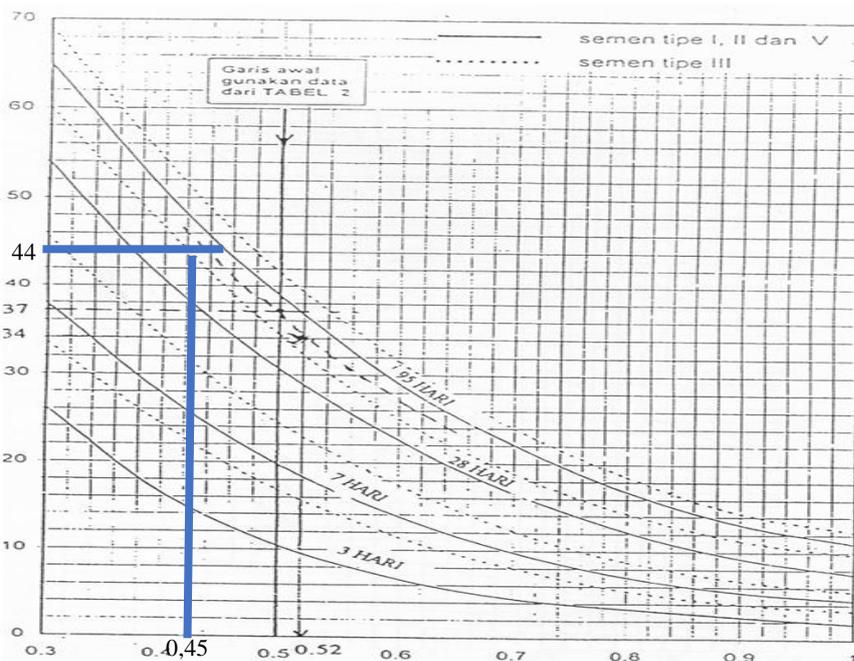
Semen Portland Tipe 1

6. Menentukan Jenis Aggregate

- agregat kasar = batu pecah (binjai)
- agregat halus = pasir (binjai)

7. Menentukan Faktor Air Semen

Berdasarkan perhitungan grafik hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan rata-rata. Dimana kuat tekan rata-rata diperkirakan 44 MPa, semen yang digunakan semen portland type I. Beton dilakukan pengujian pada umur 28 hari dengan benda uji silinder maka digunakan FAS 0,45.



Gambar 4.4: Grafik Hubungan Antara FAS dengan Nilai Kuat Tekan Rata-Rata

8. Faktor Air Semen Maksimum

Ditetapkan 0,60 dikarenakan sebagai persyaratan jumlah semen maksimum dan faktor air semen maksimum untuk berbagai macam pembebanan dalam lingkungan khusus.

Tabel 4.18 : Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum (SNI 03-2834, 2000)

Lokasi	Jumlah Semen Minimum per m ³ Beton (kg)	Nilai Faktor Air Semen Maksimum
Beton di dalam ruangan bangunan :		
A. Keadaan keliling non korosif	275	0,60
B. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan :		
A. Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
B. Terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
C. Tidak terlindungi dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,55

9. Menentukan Nilai Slump

Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini menggunakan slump rencana sebesar 75-100 mm.

Tabel 4.19 : Nilai Slump Berdasarkan (SNI 7656-2012)

Tipe Konstruksi	Nilai Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi Beton Bertulang (Dinding Dan Pondasi Telapak)	75	25
Pondasi Telapak Tanpa Tulangan, Pondasi Tiang Pancang Dan Dinding Bawah Tanah	100	25
Balok Dan Dinding Bertulang	100	25
Kolom Bangunan	100	25
Perkerasan Dan Pelat Lantai	75	25
Beton Massa	50	25

Tabel 4.20 : Perkiraan Kadar Air Bebas (SNI 03-2834,2000)

Slump					
Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum	Jenis Agregat	0-10	10-30	30-60	60-80
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak di pecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak di pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

10. Penetapan Besar Butir Agregat Maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum pada beton standart yaitu 40 mm.

11. Jumlah Kadar Air Bebas

Kadar air bebas agregat campuran, ukuran agregat maksimum yang digunakan adalah 40 mm dan nilai slump yang ditentukan adalah 75-100 mm sehingga dari

Tabel 4.20 diperoleh nilai perkiraan jumlah air untuk agregat halus (W_h) adalah 160 sedangkan untuk agregat kasar (W_k) adalah 190 sehingga nilai kadar air bebas yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air Bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad \text{atau} \quad 0,67 Ah + 0,33 Ak \quad (4.2)$$

Dimana :

W_h = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

W_k = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

A_h = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus

A_k = adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar

$$\text{Kadar Air Bebas} = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k$$

$$= \frac{2}{3} (160) + \frac{1}{3} (190) = 169,9 \text{ kg/m}^3$$

Atau

$$= 0,67 Ah + 0,33 Ak$$

$$= 0,67 (160) + 0,33 (190)$$

$$= 169,9 \text{ kg/m}^3$$

12. Jumlah Semen

Kadar semen yang diperlukan dapat dihitung dengan cara nilai kadar air bebas dibagi faktor air semen, maka jumlah semen yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Kadar Air Semen} = \frac{\text{Kadar Air Bebas}}{\text{Faktor Air Semen}} \quad (4.3)$$

$$= \frac{169,9}{0,45}$$

$$= 377,55 \text{ kg/m}$$

13. Jumlah Semen Maksimum

Jumlah kadar semen maksimum sebesar 377,55 kg/m.

14. Jumlah Semen Minimum

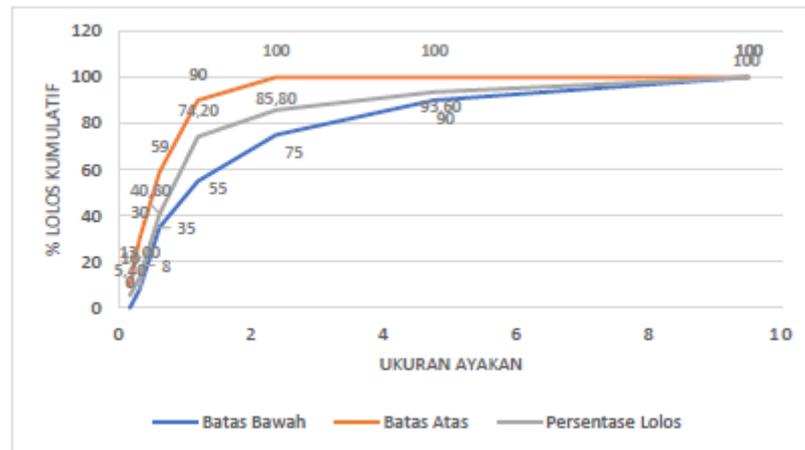
Jumlah semen minimum dapat dilihat pada Tabel 4.18. Dari tabel tersebut kita dapat mengambil jumlah semen minimum maupun nilai faktor air semen maksimum menurut kondisi beton yang akan dicetak nantinya yaitu 325 kg/m³.

15. Faktor Air Semen

Faktor air semen yang disesuaikan berdasarkan Gambar 4.3 yaitu sebesar 0,45.

16. Penetapan Jenis Agregat Halus

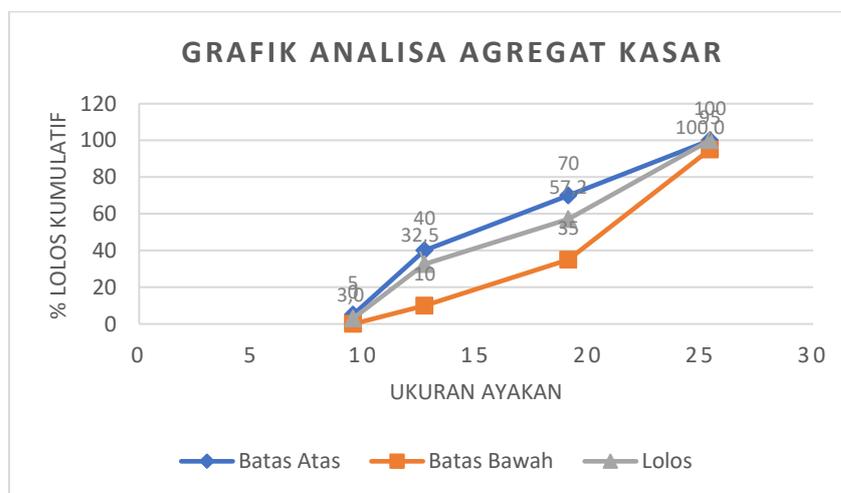
Susunan butir agregat halus berdasarkan Gambar 4.4 yaitu batas gradasi pasir No.2.



Gambar 4.5 : Grafik Gradasi Agregat Halus

17. Penetapan Jenis Agregat Kasar

Susunan butir agregat kasar berdasarkan Gambar 4.5 yaitu batas gradasi kerikil ukuran maksimum 40 mm.



Gambar 4.6 : Grafik Gradasi Agregat Kasar Diameter Maksimum 40 mm

18. Proporsi Berat Agregat Halus Terhadap Agregat Campuran

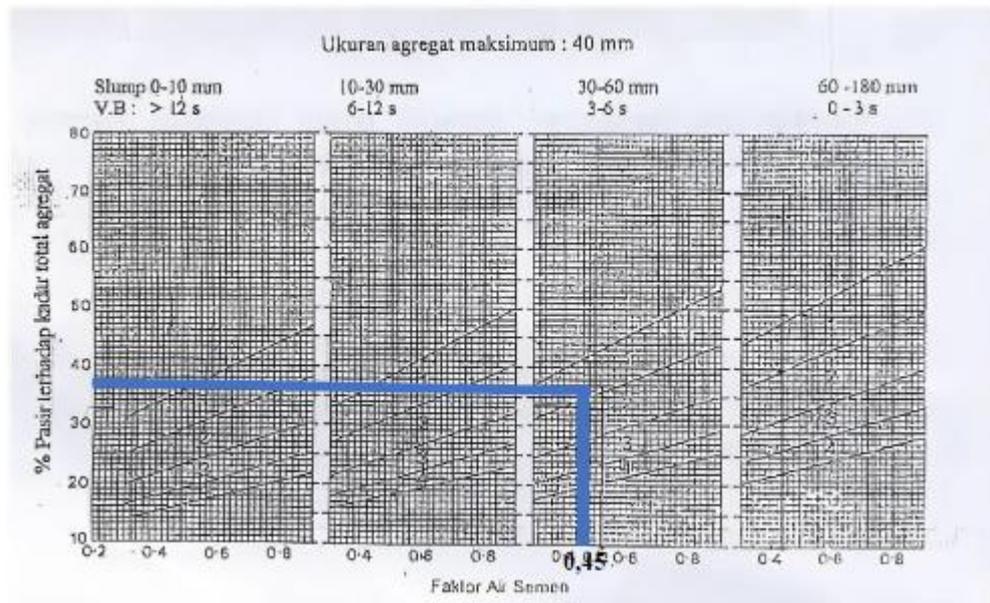
Proporsi berat agregat halus ditetapkan dengan cara menghubungkan kuat tekan rencana dengan faktor air semen menurut slump yang digunakan secara tegak lurus berpotongan yang dapat dilihat pada Gambar 4.6. ukuran butir maksimum sebesar 40 mm dapat dilihat pada Gambar 4.6 untuk mencari proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran.

Persen agregat halus = 36 % (Grafik pada Gambar 4.6)

Persen agregat kasar = 100% - persen agregat halus

$$= 100\% - 36\%$$

$$= 64\%$$



Gambar 4.7 : Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm Pada FAS 0,45 (SNI 03-2834, 2000)

19. Berat Jenis Agregat Campuran

Berat jenis agregat campuran dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.5 :

$$B_j \text{ camp} = (K_h \times B_{jh}) + (K_k \times B_{jk}) \quad (4.4)$$

Dimana :

$B_j \text{ camp}$ = berat jenis agregat campuran

B_{jh} = berat jenis agregat halus

B_{jk} = berat jenis agregat kasar

K_h = persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran

K_k = persentase berat agregat kasar terhadap agregat campuran

Berat jenis agregat halus dan agregat kasar diperoleh dari hasil pemeriksaan laboratorium sebesar :

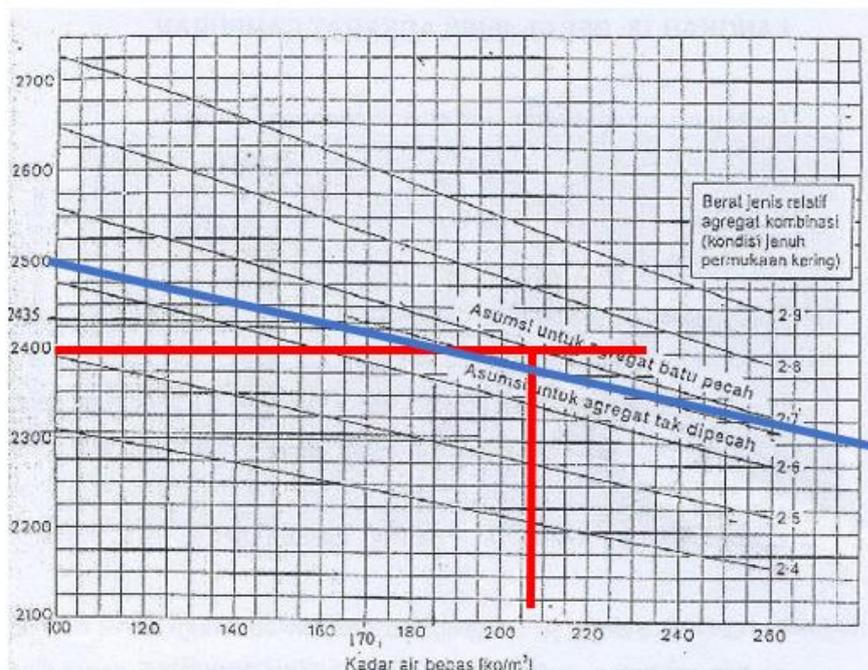
$B_j = 2,571 \text{ gr/cm}^3$ untuk agregat halus

$B_j = 2,716 \text{ gr/cm}^3$ untuk agregat kasar

Berat jenis relative agregat (SSD) = $(0,360 \times 2,571) + (0,640 \times 2,716)$
 $= 2,664 \text{ gr/cm}^3$

20. Perkiraan Berat Isi Beton

Berat isi beton diperoleh dari Gambar 4.7 dengan nilai kadar air bebas yang digunakan sebesar 205 kg/m^3 dan berat jenis sebesar 2,51, maka diperoleh nilai berat isi beton sebesar 2400 kg/m^3 .



Gambar 4.8 : Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran dan Berat Isi Beton Pada FAS (SNI 03-2834-2000)

21. Menghitung Kebutuhan Berat Agregat Campuran

Kebutuhan agregat campuran didapat dari Persamaan 4.6

$$W_{\text{agregat campuran}} = W_{\text{beton}} - (W_{\text{air}} + W_{\text{semen}}) \quad (4.6)$$

Dengan:

$W_{\text{agregat campuran}} = \text{Kebutuhan berat agregat campuran beton (kg/m}^3\text{)}$

$W_{\text{beton}} = \text{Berat beton per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$

$W_{\text{air}} = \text{Berat air per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$

$W_{\text{semen}} = \text{Berat semen per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$

$$\begin{aligned}\text{Maka, } W_{\text{agregat campuran}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{air}} + W_{\text{semen}} \\ &= 2400 - (169,9 + 377,55) \\ &= 1852,55 \text{ kg/ m}^3\end{aligned}$$

22. Menghitung Berat Agregat Halus yang Diperlukan

Kebutuhan agregat halus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$W_{\text{agregat halus}} = K_h \times W_{\text{agregat campuran}} \quad (4.7)$$

Dengan :

$K_h = \text{persentase berat agregat halus terhadap agregat campuran}$

$W_{\text{agregat campuran}} = \text{kebutuhan berat agregat campuran beton (kg/m}^3\text{)}$

$$\begin{aligned}\text{Maka, } W_{\text{agregat kasar}} &= K_h \times W_{\text{agregat campuran}} \\ &= 0,360 \times 1852,54 \\ &= 666,91 \text{ kg/ m}^3\end{aligned}$$

23. Menghitung Berat Agregat Kasar yang Diperlukan

Berdasarkan hasil langkah (18) dan (21), kebutuhan agregat kasar dihitung dengan Persamaan. 4.8

$$W_{\text{agregat kasar}} = W_{\text{agregat campuran}} - W_{\text{agregat halus}} \quad (4.8)$$

Dengan :

$W_{\text{agr,camp}} = \text{kebutuhan agregat campuran per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$

$W_{\text{agr,h}} = \text{kebutuhan agregat halus per meter kubik beton (kg/m}^3\text{)}$

$$\begin{aligned}\text{Maka, } W_{\text{agregat kasar}} &= W_{\text{agregat campuran}} - W_{\text{agregat halus}} \\ &= 1852,55 - 666,91 \\ &= 1185,64 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

24. Proporsi Campuran

Kondisi agregat dalam kejadian jenuh kering permukaan semen, air, agregat halus dan agregat kasar harus dihitung dalam per m^3 adukan.

- Semen $= \frac{377,55}{377,55} = 1$
- Air $= \frac{169,9}{377,55} = 0,45$
- Pasir $= \frac{666,91}{377,55} = 1,76$
- Batu pecah $= \frac{1185,64}{377,55} = 3,14$

25. Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan air dalam agregat. Koreksi proporsi campuran harus dilakukan terhadap kadar air dalam agregat paling sedikit satu kali dalam sehari.

Diketahui:

- a. Jumlah air (B) $= 169,9 \text{ kg/m}^3$
- b. Jumlah agregat halus (C) $= 666,91 \text{ kg/cm}^3$
- c. Jumlah agregat kasar (D) $= 1185,64 \text{ kg/cm}^3$
- d. Penyerapan agregat halus (Ca) $= 1,53 \%$
- e. Penyerapan agregat kasar (Da) $= 0,75 \%$
- f. Kadar air agregat halus (Ck) $= 1,27 \%$
- g. Kadar air agregat kasar (Dk) $= 0,83 \%$

- Air

$$\begin{aligned} \text{Air} &= B - (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} - (D_k - D_a) \times \frac{D}{100} \\ &= 169,9 - (1,27 - 1,53) \times \frac{666,91}{100} - (0,83 - 0,75) \times \frac{1185,64}{100} \\ &= 170,68 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Agregat Halus

$$\begin{aligned} \text{Agregat halus} &= C + (C_k - C_a) \times \frac{C}{100} \\ &= 666,91 + (1,27 - 1,53) \times \frac{666,91}{100} \\ &= 665,18 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Agregat Kasar

$$\text{Agregat kasar} = D + (D_k - D_a) \times \frac{D}{100}$$

$$= 1185,64 + (0,83 - 0,75) \times \frac{1185,64}{100}$$

$$= 1186,58 \text{ kg/m}^3$$

Maka, untuk kebutuhan tiap m^3 diperlukan :

- Semen = $377,55 : 377,55 = 1$
- Air = $170,68 : 377,55 = 0,452$
- Agregat Halus = $665,18 : 377,55 = 1,761$
- Agregat Kasar = $1186,58 : 377,55 = 3,142$

Berdasarkan hasil *mix design* beton normal mutu sedang, maka kebutuhan bahan untuk campuran beton dengan kebutuhan 1 m^3 sebagai berikut :

- Semen = $377,55 \text{ kg/m}^3$
- Air = $170,68 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Halus = $665,18 \text{ kg/m}^3$
- Agregat Kasar = $1186,58 \text{ kg/m}^3$

a. Untuk Kebutuhan Satu Benda Uji Silinder (Kg)

Kebutuhan volume satu benda uji dengan cetakan silinder sebagai berikut:

- Tinggi = $30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$
- Diameter = $15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$
- Volume Silinder = $\pi r^2 t$
 $= \frac{22}{7} \times \left(\frac{0,15}{2}\right)^2 \times 0,30$
 $= 0,0053 \text{ m}^3$

Maka :

- Semen yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak semen} \times \text{Volume 1 benda uji}$
 $= 377,55 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$
 $= 2,01 \text{ kg}$
 Semen yang dibutuhkan untuk 12 benda uji
 $= 2,01 \times 12$
 $= 24,12 \text{ kg}$
- Pasir yang dibutuhkan untuk 1 benda uji
 $= \text{Banyak pasir} \times \text{Volume 1 benda uji}$

$$= 665,18 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 3,525 \text{ kg}$$

Pasir yang dibutuhkan untuk 12 benda uji

$$= 3,525 \times 12$$

$$= 42,3 \text{ kg}$$

- Batu pecah yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

= Banyak batu pecah x Volume 1 benda uji

$$= 1186,54 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 6,288 \text{ kg}$$

Batu pecah yang dibutuhkan untuk 12 benda uji

$$= 6,288 \times 12$$

$$= 75,456 \text{ kg}$$

- Air yang dibutuhkan untuk 1 benda uji

= Banyak air x Volume 1 benda uji

$$= 170,68 \text{ kg/m}^3 \times 0,0053 \text{ m}^3$$

$$= 0,904 \text{ kg}$$

Air yang dibutuhkan untuk 12 benda uji

$$= 0,904 \times 12$$

$$= 10,848 \text{ kg}$$

Proporsi campuran untuk 1 benda uji dengan volume $0,0053 \text{ m}^3$ dalam satuan kg adalah :

Semen	:	Pasir	:	Batu Pecah	:	Air
2,01	:	3,525	:	6,288	:	0,904

Berdasarkan analisa saringan maka didapat berat untuk masing-masing 1 benda uji tertera di tabel 4.21 untuk agregat kasar dan tabel 4.22 untuk agregat halus :

Tabel 4.21 : Analisa Gradasi Agregat Kasar

Nomor Saringan	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jlh Agregat Kasar}$
25,4 (1 In)	0	0
19,1 (3/4 In)	42.8	2.691
9,52 (3/8 In)	24.7	1.553
4,75 (No 4)	32.5	2.043
Total	100	100

Tabel 4.22 : Analisa Gradasi Agregat Halus

Nomor Saringan	Berat Tertahan (%)	Berat Tertahan
		$\frac{\% \text{ berat tertahan}}{100} \times \text{jlh Agregat Halus}$
9,5 (3/8 inch)	0	0
4,75 (No 4)	6.40	0.225
2,36 (No 8)	7.80	0.274
1,18 (No 16)	11.60	0.408
0,6 (No 30)	33.40	1,177
0,3 (No 50)	27.80	0,997
0,15 (No 100)	7.60	0,267
Pan	5.40	0,190
Jumlah	100	100

- Bata Bakar

Pada penelitian ini Bata Bakar (BB) digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi persentase 25%, 50% dan 75%. Berat masing-masing variasi dijelaskan pada Tabel 4.23 :

Tabel 4.23 : Jumlah Bata Bakar yang Dibutuhkan Untuk 1 Benda Uji Silinder

Persentase Banyaknya Bata Bakar (%)	Banyaknya Bata Bakar dari Berat Agregat Halus (kg)
25	0,25
50	0,50
75	0,75

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan setiap variasi Bata Bakar (BB) sebanyak 9 benda uji silinder, dimana kebutuhan bata tanpa bakar yang dibutuhkan untuk pengganti agregat halus sebagai berikut :

- BB sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 25% dari berat agregat halus. Berikut perhitungan BB setiap 1 benda uji dengan variasi 25% :

$$= \frac{25}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$$

$$= \frac{25}{100} \times 3,525 \text{ kg}$$

$$= 0,881 \text{ kg}$$

Jumlah BB untuk 3 benda uji

$$= 0,881 \times 3$$

$$= 2,643 \text{ kg}$$

- BB sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 50% dari berat agregat halus. Berikut perhitungan BB setiap 1 benda uji dengan variasi 50% :

$$= \frac{50}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$$

$$= \frac{50}{100} \times 3,525 \text{ kg}$$

$$= 1,762 \text{ kg}$$

Jumlah BB untuk 3 benda uji

$$= 1,762 \times 3$$

$$= 5,286 \text{ kg}$$

- BB sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 75% dari berat agregat halus. Berikut perhitungan BB setiap 1 benda uji dengan variasi 75% :

$$= \frac{75}{100} \times \text{jumlah agregat halus}$$

$$= \frac{75}{100} \times 3,525 \text{ kg}$$

$$= 2,643 \text{ kg}$$

Jumlah BB untuk 3 benda uji

$$= 2,643 \times 3$$

$$= 7,929 \text{ kg}$$

Tabel 4.24 : Proporsi Campuran Beton dengan BB (Bata Bakar)

Variasi	Persentase Bahan Campuran (BB)	Proporsi Campuran Beton Untuk 1 Benda Uji				
		Semen	Agregat Halus	Agregat Kasar	Air	BB
BN	0	2,01	3,525	6,288	0,904	0
BB 25%	10	2,01	2,644	6,288	0,904	0,881
BB 50%	15	2,01	1,763	6,288	0,904	1,763
BB 75%	20	2,01	0,881	6,288	0,904	2,644

4.5. Hasil Pengujian Slump Test

Pengujian slump test dilakukan pada masing-masing 3 benda uji beton untuk mengetahui *workability* pada hasil campuran beton normal dan beton dengan bahan campuran. Pengujian menggunakan kerucut Abrams yang diisi dalam 3 lapisan, tiap lapisan ditusuk 25 kali dengan tongkat. Setelah lapisan penuh, permukaan diratakan dan dibiarkan 10 detik sebelum kerucut diangkat secara vertikal. Selisih tinggi beton segar diukur untuk menentukan nilai slump. Pengujian slump juga bertujuan untuk mengetahui Tingkat kemudahan pengerjaan dari campuran beton segar yang telah dibuat dan pada penelitian ini didapat nilai slump yang tertera pada Tabel 4.25:

Tabel 4.25 : Hasil Pengujian Nilai Slump

Variasi Campuran	Slump (mm)
BN	100
BBB 25%	98
BBB 50%	90
BBB 75%	85

Dimana :

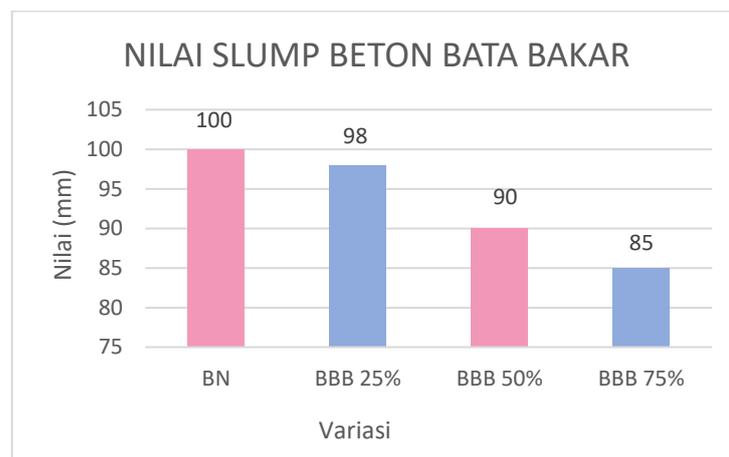
BN : Beton Normal

BBB 25% : Beton dengan campuran Bata Bakar 25% dari berat Agregat Halus

BPF 50% : Beton dengan campuran Bata Bakar 50% dari berat Agregat Halus

BPF 75% : Beton dengan campuran Bata Bakar 75% dari berat Agregat Halus

Hasil pengujian nilai slump yang disajikan dalam Tabel 4.25 menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai slump yang sesuai dengan rencana, yaitu sebesar 100 mm. Di sisi lain, variasi campuran beton lainnya menunjukkan nilai slump yang lebih rendah, tetapi masih berada dalam rentang standar antara 75–100 mm.



Gambar 4.9 : Grafik Hasil Pengujian Nilai Slump

Dari hasil grafik di atas, dapat dilihat bahwa pemanfaatan limbah sisa pembakaran bata sebagai pengganti sebagian dari agregat halus, yaitu pasir, menyebabkan terjadinya penurunan nilai slump seiring meningkatnya persentase

bata tersebut dalam campuran. Penurunan nilai slump ini terjadi akibat karakteristik fisik bata bakar yang lebih kasar dan memiliki kapasitas penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan pasir. Dengan demikian, air dalam campuran lebih cepat diserap oleh partikel bata bakar, mengakibatkan adukan menjadi lebih kental dan nilai slump berkurang. Semakin banyak bata bakar yang digunakan, semakin besar jumlah air yang diserap.

4.6. Hasil dan Analisa Pengujian Beton

4.6.1. Hasil Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada penelitian ini dilakukan pada saat beton umur 28 hari dengan jumlah benda uji 3 setiap variasi. Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini menggunakan mesin kuat tekan dengan kapasitas 2000 KN. Dengan ukuran benda uji yang akan di uji yaitu berupa silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. berikut merupakan hasil pengujian kuat tekan beton.

a. Perhitungan Kuat Tekan Beton Normal

Hasil dari pengujian kuat tekan pada beton normal sebagai berikut :

Benda Uji 1 (A1)

- Beban (P) = 480 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
$$= \frac{480}{17662,5} = 27 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (A2)

- Beban (P) = 460 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$
$$= \frac{460}{17662,5} = 26 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 3 (A3)

- Beban (P) = 470 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{470}{17662,5} = 27 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata- Rata} &= \frac{\text{Hasil A1}+\text{Hasil A2}+\text{Hasil A3}}{3} \\ &= \frac{27+26+27}{3} \\ &= 27 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kuat Tekan Beton BB (25%)

Benda Uji 1 (B1)

- Beban (P) = 390 kN
- Luas silinder (A) = 17622,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{390}{17662,5} = 22 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (B2)

- Beban (P) = 340 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{470}{17662,5} = 19 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 3 (B3)

- Beban (P) = 380 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{380}{17662,5} = 22 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata- Rata} &= \frac{\text{Hasil B1}+\text{Hasil B2}+\text{Hasil B3}}{3} \\ &= \frac{22+19+22}{3} \\ &= 21 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kuat Tekan Beton BB II (50%)

Benda Uji 1 (C1)

- Beban (P) = 280 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{280}{17662,5} = 16 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (C2)

- Beban (P) = 290 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{290}{17662,5} = 16 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 3 (C3)

- Beban (P) = 310 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{310}{17662,5} = 18 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata- Rata} &= \frac{\text{Hasil C1}+\text{Hasil C2}+\text{Hasil C3}}{3} \\ &= \frac{16+16+18}{3} \\ &= 17 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Kuat Tekan Beton BB III (75%)

Benda Uji 1 (D1)

- Beban (P) = 210 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{210}{17662,5} = 12 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 2 (D2)

- Beban (P) = 215 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²

- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

$$= \frac{215}{17662,5} = 12 \text{ Mpa}$$

Benda Uji 3 (D3)

- Beban (P) = 230 kN
- Luas silinder (A) = 17662,5 mm²
- Kuat Tekan Beton = $\frac{P}{A}$

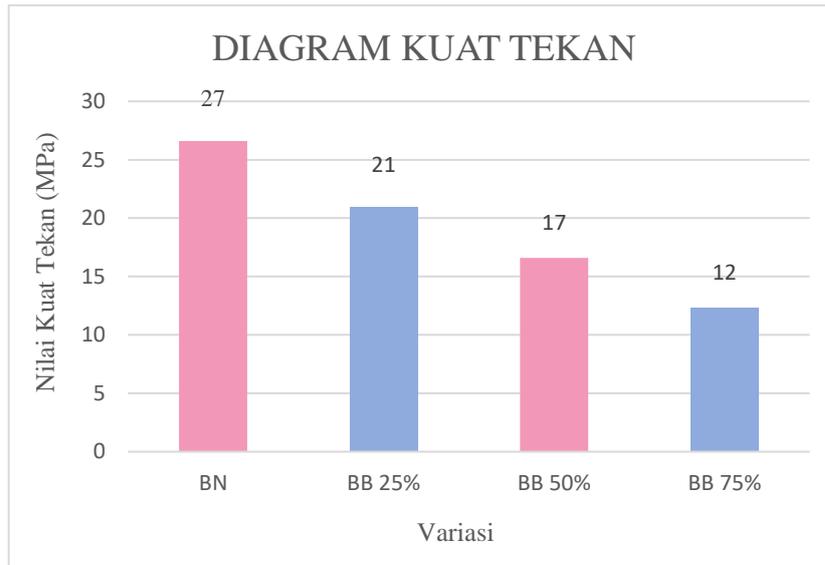
$$= \frac{230}{17662,5} = 13 \text{ Mpa}$$

Hasil Kuat Tekan Beton Rata-Rata

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan Beton Rata- Rata} &= \frac{\text{Hasil D1}+\text{Hasil D2}+\text{Hasil D3}}{3} \\ &= \frac{12+12+13}{3} \\ &= 12 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tabel 4.26 : Hasil Pengujian Kuat Tekan

Variasi	Benda Uji	Luas (mm ²)	Beban Maksimum (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
BN	1	17662,5	480	27	27
	2	17662,5	460	26	
	3	17662,5	470	27	
BB (25%)	1	17662,5	390	22	21
	2	17662,5	340	19	
	3	17662,5	380	22	
BB (50%)	1	17662,5	280	16	17
	2	17662,5	290	16	
	3	17662,5	310	18	
BB (75%)	1	17662,5	210	12	12
	2	17662,5	215	12	
	3	17662,5	230	13	



Gambar 4.10 : Grafik Hasil Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan maka didapat nilai seperti Tabel 4.26 dimana kuat tekan yang tertinggi pada beton normal sebesar 27 Mpa dan beton dengan nilai terendah di dapat pada beton varasi BB 75% dengan kuat tekan sebesar 12 Mpa.

4.6.2. Hasil Modulus Elastisitas Beton

Adapun rumus modulus elastisitas yang diberlakukan mengikuti SNI 2847 : 2019 adalah sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

Dimana :

E_c = Modulus elastisitas beton

F_c = Kuat tekan beton

$$E_c = W_c^{1.5} 0,043 \sqrt{25} \text{ (Untuk nilai } W_c \text{ di antara 1400 dan 2560 kg/m}^3\text{)}$$

Dimana :

W_c = Berat jenis beton

Sebelum melakukan perhitungan, harus menentukan berapa berat jenis tiap sampel uji beton dengan menggunakan persamaan :

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

Dimana :

W = Berat benda uji (kg)

V = Volume Silinder = 0,0053 m³

Maka berat jenis pada tiap benda uji dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.27 : Berat Jenis Sampel Beton

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Benda Uji (kg)	Berat Jenis (kg/m ³)
BN	1	27	12.55	2367.92
	2	26	12.36	2332.07
	3	27	12.42	2343.39
BB (25%)	1	22	11.38	2146.22
	2	19	11.50	2169.43
	3	22	11.65	2198.86
BB (50%)	1	16	11.14	2102.26
	2	16	11.38	2146.41
	3	18	11.45	2159.43
BB (75%)	1	12	11.50	2169.43
	2	12	11.26	2124.52
	3	13	11.14	2102.26

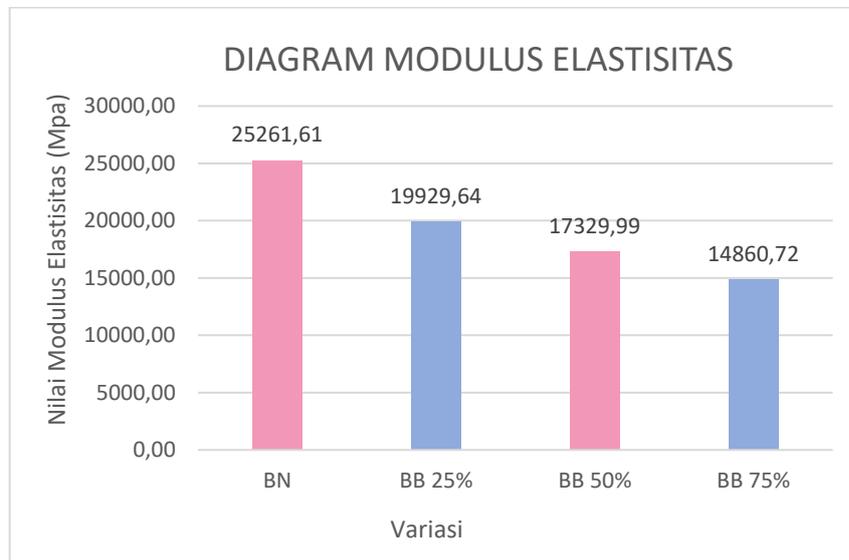
Dari Tabel 2.27, dapat dilihat bahwa modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.20) karena semua berat jenis beton atau nilai Wc di antara 1400 dan 2560 kg/m³, maka didapat tabel modulus elastisitas tiap sampel beton ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 4.28 : Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Jenis (kg/m ³)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
BN	1	27	2367.92	25745.54	25261.61
	2	26	2332.07	24692.72	
	3	27	2343.39	25346.55	
BB (25%)	1	22	2146.22	20053.63	19929.64
	2	19	2169.43	18939.34	
	3	22	2198.86	20795.93	

Tabel 4.28 : *Lanjutan*

Variasi	Benda Uji	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Jenis (kg/m ³)	Modulus Elastisitas (Mpa)	Modulus Elastisitas Rata-Rata (Mpa)
BB (50%)	1	16	2102.26	16579.03	17329.99
	2	16	2146.41	17104.05	
	3	18	2159.43	18306.89	
BB (75%)	1	12	2169.43	15051.46	14860.72
	2	12	2124.52	14586.55	
	3	13	2102.26	14944.14	



Gambar 4.11: Grafik Hasil Modulus Elastisitas

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa nilai hasil uji modulus elastisitas menyerupai hasil uji kuat tekan beton, dimana modulus elastisitas mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase serbuk bata bakar. Artinya, modulus elastisitas beton akan semakin menurun apabila serbuk bata bakar yang digunakan semakin banyak. Hal ini sesuai dengan hasil uji kuat tekan beton dimana hasil kuat tekan akan berbanding lurus dengan hasil modulus elastisitas beton, Penelitian ini sesuai dengan penelitian dahulu yang telah dilakukan oleh (Debieb & Kenai, 2008) tentang penggunaan batu bata pecah kasar dan halus sebagai agregat dalam beton dan (Cachim, 2009) tentang sifat mekanik beton agregat bata.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian penggunaan bata bakar sebagai bahan substitusi agregat halus maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil dari pengujian didapat nilai kuat tekan beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus yaitu didapat hasil tertinggi pada beton normal dengan nilai kuat tekan rata-rata 27 Mpa, dan untuk nilai kuat tekan beton variasi campuran bata bakar mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase campuran. Beton campuran 25% bata bakar menghasilkan rata-rata kuat tekan sebesar 21 Mpa, beton campuran 50% menghasilkan rata-rata kuat tekan sebesar 17 Mpa dan beton campuran 75% merupakan variasi campuran yang mengalami penurunan terbesar dengan kuat tekan rata-rata sebesar 12 Mpa.
2. Berdasarkan hasil dari pengujian didapat nilai modulus elastisitas beton terhadap penggunaan bata bakar sebagai substitusi agregat halus yaitu didapat hasil yang relevan dengan hasil pengujian kuat tekan. Dimana hasil modulus elastisitas beton mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi pada persentase bata bakar. Semakin besar persentase substitusi bata bakar pada beton maka semakin kecil nilai modulus elastisitasnya. Nilai modulus elastisitas tertinggi pada beton campuran bata bakar didapat di variasi 25% dimana menghasilkan nilai rata-rata sebesar 19929.64 Mpa dan nilai modulus elastisitas terkecil ialah di variasi 75% dengan rata-rata sebesar 14860.72 Mpa.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diharapkan mampu membantu dalam perkembangan proses teknologi beton ataupun penerapan di lapangan. Diberikan harapan juga kepada peneliti selanjutnya agar mampu mengembangkan penelitian ini lebih dalam. Adapun saran yang dapat diambil antara lain :

1. Disarankan untuk peneliti selanjutnya dapat meneliti tentang limbah bata bakar

sebagai substitusi agregat halus tetapi dengan persentase substitusi antara serbuk bata bakar diturunkan persentase campurannya dan ditambahkan bahan campuran lain untuk meningkatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitasnya.

2. Disarankan untuk melakukan penelitian yang lebih dalam mengenai sifat-sifat fisis dan kimiawi dari bata bakar.
3. Disarankan untuk peneliti selanjutnya memperhatikan takaran air untuk kebutuhan penggunaan agar menghasilkan campuran beton yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiqry, M. (2019). Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan. (Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Amin, M., Ir Sutami, J. K., & Bintang Lampung Selatan, T. (2014). Inovasi Material Pada Pembuatan Bata Merah Tanpa Dibakar Untuk Kemakmuran Industri Kerakyatan Material Innovation On Red-Brick Making Without Burning For Home Industry Prosperity. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.35450/jip.v2i03.86>
- Badan Standardisasi Nasional. (1990). SNI 03-1968-1990 Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar.
- Badan Standardisasi Nasional. (1996). SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Untuk Menentukan Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan Nomor 200 (0,075 mm) Dengan Cara Pencucian.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 Semen Portland.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011a). SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat Dengan Pengeringan.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011b). SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011c). SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1969-2016 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1292–1297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.07.023>
- Debieb, F., & Kenai, S. (2008). The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 22(5), 886–893. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.12.013>

- Frapanti, S., Tanjung, L. E., Riza, F. V., Nasution, A. R., & Zulkarnain, F. (2024). Comparison of physical and mechanical properties of traditional bricks in Deli Serdang with no-burn bricks using rice husk ash. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00479-7>
- Guo, H., Zhao, Y., Zhang, D., & Shang, M. (2016). Study of movement of coarse aggregates in the formation process of asphalt mixture in the laboratory. *Construction and Building Materials*, 111, 743–750. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.110>
- Hamdani, H., Ni Nyoman Kencawati, & A. (2018). Aplikasi Beton SCC (Self Compacting Concrete) Pada Sambungan Balok-Kolom Akibat Beban Vertikal. *Spektrum Sipil*, 5(1), 58–69.
- Harahap, W. . (2019). Analisa Modulus Elastisitas Pada Beton Sekam Padi Sebagai Pengganti Pasir (Studi Penelitian). Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 165–172.
- Irwansyah, M. (2021). Pengaruh Pemakaian Abu Sekam Padi Menggunakan Agregat Lokal Terhadap Kekuatan Beton Normal (Agregat Kasar Desa Marjanji Aceh Kecamatan Aek Songsongan, Agregat Halus Desa Tanjung Alam Kecamatan Sei Dadap. *Jurnal Pionir LPPM Universitas Asahan*, 7(2).
- Melinda, S., Dapas, S. O., & Sumajouw, M. D. J. (2020). Studi Eksperimental Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Kapur Dan Batu Apung Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 671–678.
- Shomal Zadeh et al. (2023). A Review on Concrete Recycling. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 19(2), 784–793. <https://doi.org/https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.1631>
- SNI 03-1970. (2008). SNI 03-1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- SNI 03-6861. (2002). SNI 03-6861-2002 Spesifikasi Bahan Bangunan.
- SNI 15-2094. (2000). SNI-15-2094-2000 Bata Merah Pejal Untuk Pasangan Dinding.
- SNI 1973 : (2008). SNI 1973: 2008 Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran Dan Kadar Udara Beton.
- SNI 7656. (2012). SNI 7656 : 2012 Tata cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa.

Tjokrodimuljo, K. (1996). Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Tjokrodimuljo, K. (2007). Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.

Zulkarnain, F. (2021). Teknologi Beton. UMSU PRESS.

LAMPIRAN



Gambar L-1 Persiapan Limbah Bata Bakar



Gambar L-2 Proses Menghancurkan Limbah Bata Bakar



Gambar L-3 Penghancuran Bata Bakar



Gambar L-4 Persiapan Agregat Kasar



Gambar L-5 Persiapan Bahan Pembuatan Sample Benda Uji



Gambar L-6 Pengecekan Nilai Slump



Gambar L-7 Persiapan Cetakan Silinder



Gambar L-8 Proses Mix Benda Uji



Gambar L-9 Pengujian Analisa Saringan



Gambar L-10 Pengujian Berat Jenis



Gambar L-11 Pengujian Kadar Lumpur



Gambar L-12 Pengujian Kadar Air



Gambar L-12 Pengujian Kuat Tekan



Gambar L-13 Mengukur Tinggi Benda Uji



Gambar L-14 Mengukur Diameter Benda Uji

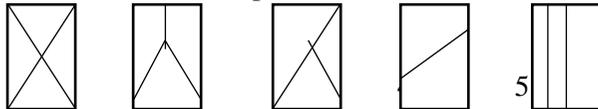
**LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974 – 2011**

Penguji : SARAH AZZUHRAH
Jenis Benda Uji : Silinder (d=15;t=30)
Mutu Benda Uji : F'c 25 Mpa
Jumlah Benda Uji : 12

Lembar : 1 **Dari** : 2
Mesin : Dial Compression Test Machine

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (kN)	Beban Tekan Kalibrasi (Kn)	Kuat Tekan (MPa)	Bentuk Kehancuran /Keterangan
							Cetak	Uji					
1	Normal (1)	300.0	150.0	2	17662.5	12.55	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	480	478,2	27	1
2	Normal (2)	300.0	150.0	2	17662.5	12.36	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	460	458,2	26	1
3	Normal (3)	300.0	150.0	2	17662.5	12.42	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	470	468,2	27	1
1	BB 25% (1)	300.0	150.0	2	17662.5	11.38	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	390	388,2	22	1
2	BB 25% (2)	300.0	150.0	2	17662.5	11.50	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	340	338,2	19	1
3	BB 25% (3)	300.0	150.0	2	17662.5	11.65	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	380	378,2	22	1
1	BB 50% (1)	300.0	150.0	2	17662.5	11.14	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	280	278,2	16	1
2	BB 50% (2)	300.0	150.0	2	17662.5	11.38	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	290	288,2	16	1
3	BB 50% (3)	300.0	150.0	2	17662.5	11.45	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	310	308,2	18	1

Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



Gambar L-15 Laporan Pengujian Kuat Tekan BN, BB 25%, BB 50%

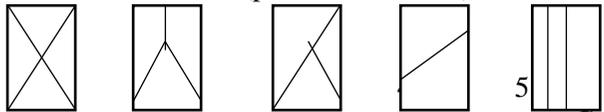
**LAPORAN PENGUJIAN KUAT TEKAN
SNI 1974 – 2011**

Penguji : SARAH AZZUHRAH
Jenis Benda Uji : Silinder (d=15;t=30)
Mutu Benda Uji : F'c 25 Mpa
Jumlah Benda Uji : 12

Lembar : 2 **Dari : 2**
Mesin : Dial Compression Test Machine

No	Identitas Benda Uji	L (mm)	D (mm)	L/D	Luas Penampang (mm ²)	Berat Benda Uji (kg)	Tanggal		Umur Beton (Hari)	Beban Tekan (kN)	Beban Tekan Kalibrasi (Kn)	Kuat Tekan (MPa)	Bentuk Kehancuran /Keterangan
							Cetak	Uji					
1	BB 75% (1)	300.0	150.0	2	17662.5	11.50	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	210	208,2	12	1
2	BB 75% (2)	300.0	150.0	2	17662.5	11.26	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	215	213,2	12	1
3	BB 75% (3)	300.0	150.0	2	17662.5	11.14	27 Januari 2025	24 Februari 2025	28	230	228,2	13	1

Bentuk Kehancuran (pilih diantara satu)



Gambar L-16 Laporan Pengujian Kuat Tekan BB 75%

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Identitas Diri

Nama Lengkap : Sarah Azzuhrah
Tempat, Tanggal Lahir : Batang Kuis, 17 Agustus 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : Jl.Perhubungan Gg.Aliwongso Laut Dendang
No.Hp/Telp.Seluler : 085831243788
Nama Ayah : Jochary, S.H
Nama Ibu : Nurma
Email : sarahazzuhrah@gmailcom

Data Riwayat Pendidikan

Nomor Induk Mahasiswa : 2107210177
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl.Kapten Muchtar Basri No3 Medan 20238

Data Identitas Diri

Sekolah Dasar : SD NEGERI 060870 MEDAN 2009-2015
Sekolah Menengah Pertama : SMP NEGERI 27 MEDAN 2015-2018
Sekolah Menengah Atas : MAS UINSU MEDAN 2018-2021